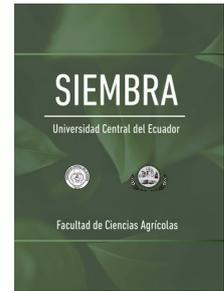


Rendimiento agronómico de ocho cultivares de yacón (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Rob.) provenientes del norte peruano

Agronomic performance of eight yacon cultivars (*Smallanthus sonchifolius* [Poepp. & Endl.] H. Rob.) from northern Peru



Silvia Yanina Rodríguez López¹, Alejandro Seminario Cunya^{2*}, Víctor Vásquez Arce³, Juan F. Seminario⁴

Siembra 9 (1) (2022): e3630

Recibido: 01/03/2022 Revisado: 29/03/2022 / 04/05/2022 Aceptado: 27/05/2022

¹ Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Raíces y Tubérculos Andinos. Av. Atahualpa 1050. C.P. 06003. Cajamarca, Cajamarca. Perú.
✉ srodriguez113@unc.edu.pe
🔗 <https://orcid.org/0000-0001-5190-9925>

² Universidad Nacional Autónoma de Chota. Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Ciencias Ambientales. Jr. José Osoreo N° 418 Plaza de Armas. C.P. 06120. Chota, Cajamarca, Perú.
✉ aseminarioc@unach.edu.pe
🔗 <https://orcid.org/0000-0002-5051-729X>

³ Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ciencias Agrarias, Área de Genética y Mejoramiento. Av. Atahualpa 1050. C.P. 06003. Cajamarca, Cajamarca. Perú.
✉ vvarce3@gmail.com
🔗 <https://orcid.org/0000-0003-0876-5692>

⁴ Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ciencias Agrarias, Programa de Raíces y Tubérculos Andinos. Av. Atahualpa 1050. C.P. 06003. Cajamarca, Cajamarca. Perú.
✉ jfseminario@yahoo.es
🔗 <https://orcid.org/0000-0001-9829-8308>

*Autor de correspondencia: aseminarioc@unach.edu.pe

Resumen

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) es un cultivo promisorio por las propiedades nutraceuticas de sus raíces y hojas. El objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento de raíces frescas y materia seca de ocho cultivares de yacón del norte peruano. Los cultivares (tratamientos) fueron sembrados en diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones. La siembra se realizó a 0,5 m entre plantas y 1,0 m entre surcos. Se evaluaron las variables: número, peso fresco y peso seco total de raíces, número, peso fresco y peso seco de raíces comerciales, peso fresco y peso seco de la corona, peso fresco y peso seco del follaje, altura de planta, número de tallos, área foliar en plena floración, asignación de la materia seca a las tres partes de la planta (raíces, corona y follaje) e índice de cosecha. Se realizó el análisis de varianza para todas las variables y la prueba de Tukey al 5 %, para las variables que resultaron con diferencias estadísticamente significativas. Se encontraron diferencias altamente significativas entre cultivares, para quince variables relacionadas con el rendimiento y se identificaron los mejores cultivares según la utilidad potencial: I, II, III, IV, V, VI y VIII para peso total de raíces; I, II, IV, V, VIII para peso de raíces comerciales; II, IV y VIII para materia seca de raíces comerciales. La asignación de la materia seca fue principalmente hacia la corona (47 % a 65 %) y el índice de cosecha fluctuó de 22 % a 40 %. Dieciséis correlaciones simples entre las variables en estudio, resultaron altamente significativas ($p \leq 0,01$). El germoplasma en estudio mostró alto potencial para su uso en el mejoramiento de la productividad.

Palabras clave: Asteraceae, índice cosecha, materia seca, raíz andina.

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

e-ISSN: 2477-8850

ISSN: 1390-8928

Periodicidad: semestral

vol. 9, núm. 1, 2022

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i1.3630>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

Abstract

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is a promising crop due to the nutraceutical properties of its roots and leaves. The objective of the study was to evaluate the fresh root and dry matter yield of eight yacon cultivars from northern Peru. The cultivars (treatments) were planted in a randomized complete block design, with three replications. Planting was carried out at 0.5 m between plants and 1.0 m between rows. The following variables were evaluated: number, fresh weight and total dry weight of roots,

number, fresh weight and dry weight of commercial roots, fresh weight and dry weight of crown, fresh weight and dry weight of foliage, plant height, number of stems, leaf area at full flowering, allocation of dry matter to the three parts of the plant (roots, crown and foliage) and harvest index. Analysis of variance was performed for all variables and Tukey's test at 5 % for the variables that showed statistically significant differences. Highly significant differences were found among cultivars for fifteen variables related to yield and the cultivars with better performance were identified according to potential utility: I, II, III, IV, V, VI and VIII for total root weight; I, II, IV, V, VIII for commercial root weight; II, IV and VIII for commercial root dry matter. Dry matter allocation was mainly toward the crown (47 % to 65 %) and the harvest index ranged from 22 % to 40 %. Sixteen simple correlations between the variables under study were highly significant ($p \leq 0.01$). The germplasm under study showed high potential to be used in productivity improvement.

Keywords: Asteraceae, harvest index, dry matter, Andean root.

1. Introducción

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*), en el Perú, es un cultivo promisorio como alimento de propiedades nutraceuticas. Sus raíces tuberosas son de bajo poder calórico y alto contenido de fructooligosacáridos que funcionan como fibra dietética y fortalecen el sistema inmunológico. Sus hojas son ricas en ácidos clorogénico, ferúlico y cafeico, y flavonoides que tienen propiedades antioxidantes. Su consumo está relacionado con la prevención y tratamiento de diabetes, obesidad, cáncer, hipertensión, arterioesclerosis (Tokita *et al.*, 2015). Las investigaciones sobre el contenido de metabolitos secundarios estuvieron dirigidas, inicialmente, a las hojas y pulpa de las raíces, sin embargo, el interés y las investigaciones se han extendido hacia la cáscara (peridermis y floema) de la raíz y sus perspectivas sobre la salud (Khajehei *et al.*, 2018; Leone *et al.*, 2017; Moreira Szokalo *et al.*, 2020; Padilla-González *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2016; Watanabe *et al.*, 2021).

Periódicamente se hacen revisiones sobre sus compuestos funcionales, sus propiedades, efectos y beneficios en animales y humanos; así como sobre la aplicación de nuevas tecnologías para su incorporación como alimento nutraceutico y en dietoterapia (Cao *et al.*, 2018; Leidi *et al.*, 2018; Ojansivu *et al.*, 2011; Saees *et al.*, 2019; Verediano *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2019). Se exploran y discuten los mercados potenciales para nuevos productos del yacón y se revisan los fundamentos científicos de los usos antiguos y nuevos (Gusso *et al.*, 2015). Se resumen evidencias sobre los probables efectos en prevención y tratamiento del cáncer al colon, diabetes y colesterol alto (Caetano *et al.*, 2016; Carolo dos Santos *et al.*, 2016).

El yacón concentra la atención de muchos investigadores de varios países como un alimento nuevo, con perspectivas en el mercado alimentario, cuya base de seguridad está en los miles de años de uso en las poblaciones andinas, corroboradas por los hallazgos científicos de Grau y Rea (1997), Saees *et al.* (2019), Seminario *et al.* (2003), Yan *et al.* (2019). Esta perspectiva ha conducido a numerosas investigaciones agronómicas y una línea principal de estudio es la relacionada con el rendimiento de raíces. Sin embargo, la mayoría de investigaciones se han realizado fuera de los Andes (Carvalho *et al.*, 2021; Kamp *et al.*, 2019a, 2019b, 2019c; Lebeda *et al.*, 2011). Por este motivo, es necesario ahondar las investigaciones en los países andinos y de modo particular en el Perú, donde existe abundante material genético y las condiciones ecológicas para su producción son las mejores (Polanco Puerta y García, 2013; Seminario *et al.*, 2004; Tapia *et al.*, 2004).

En el periodo 2015-2019, en el Perú, se sembraron 480 hectáreas de yacón año⁻¹, con una producción aproximada de 10 mil toneladas año⁻¹ y rendimientos promedio de 20 t ha⁻¹ (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2020). Parte de esta producción se exportó como harina, jarabe, jugo, extracto, hojuelas y como fruta fresca orgánica, por un valor de USD 1,9 millones (Asociación de Exportadores [ADEX], 2018). Los rendimientos en parcelas de agricultores son bajos, en comparación con los rendimientos experimentales (Kamp *et al.*, 2019b; Lebeda *et al.*, 2011). Por lo que, es necesario estudiar la capacidad productiva de los cultivares tradicionales y seleccionar los de mejores características para el mejoramiento agronómico y genético.

