



# COMPARACIÓN DE CLONES MEJORADOS DE CAMOTE (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) EN EL RENDIMIENTO Y CONTENIDO DE BIOETANOL DE RAÍCES RESERVANTES †

## [COMPARISON OF IMPROVED CLONES OF SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) IN THE YIELD AND BIOETHANOL CONTENT OF RESERVING ROOTS]

Roberto Hugo Tirado-Malaver<sup>1\*</sup>, Roberto Tirado-Lara<sup>2</sup>  
and Nayla Fabián-Anastacio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Profesional de Agronomía, Facultad Ingeniería Agrarias, Industria Alimentarias y Ambientales, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Av. Mercedes Indacochea N° 609, Lima, Perú. Email: [hugotiradomalaver@gmail.com](mailto:hugotiradomalaver@gmail.com)

<sup>2</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Av. Juan XXIII N° 391, Lambayeque, Perú. E-mails: [tiradolararoberto@gmail.com](mailto:tiradolararoberto@gmail.com)

\*Corresponding author

### SUMMARY

**Background:** Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) is a crop of great importance in social, economic and industrial terms due to its forage aptitude, high yield potential and quality of storage roots, necessary as human food and also as raw material for bioethanol production a promising substitute for fossil fuels or to boost alcohol production. **Objective:** To compare improved sweetpotato clones under different growing seasons and to select a promising new cultivar with high yield potential and bioethanol production from storage roots in Peru. **Methodology:** The combined analysis of variance was used during two seasons (summer and spring) in Lambayeque, Peru. The yield of storage roots was evaluated, with respect to the quality, the percentage of dry matter and the production of bioethanol were evaluated, which was analyzed by the enzymatic hydrolysis of the starch of four clones and a control variety. **Results:** The combined analysis of variance shows that the clones presented a significant effect on the variables under study. Likewise, the clone CIP 199071.8 with the highest yield of storage roots was identified during season 1 (summer) with an average of  $67.4 \pm 1.2 \text{ t ha}^{-1}$  and in season 2 (spring) with  $73.4 \pm 0.8 \text{ t ha}^{-1}$  regarding the combined analysis obtained  $70.4 \pm 1.1 \text{ t ha}^{-1}$ . In addition, the present clone with an average of  $28.9 \pm 1.4\%$  of dry matter stands out statistically, in fact the same clone 199071.8 reported the highest bioethanol production in season 1 (summer) with an average of  $7089.6 \pm 2.2 \text{ L ha}^{-1}$  of bioethanol and in season 2 (spring) it reached the highest bioethanol production with an average of  $7875.1 \pm 1.9 \text{ L ha}^{-1}$ . Regarding the combined analysis, it obtained  $7553.2 \pm 1.7 \text{ L ha}^{-1}$  of bioethanol. **Implications:** The sweet potato clones had a significant effect on the yield and quality of the storage roots, a necessary source for human food or industrial input. **Conclusion:** The clone CIP 199071.8 reached the highest yield of storage roots, dry matter and bioethanol production during the two growing seasons (summer 2019 and spring 2019), therefore, it will be released as a new cultivar. **Keywords:** alcohol; season; hydrolysis; raw material, storage roots.

### RESUMEN

**Antecedentes:** El camote (*Ipomoea batatas* L.) es un cultivo de suma importancia en términos sociales, económicos e industriales debido a su aptitud forrajera, alto potencial de rendimiento y calidad de raíces reservantes, necesarios como alimento humano y también como materia prima para la producción de bioetanol un prometedor sustituto de los combustibles fósiles o para impulsar la producción de alcohol. **Objetivo:** Comparar clones mejorados de camote bajo diferentes épocas de crecimiento y seleccionar un nuevo cultivar promisorio con alto potencial de rendimiento y la producción de bioetanol de raíces reservantes en Perú. **Metodología:** Se utilizó el análisis combinado de varianzas, durante dos épocas (verano y primavera) en Lambayeque, Perú. Se evaluó el rendimiento de raíces reservantes, con respecto a la calidad se evaluó el porcentaje de materia seca y la producción

† Submitted June 9, 2022 – Accepted August 19, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4409>



de bioetanol la cual se analizó la hidrólisis enzimática del almidón de cuatro clones y una variedad testigo **Resultados:** El análisis combinado de varianza muestra que los clones presentaron efecto significativo en las variables en estudio. Asimismo, se identificó al clon CIP 199071.8 con mayor rendimiento de raíces reservantes durante la época 1 (verano) con promedio de  $67.4 \pm 1.2 \text{ t ha}^{-1}$  y en la época 2 (primavera) con  $73.4 \pm 0.8 \text{ t ha}^{-1}$  en cuanto al análisis combinado obtuvo  $70.4 \pm 1.1 \text{ t ha}^{-1}$ . Además, el presente clon con promedio de  $28.9 \pm 1.4 \%$  de materia seca sobresaliendo estadísticamente, en efecto el mismo clon 199071.8 reportó la mayor producción de bioetanol en la época 1 (verano) con promedio de  $7089.6 \pm 2.2 \text{ L ha}^{-1}$  de bioetanol y en la época 2 (primavera) alcanzó la producción de bioetanol más alta con promedio de  $7875.1 \pm 1.9 \text{ L ha}^{-1}$ . En cuanto al análisis combinado obtuvo  $7553.2 \pm 1.7 \text{ L ha}^{-1}$  de bioetanol. **Implicaciones:** Los clones de camote presentaron efecto significativo en el rendimiento y la calidad de las raíces reservantes, fuente necesaria para la alimentación humana o insumo industrial. **Conclusión:** El clon CIP 199071.8 alcanzó el mayor rendimiento de raíces reservantes, materia seca y producción de bioetanol durante las dos épocas de crecimiento (verano 2019 y primavera 2019), por tanto, será liberado como nuevo cultivar.

