

CIAT-501
000/68



**Journal Article
Reprints/Reimpresiones
de artículos publicados en revistas**



CIAT
SB
211
C3
Q3

7



Una Sembradora Automática de
Dos Surcos para Estacas de Yuca:
Desarrollo, Diseño y Construcción del Prototipo



E. U. Odigboh

52343

3661

Esta publicación fue financiada por el Centro de Información sobre Yuca del CIAT, un proyecto especial con fondos conjuntos del CIID (Proyecto de Información sobre Yuca-Fase II) y del presupuesto general del CIAT.



Reimpreso del **Journal of Agricultural Engineering Research**
1978 Vol. 23, 109-116.

Una Sembradora Automática de Dos Surcos para Estacas de Yuca: Desarrollo, Diseño y Construcción del Prototipo¹

E. U. Odigboh²

Resumen

La siembra manual de las estacas de yuca es una operación ardua y agobiante, y constituye uno de los principales factores limitantes del desarrollo en gran escala de las industrias de yuca en Nigeria. La sembradora de yuca de 2 surcos que se describe en este trabajo es totalmente automática. El prototipo se arrastra por medio de un tractor a velocidades, hasta de 10 km/hora. Se ha diseñado para sembrar las estacas de yuca con un ángulo de inclinación hasta de 80° con relación a la horizontal -según la velocidad sembradora- y a una distancia de 89 cm en pequeños caballones separados 90 cm entre sí.

Introducción

A pesar de la importancia de la yuca como alimento y de su gran potencial como cultivo para venta al contado en Nigeria, la abundancia de mano de obra que requieren todas las etapas de cultivo ha limitado su producción para ambos usos (1). La necesidad de mecanizar la siembra de la yuca ha sido reconocida desde hace mucho tiempo, pero los intentos anteriores de diseñar una sembradora de estacas de yuca no dieron como resultado una máquina útil y durable. Fuera de algunos implementos para facilitar la labor de los trabajadores, hasta ahora no se conoce ninguna sembradora de yuca totalmente automática en Nigeria ni en el exterior. Este trabajo discute el desarrollo, diseño y construcción de una sembradora de yuca totalmente automática.

1 Reimpreso con la autorización del Journal of Agricultural Engineering Research 1978, Vol. 23, 109-116.

2 Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad de Nigeria, Nsukka, Nigeria.

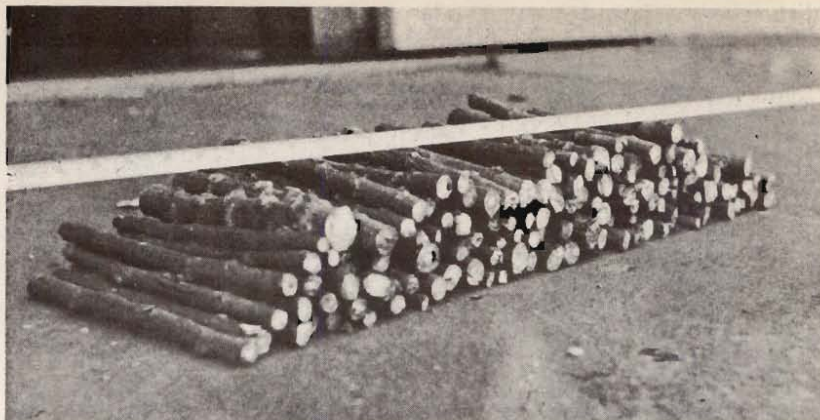


Figura 1. Estacas de yuca de diferentes tamaños.