Con los antecedentes mencionados, en la presente investigación se probaron ocho cultivares de yacón del norte peruano, con respecto a producción de raíces frescas y variables vinculadas con el rendimiento de raíces (número y peso total de raíces, número y peso fresco de raíces comerciales, peso fresco de la corona, peso fresco del follaje, altura de planta, número de tallos y área foliar al momento de plena floración); así como la producción de materia seca y el índice de cosecha.

2. Materiales y métodos

2.1. Establecimiento del experimento

La investigación se realizó de agosto del 2018 a junio del 2019 en los terrenos del Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, distrito, provincia y departamento de Cajamarca (9208535N, 774450E, 2.650 m s.n.m., 650 mm de precipitación promedio anual, 14 °C de temperatura media diaria y 65 % de humedad relativa). De acuerdo con el análisis de suelos realizado en la Estación Experimental Baños del Inca [EEBI] del Instituto Nacional de Investigación Agraria [INIA]-Cajamarca (2019), el suelo tiene un pH neutro (7), es bajo en fósforo (2,86 ppm), medio en potasio (230 ppm) y bajo en materia orgánica (2 %).

Las condiciones meteorológicas (Tabla 1) fueron favorables para el cultivo. Sin embargo, se presentaron bajas temperaturas del 1 al 6 de diciembre de 2018, con valores de -1,3 °C a -3,4 °C, que causaron daños considerables a las plantas.

Tabla 1. Valores de las variables meteorológicas durante los meses del experimento.
Table 1. Values of the meteorological variables during the months of the experiment.

Variable	2018					2019					
	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.
Precipitación mensual (mm)	0,01	24,4	61,8	97,4	69,4	46,9	107,3	172,7	78,1	37,4	9,1
Temperatura promedio (°C)	14,5	14,7	15,5	15,9	14,9	15,9	16,7	16,3	15,7	15,0	14,8
Temperatura máxima (°C)	21,9	22,7	22,2	22,0	21,6	22,0	21,8	21,2	21,7	21,8	22,2
Temperatura mínima (°C)	7,0	6,6	8,8	9,8	8,2	9,8	11,5	11,4	9,7	8,2	7,3
Humedad relativa (%)	55,0	56,0	61,0	66,0	60,0	62,0	68,0	68,0	67,0	66,0	57,0
Horas sol (h)	7,6	6,9	4,5	5,6	5,7	4,9	4,1	3,4	5,3	6,3	57,0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2019).

Las variables en estudio fueron ocho cultivares, que a la vez constituyeron ocho tratamientos, identificados con los números I al VIII. Estos cultivares proceden del Programa de Raíces y Tubérculos Andinos de la Universidad Nacional de Cajamarca. Se empleó el diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones (bloques). La siembra se efectuó el 20 agosto del 2018. Se sembraron dos surcos de cada cultivar, con siete plantas cada uno, a 0,5 m entre plantas y 1,0 m entre surcos (20.000 plantas ha⁻¹). Se aplicó 300 g de humus de lombriz planta⁻¹ (6 t ha⁻¹). Se realizaron dos deshierbos (2,5 meses y 5 meses, después de la siembra), luego, la cobertura foliar impidió el crecimiento de arvenses. Durante la época de estiaje (jun.-oct.) se realizaron riegos ligeros por gravedad, dos veces por semana; luego ya no fue necesario regar, por la presencia de las lluvias. El cultivo no tuvo problemas fitosanitarios por lo que no fue necesario aplicar ningún control. Se cosechó de forma manual, 10 meses después de la siembra.

2.2. Evaluaciones

Las variables respuesta principales evaluadas fueron peso de raíces frescas y peso de la materia seca. También se evaluaron otras variables como se detalla a continuación: En la etapa de plena floración, en cinco plantas por repetición, tomadas al azar, descartando las de los extremos, se evaluó altura de planta (cm), número de tallos y área foliar (AF, dm²). El AF se determinó tomando 30 hojas de cada tratamiento (cultivar), incluyendo hojas del estrato basal, intermedio y apical. Se midió el ancho mayor y el largo de cada lámina y se aplicó la ecuación $A = 0,4167 (L \times W) + 17,284$, obtenida por Seminario-Cunya *et al.* (2016), como ecuación general para el yacón. De esta forma, se obtuvo el área promedio (dm²) de la lámina para cada cultivar. Esta área multiplicada por el número promedio de hojas permitió determinar el área foliar total de cada cultivar en ese estado fenológico.

El índice de área foliar (IAF) se obtuvo aplicando la fórmula de Hunt (1990), ecuación [1]:

$$IAF = \frac{\text{área foliar de la planta}}{\text{área que ocupa la planta}}$$

En la cosecha, en cinco plantas de cada repetición, tomadas al azar, se evaluó el número total y el peso total (g) de raíces tuberosas; el número y peso (g) de raíces comerciales (≥ 150 g). También se tomó el peso del follaje y de corona. El rendimiento total de raíces frescas por hectárea se calculó aplicando la fórmula de Hay y Walker (1989), ecuación [2]:

$$\text{Rendimiento de raíces frescas por hectárea (kg)} = \text{densidad de plantación} \times \text{número de raíces por planta} \times \text{peso promedio de cada raíz (kg)}$$

El porcentaje de materia seca (MS) de raíces, follaje y corona se obtuvo tomando dos plantas de cada cultivar, se separaron los órganos y se seccionaron en fragmentos de 2 cm aproximadamente, se mezclaron y se tomó una muestra de 100 g, con dos repeticiones. Esta muestra se colocó en estufa a 105 °C, durante 48 horas (peso constante). El valor fue obtenido mediante la ecuación [3]:

$$MS (\%) = \left(\frac{\text{Peso seco}}{\text{Peso fresco}} \right) \times 100$$

El porcentaje de materia seca de la raíz, corona y follaje, se aplicó a la materia fresca total de cada una de estas partes, de cada planta y de cada tratamiento, para obtener la materia seca total por planta y por hectárea. Los valores de la materia seca de las partes, en cada planta, constituyeron la asignación de la materia seca, en momento de la cosecha. El índice de cosecha (IC) fue calculado con la fórmula de Gardner *et al.* (1985), ecuación [4]:

$$IC = \frac{\text{Peso seco de parte cosechable}}{\text{Peso seco total de la planta}}$$

El efecto de las bajas temperaturas registradas del 1 al 6 de diciembre del 2018 (120 días después de la plantación, y cuando las plantas tenían 22 cm de altura, en promedio), con valores de -1,9; -3,4; -2,5; -2,5; -2,1; -1,3 °C, respectivamente, se evaluó al azar, en cinco plantas de cada tratamiento, con la siguiente escala en grados: 0: planta sin daño, 1: hojas apicales parcialmente dañadas, 2: hojas apicales e intermedias dañadas, 3: hojas apicales e intermedias y tallos dañados, y 4: hojas y tallos dañados en toda la planta.

2.3. Análisis de datos

Los datos fueron procesados en el software Infostat-2017. Para cada variable, se efectuó el análisis de varianza (ANOVA), para conocer las diferencias estadísticas entre cultivares. En los casos en los cuales el ANOVA indicó diferencia estadística entre cultivares, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey al 5 % de probabilidades, para establecer qué cultivares son superiores en la variable en estudio. Los datos referidos a conteo (número de raíces y de tallos) y porcentajes, fueron previamente transformados con $Y = \sqrt{X}$ y $Y = \sqrt{X+1}$, para tener la seguridad de que se ajustan a la distribución normal. Catorce variables relacionadas con el rendimiento se analizaron mediante correlación simple buscando determinar la asociación entre variables e indagar sobre las probables relaciones alométricas a tomar en cuenta en otros estudios.

3. Resultados

3.1. Peso de raíces (frescas) y variables relacionadas

El ANOVA (Tabla 2) manifestó la existencia de una diferencia altamente significativa entre cultivares ($p \leq 0,01$) en el peso total de raíces (PTR), peso de raíces comerciales (PRC), número total de raíces (NTR), número de raíces comerciales (NRC), peso del follaje a la cosecha (PF), altura de planta (AP), número de tallos (NT), número de pares de hojas y área foliar en plena floración (AF); y diferencia estadística entre cultivares ($p \leq 0,05$), respecto al peso de la corona (kg).