**Palabras clave:** alcohol; época; hidrólisis; materia prima, raíces reservantes.

## INTRODUCCIÓN

El camote (*Ipomoea batatas* L.) es el séptimo cultivo más utilizado para el consumo fresco e industrial en el mundo, además, es reconocido como el principal cultivo productor de almidón a nivel mundial (Lareo y Ferrari, 2019; Li *et al.*, 2022), debido a que las raíces son fuentes ricas de carbohidratos, vitaminas y fibra (Liao *et al.*, 2019). No obstante, el camote se ha producido tradicionalmente como un cultivo de subsistencia, debido a su capacidad de tolerar condiciones marginales del suelo y de proporcionar atributos nutricionales en tiempos de escasez de cereales básicos para poblaciones vulnerables (Zaccari *et al.*, 2019). Así pues, existe una amplia variedad de camotes que desempeñan un papel importante en la dieta humana, la alimentación animal o como materia prima para la industrialización (Neela y Fanta, 2019).

En Perú, el camote es cultivado en la costa, en los valles interandinos y en la selva (Pari *et al.*, 2017). Las regiones con mayor superficie sembrada y de mayor producción son: Lima, Lambayeque, Ica, Cajamarca y el rendimiento a nivel nacional es de  $18.1 \text{ t ha}^{-1}$  (MINAGRI, 2019).

Con respecto a la calidad del camote este presenta un alto contenido de almidón recurso necesario para ser usado en la industria (Carnevalle *et al.*, 2022), teniendo en cuenta que existen problemas debido al uso continuo y masivo de los recursos fósiles los cuales provocan un aceleramiento del calentamiento global y la insostenibilidad de su producción (Jena y Kar, 2019; Ghazanfar *et al.*, 2022), debido a que los recursos fósiles son fuentes de energía, combustible, materiales y de insumos químicos (Bušić *et al.*, 2018; Díaz *et al.*, 2022). En efecto la creciente demanda de energía y el agotamiento de los combustibles fósiles están llamando la atención (Anwar *et al.*, 2019). Por tanto, existe necesidad de reemplazar los recursos fósiles por materias primas renovables para la

producción de biocombustible y productos químicos (Lareo y Ferrari, 2019; Triwahyuni, 2020). Además, desde el inicio de la pandemia de COVID-19 en todo el mundo, se ha aumentado la demanda y el consumo de productos desinfectantes para manos a base de alcohol, como medida preventiva y así controlar la propagación del virus (Jairoun *et al.*, 2021). Ante este hecho, la demanda del mercado aumentó y muchas empresas se movilizaron para producir desinfectante de manos a base de alcohol (Weber *et al.*, 2020).

Así pues, el alto contenido de almidón y el rendimiento del camote, le permite ser un recurso necesario para satisfacer la necesidad alimenticia de los humanos y como materia prima para la producción de bioetanol (Torquato-Tavares *et al.*, 2017; Sukhang *et al.*, 2020). Saman *et al.* (2019) sostienen que una forma de procesar el camote, se realiza mediante el secado de la misma en almidón. Cabe resaltar que el camote presenta mayor rendimiento de almidón por área agrícola cultivada que los cereales (Zhu y Xie, 2018). Siendo sus propiedades fisicoquímicas y funcionales de la harina de camote que le hacen útil en muchos productos industriales como ingredientes alimenticios, productos farmacéuticos, plásticos de base biológica y alcohol (Ayeleso *et al.*, 2017). Es así, que la selección de cultivares de camote con mayor producción de bioetanol dependerá del mayor rendimiento y calidad de las raíces reservantes ya que proporcionará un alto contenido de almidón y a su vez un mayor rendimiento de azúcar fermentable para procesos de conversación industrial (Tang *et al.*, 2022), reduciendo así la selección por su aspecto visual, color y sabor (Zhang *et al.*, 2018).

Teniendo en cuenta que la producción de bioetanol es una alternativa respetuosa con el medio ambiente y satisface la demanda actual de las biorrefinerías que continuamente buscan fuentes de energía renovable que se transforman mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Rizzolo *et al.*, 2021);

Además, el almidón del camote promueve mayor posibilidad en comparación que el jugo de caña de azúcar o el almidón de maíz, como fuente importante para la producción de bioetanol (Salelign y Duraisamy, 2021) y a su vez como fuente para productos desinfectantes de manos, que es necesario durante la crisis pandémica del COVID-19 (Weber *et al.*, 2020; Álvarez *et al.*, 2021). No obstante, el alto rendimiento del cultivo por unidad de superficie agrícola logra asegurar la disponibilidad de alimento para los humanos (Karan y Sanli, 2021; Tirado *et al.*, 2021).

Esta situación sugiere la necesidad del desarrollo de nuevas variedades estables, de alto rendimiento comercial y calidad de las raíces reservantes para el procesamiento lo que demandan los consumidores de hoy en día (Tirado *et al.*, 2018; Karuniawan *et al.*, 2021). Por estas razones, el objetivo de la presente investigación fue comparar clones mejorados de camote bajo diferentes épocas de crecimiento y seleccionar un nuevo cultivar promisorio con alto potencial de rendimiento y producción de bioetanol de raíces reservantes en el norte del Perú.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Lugar de estudio

El presente trabajo de investigación se realizó en la campiña de Pacora, provincia de Lambayeque (6°24'58.09" Sur; 79°53'4.58" Oeste), a una altitud de 51 msnm.

### Material vegetal

Los clones fueron obtenidos y liberados de virus y otros patógenos en el Centro Internacional de la Papa (CIP) y micropropagados en el laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, mantenidos ahora con certificación sanitaria para semilleros futuros. Se usaron cuatro clones avanzados de camote procedentes del CIP "199071.8, TN92.282.54, 199035.7, 199047.10", un cultivar internacional Beauregard y como testigo el cultivar INIA 100 para su respectiva evaluación, ya que estos cuentan con buen comportamiento agronómico.

### Diseño experimental

El diseño experimental aplicado fue el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, durante dos épocas del año. La primera época de crecimiento inició el 8 enero del 2019 (verano) y la segunda época de crecimiento se realizó el 15 de septiembre del 2019 (primavera).

