

PRODUCTIVIDAD DEL MÉTODO DE COSECHA MANUAL DE YUCA CON UN DISPOSITIVO ARRANCADOR ¹

**Ricardo Hernández-Rojas²; Rodolfo Morales-Muñoz³;
Román Gordón-Mendoza ⁴; Jaime A. Espinosa-Tasón⁵**

RESUMEN

El objetivo de este ensayo era evaluar la efectividad de un dispositivo manual extractor para cosechar yuca. La investigación se realizó en La Estación Experimental El Ejido, en Los Santos. Se utilizó un diseño completamente al azar, en una parcela de 500 m² con una densidad de siembra de 10 000 plantas por hectárea. Se establecieron dos tratamientos: cosecha manual con dispositivo arrancador y cosecha manual sin dispositivo arrancador. Se registró el tiempo de cosecha de las plantas, así como la cantidad y peso de las raíces comerciales y no comerciales extraídas. El análisis estadístico consistió en pruebas de t para la comparación de medias. La relación del peso en kilogramos de raíces (en función del método de cosecha como variable ficticia o “dummy”) y el tiempo en minutos empleado en la cosecha se analizaron mediante un modelo econométrico log-lineal. Los resultados indican que el número de plantas cosechadas por minuto fue superior para la cosecha manual del arrancador con palanca, en promedio una planta/minuto, más que con la cosecha manual sin dispositivo arrancador. El modelo predijo que el peso de la cosecha con el dispositivo arrancador sería, en promedio, 123% mayor al peso comparable de la cosecha manual sin dispositivo. Se concluye que el método de cosecha manual con dispositivo arrancador de palanca mostró una productividad superior. Dado que la mano de obra agrícola es escasa, una mayor eficiencia en el tiempo de cosecha reduciría su uso.

Palabras claves: cosecha manual, eficiencia de cosecha, mano de obra.

¹Recepción: 6 de noviembre de 2018. Aprobación: 10 de diciembre de 2018. Trabajo financiado por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

²Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). Ing. Agrónomo en Fitotecnia. e-mail: ricahernandezr@yahoo.es

³IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Divisa (CIA Divisa). M.Sc. en Industrias Agrícolas Alimentarias. e-mail: rodolfommz@yahoo.com

⁴IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). M.Sc. en Protección Vegetal. e-mail: gordon.roman@gmail.com

⁵IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Azuero (CIAA). M.Sc. en Socioeconomía Ambiental. e-mail: j.espinosa.idiap@gmail.com



PRODUCTIVITY OF A YUCA MANUAL HARVESTING METHOD WITH AN EXTRACTING DEVICE

ABSTRACT

The objective of this trial was to evaluate the effectiveness of a manual extracting device to harvest yuca. The research was realized at El Ejido Experimental Station, in Los Santos. A completely randomized statistical design was applied on a 500 m² plot having a planting density of 10 000 plants per hectare. Two treatments were established: manual harvest with the extracting device and manual harvest without the extracting device. Harvesting time of yuca plants was registered as well as the quantity and weight of commercial and non commercial roots extracted. Statistical analysis consisted of t-Tests for the comparison of means. The relation between root weight in kilograms (in function of the harvesting methodology as dummy variable) and time in minutes used for harvesting were analyzed using an econometric log-linear model. The results indicate that the number of harvested plants per minute was superior for manual harvest with the extracting device, an average of one plant/minute, more than with manual harvest without the device. The model predicted that, with the extracting device, harvested weight would be 123% greater than that of manual harvest without the device, as an average. It is concluded that harvest method with the extracting device showed a superior productivity. Due to agricultural hand labour scarcity, a greater efficiency in time of harvesting would reduce its usage.