Considerando que todos los cultivares estuvieron expuestos a las mismas condiciones ecológicas y de manejo, la diferencia en las variables en estudio refleja su variabilidad genética, que puede ser útil para seleccionar los mejores cultivares para un programa de mejoramiento. Los coeficientes de variación alcanzaron valores de 6,88 % a 23,72 % y explicarían la variación existente entre las características en estudio.

Tabla 2. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el peso de raíces (kg planta⁻¹) y variables relacionadas, de ocho cultivares de yacón del norte peruano.

Table 2. Mean squares and significance of the ANOVA for root weight (kg plant⁻¹) and related variables, of eight yacón cultivars from northern Peru.

FV	GL	PTR	PRC	NTR	NRC	PC	PF	AP	NT	NPH	AF	IAF
Repeticiones	2	0,0007	0,07	0,1	0,33**	0,33	0,01	262,17	0,13**	2,17*	3.917,38*	1,56**
Cultivares	7	1,5**	0,71**	1,28**	0,31**	0,94*	0,07**	1614,09**	0,14**	11,64**	13.179,16**	5,26**
Error	14	0,11	0,07	0,2	0,05	0,23	0,01	73,5	0,03	0,38	607,26	0,24
CV (%)		16,3	19,66	11,33	8,97	23,72	15,18	6,94	6,88	7,9	14,61	14,61

FV: Fuentes de variación; GL: Grados de libertad; *: Significativo; **: Altamente significativo. PTR: Peso total de raíces; PRC: Peso de raíces comerciales; NTR: Número total de raíces; NRC: Número de raíces comerciales; PC: Peso de corona; PF: Peso del follaje; AP: Altura de planta; NT: Número de tallos; NPH: número de pares de hojas en plena floración; AF: Área foliar en plena floración; e IAF = índice de área foliar en plena floración. Los datos de NTR, NRC y NT fueron transformados mediante $Y = \sqrt{X}$ y $Y = \sqrt{(X+1)}$; antes del análisis.

El cultivar IV sobresalió en peso total de raíces (PTR) y peso de raíces comerciales (PRC) con 2,97 kg y 1,86 kg (Tabla 3), superando estadísticamente al resto. El rendimiento promedio para los ocho cultivares fue de 40,6 t ha⁻¹, con un mínimo de 15,1 t ha⁻¹ y un máximo de 59,4 t ha⁻¹.

El grupo formado por los cultivares VIII, V, IV, II y I, fue estadísticamente superior, en peso de raíces comerciales, a los cultivares III y VII (Tabla 3). Este carácter es importante, porque los cultivares que tienen mayor rendimiento total de raíces, no necesariamente tienen los más altos rendimientos en raíces comerciales ($\geq 150,0$ g). El rendimiento promedio de raíces comerciales fue 1,34 kg planta⁻¹ (mínimo: 0,46 kg planta⁻¹, cultivar VII. Máximo: 1,97 kg planta⁻¹, cultivar VIII) y significó en promedio 66 % del peso total de raíces por planta (mínimo: 54,0 %, máximo: 73,7 %) y permite seleccionar los mejores cultivares para este carácter. Seminario y Valderrama (2006), en un ensayo con tres tipos de propágulo, observaron que la proporción de raíces comerciales varió de 58 % a 85 %, con promedio de 71 %.

Los cultivares I, II y IV fueron superiores al resto, en número total de raíces (NTR), sin diferencia estadística entre ellos. Los cultivares I, II, IV y VIII destacaron en número de raíces comerciales (NRC): entre 6,07 a 6,73 raíces, pero no mostraron diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 3). La prueba de rango múltiple indicó que el grupo formado por los cultivares I, II, III, IV y VIII fue superior a los cultivares V, VI y VII, en número de raíces comerciales por planta (Tabla 3). El número promedio de las raíces comerciales representa 34 % del total de raíces por planta (mínimo: 28 %, cultivar II. Máximo: 42 %, cultivar VIII). Esta variación posibilitaría seleccionar los mejores cultivares para la producción de raíces comerciales. También se comprobó que el mayor número de raíces comerciales no corresponde al mayor número total de raíces.

En peso de corona (PC) sobresalieron los cultivares I, IV y VIII con promedios de 29 kg a 2,74 kg, no mostraron diferencias estadísticas entre ellos, pero superaron al resto. El cultivar VIII fue superior al resto en peso de la corona (Tabla 3). En general, el peso de la corona significó 45 % \pm 5 % del peso fresco total de la planta y varió de 38 % (cultivares III y IV) a 52 % (cultivar VII), es decir, el peso de la corona resultó superior al peso de las raíces, con diferencias entre cultivares. En peso de follaje al momento de la cosecha, destacaron los cultivares I, IV y V con promedios de 0,58 kg a 0,73 kg, superando estadísticamente al resto (Tabla 3).

Los cultivares I, IV, V y VI destacaron en altura de planta (AP) (138,7 cm a 143,7 cm), superando estadísticamente al resto (Tabla 3). La altura promedio fue de 123,5 cm \pm 23,2 cm.

Seis cultivares (I al VI) destacaron en número de tallos (4-6 tallos), sin diferencias estadísticas entre ellos y fueron superiores a los cultivares VII y VIII (Tabla 3). El promedio fue de 5 tallos por planta, con un rango de 3 a 6 tallos por planta. Esta es una variable poco tomada en cuenta por los investigadores, sin embargo, es importante porque es influenciada por la densidad de plantación y por el cultivar y, a la vez, afecta el número y tamaño de las hojas, por consiguiente, el área foliar y la productividad.

Los cultivares V, IV y I fueron similares en número de pares de hojas en plena floración (NPH) y superiores al resto de cultivares. Este valor está influenciado por el número de pares de hojas por tallo que, en este experimento, varió de 11 a 21 (Tabla 3). Seminario *et al.* (2003) en tres cultivares de Cajamarca, registraron de 13 a 16 pares de hojas por tallo. El cultivar V sobresalió en área foliar –AF– (288,21 dm²), superando estadísticamente al resto (Tabla 3). El promedio para todos los cultivares fue de 168,6 dm² \pm 66,0 dm², que representa aproximadamente 35 % del área foliar total, considerando que una planta de yacón en todo su ciclo produce en promedio 586,0 dm² (Seminario *et al.*, 2003). Estos valores representan el área foliar verde en el momento de

la máxima expresión, pero no toman en cuenta toda el área foliar formada en el ciclo, parte de la cual se hace senescente, cae y se desintegra. Sin embargo, es un indicador indirecto de la capacidad fotosintética que permite explicar la productividad. El cultivar V (de mayor área foliar y mayor número de tallos), está dentro del grupo de los de más alto rendimiento de raíces frescas, y los cultivares VI y VIII, que tienen el menor rendimiento, son los que tienen el menor número de tallos y la menor área foliar por planta. El índice de área foliar (IAF) varió de 1,0 (cultivar VII) a 5,7 (cultivar V). El cultivar V (con la mayor área foliar y el mayor número de hojas) fue estadísticamente superior en IAF, a los demás y el grupo formado por los cultivares III, I, IV, VI y II fueron similares, pero superiores a los cultivares VIII y VII, que mostraron los menores valores de IAF.

Tabla 3. Comparación de medias (Tukey) para el peso total de raíces (PTR) y peso de raíces comerciales (PRC) y, variables relacionadas, de ocho cultivares de yacón del norte peruano.

Table 3. Comparison of means (Tukey) for total root weight (PTR) and commercial root weight (PRC), and related variables, of eight yacón cultivars from northern Peru.