### Manejo del experimento

La siembra en las dos épocas del año fue de forma manual colocando un esqueje por punto de siembra, con un distanciamiento de la parcela experimental de 0.70 m entre surco y 0.20 m entre esquejes. Cada unidad experimental estuvo constituida por 3 surcos, con un largo de 2 m cada surco y 10 esquejes, con un total de 30 esquejes. Fertilización. Se realizó la fertilización en dos momentos para las dos épocas de crecimiento; el primer momento fue a los 17 días después del trasplante usando un tercio del nitrógeno (urea) y todo el fósforo y potasio (fosfato diamónico y cloruro de potasio), en el segundo momento se aplicó a los 47 días después del trasplante completando los dos tercios del nitrógeno restante, aplicando a un nivel de 60-50-10 kg/ha de NPK. Riego. Se realizó el riego de machaco a capacidad de campo y proceder al trasplante y se aplicó el riego según lo que el camote demandará, realizando el riego en cinco ocasiones. Control de malezas. En los primeros días del experimento con respecto a las dos épocas de crecimiento se observaron malezas por el cual se aplicaron herbicidas con el ingrediente activo glifosato, asimismo, con la práctica del aporque realizado a los 30 días después del trasplante usando la yunta (tracción animal) se eliminaron malezas y se aprovechó la segunda aplicación de fertilizantes. Control fitosanitario. El control de plagas y/o enfermedades para las dos épocas de crecimiento se realizó previa evaluación en campo, luego del daño causado por insectos lepidópteros y coleópteros desde el inicio del crecimiento de la planta, se aplicaron insecticidas de diferentes ingredientes activos y de acuerdo al criterio de aplicación, en cuanto a las enfermedades fungosas estas se pudieron controlar rápidamente debido a las aplicaciones preventivas de fungicidas. Cosecha. La cosecha se realizó el 13 de mayo del 2019 para el experimento de la primera época y para la segunda época de crecimiento se realizó el 23 de enero del 2020, realizando el corte área de la planta y luego se extrajo las raíces reservantes, realizando el pesado.

Asimismo, el experimento se estableció en la campiña de Pacora, provincia de Lambayeque, cuya temperatura y precipitación se muestran en la Tabla 1.

### Variables de estudio

Se evaluó el rendimiento total de raíces reservantes, para ello se pesó las raíces de cada tratamiento al momento de la cosecha. La materia seca de las raíces reservantes, se realizó pesando 200 g de raíces frescas de cada tratamiento. Luego se llevó a la estufa

**Tabla 1. Características de la localidad donde se realizó el ensayo.**

Época de crecimiento	T° mínima	T° media	T° máxima	Presipitación (mm/día)
Época 1 (verano)	20.6	26.3	31.9	2.0
Época 2 (primavera)	16.1	22.8	29.5	0.8

Fuente: SENAMHI.

a 100°C, hasta su secado total. Una vez seco se tomó el peso final y se calculó por la relación peso seco/peso fresco multiplicado por 100 y el resultado se expresó en porcentaje.

La producción de bioetanol, se ejecutó mediante dos procedimientos. El primer procedimiento se realizó con la extracción del almidón de los clones y del testigo, para ello se usó el método propuesta por Hernández *et al.* (2008) con algunas ligeras modificaciones. Se realizaron el pelado y el corte en cubos de alrededor de 2 cm, se remojaron en la solución de bisulfito de sodio a una concentración de 1500 ppm por 30 minutos en relación de 1:3 (p/v) y licuados por 5 minutos en una licuadora (Oster, 465-42, Lima, Perú). La masa fue colocada a solución de bisulfito de sodio a una concentración de 1500 ppm está vez a una relación 1:1 (v/v), la lechada se filtró a través de una malla 80 que sirvió para eliminar la fibra y otros restos, aquel filtrado se sedimentó alrededor de 4 horas, luego se eliminó el sobrenadante y con la lechada del almidón de hicieron lavados con agua destilada en dos ocasiones y el tercer lavado se centrifugó a 2500 rpm durante 15 minutos usando la centrifuga (Labtron, LLS-A51, Alemania) logrando recuperar el almidón, luego se realizó el secado del mismo colocándolo en una estufa a temperatura de 55°C durante 24 horas. Posteriormente, se retiró la muestra y se procedió a moler hasta polvORIZAR usando un molino (Tecnal, TE-645, Alemania) y se almacenó en frascos herméticos pesando 125 g de almidón de cada muestra.

El segundo procedimiento fue la producción de bioetanol, para el cual se procedió con la metodología usada por Rizzolo *et al.* (2021). Se seleccionó las muestras y seguido se mezcló 750 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en 0.25 M. La hidrólisis de las muestras se realizó en la autoclave a una temperatura de 121°C durante 15 min (etapa) usando una solución diluida de ácido clorhídrico al 1.5% (v/v). Las muestras hidrolizadas se filtraron y se neutralizaron adicionando CaCO<sub>3</sub>, llegando a un pH de 7. Se realizó la hidrólisis enzimática del almidón usando la cepa *Saccharomyces cerevisiae* var. *Ellipsoideus* para la fermentación de la harina de camote hidrolizada. La cepa se obtuvo en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo. El medio de cultivo utilizado para las

cepas fue el medio YM (3 g L<sup>-1</sup> de extracto de levadura, 3 g L<sup>-1</sup> de extracto de malta, 5 g L<sup>-1</sup> de peptona, 10 g L<sup>-1</sup> de glucosa) sugerido por Lareo y Ferrari (2019). Luego en un Erlenmeyer de 250 mL se agregó el inóculo de 60 mL y a una temperatura de 32°C a 120 rpm durante 24hr se realizó la fermentación y su respectiva filtración. El resultado fue un inóculo de 10<sup>8</sup> Ufc mL<sup>-1</sup> sugerido por Lareo y Ferrari (2019). En el segundo procedimiento, consistió en obtener la producción de bioetanol, para ello se utilizó la metodología de Lavarak (2003) quien indica que 1 g de almidón produce un promedio de 0.567 kg de etanol, donde 1 kg de etanol equivale a 1.2737 litro de bioetanol a 25°C.