Prácticas culturales que afectan el diseño de la sembradora

La yuca es uno de los pocos cultivos alimenticios que se propaga usualmente por medio de estacas, ya que la propagación por medio de semilla generalmente se emplea sólo para fines de fitomejoramiento. Se conocen más de 200 variedades de yuca (2), muchas de las cuales se cultivan en Nigeria. Como se observa en la Figura 1, los tallos de yuca varían considerablemente dentro de la misma variedad y entre variedades, en cuanto a tamaño, grosor, longitud, grado de rectitud y número de nudos por unidad de longitud. Los diámetros de las estacas que se pueden sembrar fluctúan de 1-5 cm. Estas variaciones en las propiedades físicas, y especialmente la presencia de nudos en la superficie del tallo, dificultan la manipulación de las estacas.

Tradicionalmente las estacas se cortan en trozos de 20-30 cm para la siembra. Cuando se siembran manualmente, las estacas se colocan sobre montículos o caballones a una profundidad de 10-20 cm, con inclinaciones de 45-85° con relación a la horizontal. Es necesario cerciorarse de que las estacas se siembren con los nudos hacia arriba, o la germinación puede verse afectada gravemente. La siembra de las estacas en forma totalmente horizontal que se lleva a cabo en algunas de las regiones más húmedas de Nigeria, evita el tener que orientar los nudos; sin embargo, se ha encontrado que los rendimientos son mayores cuando las estacas se siembran inclinadas con relación a la horizontal (3). Otra ventaja que se le atribuye a la siembra de la yuca en forma inclinada, es que las raíces crecen juntas formando un racimo (4), lo cual facilita la mecanización de la cosecha (1, 5).

Los resultados de estudios sobre distancia entre plantas de yuca no han sido concluyentes (6), e inclusive dentro de la misma zona ecológica, estas

distancias pueden variar de 60-120 cm entre y dentro de surcos. Las distancias cortas a intermedias entre plantas producen mayores rendimientos (aunque raíces más pequeñas) por unidad de área, lo cual probablemente causa menos problemas al mecanizar la cosecha.

La sembradora de yuca que se describirá se diseñó para llenar los requisitos culturales conocidos actualmente; siembra estacas de yuca con diámetros de 2-5 cm y excluye los diámetros más pequeños que tienden a afectar la viabilidad. Las estacas tienen 25 cm de largo y se siembran a una profundidad de aproximadamente 17 cm en caballones pequeños a un ángulo ajustable que fluctúa entre 0 y 80° con relación a la horizontal. La distancia entre plantas se puede ajustar a 90 y 89 cm entre y dentro de surcos, respectivamente.



Figura 2 (a). Vista del lado izquierdo de la sembradora de yuca: A - tolva; B - cilindro dosificador; C - rueda de transmisión; D - tapasurcos/caballador; E - abresurcos; F - rueda de transporte; G - puerta de vaivén; H - receptáculo para las estacas de yuca; I - soporte para la sembradora. (b). Vista de la sembradora de yuca con la puerta de una de las tolvas abierta para poder observar las celdas - M; [las letras corresponden a las mismas partes identificadas en la Figura 2 (a)] .

Descripción de la sembradora de yuca

La sembradora de yuca se ilustra en las Figuras 2 (a) y (b). A continuación se describen en detalle algunas características especiales de la máquina, que incluyen las ruedas de transmisión, el mecanismo dosificador, la tolva, el abresurcos, el tapasurcos y la caballonadora.

Ruedas de transmisión

Los detalles de construcción de las ruedas de transmisión se presentan en la Figura 3. Los ángulos de hierro (C) actúan como refuerzo y ayudan a la tracción de las ruedas. Las platinas radiales (E) que van soldadas a intervalos de 13 cm alrededor del anillo interno de cada unidad de la rueda, sirven para presionar y afirmar el suelo alrededor de las estacas de yuca sembradas. Las 2 ruedas de transmisión se montaron en el eje posterior a una distancia de 90 m de un centro al otro. El diámetro de la rueda de transmisión se escogió de tal modo que una revolución diera 3 veces el espaciamiento de 89 cm correspondiente a la distancia entre plantas dentro del surco.