Variables	Cultivares*							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
PTR (kg)	2,03 ^{abc}	2,45 ^{ab}	1,46 ^{cd}	2,97 ^a	1,76 ^{bc}	2,14 ^{abc}	0,75 ^d	2,67 ^{ab}
PRC (kg)	1,42 ^{abc}	1,61 ^{abc}	1,03 ^{cd}	1,86 ^{ab}	1,24 ^{abc}	1,15 ^{bcd}	0,46 ^d	1,97 ^a
NTR	21,07 ^a	21,53 ^a	12,27 ^{ab}	21,47 ^a	13,87 ^{ab}	14,87 ^{ab}	7,20 ^b	16,07 ^{ab}
NRC	6,40 ^a	6,07 ^a	5,13 ^a	7,40 ^a	4,47 ^{ab}	4,53 ^{ab}	2,40 ^b	6,73 ^a
PC (kg)	2,48 ^{ab}	2,08 ^{ab}	1,23 ^b	2,29 ^{ab}	2,22 ^{ab}	2,08 ^{ab}	1,17 ^b	2,74 ^a
PF (kg)	0,58 ^{ab}	0,53 ^{ab}	0,48 ^b	0,73 ^a	0,72 ^a	0,46 ^{bc}	0,25 ^c	0,43 ^{bc}
AP (cm)	138,7 ^{ab}	105,3 ^{cd}	98,0 ^{cd}	143,0 ^{ab}	148,0 ^a	143,7 ^{ab}	89,3 ^d	122,3 ^{bc}
NT	4,67 ^{ab}	5,33 ^{ab}	4,67 ^{ab}	5,00 ^{ab}	6,33 ^a	4,33 ^{ab}	3,33 ^b	3,33 ^b
NPH	101 ^{ab}	71 ^{bc}	52 ^{cd}	103 ^{ab}	135 ^a	89 ^b	32 ^d	53 ^{cd}
AF (dm ²)	184,49 ^{bc}	152,52 ^{bc}	195,31 ^b	176,97 ^{bc}	288,21 ^a	174,90 ^{bc}	54,86 ^d	121,97 ^{cd}
IAF	3,69 ^{bc}	3,05 ^{bc}	3,91 ^b	3,54 ^{bc}	5,76 ^a	3,50 ^{bc}	1,10 ^d	2,44 ^{cd}

* Promedios con la misma letra en cada variable (fila) son significativamente iguales (Tukey, $p = 0,05$).

PTR: Peso total de raíces; PRC: Peso de raíces comerciales; NTR: Número total de raíces; NRC: Número de raíces comerciales; PC: Peso de corona; PF: Peso del follaje; AP: Altura de planta; NT: Número de tallos; NPH: número de pares de hojas en plena floración; AF: Área foliar en plena floración; e IAF = índice de área foliar en plena floración.

3.2. Materia seca total y variables relacionadas

El ANOVA para materia seca total (MST), materia seca de raíz (MSR), materia seca de corona (MSC), materia seca de follaje (MSF) e índice de cosecha (IC) (Tabla 4), mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$). Los valores de los coeficientes de variación pasaron de 17,58 % a 10,21 %, considerados aceptables, excepto para el índice de cosecha (49,66 %). Este resultado indica que existe variabilidad genética entre los cultivares para las variables en estudio.

El grupo formado por los cultivares IV, I y V fue superior al resto en materia seca total (MST) (Tabla 5). La variación fue amplia, 371 g (VII) a 1.036 g (IV) y, el promedio para los ocho cultivares fue de 756 g \pm 225 g. Estos rendimientos equivalen a 4,8 t ha⁻¹ y 11,8 t ha⁻¹. Por otro lado, los cultivares IV, VIII y II fueron superiores en materia seca de raíces (MSR) —cuyo contenido promedio de MS fue de 11,24%— al resto de cultivares y a la vez, los cultivares I y VI fueron superiores a los cultivares V, III y VII (Tabla 5). El promedio fue de 229 g \pm 83,5 g y varió de 83,0 g (VII) a 349,8 g (IV). Estos valores corresponden a 0,9 t ha⁻¹ a 3,39 t ha⁻¹.

El contenido promedio de materia seca de la corona por planta fue de 20,5 % y se diferenciaron dos grupos, el primero formado por los cultivares I, IV, VI, V y II, estadísticamente superior al grupo formado por los cultivares VIII, III y VII (Tabla 5). Los valores corresponden a 4,8 t ha⁻¹ (242,1 g planta⁻¹) y 11,8 t ha⁻¹ (587,5 g planta⁻¹) y (8,2 t ha⁻¹, en promedio).

El contenido promedio de materia seca del follaje (MSF) fue de 21 %. Los cultivares IV, V, I y II fueron superiores al resto. Un segundo grupo formado por los cultivares VI, VIII y III, fue similar y superior al cultivar VII que tuvo el menor promedio (Tabla 5). Extrapolando, estos valores corresponden a 0,9 t ha⁻¹ y 3,4 t ha⁻¹ (2,4 t ha⁻¹ en promedio).

Tabla 4. Cuadrados medios y significación del ANOVA para MST, MSR, MSC, MSF e IC de ocho cultivares de yacón del norte peruano.
Table 4. Mean squares and significance of ANOVA for MST, MSR, MSC, MSF and IC of eight yacon cultivars from northern Peru.

FV	GL	MST	MSR	MSC	MSF	IC
Bloques	2	0,01	0,12	9021,63	479,52	55,3
Cultivares	7	0,15**	20.923,45**	46.531,59**	6.013,33**	577,13**
Error	14	0,01	1.032,29	4.867,82	428,26	113,18
CV (%)		10,21	14,04	17,04	17,58	49,66

MST: Materia seca total; MSR: Materia seca de la raíz; MSC: materia seca de corona; MSF: materia seca de follaje; IC: Índice de cosecha. Los datos de IC fueron transformados con $Y = \sqrt{X}$.

** altamente significativo.

Tabla 5. Comparación de medias (Tukey) para cinco variables relacionadas con la materia seca, en ocho cultivares de yacón del norte peruano.
Table 5. Comparison of means (Tukey) for five variables related to dry matter in eight yacon cultivars from northern Peru.

Variables	Cultivares*							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
MST(g)	980 ^{ab}	810 ^{bc}	500 ^d	1.036 ^a	820 ^{abc}	810 ^{bc}	371 ^d	730 ^c
MSR (g)	229,25 ^{bcd}	277,94 ^{abc}	161,87 ^{dc}	349,77 ^a	190,36 ^{cd}	243,22 ^{bcd}	83,15 ^e	295,09 ^{ab}
MSC (g)	587,5 ^a	406,94 ^{abc}	244,25 ^c	516,78 ^{ab}	462,47 ^{ab}	467,84 ^{ab}	242,12 ^c	347,52 ^{bc}
MSF (g)	163,12 ^a	121,43 ^{ab}	90,26 ^{bc}	169,16 ^a	164,26 ^a	97,36 ^{bc}	45,26 ^c	90,79 ^{bc}
IC (%)	23 ^b	34 ^{ab}	32 ^{ab}	34 ^{ab}	24 ^{ab}	30 ^{ab}	22 ^b	40 ^a

* Medias con la misma letra en cada variable (fila), son significativamente iguales (Tukey, $p = 0,05$).

MST: materia seca total; MSR: materia seca de las raíces; MSC: materia seca de la corona; MSF: materia seca del follaje; IC: índice de cosecha.

3.3. Partición de la materia seca a las tres partes de la planta e índice de cosecha (IC)

En los ocho cultivares, la mayor parte de la materia seca se asignó a la corona (47 % a 65 %). En segundo lugar, a las raíces (22 % a 40 %) y el resto, al follaje (Figuras 1 y 2). El cultivar VIII presentó un IC de 40 % y fue estadísticamente superior al resto. Un grupo intermedio estuvo formado por los cultivares II, III, IV, V y VI y; un tercer grupo (I y VII) inferior a los demás (Tabla 5).

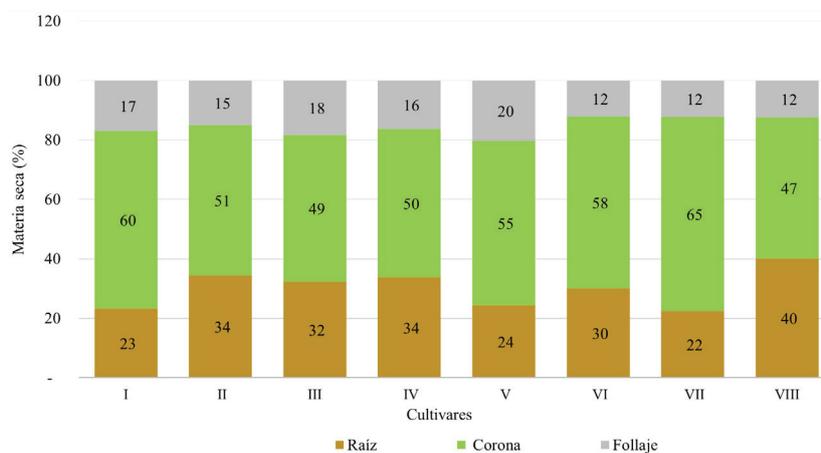


Figura 1. Partición de la materia seca a las tres partes de la planta, en ocho cultivares de yacón del norte peruano.
Figure 1. Partition of the dry matter to the three parts of the plant, in eight cultivars of yacon from the north of Peru.