### Análisis estadístico

En cada experimento se realizó el análisis combinado de varianza, el diseño utilizado fue el diseño de bloques completos al azar considerando una aleatorización diferente para cada experimento. Los promedios fueron comparados por la prueba de Tukey a un nivel de 5% de probabilidad. El análisis estadístico combinado fue realizado con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS, 2003).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento de raíces reservantes

El análisis de varianza combinado de los cuadrados medios para la fuente de época, clon y la interacción clon por época fueron altamente significativas ( $p < 0.01$ ) (Tabla 2). El coeficiente de variación (CV) fue de 4.23%. Este resultado indica que la presencia de variación entre los clones sobre las diferentes épocas sembradas se debe a la constitución genética de cada clon de camote en el rendimiento de las raíces reservantes. Como también el efecto que tiene las épocas en la variación de estos clones, ya que en cada época los factores del clima difieren entre sí tal como se muestra en la Tabla 1, donde se encontró que la temperatura máxima reportada en la época 1 fue de 31.9°C y la temperatura mínima fue de 20.6°C, con precipitación acumulada de 2 mm/día, en cambio en la época 2 la temperatura máxima fue de 29.5°C y la mínima de 16.1°C, con precipitación acumulada de 0.8 mm/día, estas diferencias permitieron que los clones presenten su máximo o

**Tabla 2. Análisis de varianza combinado y significancia para el rendimiento de raíces reservantes, porcentaje de la materia seca y la producción de etanol en clones avanzados de camote en Lambayeque, Perú.**

Factor de Variación	Grados de libertad	RRR (t ha <sup>-1</sup> )	PMS (%)	PE (g L <sup>-1</sup> )
Bloque	6	3.41 ns	0.46ns	176.4 ns
Clon	5	381.94**	41.56**	4707.3 **
Épocas	1	785.07**	6.09ns	485.61**
Clon*Épocas	5	80.60**	3.19ns	192.69**
Error	30	4.23	1.80	
C.V.		3.67 %	5.0%	2.8%

RRR: rendimiento de raíces reservantes; PMS: porcentaje de la materia seca; PE: producción de etanol  
 ns, \*, \*\*: no significativo y significativo a una  $p \leq 0.05$  y  $0.01$

mínimo potencial (Tirado *et al.*, 2021). Estos resultados coincidieron con Ngailo *et al.* (2019), quienes estudiando la interacción genotipo por ambiente en clones de camote encontraron que las diferencias entre los clones son posibles gracias a la composición genética de cada clon en el ambiente donde se está desarrollando, ya que muchos factores intervienen en el desarrollo de la planta y que están relacionados con el rendimiento mismo, sin embargo, el factor limitante del rendimiento del camote se debe a las características genéticas de cada cultivar, que son las que determina la eficiencia de follaje para la elaboración de asimilados, la capacidad para transportar y almacenar esos asimilados en la raíz reservante. Asimismo, Karuniawan *et al.* (2021) confirman que la variación observada entre clones es útil para la selección y recomendación de clones promisorios de alto rendimiento de raíces reservantes en los programas de mejoramiento genético de camote.

Los valores de la comparación múltiples de promedios según Tukey al 5% para el rendimiento de las raíces reservantes de los clones estudiados se muestran en la Tabla 3. Se encontró que el clon 199071.8 obtuvo mayor rendimiento en la época 1

(verano) con promedio de  $67.4 \pm 1.2$  t ha<sup>-1</sup>. Mientras que en la época 2 (primavera) el clon 199071.8 alcanzó el rendimiento más alto con  $73.4 \pm 0.8$  t ha<sup>-1</sup>. En cuanto al análisis combinado, el clon 199071.8 con  $70.4 \pm 1.1$  t ha<sup>-1</sup> fue superior estadísticamente a los otros clones. Seguido por TN92.282.54 con  $63.5 \pm 1.8$  t ha<sup>-1</sup>, 199035.7 con  $57.8 \pm 2.6$  t ha<sup>-1</sup>, el cultivar Beauregard con  $53.9 \pm 2.2$  t ha<sup>-1</sup>, el clon 199047.1 y el testigo INIA 100 con  $46.1 \pm 2.6$  y  $45.0 \pm 2.8$  t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Promedios similares de rendimiento fueron encontrados por Flores (2019) quien, en su investigación de clones de camote en Perú, reportaron rendimientos de 64.2 y 46.4 t ha<sup>-1</sup>. Asimismo, concuerdan también con Adebola *et al.* (2013) quien registró rendimientos de 63.25 t ha<sup>-1</sup> para el clon Monate y 1999-9-4 con 57.00 t ha<sup>-1</sup>.

Este resultado es confirmado por Arana y Vilquiniche (2017) quien señala que los clones con mayor rendimiento se deben a una mayor eficiencia para traslocar los fotosintatos del follaje hacia las raíces reservantes. Aunado a ello, las condiciones de crecimiento de ambas épocas tuvieron efecto significativo en el rendimiento de las raíces reservantes de los clones (Karan y Sanli, 2021).

**Tabla 3. Promedios y prueba de Tukey al 5% para el rendimiento de raíces reservantes de los clones avanzados de camote para en Lambayeque, Perú.**

Clon	Época 1	Época 2	Combinado	
	Promedio (t ha <sup>-1</sup> )	Promedio (t ha <sup>-1</sup> )	Clon	Promedio (t ha <sup>-1</sup> )
199071.8	$67.4 \pm 1.2$ <sup>a1</sup>	$73.4 \pm 0.8$ <sup>a</sup>	199071.8	$70.4 \pm 1.1$ <sup>a</sup>
TN92.282.54	$58.6 \pm 1.8$ <sup>b</sup>	$68.4 \pm 1.7$ <sup>b</sup>	TN92.282.54	$63.5 \pm 1.8$ <sup>b</sup>
199035.7	$58.1 \pm 2.3$ <sup>b</sup>	$57.5 \pm 3.1$ <sup>c</sup>	199035.7	$57.8 \pm 2.6$ <sup>c</sup>
Beauregard	$54.2 \pm 2.1$ <sup>b</sup>	$52.8 \pm 0.6$ <sup>d</sup>	Beauregard	$53.9 \pm 2.2$ <sup>d</sup>
199047.1	$43.8 \pm 3.4$ <sup>b</sup>	$48.4 \pm 2.3$ <sup>e</sup>	199047.1	$46.1 \pm 2.6$ <sup>e</sup>
INIA 100	$37.4 \pm 1.9$ <sup>c</sup>	$52.7 \pm 3.5$ <sup>d</sup>	INIA 100	$45.0 \pm 2.8$ <sup>e</sup>

<sup>1</sup>Valores con la misma letra en la misma hilera son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P < 0.05$

Además, los investigadores señalan que la variación en el rendimiento puede deberse a las condiciones genéticas y ambientales que prevalecieron durante los períodos de crecimiento (Tirado-Lara *et al.*, 2020). Asimismo, Chalwe *et al.* (2017) indican que el rendimiento es un carácter cuantitativo y como tal es influenciado por varios factores ambientales, entre ellos, la fertilidad del suelo, las plagas y/o enfermedades, cambios de la temperatura entre las estaciones del año y otras limitaciones abióticas y bióticas. Por lo que, el clon que presenta mayor potencial genético es aquel que logra superar dichas limitaciones y obtiene mayor rendimiento, siendo un aspecto importante para la selección de clones mejorados (Ebem *et al.*, 2021).