Mecanismo dosificador

La sembradora es accionada por las ruedas traseras y mediante la acción combinada de mecanismos de transmisión por cadena, engranaje y correas conectados al eje trasero, según se ilustra en la Figura 4. El dosificador

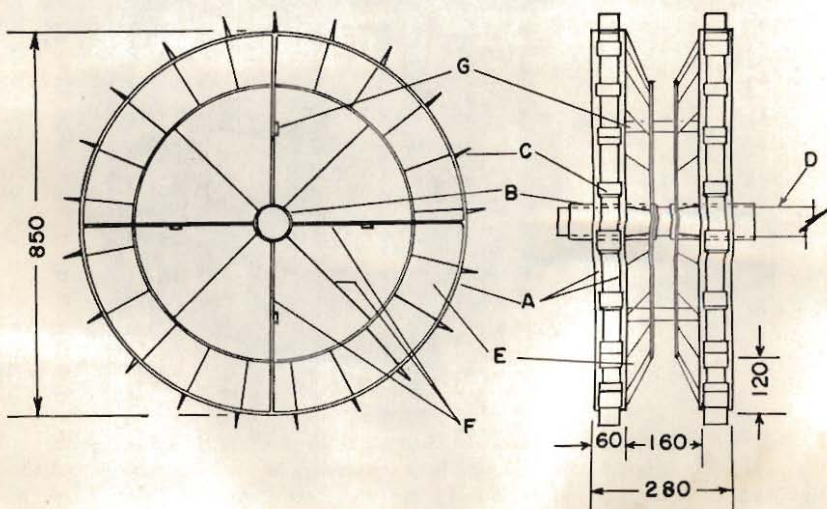


Figura 3. Detalles del diseño de la rueda de transmisión (las dimensiones están dadas en cm): A - anillos de acero de la biela; B - cubo o buje; C - ángulos de hierro; D - eje posterior; E - platinas radiales; F - rayos de la rueda; G - barras transversales de refuerzo.

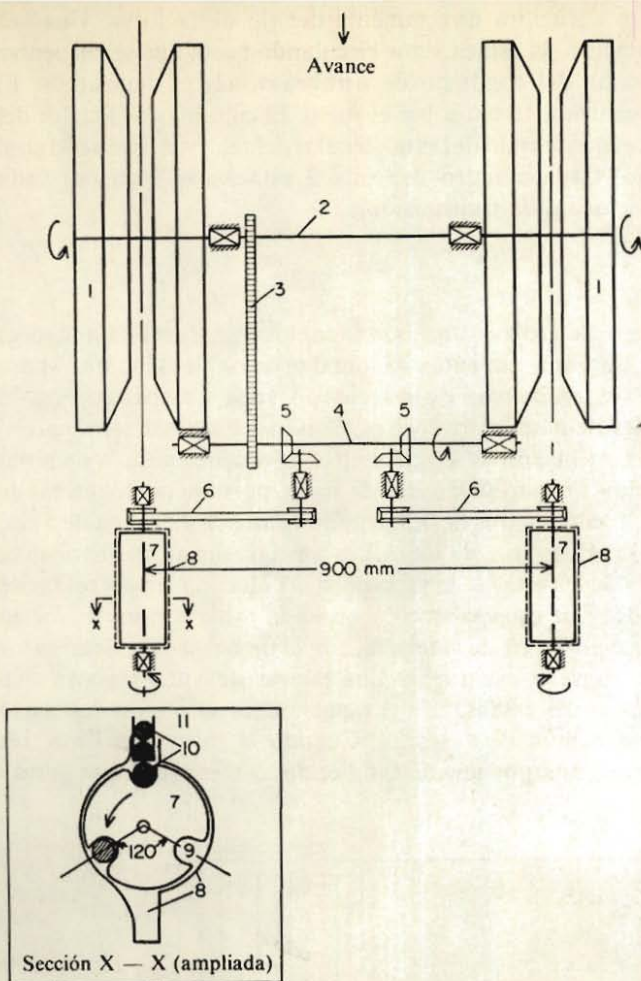


Figura 4. Tren de transmisión del mecanismo dosificador (vista de planta): 1 - ruedas de transmisión; 2 - eje de transmisión; 3 - sistema de transmisión por cadena; 4 - eje de transmisión intermedio; 5 - engranajes cónicos; 6 - sistema de transmisión por correa; 7 - cilindros dosificadores; 8 - cilindro dosificador; 9 - receptáculo; 10 - estacas de yuca; 11 - conducto de descarga de la tolva. x-x: corte transversal del cilindro dosificador; las flechas indican el sentido de rotación.