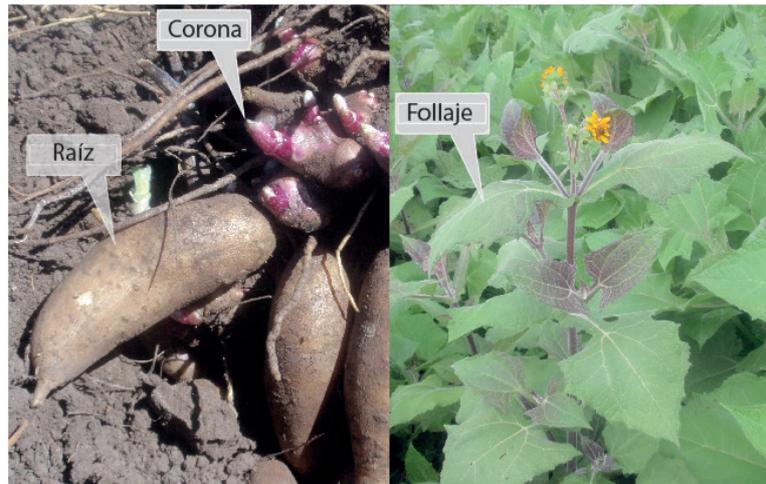


Figura 2. Partes de la planta según partición de materia seca (raíz, corona y follaje).
Figure 2. Plant parts according to dry matter partition (root, crown and foliage).

3.4. Efecto de las bajas temperaturas

Esta fue una evaluación complementaria, no prevista en el estudio. Todos los cultivares mostraron daño promedio de grado 3, sin diferencia estadística significativa entre ellos. Es decir, el daño fue severo y la recuperación de las plantas por rebrote y restitución del área foliar, hasta el nivel en el que sucedió el daño, demoró 30 días aproximadamente. Esto significó un retraso en el crecimiento de los cultivares y probablemente el efecto principal se expresó en el peso total de raíces y el peso de raíces comerciales, que fueron relativamente bajos, comparados con las de investigaciones ya citadas. Otro efecto se manifestó en la mayor asignación de MS a la corona y no a la raíz. Es decir, frente a esta condición de estrés, la planta fortaleció su sistema de reservas (corona), que le permitió la sobrevivencia y recuperación, en desmedro del crecimiento de raíces.

3.5. Correlación entre variables relacionadas con el rendimiento de raíces

La correlación estadística de las 14 variables evaluadas en los ocho cultivares (Tabla 6) indica estrecha relación entre variables directamente relacionadas con el rendimiento como son el PTR y el NTR, que son componentes básicos del rendimiento (juntamente con la densidad de población), según lo establecido por Hay y Walker (1989). Otras correlaciones relevantes fueron PTR con PRC, NRC y MSR. El peso de raíces comerciales (PRC) correlacionó con NRC; la MST correlacionó con NTR; la MSR con NTR y NRC; la MSF con PF y la MST con MSC.

4. Discusión

Los pesos de raíces por planta obtenidos en el experimento están en el rango de los rendimientos reportados en otros estudios; los cuales son altamente versátiles y se explican, porque son expresión de las variables en estudio: cultivares, densidad, época de plantación, fertilización, altitud de plantación (m s.n.m.), entre otras. Así, en estudios previos, Seminario y Cruzado (2004) en tres cultivares de yacón, plantados en el valle de Condebamba (2.020 m s.n.m., 20 °C de temperatura promedio y con 18.518 planta ha⁻¹), encontraron rendimientos de 3,5 kg a 4,8 kg planta⁻¹, con promedio de 4,3 kg planta⁻¹. Douglas *et al.* (2005) obtuvieron pesos de raíces de 2,0 kg a 6,0 kg planta⁻¹, variando el peso del propágulo entre 50,0 g y 500,0 g. Douglas *et al.* (2007) obtuvieron pesos de raíces por planta de 88,0 g a 3.375,0 g, en tres fechas de plantación y cuatro lugares. Por su parte, Tokita *et al.* (2015) en Japón, reportaron rendimientos de 1,06 kg a 2,05 kg planta⁻¹ con densidad de 12.500 planta ha⁻¹ y; Kamp *et al.* (2019a) al suroeste de Alemania en siembras de 1,14 m x 0,70 m, encontraron rendimientos de 1,42 kg y 2,37 kg planta⁻¹. En el presente experimento, los valores extremos (inferior, cultivar VII y superior, cultivar IV) corresponden a cultivares procedentes de la misma zona ecológica (Yunga fluvial de San Ignacio y Cajamarca), lo que podría explicar que estos rendimientos están influenciados principalmente por el genotipo. También se resalta que el peso de las raíces comerciales significó 65% del peso total de raíces. Este aspecto no es reportado y no puede establecerse comparaciones, a pesar de su importancia agronómica y comercial.

Tabla 6. Matriz de correlación simple de 14 variables relacionadas con el rendimiento en ocho cultivares de yacón del norte peruano.
Table 6. Simple correlation matrix of 14 variables related to yield in eight yacón cultivars from northern Peru.

Variables	PTR	PRC	NTR	NRC	PC	PF	AP	NT	AF	MST	MSR	MSC	MSF	IC
PTR	1													
PRC	0,971**	1												
NTR	0,835**	0,796*	1											
NRC	0,903**	0,929**	0,882**	1										
PC	0,789*	0,832*	0,718*	0,717*	1									
PF	0,468	0,399	0,589	0,510	0,431	1								
AP	0,529	0,470	0,489	0,423	0,725*	0,765*	1							
NT	0,171	0,135	0,641	0,416	0,192	0,613	0,290	1						
AF	0,207	0,174	0,285	0,244	0,273	0,847**	0,652	0,529	1					
MST	0,790*	0,732*	0,884**	0,764*	0,822*	0,777*	0,830*	0,546	0,486	1				
MSR	0,996**	0,952**	0,849**	0,900**	0,775*	0,481	0,547	0,197	0,191	0,813*	1			
MSC	0,557	0,493	0,759*	0,547	0,744*	0,740*	0,857**	0,473	0,485	0,943**	0,591	1		
MSF	0,562	0,529	0,746*	0,634	0,614	0,950**	0,765*	0,762*	0,737*	0,882**	0,571	0,851**	1	
IC	0,715*	0,738*	0,362	0,627	0,343	-0,095	-0,058	-0,201	0,129	0,153	0,683	-0,154	-0,076	1

(**) altamente significativo ($p \leq 0,01$), (*) significativo ($p \leq 0,05$).

Las abreviaturas son las mismas que en las tablas anteriores.

El rendimiento de raíces frescas por hectárea fue semejante al obtenido en el Perú y en otros países, con promedio de 20 t ha⁻¹ y el máximo alrededor de 50 t ha⁻¹ (Balladares Oña y Trávez Castellano, 2009; Carvalho *et al.*, 2021; Doo *et al.*, 2002; Douglas *et al.*, 2007; Ferreira Pedrosa *et al.*, 2020a, 2020b; Kamp *et al.*, 2019a; Silva *et al.*, 2018, 2019). En condiciones experimentales, el yacón muestra alta plasticidad en el rendimiento; así, haciendo variar la fecha de siembra y el lugar, puede producir entre 1,6 t ha⁻¹ y 90,0 t ha⁻¹, con promedio de 35,5 t ha⁻¹ (Douglas *et al.*, 2007). Lebeda *et al.* (2011) realizaron un resumen de los rendimientos experimentales registrados desde 1940 hasta 2003 y encontraron que éstos variaron de 8,0 t ha⁻¹ a 107,0 t ha⁻¹. Estos autores también determinaron que los rangos de los rendimientos experimentales obtenidos fuera de los Andes (8,0 t ha⁻¹ a 86,0 t ha⁻¹) y dentro de los Andes (7,0 t ha⁻¹ a 111,0 t ha⁻¹) son similares. Es decir, la brecha entre el máximo rendimiento encontrado experimentalmente (111,0 t ha⁻¹), los promedios reportados en campos de agricultores -20 t ha⁻¹- (MINAGRI, 2020) y los promedios en la mayoría de experimentos es amplia (Lebeda *et al.*, 2011) y se requiere seleccionar los mejores cultivares o genotipos, encontrar las mejores condiciones ecológicas y las prácticas de manejo más eficientes, para acortar esta brecha.