### Porcentaje de materia seca

El análisis de varianza combinado para el porcentaje de materia seca de las raíces reservantes muestra alta significancia estadística ( $p < 0,001$ ) para el factor clon y no para los factores época e interacción clon por época (Tabla 2). El coeficiente de variación (CV) fue de 5%. Los resultados indican que los clones difieren entre sí, debido a la constitución genética de cada clon, en cambio las diferentes épocas no influyen en la variación de los clones. Resultados que indican que los clones con alto porcentaje de materia seca son fuentes importantes de energía debido a que el almidón corresponde aproximadamente el 50-80% de la materia seca del camote y consiste en amilosa y amilopectina en diferentes proporciones (Zhu *et al.*, 2011). Se encontró resultados similares reportados por Karan y Sanli (2021) quienes encontraron que efecto significativo de los clones sobre el contenido de materia seca de raíces reservantes en comparación con el ambiente y su interacción, los cuales no mostraron significancia. Esta prevalencia del factor genético y la variación entre los clones se debe a la distribución de materia seca desde las hojas al órgano

de reserva (raíz reservante). Dicha variación es importante para la selección de clones sobresalientes con alto porcentaje de materia seca de las raíces reservantes para programas de mejoramiento y fines industriales (Li *et al.*, 2022).

En la Tabla 4, muestran los valores de porcentaje de materia seca de los clones estudiados. Se encontró que el clon 199071.8 reportó mayor porcentaje materia seca en la época 1 (verano) con promedio de  $28.6 \pm 2.8$  %. Mientras que en época 2 (primavera) el clon TN92.282.54 alcanzó más materia seca con  $29.7 \pm 3.6$  % junto al clon 199035.7 con  $28.1 \pm 0.9$  %. En cuanto al análisis combinado (Tabla 3), se observa que tres clones obtuvieron promedios estadísticamente homogéneos, siendo el más sobresaliente TN92.282.54 con  $28.9 \pm 1.4$  %, seguido de 199071.8 con  $28.0 \pm 2.3$  % y el clon 199035.7 con  $27.5 \pm 4.7$  % muy superior al testigo INIA 100 con  $22.4 \pm 1.9$  %. Además, estos resultados concuerdan con lo reportado por Pineda *et al.* (2017) quienes analizando la materia seca de raíces reservantes presentaron valores que variaron entre 27.5 y 21.8 % para el clon DLP-2462 y el cultivar Solapa, respectivamente. Asimismo, Santisteban (2000) mientras estudiaban el porcentaje de materia seca en 10 clones de camote, obtuvieron concentraciones entre 29.07% para el clon CC 92.079.29 y 20.00 % para el cultivar JEWEL. Además, señala que los clones con bajo porcentaje se deben a que los efectos edáficos y climáticos de la zona no han permitido la máxima expresión de los clones. No obstante, Laurie *et al.* (2022) indican que la selección de genotipos con alto porcentaje de materia seca es uno de los principales objetivos del mejoramiento genético del camote ya que este carácter está correlacionado positivamente con el contenido de almidón de la raíz, es así que los clones que sobresalieron en este estudio presentan alto contenido de almidón.

**Tabla 4. Medias y prueba de Tukey al 5% para el porcentaje de materia seca de las raíces reservante de los clones avanzados de camote en Lambayeque, Perú.**

Clon	Época 1	Época 2	Combinado	
	Promedio (%)	Promedio (%)	Clon	Promedio (%)
199071.8	$28.6 \pm 2.8^a$	$27.4 \pm 0.5^b$	TN92.282.54	$28.9 \pm 1.4^a$
TN92.282.54	$28.1 \pm 1.3^a$	$29.7 \pm 3.6^a$	199071.8	$28.0 \pm 2.3^a$
Beauregard	$27.3 \pm 3.6^a$	$27.3 \pm 4.7^b$	199035.7	$27.5 \pm 4.7^a$
199035.7	$26.9 \pm 4.2^a$	$28.1 \pm 0.9^{ab}$	Beauregard	$27.3 \pm 0.7^a$
199047.1	$26.8 \pm 1.6^a$	$27.0 \pm 1.6^b$	199047.1	$26.9 \pm 1.4^b$
INIA 100	$21.2 \pm 1.4^b$	$23.6 \pm 3.2^c$	INIA 100	$22.4 \pm 1.9^c$

<sup>1</sup>Valores con la misma letra en la misma hilera son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a  $p \leq 0.05$ .

## Producción de bioetanol

La Tabla 2, muestra diferencias estadísticas significativas para el factor de variación clon, época y la interacción clon por época. El coeficiente de variación (CV) fue de 2.8%. Estos resultados indican que los clones varían debido a que la constitución genética de cada clon se expresa en forma diferente en cada época producida. Resultado similar fue reportado por Adebola *et al.* (2013) quienes analizaron la interacción entre el genotipo por el medio ambiente y la estabilidad del rendimiento de 28 líneas de mejoramiento de camote en Sudáfrica. Reportaron variación significativa entre los clones, indicando que dicha variación es útil para seleccionar líneas parentales para su uso en el programa de mejoramiento de camote.

Con respecto a los promedios de la producción de bioetanol (Tabla 5), se encontró que el clon 199071.8 obtuvo mayor producción de bioetanol en la época 1 (verano) con promedio de  $7089.6 \pm 2.2$  L ha<sup>-1</sup> de bioetanol. Mientras que en la época 2 (primavera) el mismo clon alcanzó la producción de bioetanol más alta con  $7875.1 \pm 1.9$  L ha<sup>-1</sup>. En cuanto al análisis combinado (Tabla 4), el clon 199071.8 reportó mayor producción de bioetanol con  $7553.2 \pm 1.7$  L ha<sup>-1</sup> de bioetanol, superando estadísticamente a los otros clones en comparación con el testigo INIA 100 con 3218.7 L ha<sup>-1</sup> de bioetanol. Estos resultados indican que los factores ambientales de las épocas permiten que los clones expresen su máximo potencial logrando una alta producción de etanol (Swain *et al.*, 2013). Los resultados de este estudio se aproximan a lo encontrado por Rizzolo *et al.* (2021) quienes analizando y evaluando el camote con mayor potencial para la producción de etanol, encontraron que la variedad boniato fresco BRS Cuia obtuvo mayor producción de bioetanol con 25.74 g L<sup>-1</sup> de etanol y con una producción estimada de bioetanol de unos 10000 L ha<sup>-1</sup> en dos cosechas de la

variedad en un año. Además, señala que el almidón del camote es una alternativa sostenible en la producción de bioetanol para combustible y como una bebida alcohólica.