Key words: manual harvesting, harvesting efficiency, hand labour.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura se utilizan tres fuentes principales de energía: la humana, la animal y mecánica. El uso de la energía mecánica en la agricultura se desarrolla a partir del siglo XIX después de la segunda guerra mundial motivado por la necesidad de aumentar la competitividad de la agricultura. Se recurre a la mecanización para aumentar la productividad, la rentabilidad y proveer de fuerza a la agricultura ante la escasez de mano de obra (Palacios-Rangel *et al.* 2016).

La obtención de nuevos cultivares de yuca con alto potencial de rendimiento mejoran la productividad y la competitividad del cultivo. A su vez permite entrar en nuevos mercados como el de las agro industrias con productos como la harina de yuca, almidón nativo y el almidón agrio de yuca. Sin embargo, se debe ser muy eficiente para poder competir con otras fuentes de harinas y almidones cuya producción es completamente mecanizada. Uno de los

problemas del cultivo de la yuca en nuestro país, es su alto costo de siembra y cosecha que demandan una gran cantidad de mano de obra.

En Panamá la cosecha de yuca es manual, ya que la mayor parte de las unidades de producción son pequeñas con un promedio de 600 m². La mecanización es rentable y se justifica para parcelas de más de 30 ha (Ospina *et al.* 2007). Sin embargo, es importante promover el uso de herramientas simples que faciliten el trabajo y disminuyan el agotamiento físico que sufre el trabajador sobre todo en climas tropicales donde ha aumentado la temperatura y se han disminuido las horas laborables en el campo.

Se ha estimado que para desarraigar un palo de yuca se necesita una fuerza entre 1,26 kg y 1,49 kg newton es decir entre 283 y 335 lb fuerza (Kolawole *et al.* 2010). También se ha señalado que un hombre solamente puede ejercer una fuerza máxima de 0,8 kg newton (Agbetoye 1999). Esto explica porque es tan extenuante la labor de arrancar palos de yuca, la necesidad de aflojar el suelo y la importancia de mejorar las condiciones de trabajo con una herramienta simple asequible al pequeño productor quien se expone a diferentes tipos de riesgos y exigencias laborales en el cultivo y cosecha de yuca (OIT 2004).

Se reporta que se necesitan entre 25 y 35 hombre-día para cosechar manualmente una hectárea de yuca (Ospina *et al.* 2007). Si se considera, que la hectárea tiene 10 000 plantas y que el día es de ocho horas laborables y se utilizan como máximo 35 hombres para cosechar una hectárea, entonces se deduce que; un hombre debe arrancar tres plantas de yuca en cinco minutos. Sin embargo, se espera que a medida que avanza la jornada de trabajo el rendimiento disminuya debido al cansancio.

Algunas estimaciones para el caso de Panamá indican que para cosechar una hectárea de yuca se utilizan más de 25 jornales, representando la cosecha el 34% del costo de producción (Morán y Saavedra 2008).

En general, la productividad se entiende como la relación entre lo producido y los medios empleados; por lo tanto, se mide mediante el cociente: resultados logrados entre recursos empleados. Los resultados logrados pueden medirse en unidades producidas, o en ganancias. Mientras que los recursos empleados se cuantifican por medio del número de trabajadores, tiempo total empleado, horas máquina, entre otros. De manera que mejorar la

productividad es optimizar el uso de los recursos y maximizar los resultados (Gutiérrez y de la Vara 2009).