consiste en 2 cilindros de madera de 10 cm de diámetro y 25 cm de longitud. La superficie de cada cilindro muestra 3 cortes longitudinales correspondientes a 3 receptáculos cilíndricos de 5 cm de diámetro, localizados simétricamente a intervalos de 120° y cuya función es recibir las estacas de yuca, tal como se observa en el recuadro de la Figura 4.

Los cilindros son montados de tal manera que giren debajo de las tolvas, dejando el espacio adecuado para recibir una estaca de yuca cada vez que

un receptáculo se encuentra directamente debajo de la tolva. Una vez dentro del receptáculo, la estaca sigue circulando hasta que se encuentra directamente encima del conducto de siembra donde es depositada. El conducto se encuentra a 10 cm sobre el suelo. El cilindro dosificador del lado derecho rota en el sentido de las manecillas del reloj y el izquierdo en el sentido contrario. Cada cilindro deposita 3 estacas de yuca por cada revolución de las ruedas de transmisión.

La tolva

La sembradora tiene 2 tolvas, una para cada surco de plantas. Cada tolva consta de celdas o compartimientos de tamaños variables (Figura 5) para recibir los diversos diámetros de estacas de yuca adecuadas para la siembra, los cuales fluctúan entre 2 y 5 m. Con base en una determinación estadística de la distribución de los diámetros adecuados para la siembra, los compartimientos se distribuyeron de la siguiente manera: dos celdas de 2 cm, dos de 2,5, tres de 3, tres de 3,5, tres de 4, una de 4,5 y una de 5 cm, para un total de 15 celdas en cada tolva. Las tolvas se llenan manualmente, asegurándose de que las estacas de yuca queden colocadas en las celdas de tamaño apropiado. Las estacas se colocan en la tolva con los nudos en dirección a la parte posterior de la misma, con el fin de que a la siembra los nudos queden siempre hacia arriba. Las estacas de yuca reposan una encima de la otra en las celdas, con el espacio necesario para deslizarse hacia el conducto común de descarga. Cuando la tolva está llena, las estacas van saliendo una por una de cada celda, comenzando por la más grande.

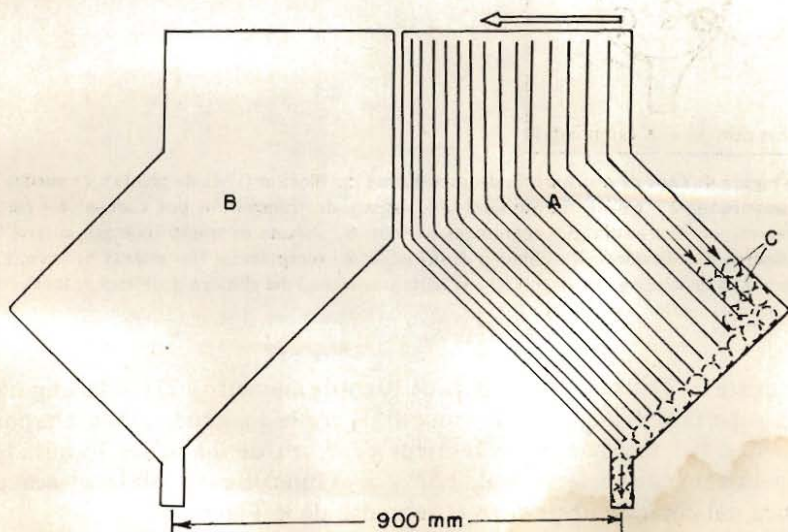


Figura 5. Forma de la tolva y configuración de las celdas; A - tolva izquierda mostrando la distribución de las celdas; B - tolva derecha; C - estacas de yuca. ⇒ dirección en que disminuyen los tamaños de las celdas y secuencia de descarga de las estacas.