Por otro lado, Weber *et al.* (2020) analizó la producción de etanol en Brasil, reportaron que el camote es más ventajoso que la caña de azúcar y el maíz, debido al menor ciclo fenológico del camote. Otros investigadores como, Jin *et al.* (2012) en China, analizaron la producción de bioetanol a partir del camote, encontraron que el alto rendimiento de las raíces reservantes presenta un alto contenido de azúcar fermentable y bajo contenido de fibra en el camote, por esta razón le convierte en un cultivo ideal para lograr baja viscosidad en la producción de etanol. Asimismo, el uso de esta materia prima reduciría el consumo de combustibles fósiles y en consecuencia, el impacto negativo sobre el medio ambiente (Bušić *et al.*, 2018). Además, el bioetanol obtenido a partir del camote permitirá producir productos farmacéuticos como los desinfectantes de manos (Lareo y Ferrari, 2019). Con el fin reducir la propagación del virus durante la pandemia COVID-19 entre otros microorganismos que pueden llegar a ser afectivos en los humanos (Jairoun *et al.*, 2020). Considerando la alta fluctuación en el precio del desinfectante para manos a base de alcohol a partir de caña de azúcar, maíz o derivado del petróleo, en cambio el desinfectante de manos a base de bioetanol de camote es más factible y económico debido al bajo precio y alto rendimiento del camote por unidad de área cultivable (Weber *et al.*, 2020).

Asimismo, el alto rendimiento de raíces reservantes encontrado en la presente investigación demuestra que el clon 199071.8 (Figura 1) podría contribuir con la disponibilidad de alimento y su conversión en energía, además de reforzar las defensas del organismo, de esta manera reducir la desnutrición en la población peruana.

**Tabla 5. Medias y prueba de Tukey al 5% para la producción de bioetanol de los clones avanzados de camote en Lambayeque, Perú.**

Clon	Época 1	Época 2	Combinado	
	Promedio (L ha <sup>-1</sup> )	Promedio (L ha <sup>-1</sup> )	Clon	Promedio (L ha <sup>-1</sup> )
199071.8	$7089.6 \pm 2.2$ <sup>a1</sup>	$7875.1 \pm 1.9$ <sup>a</sup>	199071.8	$7553.2 \pm 1.7$ <sup>a</sup>
TN92.282.54	$5420.0 \pm 3.5$ <sup>b</sup>	$6326.4 \pm 3.1$ <sup>b</sup>	TN92.282.54	$5873.2 \pm 3.3$ <sup>b</sup>
199035.7	$5880.7 \pm 4.2$ <sup>b</sup>	$5819.9 \pm 4.1$ <sup>c</sup>	199035.7	$5850.3 \pm 4.1$ <sup>b</sup>
Beauregard	$4405.4 \pm 3.7$ <sup>c</sup>	$4291.6 \pm 1.8$ <sup>d</sup>	Beauregard	$4381.1 \pm 2.3$ <sup>c</sup>
199047.1	$4051.1 \pm 1.9$ <sup>c</sup>	$4476.6 \pm 0.9$ <sup>d</sup>	199047.1	$4263.9 \pm 1.6$ <sup>c</sup>
INIA 100	$2675.1 \pm 1.1$ <sup>d</sup>	$3769.5 \pm 0.7$ <sup>e</sup>	INIA 100	$3218.7 \pm 0.8$ <sup>d</sup>

<sup>1</sup>Valores con la misma letra en la misma hilera son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p < 0.05$ .



**Figura 1.** Clon seleccionado por su alto rendimiento, materia seca y producción de bioetanol: (A) 199071.8.

### CONCLUSIONES

Los resultados registran al clon 199071.8 con mayor rendimiento de raíces reservantes en la época 1 (verano) con promedio de  $67.4 \pm 1.2 \text{ t ha}^{-1}$  y en la época 2 (primavera) con  $73.4 \pm 0.8 \text{ t ha}^{-1}$  en cuanto al análisis combinado obtuvo  $70.4 \pm 1.1 \text{ t ha}^{-1}$ .

Con respecto al porcentaje de materia seca el clon 199071.8 registró mayor porcentaje con promedio de  $28.9 \pm 1.4 \%$  de materia seca.

En cuanto a la producción de bioetanol el clon 199071.8 fue el más sobresaliente en la época 1 (verano) con promedio de  $7089.6 \pm 2.2 \text{ L ha}^{-1}$  de bioetanol y en la época 2 (primavera) alcanzó la producción de etanol más alta con  $7875.1 \pm 1.9 \text{ L ha}^{-1}$ . En cuanto al análisis combinado obtuvo  $7553.2 \pm 1.7 \text{ L ha}^{-1}$  de bioetanol.

El clon CIP 199071.8 con de piel y pulpa blanca alcanzó el mayor rendimiento de raíces reservantes, materia seca y producción de bioetanol durante las dos épocas de crecimiento (verano 2019 y primavera 2019), por tanto, será liberado como nuevo cultivar por su alto rendimiento y con buena aptitud para la producción de bioetanol.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Centro Internacional de la Papa (CIP) por el material genético usado en nuestra investigación.

**Financing.** To declare that authors did not receive funding.

**Conflict of interests.** The authors declare and agree with the information presented in the manuscript, and is no conflict of interest to declare on the part of the authors.

**Compliance with ethical standards.** Original data derived from the authors' work are presented, which have not been submitted at the same time in different journals.