El rango (7-21) de número total de raíces por planta (NTR) fue más amplio que en otros experimentos. Así, Douglas *et al.* (2007) ensayando con tres fechas de siembra, en cuatro lugares y a una densidad poblacional de 26.667 planta ha⁻¹, encontraron de 3 a 16 raíces por planta. Tokita *et al.* (2015) trabajando con densidades de 12.500 planta ha⁻¹ obtuvieron 7,8 raíces planta⁻¹. Por otro lado, el número de raíces comerciales en promedio significó 65 % del total de raíces. Esta característica debe ser motivo de estudios específicos, porque se relaciona directamente con el rendimiento comercial.

El peso de la corona varió dentro de los rangos reportados en otras investigaciones. Así, en Cajamarca se encontró que el peso de la corona varía de 1,70 kg a 2,30 kg planta⁻¹ y se explica por el tipo de cultivar y por el tipo de propágulo (nudo, esqueje y porción de corona) (Seminario y Cruzado, 2004; Seminario y Valderrama, 2006). Douglas *et al.* (2007) encontraron que el peso de la corona varió de 0,056 kg a 1,731 kg planta⁻¹, según la fecha y el lugar de siembra. Por su parte, Kamp *et al.* (2019a) hallaron peso de corona de 0,561 kg a 0,871 kg, aunque sin diferencias significativas entre años de siembra (2016 y 2017) y tipo de propágulo (plántulas extraídas después del brotado de la planta madre, precultivada; plántulas originadas de piezas de rizoma precultivadas; y piezas de corona plantadas directamente en el campo). Considerando que la corona no es cosechable y que su peso está relacionado con el peso total de la planta y particularmente con el peso de la raíz, es más importante conocer su

proporción, con relación al peso total. En el presente experimento se encontró que el peso fresco de las coronas, en algunos tratamientos (I, II, V, VII, VIII), fue superior al peso de las raíces y en promedio fueron iguales. Este resultado se explica porque todas las plantas de los tratamientos fueron afectadas severamente por bajas temperaturas a los 120 días después de la siembra (como se describió en materiales y métodos), etapa en la que las plantas deberían estar en crecimiento acelerado y en el inicio del llenado de las raíces tuberosas (Fernández *et al.*, 2007).

Los valores de altura de planta se ubicaron dentro de lo obtenido en otras investigaciones. Así, Doo *et al.* (2001) registraron alturas de 1,3 m a 1,7 m. Oliveira y Nishimoto (2004), encontraron alturas de 0,71 m a 1,42 m, sembrando 16.667 planta ha⁻¹. Polanco Puerta y García (2013) en Colombia, en 10 colectas de yacón determinaron alturas de 1,1 m a 1,57 m, con promedio de 1,4 m. Silva *et al.* (2019) observaron alturas de 0,9 m a 2,0 m y, atribuyen las variaciones a la altitud del lugar y la estación de plantación. En siembras a 113 m s. n. m. la altura de planta tuvo mayor variación (0,9 m a 2,0 m) que a 837 m s. n. m. (1,4 m a 1,7 m). Las mayores alturas de planta (1,7 m a 2,0 m) se registraron en siembras de otoño y las menores (0,9 m a 1,4 m) en siembras de primavera.

El peso del follaje al momento de la cosecha fue inferior al peso encontrado en la mayoría de investigaciones. Así, Seminario y Cruzado (2004) en tres cultivares determinaron pesos de follaje de 1,5 kg a 4,0 kg planta⁻¹ (promedio 2,3 kg planta⁻¹). Douglas *et al.* (2005) haciendo variar el peso del propágulo (0,50 kg a 0,5 kg) encontraron pesos de 2 kg a 4 kg planta⁻¹. Seminario y Valderrama (2006) en tres cultivares y tres tipos de propágulo, determinaron que el peso del follaje varió de 0,15 kg a 0,31 kg planta⁻¹. Doo *et al.* (2001) obtuvieron pesos de vástago de 1,57 kg a 1,95 kg planta⁻¹. Doo *et al.* (2002), en plantas provenientes de cinco tipos de propágulo alcanzaron pesos de follaje a la cosecha de 1,43 kg a 1,86 kg planta⁻¹. Las variaciones se explican por la diferente respuesta de los cultivares usados y por el momento de cosecha. Cosechas tardías mostrarán pesos de follaje bajos y viceversa.

El promedio de 5 tallos por planta registrado en este experimento es cercano al reportado en otros experimentos en la región de Cajamarca. Así, Seminario y Cruzado (2004) en tres cultivares sembrados registraron de 4 a 13 tallos (siembra 0,9 m x 0,6 m) y en otro experimento (siembra 0,9 m x 0,6 m) se encontró de 3 a 7 tallos por planta (Seminario y Valderrama, 2006). Esta característica está afectada por otros factores. Por ejemplo, Douglas *et al.* (2005) encontraron de 2 a 20 tallos por planta usando propágulos de 50,0 g a 500,0 g. Seminario *et al.* (2003) reportan de 4 a 12 tallos por planta a la densidad de 18.518 planta ha⁻¹.

Los valores del índice de área foliar (IAF) corresponden a los observados en especies agrícolas y por haberse evaluado en el momento de exposición de la máxima área foliar, ésta permitiría captar aproximadamente, 90 % a 95 % de la radiación incidente (Hay y Walker, 1989). Silva *et al.* (2019) en un ensayo con yacón en tres estaciones y dos lugares de plantación observaron IAF entre 1,8 y 3,1 y los mejores valores se obtuvieron en plantaciones a mayor altitud y en otoño. Por otro lado, según los valores de área foliar, los cultivares V y III, son promisorios para la producción de hoja y deberían probarse para este propósito.

La producción de materia seca en las raíces (0,9 t ha⁻¹ a 3,39 t ha⁻¹) resultó más bajo que los máximos valores encontrados por otros autores. Así, Silva *et al.* (2019) registraron variaciones entre 0,43 t ha⁻¹ y 9,29 t ha⁻¹ en materia seca de raíces. Estas variaciones se explican por la altitud y la estación de siembra. Douglas *et al.* (2007) obtuvieron 0,16 t ha⁻¹ a 8,13 t ha⁻¹ de materia seca en raíces por hectárea, con un contenido promedio entre 8,5 % y 13,2 % de MS. Kamp *et al.* (2019b) en un estudio sobre el impacto de la fertilización nitrogenada en dos años de siembra, sobre el rendimiento y los azúcares del yacón, encontraron rendimientos de MS de 1,95 t ha⁻¹ a 11,4 t ha⁻¹, con promedio de 5,3 t ha⁻¹. Las variaciones se explican por la dosis de N y por el año de siembra. Kamp *et al.* (2019c) encontraron rendimientos de MS en raíces de 0,88 t ha⁻¹ a 7,59 t ha⁻¹ con promedio de 2,83 t ha⁻¹. Las variaciones se explican por los nueve genotipos en estudio y los dos años de siembra.

La materia seca de la corona ha recibido poca atención por parte de los investigadores. Las investigaciones no reportan esta variable. Sin embargo, la productividad de raíces (parte cosechable) está afectada por la proporción de materia en los otros órganos de la planta. Esto es más evidente en plantas como yacón que han evolucionado en ambientes frecuentemente estresados, cuya respuesta ha sido desarrollar órganos de propagación y acumular reservas para la sobrevivencia (Hartmann *et al.*, 2014). Sin embargo, productivamente esta fracción de materia seca resulta contraproducente, de modo que se debe buscar una mayor proporción en las raíces.

El rendimiento de materia seca del follaje (mínimo: 0,9 t ha⁻¹ y máximo: 3,4 t ha⁻¹ y 2,4 t ha⁻¹ en promedio) fue cercano a los valores encontrados por Kamp *et al.* (2019a) utilizando tres métodos de propagación: 2,0 t ha⁻¹ a 3,4 t ha⁻¹.

La asignación de materia seca a los órganos fue preponderante hacia la corona. En otros experimentos, en la misma región, la mayor parte de la materia se asignó a las raíces tuberosas (Seminario y Cruzado, 2004; Seminario y Valderrama, 2006) y esta es la condición que se espera en los sistemas productivos: que la mayor parte de la materia seca se asigne a la parte cosechable (Hay y Walker, 1989). Este resultado se explica porque las plantas fueron afectadas por bajas temperaturas y, si bien las raíces y la corona tuvieron el mismo peso

fresco promedio, el contenido de materia seca en la corona (21,18 %) fue superior al de la raíz (11,4 %). En el mismo sentido, el índice de cosecha (IC) promedio para todos los cultivares fue inferior a los valores encontrados en investigaciones previas en la región. Así, el estudio de Seminario y Cruzado (2004) en tres cultivares, sembrados a 0,9 m x 0,6 m, indicó que el IC varió de 37 % a 43 %. En otra investigación en donde se evaluó la producción de yacón con tres tipos de propágulo, el IC varió de 51 % a 67 % y los tratamientos con esqueje y nudo mostraron IC más altos, que los tratamientos con porciones de corona (Seminario-Cunya *et al.*, 2016). También, de los datos de Teixeira *et al.* (2020) se deduce que el IC para el yacón asociado con café, varió de 37 % a 51 % (42 % en promedio). Los bajos valores de IC obtenidos en esta investigación se explican por el efecto de las bajas temperaturas que causaron daño severo a las plantas.