Una modalidad de cosecha manual utilizada principalmente en Tailandia es empleando una herramienta de enganche arrancador. La técnica consiste en sujetar el tallo mediante un implemento de enganche a modo de tenaza que va unido aproximadamente a 30 cm del extremo de un palo que se apoya en el suelo; el tallo se engancha por su parte inferior y se hace palanca hacia arriba (Aristizábal *et al.* 2007). Con el propósito de contribuir a facilitar y mejorar la eficiencia de la cosecha del cultivo de yuca en Panamá, se realizó un ensayo con el objetivo de evaluar la productividad en la cosecha manual con arrancador.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en La Estación Experimental El Ejido, en Los Santos, durante 14 meses. Los suelos de la estación en sus primeros 16 cm son franco arcilloso, con estructura en bloques angulares y sub-angulares, muy finos 5 mm de diámetro, grado fuerte en seco, friable en húmedo, pegajoso en húmedo y nula en seco, muy plástico, densidad aparente 1,38 g/cm³, muchas raíces finas. Entre 16 cm y 46 cm su textura cambia a franco-arcillo-arenoso, con estructura en bloques angulares y sub-angulares, mediano 10-20 mm de diámetro, grado moderado en seco, muy friable en húmedo, pegajosidad baja en húmedo y nula en seco y muy plástico, densidad aparente 1,51 g/cm³, pocas raíces muy finas (Villarreal *et al.* 2016).

Se estableció un ensayo experimental con un diseño completamente al azar, en una localidad, con una parcela de 500 m² con una densidad de siembra de 10 000 plantas/ha, y un marco de siembra de una distancia de 1 m entre plantas y 1 m entre hileras. El factor estudiado fue el método de cosecha con dos tratamientos: cosecha manual, y cosecha manual con dispositivo arrancador de palanca (Figura 1).



Figura 1. Herramienta de palanca con dispositivo arrancador.

Se registró el tiempo que tomo cosechar las plantas, la cantidad y el peso de raíces comerciales y no comerciales obtenidas. La productividad de la cosecha se calculó como el cociente:

$$Productividad\ de\ la\ cosecha = \frac{kg\ cosechados}{Tiempo\ total\ empleado}$$

Los datos fueron tabulados en Microsoft Excel y analizados con InfoStat. Para el análisis estadístico se realizaron pruebas de t para la comparación de las medias. Se calcularon estadísticos descriptivos de tendencia central y de dispersión, se visualizó la distribución de los datos mediante gráficos de cajas y bigotes, asimismo se empleó el coeficiente de variación como medida comparativa de la variación entre los métodos de cosecha.

Considerando que el desempeño de un trabajador manual es variable de persona a persona, y que al avanzar el tiempo en la actividad de cosecha se presentan resultados con rendimientos marginales decrecientes debido al cansancio físico del trabajador, la relación entre kg de raíces cosechadas y el tiempo empleado de la mano de obra en la cosecha se expresó como una función cuadrática.

Las funciones cuadráticas son utilizadas con bastante frecuencia en el análisis económico para captar efectos marginales crecientes o decrecientes. Se ilustra en teoría como es la función en su forma general para efectos marginales decrecientes (Figura 2).

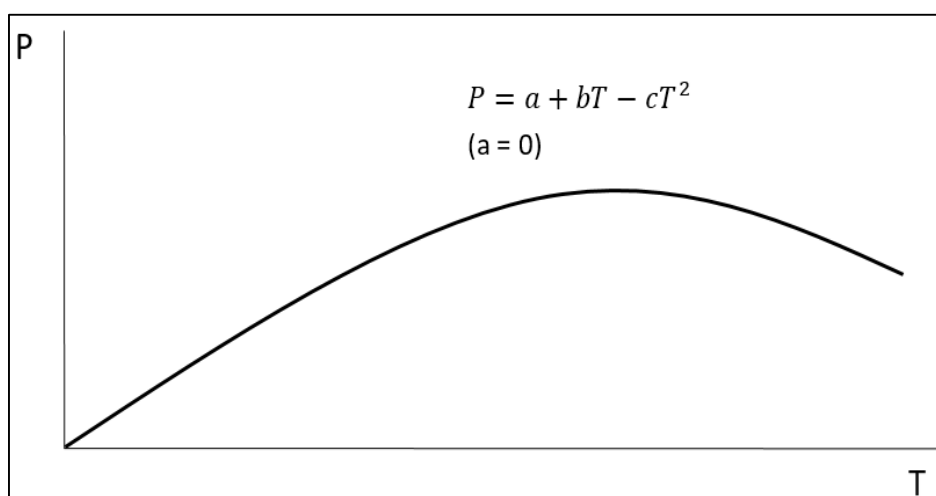


Figura 2. Relación funcional entre el peso de raíces cosechadas por persona (P) y el tiempo empleado por persona (T).