**Data availability.** Data is available with the corresponding author upon reasonable request.

### REFERENCIAS

- Adebola, P. O., Shegro, A., Laurie, S. M., Zulu, L. N. and Pillay, M., 2013. Genotype x environment interaction and yield stability estimate of some sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] breeding lines in South Africa. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5, pp. 182-186. <http://doi.org/10.5897/JPBCS2013.0387>
- Álvarez, C., González, A., Ballesteros, I., Negro, M. J., 2021. Production of xylooligo saccharides, bioethanol, and lignin from structural components of barley straw pretreated with a steam explosion. *Bioresour Technology*, 342, pp. 125953. <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125953>



- Anwar, M., Rasul, M. G. and Ashwath, N., 2019. The efficacy of multiple-criteria design matrix for biodiesel feedstock selection. *Energy Conversion and Management*, 198, pp. 111790. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111790>
- Arana, F. y Vilquiniche, W., 2017. Comparativo de rendimiento de tres clones de camote (*Ipomoea batatas* L.) bajo cuatro densidades de siembra en el Valle Del Santa – Ancash. Tesis. Universidad Nacional Del Santa. Disponible en: <<http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2796>> [Consultado el 2 de marzo del 2022].
- Ayeleso, T. B., Ramachela, K. and Mukwevho, E., 2016. A review of therapeutic potentials of sweet potato: Pharmacological activities and influence of the cultivar. *Tropical Journal of Pharmaceutica research*, 15, pp. 2751-2761. <http://doi.org/10.4314/tjpr.v15i12.31>
- Bušić, A., Mardetko, N., Kundas, S., Morzak, G., Belskaya, H., Šantek, M. I., Komes, D., Novak, S. and Šantek, B., 2018. Bioethanol production from renewable raw materials and its separation and purification: a review, food technol. *Biotechnol*, 56, pp. 289-311. <http://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>
- Cavalcanti, M. T., Farias, N. S., Cavalcante, A. N., Gonçalves, M. C., Silva, A. S. and Candeia, R. A., 2019. Morphological structure and crystallinity of ‘Rainha’ sweet potato starch by heat–moisture treatment. *Polímeros*, 29, pp. e2019016. <http://doi.org/10.1590/0104-1428.03917>
- Carnevalle, T., Menezes, A., Gomes, A., Silva, M., Gaspareto, L. and Morais, P., 2022. Fungal amylases applied to the sweet potato starch for bioethanol production. *Research, Society and Development*, 11, pp. e136111032583. <http://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32583>
- Chalwe, A., Chiona, M., Sichilima, S., Njovu, J., Chama, C. and Ndhlovu, D., 2017. Genotype stability index for root yield and tolerance to Sweet potato weevil (*Cylas puncticolis*): A tool for identifying climate smart varieties. *Open Agriculture*, 2, pp. 166-174. <https://doi.org/10.1515/opag-2017-0017>
- Díaz, M. J., Moya, M. and Castro, E., 2022. Bioethanol Production from Steam-Exploded Barley Straw by Co-Fermentation with *Escherichia coli* SL100. *Agronomy*, 12, pp. 874. <http://doi.org/10.3390/agronomy12040874>
- Duan, W., Zhang, H., Xie, B., Wang, B. and Zhang, L., 2019. Impacts of nitrogen fertilization rate on the root yield, starch yield and starch physicochemical properties of the sweet potato cultivar Jishu 25. *PLoS ONE*, 14, pp. e0221351. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0221351>
- Ebem, E., Afuape, S., Chukwu, S. and Ubi, B., 2021. Genotype × Environment Interaction and Stability Analysis for Root Yield in Sweet Potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam]. *Frontiers in Agronomy*, 3, pp. 665564. <http://doi.org/10.3389/fagro.2021.665564>
- Flores, A., 2019. Evaluación de Rendimiento de Nueve Clones Promisorios de *Ipomoea batatas* L. “camote” en Barranca, Hualar y Cañete. Tesis. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Disponible en: <<https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/3277>> [Consultado el 5 de febrero del 2022].
- Hernández, M., Torruco, J., Guerrero, L. y Bentacur, D., 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28, pp. 718-726. <http://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Jairoun, A. A., Al-Hemyari, S. S. and Shahwan, M., 2021. The pandemic of COVID-19 and its implications for the purity and authenticity of alcohol-based hand sanitizers: The health risks associated with falsified sanitizers and recommendations for regulatory and public health bodies. *Research in social & administrative pharmacy*, 17, pp. 2050–2051. <http://doi.org/10.1016/j.sapharm.2020.04.014>