En una condición normal, la asignación de materia seca al órgano motivo de cosecha (raíz) es mayor que la asignación a los otros órganos de la planta y es la condición que se espera en los sistemas productivos (Hay & Walker, 1989). Sin embargo, bajo una condición de estrés, como la ocurrida en la presente investigación, la planta debe dedicar buena parte de la materia seca a reponer la masa foliar y a fortalecer el sistema de reservas; en este caso, a la corona.

La alta asociación entre 16 pares de variables (de 256 en total) indica que existen relaciones alométricas que pueden ser usadas para estimar el valor de algunas variables conociendo el valor de otras (Gardner *et al.*, 1985); sin embargo, es necesario corroborar estas relaciones en otros experimentos. Así, por ejemplo, Douglas *et al.* (2005) encontraron correlación positiva entre NTR y PTR y; entre NT y NTR. Estas comprobaciones serían útiles para estudios sobre productividad con diversas condiciones y factores de manejo.

5. Conclusiones

Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas entre cultivares, para 16 variables relacionadas con el rendimiento y se identificaron los mejores cultivares según la vocación de uso: seis para peso total de raíces; cinco para peso de raíces comerciales; tres para materia seca de raíces comerciales y uno para área foliar e IAF. La asignación o partición de la materia seca fue principalmente hacia la corona (47 % a 65 %) y expresó la respuesta de las plantas a las bajas temperaturas. El índice de cosecha promedio fue de 30 % (rango de 22 % a 40 %). Dieciséis correlaciones simples entre las variables en estudio resultaron altamente significativas ($p \leq 0,01$). El germoplasma mostró alto potencial para su uso en el mejoramiento de la productividad y se recomienda su inclusión en ensayos de respuesta a otros factores como densidad, fertilización, tipo de propágu- los, efecto de las bajas temperaturas y capacidad de recuperación, época de plantación y producción orgánica.

Agradecimientos

Esta investigación fue parte del proyecto Nutracéutico con alto contenido de fructoligosacáridos y compuestos fenólicos como coadyuvante en el tratamiento de la obesidad elaborado a partir de hercampuri (*Gentiana alborosea*) y yacón (*Smallanthus sonchifolius*), procedentes del departamento de Cajamarca; realizado en convenio entre la Universidad Nacional de Cajamarca y Representaciones Francar.

Financiamiento

El proyecto fue financiado por el Programa Nacional para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú), de acuerdo con el contrato 685-PIEC1-2017.

Contribuciones de los autores

- Silvia Yanina Rodríguez López: investigación, redacción borrador original.
- Alejandro Seminario Cunya: validación, revisión, redacción, visualización.
- Víctor Vásquez Arce: curación de datos, análisis formal.
- Juan F. Seminario: conceptualización, administración del proyecto, supervisión, validación, redacción, revisiones y edición.

Referencias

- Asociación de Exportadores [ADEX]. (2018). *Estados Unidos importó yacón peruano por \$ 1 millón 533 mil*. <https://www.adexperu.org.pe/notadeprensa/ee-uu-importo-yacon-peruano-por-us-1-millon-533-mil/>
- Balladares Oña, M. H., y Trávez Castellano, B. R. (2009). *Evaluación de seis morfotipos (ecu-1247, ecu-1251, ecu-9109, ecu-12767 del banco germoplasma del INIAP; Sanbuenaventura y Locoá) de Jícama (smallanthus sonchifolius poepp. & endl) con tres fertilizaciones de fondo en San José Pichul – Cotopaxi*. Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/929>
- Caetano, B. F. R., de Moura, N. A., Almeida, A. P. S., Dias, M. C., Sivieri, K., y Barbisan, L. F. (2016). Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as a Food Supplement: Health-Promoting Benefits of Fructooligosaccharides. *Nutrients*, 8(7), 436. <https://doi.org/10.3390/NU8070436>
- Cao, Y., Ma, Z. F., Zhang, H., Jin, Y., Zhang, Y., y Hayford, F. (2018). Phytochemical properties and nutrigenomic implications of yacon as a potential source of prebiotic: Current Evidence and Future Directions. *Foods*, 7(4), 59. <https://doi.org/10.3390/foods7040059>
- Carolo dos Santos, K., Guerra Bueno, B., Ferreira Pereira, L., Valentini Francisqueti, F., Gobbo Braz, M., Fernandes Bincoletto, L., Xavier da Silva, L., Lúcia Ferreira, A. A., Cláudia de Melo Stevanato Nakamune, A., Oliver Chen, C., Blumberg, J. B., y Renata Corrêa, C. (2017). Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leaf extract attenuates hyperglycemia and skeletal muscle oxidative stress and inflammation in diabetic rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2017, 6418048. <https://doi.org/10.1155/2017/6418048>
- Carvalho, A. H. de O., Pedrosa, J. L. F., Oliveira, F. L. de, Parajara, M. do C., Rocha, L. J. F. N. da, Lima, W. L. de, y Teixeira, A. das G. (2021). Developing row spacing and planting density recommendations for yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in tropical highland conditions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 81(2), 237-245. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000200237>
- Doo, H. S., Ryu, J. H., Lee, K. S., Choi, S. Y., Cheong, Y. K., y Park, K. H. (2002). Response of different seedlings to growth and yield in yacon. *Korean Journal of Crop Science*, 47(5), 356-360. http://ksci.kisti.re.kr/search/article/articleView.ksci?articleBean.atclMgmtNo=JMHHBK_2002_v47n5_356
- Doo, H. S., Ryu, J. H., Lee, K. S., y Choi, S. Y. (2001). Effect of plant density on growth responses and yield in yacon. *Korean Journal of Crop Science*, 46(5), 407-410. <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200111922228691.kr&sa=U>
- Douglas, J. A., Follett, J. M., Douglas, M. H., Deo, B., Scheffer, J. J. C., Littler, R. A., y Manley-Harris, M. (2007). Effect of environment and time of planting on the production and quality of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) storage roots. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural*, 35(1), 107-116. <https://doi.org/10.1080/01140670709510174>
- Douglas, J. A., Follett, J. M., y Waller, J. E. (2005). Effect of propagule weight on production of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 33(2), 143-148. <https://doi.org/10.1080/01140671.2005.9514343>
- Estación Experimental Baños del Inca [EEBI], Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA]-Cajamarca. (2019). *Resultados de análisis de suelo*. SU-1315-EEBI-19.
- Fernández, C. E., Viehmannová, I., Bechyně, M., Lachman, J., Milella, L., y Martelli, G. (2007). The cultivation and phenological growth stages of yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 40(3), 71-126. http://www.icabr.com/agricultura/03/03_40.htm
- Ferreira Pedrosa, J. L., de Oliveira, F. L., Zucoloto, M., das Graças Teixeira, A., do Carmo Parajara, M., y Tomaz, M. A. (2020a). Yacon (*Smallanthus sonchifolius*), propagation from rhizophores with different numbers of buds. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias UNCuyo*, 52(2), 52-63. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCFA/article/view/4131>
- Ferreira Pedrosa, J. L., de Oliveira, F. L., Zucoloto, M., Oliveira Cabral, M., Amaro de Sales, R., y de Oliveira Carvalho, A. (2020b). Yacon potato propagation from herbaceous cuttings with different numbers of buds. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 47(1), 46-57. <http://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v47i1.2134>
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., y Mitchel, R. L. (ed.). (1985). *Physiology of crop plants*. Iowa State University Press.
- Grau, A., y Rea, J. (1997). Yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. En M. Herma y J. Heller (eds.). *Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 21. Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research e International Plant Genetic Resources Institute. <https://hdl.handle.net/10568/104208>