Asimismo, el peso en kg de raíces de yuca cosechadas se estudió en función del método de cosecha como variable dummy o binaria, y el tiempo en minutos empleados en la cosecha. Considerando que la forma funcional logarítmica proporciona coeficientes que se interpretan como efectos porcentuales, la cuantificación y análisis del peso de las raíces de yuca cosechadas se realizó a través de un modelo econométrico log-lineal.

$$\log(\text{peso}) = \beta_0 + \beta_1 \text{min} + \beta_2 \text{min}^2 + \beta_3 \text{palan} + \varepsilon$$

Donde:

$\log(\text{peso})$ = logaritmo natural del peso en kg de las raíces cosechadas

min = tiempo en minutos que toma cosechar un número específico de plantas

min^2 = término cuadrático que permite efectos marginales crecientes o decrecientes

palan = toma el valor de 1 si la cosecha fue manual con palanca y 0 en caso contrario

ε = contiene otros factores que afectan el peso de las raíces cosechadas

Los coeficientes estimados de las variables explicativas miden el cambio relativo que se produce en el regresando ante un cambio absoluto producido en la variable explicativa a la que acompañan. Los coeficientes estimados se multiplicaron por 100 para interpretarse como el cambio porcentual producido en la variable explicada ante un cambio absoluto en la variable explicativa correspondiente.

$$\Delta y = (100\beta_i)\Delta x_i$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La proporción de raíces comerciales respecto al total de raíces cosechadas resultó diferente ($P < 0,01$) entre ambos métodos de cosecha, con medias de 0,60 para la cosecha manual con palanca y de 0,40 para la cosecha manual. El peso medio de las raíces comerciales por minuto fue diferente y mayor para la cosecha manual con palanca, siendo superior en 6,33 kg de raíces comerciales por minuto con respecto al promedio de la productividad de la cosecha manual (Cuadro 1).

Cuadro 1. Prueba t del peso de raíces comerciales cosechadas kg minuto^{-1} en los métodos de cosecha.

	Man+palanca	Manual
n	15	15
Media	8,53	2,20
Media(1)-Media(2)	6,33	
Límite Inferior (95)	5,02	
Límite Superior (95)	7,63	
pHomVar	0,0015	
T	10,14	
p-valor	<0,0001	

El número de plantas cosechadas por minuto fue diferente entre los dos métodos de cosecha, resultando superior para la cosecha manual con palanca (Figura 3). En la cosecha manual con palanca, en promedio la diferencia de la productividad de plantas cosechadas por minuto fue de 1 planta/minuto más que con la cosecha manual. La variación de la productividad fue mayor en el caso de la cosecha manual con un coeficiente de variación de 39%, mientras que la cosecha manual con palanca tuvo una variación de 19%.