Las 2 tolvas pueden contener aproximadamente 2500 estacas, de modo que si se siembra una estaca por metro cuadrado de terreno, una carga de las tolvas alcanza para sembrar ca. 0,25 ha. La parte anterior de la tolva consiste en una puerta de vaivén, como se puede apreciar en la Figura 2(b), para facilitar la cargada de las estacas de yuca.

Otros implementos

La sembradora tiene 2 abresurcos que van montados delante del dosificador. Los abresurcos están ajustados para abrir 2 surcos continuos de 10 cm de profundidad, separados 90 cm entre sí y directamente en línea con los conductos de descarga.

Un par de discos de 15 cm que sirven como tapasurcos y caballonadora están montados sobre cada conducto de descarga en una posición determinada por los ensayos de campo. Los discos se ajustan para que formen caballones de 7 cm de alto y 16 cm de ancho.

Como se observa en la Figura 6, cada estaca es depositada horizontalmente a lo largo del surco de tal forma que su extremo posterior (A) quede primero en contacto con el caballón en formación (B); allí la estaca gira sobre si misma de tal modo que su extremo anterior cae dentro del surco. El caballón en formación inmediatamente se cierra y cubre la estaca por los lados, dejando al descubierto una porción de aproximadamente 5 cm. Las ruedas de transmisión hacen presión sobre los lados del caballón, compactando el suelo alrededor de la estaca sembrada. De esta forma, la estaca queda sembrada en una posición de 0-80° con respecto a la horizontal, dependiendo de la velocidad de la sembradora.

La sembradora de yuca es arrastrada por un tractor. Por consiguiente, lleva también ruedas de transporte que evitan que los casquillos de las ruedas de transmisión sufran daño. Como el mecanismo dosificador es accionado por las ruedas de transmisión, el uso de las ruedas de transporte también evita que se depositen las estacas antes de tiempo. Para el transporte y para voltear en las cabeceras, el operario hala los abresurcos para que no queden arrastrando sobre la tierra, utilizando una soga situada cerca de la silla del conductor. Esta acción hace que se cierren

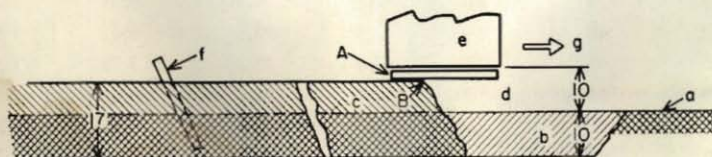


Figura 6. Configuración del surco y del caballón en el momento en que se deposita una estaca de yuca para sembrarla: a - superficie del terreno; b - surco; c - caballón; d - estaca de yuca; e - conducto de descarga; f - estaca de yuca sembrada; g - dirección de desplazamiento.

simultáneamente las puertas de los conductos de descarga de las tolvas para evitar la salida de las estacas.

Evaluación del desempeño de la sembradora

La evaluación del desempeño de la sembradora se basó en ensayos tanto de laboratorio como de campo y se detalla en las siguientes secciones.