- Gusso, A. P., Mattanna, P., y Richards, N. (2014). Yacon: beneficios à saúde e aplicações tecnológicas. *Ciência Rural*, 45(5), 912-919. <https://doi.org/10.1590/0103-8478CR20140963>
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., y Geneve, R. L. (2014). *Hartmann & Kester's plant propagation: Principles and practices* (8ª ed.). Pearson Education Limited.
- Hay, R. K. M., y Walker, A. J. (1989). *An introduction to the physiology of crop yield*. Longman Scientific & Technical.
- Hunt, R. (1990). *Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners*. Springer Dordrecht. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6>
- Kamp, L., Hartung, J., Mast, B., y Graeff-Hönninger, S. (2019a). Plant growth, tuber yield formation and cost of three different propagation methods of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Industrial Crops & Products*, 132, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.02.006>
- Kamp, L., Hartung, J., Mast, B., y Graeff-Hönninger, S. (2019b). Impact of nitrogen fertilization on tuber yield, sugar composition and nitrogen uptake of two yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) genotypes. *Agronomy*, 9(3), 151. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030151>
- Kamp, L., Hartung, J., Mast, B., y Graeff-Hönninger, S. (2019c). Tuber yield formation and sugar composition of yacon genotypes grown in Central Europe. *Agronomy*, 9(6), 301. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060301>
- Khajehei, F., Merk, N., Claupein, W., y Graeff-Hoenninger, S. (2018). Yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) as a novel source of health promoting compounds: antioxidant activity, phytochemicals and sugar content in flesh, peel, and whole tubers of seven cultivars. *Molecules*, 23(2), 278. <https://doi.org/10.3390/molecules23020278>
- Lebeda, A., Dolezalová, I., Fernández, C., y Viehmannová, I. (2011). Yacon (Asteraceae, *Smallanthus sonchifolius*). En: R. J. Singh (ed) *Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement series* (642-702). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11177>
- Leidi, E. O., Monteros Altamirano, A., Mercado, G., Rodríguez, J. P., Ramos, A., Alandia, G., Sørensen, M., y Jacobsen, S-E. (2018). Andean roots and tubers crops as sources of functional foods. *Journal of Functional Foods*, 51, 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.10.007>
- Leone, R. de S., de Andrade, E. F., Ellendersen, L. N., Tais da Cunha, A., Chupel Martins, A. M., Granato, D., y Masson, M. L. (2017). Evaluation of dried yacon (*Smallanthus sonchifolius*) as an efficient probiotic carrier of *Lactobacillus casei* LC-01. *LWT*, 75, 220-226. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2016.08.027>
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2020). *Información estadística Agraria: perfil productivo y regional. Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector: Yacon: Rendimiento*. https://siae.midagri.gob.pe/portal/siae_bi/index.html
- Moreira Szokalo, R. A., Redko, F., Ulloa, J., Flor, S., Tulino, M. S., Muschietti, L., y Carballo, M. A. (2020). Toxicogenetic evaluation of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) as a herbal medicine. *Journal Ethnopharmacology*, 257, 112854. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112854>
- Ojansivu, I., Ferreira, C. L., y Salminen, S. (2011). Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use. *Trends in Food Science & Technology*, 22(1), 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.11.005>
- Oliveira, M. A., y Nishimoto, E. K. (2004). Avaliação do desenvolvimento de plantas de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e caracterização dos carboidratos de reservas em HPLC. *Brazilian Journal of Food Technology*, 7(2), 215-220. <http://bjft.ital.sp.gov.br/arquivos/artigos/v7nu179a.pdf>
- Padilla-González, G. F., Amrehn, E., Frey, M., Gómez-Zeledón, J., Kaa, A., Da Costa, F. B., y Spring, O. (2020). Metabolomic and gene expression studies reveal the diversity, distribution and spatial regulation of the specialized metabolism of yacón (*Smallanthus sonchifolius*, Asteraceae). *International Journal of Molecular Sciences*, 21(12), 4555. <https://doi.org/10.3390/ijms21124555>
- Pereira, J. A. R., Teixeira, M. C., Saczk, A. A., Barcelos, M. de F. P., de Oliveira, M. F., y de Abreu, W. C. (2016). Total antioxidant activity of yacon tubers cultivated in Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 40(5), 596-605. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016405009416>
- Polanco Puerta, M. F., y García, M. A. (2013). Caracterización morfológica y molecular de materiales de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) H. Robinson colectados en la ecorregión Eje Cafetalero de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 97-116. <https://doi.org/10.22490/21456453.981>
- Saees, M., Yatao, X., Rehman, U. Z., Arain, M. A., Soomro, R. N., Abd El-Hack, M. E., Bhutto, Z. A., Abbasi, B., Dhama, K., Sarwar, M., y Chao, S. (2019). Nutritional and healthical aspects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) for human, animals and poultry. *International Journal of Pharmacology*, 13(4), 361-369. <https://doi.org/10.3923/ijp.2017.361.369>

- Seminario, J. y Cruzado, A. (2004). Introducción de tres cultivares de llacón, en el valle de Condebamba, Cajabamba, (Cajamarca). *Cajamarca*, 12(2), 17-24.
- Seminario, J., Valderrama, M., y Manrique, I. (2003). *El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio*. Centro Internacional de la Papa [CIP], Universidad Nacional de Cajamarca y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación [COSUDE].
- Seminario, J., Valderrama, M., y 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. <http://www.sacha.org/pubs/books/arnald.html#link22>
- Seminario, J., y Valderrama, M. (2006). Productividad de tres cultivares de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, plantados mediante tres tipos de propágulo. *Fiat Lux*, 2(2), 141-150.
- Seminario-Cunya, J. F., Oblitas-Edquen, I., y Escalante-Zumaeta, B. (2016). Área foliar del yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poep. & Endl.) H. Rob.) estimada mediante método indirecto. *Agronomía Mesoamericana*, 28(1), 171-181. <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.24350>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2019). *Boletines meteorológicos. Estación Meteorológica Augusto Weberbauer*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=pronostico-detalle>
- Silva, D. M. N., de Oliveira, F. L., Cavatte, P. C., Quaresma, M. A. L., y Christo, B. F. (2018). Growth and development of yacon in different periods of planting and growing regions. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 40(1), e39442. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.39442>
- Silva, D. M. N., de Oliveira, F. L., Quaresma, M. A. L., Erlacher, W. A., y Mendes, T. P. (2019). Yacon production at different planting seasons and growing environments. *Bioscience Journal*, 35(4), 992–1001. <https://doi.org/10.14393/BJ-v35n4a2019-42091>
- Tapia, C., Estrella, J., Monteros, A., Valverde, F., Nieto, M., y Córdova, J. (2004). Manejo y conservación de RTAs *in situ* en fincas de agricultores y *ex situ* en el banco de germoplasma del INIAP. En V. Barrera, C. G. Tapia, y A. Monteros (eds.). *Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (pp. 31-74). INIAP, CIP, COSUDE. https://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/06/RTAs_Ecuador_00.pdf
- Teixeira, A. G., Oliveira, F. L., Passos, O. J., Oliveira, M., Parajara, M. C., y Oliva, D. B. L. (2020). Cultivo de yacón intercalado con *Coffea canéfora*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 23, 17. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2730>
- Tokita, N., Ichikawa, M., Kainuma, K., Kitazawa, T., Narai-kanayama, A., Sato, S., Kurita, T., y Yoshimura, I. (2015). Effects of planting density and fertilizer type on growth and yield of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tubers. *Asian Journal of Plant Science & Research*, 5(11), 38-41. <https://www.imedpub.com/articles/effects-of-planting-density-and-fertilizer-type-on-growth-and-yield-of-yacon-smallanthus-sonchifolius-tubers.pdf>
- Verediano, T. A., Viana, M. L., Tostes, M. G. V., y Costa, N. M. B. (2021). The potential prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in colorectal cancer. *Current Nutrition & Food Science*, 17(2), 167-175. <https://doi.org/10.2174/1573401316999200605160433>
- Watanabe, F. M. F., Marques, C., Farias, F. O., Ellendersen, L. N., y Masson, M. L. (2021). Yacon-based beverage as non-dairy vehicle for *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*: stability and *In vitro* probiotic viability. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(4), 11458-11472. <https://doi.org/10.33263/BRIAC114.1145811472>
- Yan, M. R., Welch, R., Rush, E. C., Xiang, X., y Wang, X. (2019). A sustainable wholesome foodstu; health effects and potential dietotherapy applications of yacon. *Nutrients*, 11(11), 2632. <https://doi.org/10.3390/nu11112632>