- Jena, N. and Kar, M. K., 2019. Ethanol production from various plant sources using *Saccharomyces cerevisiae*. *International Journal of Chemical*, 7, pp. 2968–2971.
- Ghazanfar, M., Irfan, M., Nadeem, M., Shakir, H. A., Khan, M., Ahmad, I., Saeed, S., Chen, Y. and Chen, L., 2022. Bioethanol Production Optimization from KOH-Pretreated *Bombax ceiba* Using *Saccharomyces cerevisiae* through Response Surface Methodology. *Fermentation*, 8, pp. 148. <http://doi.org/10.3390/fermentation8040148>
- Jin, Y, Fang, Y., Zhang, G., Zhou, L. and Zhao, H., 2012. Comparison of ethanol production performance in 10 varieties of sweet potato at different growth stages. *Acta Oecol*, 44, pp. 33-37. <http://doi.org/10.1016/j.actao.2012.05.008>
- Karan, Y.B. and Şanlı Ö.G., 2021. The assessment of yield and quality traits of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) genotypes in middle Black Sea region, Turkey. *PLoS ONE*, 16, pp. e0257703. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0257703>
- Karuniawan, A., Maulana, H., Ustari, D., Dewayani, S., Solihin, M., Amien, S. and Arifin, M., 2021. Yield stability analysis of orange - Fleshed sweet potato in Indonesia using AMMI and GGE biplot. *Heliyon*, 7, pp. e06881. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06881>
- Lareo, C. and Ferrari, M.D., 2019. Sweet Potato as a Bioenergy Crop for Fuel Ethanol Production: Perspectives and Challenges. In: *Bioethanol Production from Food Crops. Sustainable Sources, Interventions, and Challenges*. Bhubaneswar, India. Academic Press. Pp. 115-147. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-813766-6.00007-2>
- Laurie, S.M., Bairu, M.W. and Laurie, R.N., 2022. Analysis of the Nutritional Composition and Drought Tolerance Traits of Sweet Potato: Selection Criteria for Breeding Lines. *Plants*, 11, pp. 1804. <http://doi.org/10.3390/plants11141804>
- Li, Y., Zhao, L., Lin, L., Li, E., Cao, Q. and Wei, C., 2022. Relationships between X-ray Diffraction Peaks, Molecular Components, and Heat Properties of C-Type Starches from Different Sweet Potato Varieties. *Molecules*, 27, pp. 3385. <http://doi.org/10.3390/molecules27113385>
- Liao, L., Liu, H., Zengpeng, G. and Wu, W., 2019. Structural properties of sweet potato starch and its vermicelli quality as affected by heat-moisture treatment. *International Journal of Food Properties*, 22, pp. 1122-1133. <http://doi.org/10.1080/10942912.2019.1626418>
- MINAGRI., 2019. Serie de Estadísticas de Producción Agrícola. Perú. Disponible en: <http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/>
- Neela, S. and Fanta. S., 2019. Review on nutritional composition of orange-fleshed sweet potato and its role in management of vitamin A deficiency. *Food Science & Nutrition*, 7, pp. 1920-1945. <http://doi.org/10.1002/fsn3.1063>.
- Ngailo, S., Shimelis, H., Sibiya, J., Mtunda, K. and Mashilo, J., 2019. Genotype-by-environment interaction of newly-developed sweet potato genotypes for storage root yield, yield-related traits and resistance to sweet potato virus disease. *Heliyon*, 5, pp. e01448. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01448>
- Rizzolo, J. A., Woiciechowski, A. L., Magalhães, A. I., Zevallos, L. A. and Soccol, C. R., 2021. The potential of sweet potato biorefinery and development of alternative uses. *SN Applied Sciences* 3, pp. 347. <http://doi.org/10.1007/s42452-021-04369-y>
- Salelign, K. and Duraisamy, R., 2021. Sugar and ethanol production potential of sweet potato (*Ipomoea batatas*) as an alternative energy feedstock: processing and physicochemical characterizations. *Heliyon*, 7, pp. e08402. <http://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08402>
- Saman, W. R., I. Yuliasih, M. Sugiarto., 2019. Physicochemical Characteristics and Functional Properties of White Sweet

- Potato Starch. *International Journal of Engineering and Management Research*, 9, pp. 53-57. <http://doi.org/10.31033/ijemr.9.3.7>
- SENHAMI. s/f. Estación meteorológica de Pacora, Lambayeque. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>
- Sukhang, S., Choojit, S., Reungpeerakul, T. and Sangwichien, C., 2020. Bioethanol production from oil palm empty fruit bunch with SSF and SHF processes using *Kluyveromyces marxianus* yeast. *Cellulose*, 27, pp. 301–314. <http://doi.org/10.1007/s10570-019-02778-2>
- Swain, M. R., Mishra, J. and Thatoi, H., 2013. Bioethanol Production from Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Flour using Co-Culture of *Trichoderma* sp. and *Saccharomyces cerevisiae* in Solid-State Fermentation. *Brazilian Archives Of Biology And Technology*, 56, pp. 171-179. <http://doi.org/10.1590/S151689132013000200002>
- Tang, C., Lu, Y., Jiang, B., Chen, J., Mo, X., Yang, Y. and Wang, Z., 2022. Energy, Economic, and Environmental Assessment of Sweet Potato Production on Plantations of Various Sizes in South China. *Agronomy*, 12, pp. 1290. <http://doi.org/10.3390/agronomy12061290>
- Tirado-Lara, R., Tirado-Malaver, R., Mayta-Huatuco, E. and Amoros-Briones, W., 2020. Identificación de clones de papa con pulpa pigmentada de alto rendimiento comercial y mejor calidad de fritura: Estabilidad y análisis multivariado de la interacción genotipo-ambiente. *Scientia Agropecuaria*, 11, pp. 323 – 334. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.04>
- Tirado, M., Tirado, L. R. and Mendoza, C. J., 2018. Interacción genotipo x ambiente en rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) con pulpa pigmentada en Cutervo, Perú. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 34, pp. 191–198. <http://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000502>
- Tirado, M., Mendoza-Sáenz, J. and Tirado, L. R., 2021. Análisis multivariado para caracterizar y tipificar fincas productoras de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cutervo, Cajamarca, Perú. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, pp. #106. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3744>
- Torquato, T. A., Rodrigues, I., Pascual, I. D., Santana, W. and Silveira, M. A., 2017. Potential for sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) single crosses to improve ethanol production. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 23, pp. 59-74. <http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.05.013>
- Triwahyuni, E., 2020. Valorization of oil palm empty fruit bunch for bioethanol production through separate hydrolysis and fermentation (SHF) using immobilized cellulolytic enzymes. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Science*, 439, pp. 12–18. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/439/1/012018>
- Weber, C. T., Ranzan, L., Liesegang, L. M., Trierweiler, L. F. and Trierweiler, J. O., 2020. A circular economy model for ethanol and alcohol-based hand sanitizer from sweet potato waste in the context of COVID-19. *Brazil Journal Operations & Production Management*, 17, pp. 1–12. <http://doi.org/10.14488/bjopm.2020.028>
- Zaccari, F., Cabrera, M.C. and Saadoun, A., 2019. Sweet Potato and Squash Storage. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* 2, pp. 464-472. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22429-3>
- Zapana, J., M. Mamani, F. Escobar, and L. Zapana., 2018. Producción de raíz tuberosa en cultivo de "mauka" (*Mirabilis expansa* [Ruiz y Pavón] Standley) con aplicación de abonamiento orgánico y fertilización química en Puno - Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19, pp. 275-284. <http://doi.org/10.18271/ria.2017.292>
- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K. Zhou, L. and Wei, C., 2018. Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocolloids*, 80, pp. 168-176.

<http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.006>

Zhu, F., Yang, X., Cai, Y., Bertoft, E. and Corke, H., 2011. Physicochemical properties of sweetpotato starch. *Starch - Stärke*, 63, pp. 249-259.  
<http://doi.org/10.1002/star.201000134>

Zhu, F. and Xie, Q., 2018. Rheological and thermal properties in relation to molecular structure of New Zealand sweetpotato starch. *Food Hydrocoll*, 83, pp. 165–172.  
<http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.004>