Velocidad de la sembradora y eficiencia de carga

En el Cuadro 1 se presentan resultados de ensayos de laboratorio para determinar el efecto de la velocidad en la eficiencia de carga de los receptáculos, los cuales muestran que a más de 65 revoluciones por minuto de las ruedas de transmisión, la eficiencia de carga comienza a declinar notablemente. Los valores de la velocidad de la sembradora en el Cuadro 1 se calcularon de la siguiente manera:

$$V = 60 \pi DN / 100 / \text{km/hora}$$

donde D (85 cm) es el diámetro de la rueda de transmisión y N equivale a las revoluciones por minuto. Para una distancia entre surcos(W) de 90 cm, la tasa de siembra (FC) se explica así:

$$\begin{aligned} FC &= \text{velocidad de la sembradora (V) x 2 x W} \\ &= \frac{2 \times 0,9 \times V}{10} = 0,18 V \text{ ha/hora} \end{aligned}$$

Cuadro 1. Velocidad de la sembradora y eficiencia de carga.

Duración del recorrido, (t) (min)	Rev/min de las ruedas de transmisión, N	No. de estacas esperado $C_c = 3Nt$	No. real de estacas, Ca	Eficiencia de carga, $(C_a/C_c) \times 100$ (%)	Velocidad de la sembradora, V (km/hora)	Tasa de siembra, FC (ha/hora)
2,0	10	60	60	100,0	1,60	0,29
2,0	15	90	91	101,1	2,40	0,43
2,0	20	120	120	100,0	3,20	0,58
2,0	25	150	149	99,3	4,01	0,72
2,0	30	180	181	100,6	4,81	0,87
2,0	35	210	209	99,5	5,61	1,01
2,0	40	240	236	98,3	6,41	1,15
2,0	45	270	268	99,3	7,21	1,30
2,0	50	300	296	98,7	8,01	1,44
2,0	55	330	323	97,9	8,80	1,58
2,0	60	360	353	98,1	9,60	1,73
2,0	65	390	376	96,4	10,41	1,87
2,0	70	420	401	95,5	11,22	2,02

La información del Cuadro 1 muestra que la velocidad máxima funcional de la sembradora será aquella a la cual la dosificación de las estacas de yuca no se vea negativamente afectada. No se debe permitir una eficiencia de carga de menos del 96%, si se desea obtener un terreno uniformemente sembrado sin tener que recurrir a la siembra manual para subsanar las deficiencias.

Ensayos de campo

La sembradora operó en un terreno limpio, arado y rastrillado a diferentes velocidades de avance. Para cada velocidad se midió la distancia entre estacas y el ángulo de siembra. Se registró el número de estacas sin depositar y las que quedaron mal orientadas. Los resultados de estos ensayos se presentan en el Cuadro 2, el cual muestra los datos redondeados de la distancia promedio entre estacas y el rango de ángulos de siembra a cada velocidad, con el valor promedio entre paréntesis. El Cuadro 2 también presenta los porcentajes de germinación para algunos de los ensayos.

Discusión de los resultados

Los datos del Cuadro 2 sobre desempeño en el campo indican que a velocidades de la sembradora de más de 6 km/hora, el ángulo promedio de siembra fue de menos de 45°, aproximándose a 0° a velocidades más altas. A medida que la velocidad de la sembradora aumentó hasta superar los 6 km/hora, las estacas de yuca tendieron a quedar cubiertas por tierra; ésto hace que la velocidad práctica quede limitada a 6 km/hora, especialmente

Cuadro 2. Datos sobre el comportamiento de la sembradora en pruebas de campo.

Velocidad de la sembradora (km/hora)	Distancia promedio entre plantas (cm)	Angulo de siembra (grados)	% de estacas sin depositar	% de estacas mal orientadas	% de germinación
0,5	90	79-84 (81,0)	0	1	
1,0	90	75-81 (77,5)	0	0	96
1,5	88	73-78 (75,2)	1	0	100
2,0	90	68-72 (70,9)	0	3	98
2,5	86	64-70 (67,8)	0	0	95
3,0	87	58-66 (62,4)	0	0	
4,0	89	51-59 (54,8)	2	0	
5,0	86	47-53 (49,7)	0	0	95
6,0	87	41-50 (44,5)	0	0	
8,0	86	30-40 (36,3)	0	0	
10,0	85	20-31 (27,4)	1	0	

para las áreas más secas de Nigeria, donde sembrar a inclinaciones de 45° o más es una práctica de cultivo requerida. Por otra parte, se observó que a velocidades más altas, la caballonadora en movimiento impedía parcialmente la descarga de las estacas dentro de los surcos. Sin embargo, a velocidades menores de 6 km/hora, el ángulo de siembra aumentó, alcanzando un promedio de 81° a 0,5 km/hora. A medida que se redujo la velocidad de la sembradora, la porción de la estaca de yuca que quedaba fuera del caballón aumentó y la calidad de la siembra en general mejoró notablemente.