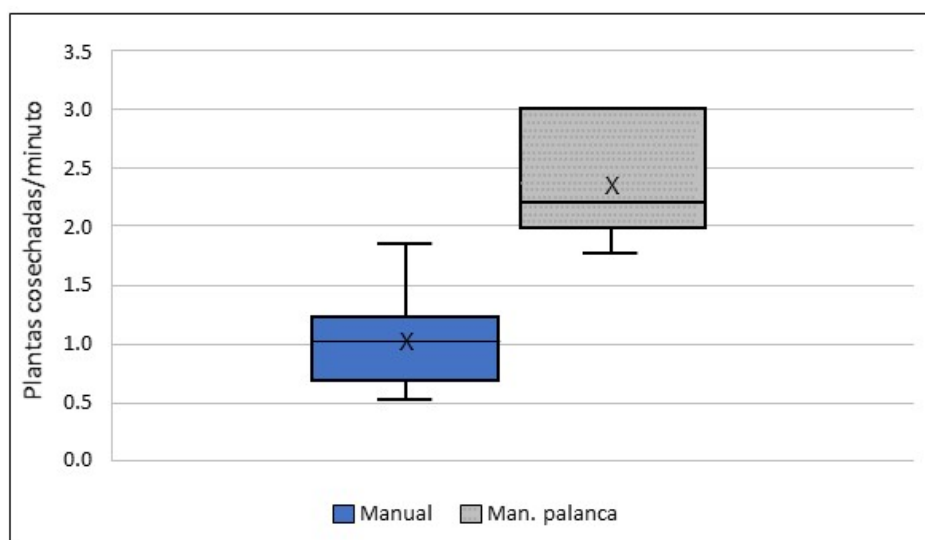


Figura 3. Número de plantas cosechadas por minuto en los métodos de cosecha manual y manual con palanca.

El análisis de regresión muestra que el modelo estimado resultó altamente significativo, al igual que los coeficientes del mismo a un nivel de significancia de 95% (Cuadro 2). De acuerdo con el R-cuadrado ajustado, el modelo presentó un buen ajuste, las variables independientes consideradas explicaron en 91,5% la variación del peso de las raíces de yuca cosechadas. El signo del término cuadrático en el modelo fue negativo como se esperaba, indicando rendimientos marginales decrecientes.

Cuadro 2. Resultado del análisis de regresión del modelo funcional del Peso de raíces cosechadas.

R ² = 0,925		Ajustado R ² = 0,915		r= 0,962	n= 28	
ANOVA						
Fuente	SC	gl	CM	F	valor-p	
Regresión	20,026	3	6,6755	98,44	<0,0001	
Residuos	1,627	24	0,0678			
Total	21,654	27				
Coeficientes de regresión					Intervalo de confianza	
variables	coeficientes	std. error	t (gl=24)	valor-p	Inf. 95%	Sup. 95%
Intercepción	1,2228					
Min	0,3237	0,0608	5,320	<0,0001	0,1981	0,4493
Min ²	-0,0101	0,0033	-3,088	0,0050	-0,0168	-0,0033
Palanca	1,2253	0,0987	12,409	<0,0001	1,0215	1,4291

El análisis gráfico de los residuos mostró que el modelo cumplió con los supuestos de linealidad y homocedasticidad de la ecuación de regresión múltiple (Figura 4). La probabilidad normal de los residuos, confirman la suposición de que los residuos siguen la distribución de probabilidad normal (Figura 5).

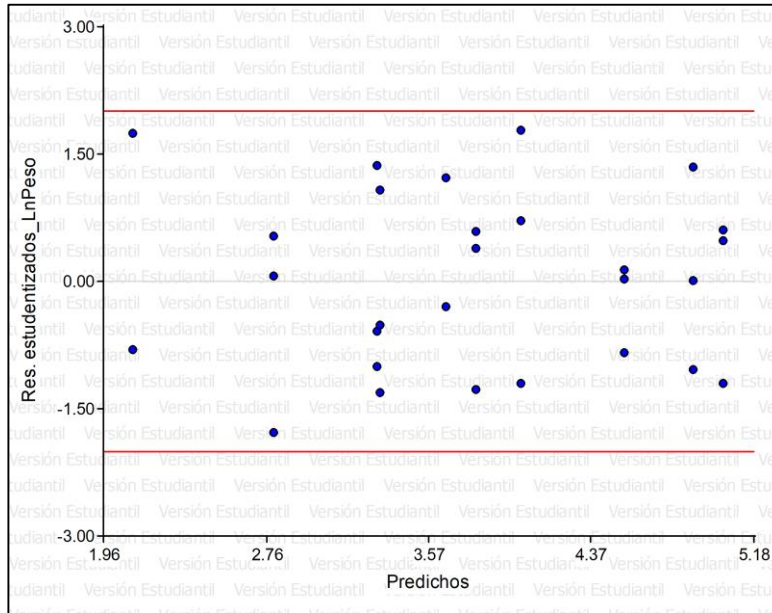


Figura 4. Residuos frente a los predichos.

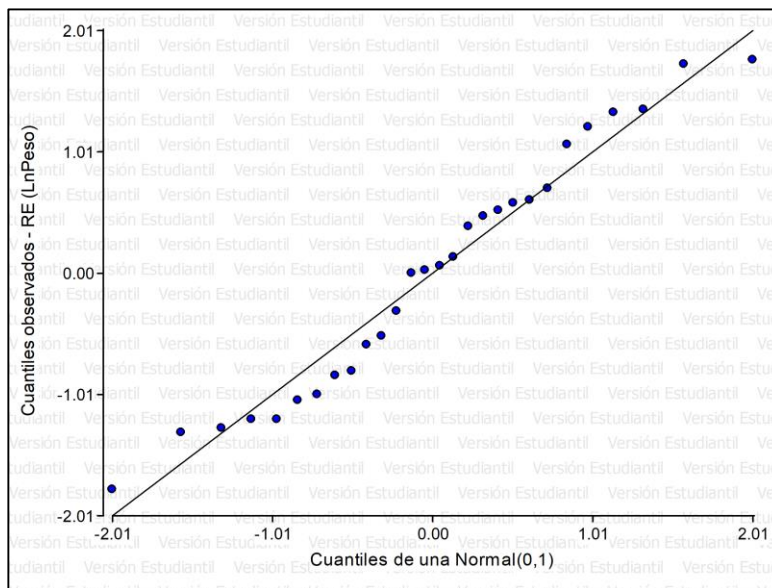


Figura 5. Q-Q plot.

Asimismo, la prueba de Shapiro-Wilks concluyó que los residuos siguen una distribución normal ($p=0,2245$). La prueba de Durbin-Watson con un valor calculado de $d = 1,90$, resultó mayor que du por lo que se concluye que no existe autocorrelación entre los residuos.

La ecuación del modelo funcional resultó como se muestra a continuación:

$$\log(\widehat{peso}) = 1,22 + ,324(min) - ,01(min^2) + 1,23(palan)$$

Para la variable minutos, los coeficientes estimados fueron $\hat{\beta}_1 > 0$ y $\hat{\beta}_2 < 0$, por lo que el máximo de la función se alcanzó en el punto correspondiente al coeficiente de min sobre el doble del valor absoluto del coeficiente de min^2 :

$$\begin{aligned} min &= |\hat{\beta}_1 / (2\hat{\beta}_2)| \\ min &= .324 / [2(.01)] \approx 16.2 \end{aligned}$$

En la ecuación, el rendimiento del tiempo del jornal en la cosecha se vuelve cero aproximadamente a los 16,2 minutos. Lo anterior implica que para el próximo minuto-hombre cosechando después de los 16,2 minutos se tiene un valor negativo para el cambio porcentual del peso de la cosecha.

El costo de emplear ecuaciones cuadráticas para captar efectos decrecientes es que llega un momento en el que la forma cuadrática cambia de dirección, según Wooldridge (2010). Se espera que el rendimiento del tiempo del jornal en la cosecha se vuelva negativo o empiece a disminuir en algún punto, y puede ser difícil creer que esto ocurra a los 16,2 minutos de estar cosechando. Sin embargo, también al alcanzar el punto de inflexión podría esperarse un efecto plateau, temporalmente previo al efecto negativo decreciente.

Sin embargo, en la interpretación es importante considerar que diferentes trabajadores en la cosecha presentaran variación entre los niveles de cansancio físico, debido a factores que no se hayan controlado como la salud, edad y experiencia (método) realizando las labores de cosecha. Así, cada trabajador tendría una función de productividad específica y punto de inflexión con rendimientos marginales decrecientes.

El efecto

$$\Delta \log(\widehat{peso}) \approx \{[.324 - 2(.01)]min\} \Delta min$$

de esta forma

$$\Delta \widehat{peso} \approx 100\{[.324 - 2(.01)]min\} \Delta min$$

$$(32,4 - 2min) \Delta min$$

Así, el aumento de minutos cosechando, por ejemplo, de 16 a 17, hace que el peso cosechado aumente aproximadamente $32,4 - 2(16) = 0,4$; mientras que el aumento de 17 a 18 minutos hace que el peso disminuya aproximadamente $32,4 - 2(17) = -1,6$.

Para valores dados de min y min^2 , la diferencia en log (peso) entre el método de cosecha manual con dispositivo de palanca y el método manual es 1,23. Esto significa que se predice que el peso de la cosecha por el método con dispositivo de palanca será, en promedio, 123% mayor al peso comparable de la cosecha manual.

CONCLUSIONES

- La productividad de la cosecha determinada como la relación entre los kg de raíces cosechadas y el tiempo empleado de la mano de obra en la cosecha mostró efectos marginales decrecientes. Es de esperar que diferentes trabajadores en la cosecha tendrán funciones de productividad específicas.
- El método de cosecha manual con el dispositivo arrancador de palanca mostró una eficiencia superior duplicando los resultados obtenidos comparativamente con la cosecha manual tradicional. Considerando que la mano de obra agrícola es escasa una mayor eficiencia en el tiempo de la cosecha economizaría su uso.

BIBLIOGRAFÍA

- Agbetoye, LAS. 1999. Developments in Cassava Harvesting Mechanization West Indian Journal of Engineering 22(1):11-19.
- Aristizábal, J; Sánchez, T; Mejía L, D. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca (en línea). FAO, Rome (Italy). Dirección de Infraestructura Rural y

Agroindustrias. Consultado 20 ago. 2017. Disponible en <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s01.pdf>

Gutiérrez P, H; de la Vara S, R. 2009. Control estadístico de calidad y seis sigma. Segunda Edición. McGraw-Hill. 482 p.

Kolawole, OP; Agbetoye, LAS; Ogunlowo, AS. 2010. Sustaining world food security with improved cassava processing technologies: The Nigerian experience (en línea). Sustainability, 2: 3681- 3694. Disponible en <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/12/3681/pdf>

Morán G, RA; Saavedra S, DA. 2008. Cadena de valor de la yuca en Panamá. Instituto de Mercadeo Agropecuario (IMA). 11 p.

OIT. 2004. Estudio del proceso de trabajo y operaciones, perfil de riesgos y exigencias laborales en el cultivo y empaque de la yuca. CR.

Ospina Patiño, B; Cadavid López, LF; García González, ML; Alcalde Torres, CA. 2007. Mechanization of cassava production in Colombia. *In* Howeler, Reinhardt H. (ed.). Cassava research and development in Asia: Exploring new opportunities for an ancient crop: Proceedings of the seventh regional workshop held in Bangkok, Thailand, Oct 28-Nov 1, 2002. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cassava Office for Asia, Bangkok, TH. p. 277-287.

Palacio-Rangel, MI; Ortiz Martínez, G; Cervantes-Escoto, F. 2016. La mecanización agrícola. Conferencia en Memorias del Quinto Congreso Nacional de Ciencias Sociales, CUCSH, Universidad de Guadalajara, MX.

Villarreal Núñez, JE; Sáez Cigarruista, AE; Núñez Cano, JI; Barahona Amores, LA; Castro Villarreal, JA. 2016. Características morfológicas del Pedón de la Estación Experimental El Ejido de Los Santos. Sin Publicar.

Wooldridge, JM. 2010. Introducción a la econometría. Un enfoque moderno. 4ª. Edición. Cengage Learning, Inc. 865 p.