Las distancias promedio entre plantas dentro de los surcos que aparecen en el Cuadro 2 muestran algunas diferencias con relación a la distancia propuesta (fijada) de 89 cm. Sin embargo, considerando las diferencias en las características físicas de las estacas de yuca lo mismo que la variabilidad del terreno, los espaciamientos entre plantas que se registraron parecen ser prácticamente independientes de la velocidad de la sembradora. Se observó que la alineación de las plantas entre surcos que se sembraron en diferentes pasadas quedó al azar y que dependía de la forma del terreno y del momento en que el operario abría el conducto de descarga en las cabeceras. Sin embargo, esto no constituyó una desventaja agronómica. La columna del Cuadro 2 que da el número de estacas sin depositar por cada 100 estacas sembradas muestra que, contrario a la evidencia presentada por los ensayos de laboratorio, la dosificación en el terreno no se vió afectada ni siquiera a velocidades de 10 km/hora. Esto se debió probablemente a la vibración que recibían las tolvas a medida que la sembradora avanzaba por un terreno desigual.

Prácticamente todas las estacas que se sembraron quedaron bien orientadas como se observa en el Cuadro 2 bajo la columna para el número de estacas mal orientadas por cada 100. Se obtuvo un promedio de 96,8% en la tasa de germinación de los ensayos de campo para los que se llevaron estos registros (Cuadro 2). Como la germinación de las estacas de yuca sembradas no depende exclusivamente del método de siembra, el porcentaje de germinación registrado se consideró satisfactorio. Este indicaba que los nudos de las estacas de yuca no habían sufrido demasiado daño en el proceso de dosificación o de siembra.

Se observó que en las partes del terreno que contenían desechos o que no habían sido bien rastrilladas, la sembradora tenía dificultad para hacer los surcos y los caballones y la siembra era generalmente deficiente, especialmente a velocidades altas. El desempeño de la sembradora es sensible, por lo tanto, a la calidad de la preparación del terreno. Esta es, sin lugar a dudas, una desventaja que podría eliminarse o minimizarse empleando abresurcos y caballonadoras más grandes que permitieran aumentar el tamaño de los surcos y de los caballones. Esta modificación, que haría necesarias otras modificaciones como la de un sistema diferente para presionar la tierra, se está llevando a cabo actualmente.

Con base en el análisis de los resultados de los ensayos se concluye lo siguiente:

- 1.- La tasa de siembra más alta que es compatible con una buena calidad de siembra se obtiene a una velocidad de 6 km/hora en un terreno limpio y bien preparado.
- 2.- Las velocidades más bajas de la sembradora dan muy buenos resultados y son recomendables especialmente si el terreno contiene desechos o si no ha sido bien preparado.
3. Aunque no hay reducciones significativas en la eficiencia de dosificación de estacas aún a velocidades de la sembradora de más de 6 km/hora, el ángulo de siembra a estas velocidades es menor que 45° y se aproxima a 0° a medida que aumenta la velocidad; esto no satisface los requerimientos culturales de las áreas más secas de Nigeria.
- 4.- La distancia entre plantas dentro del surco es prácticamente independiente de la velocidad de la sembradora.
- 5.- Las estacas sembradas quedan correctamente orientadas y alcanzan un porcentaje de germinación satisfactorio.
- 6.- El desempeño de la sembradora es bastante sensible a la calidad de preparación del terreno, especialmente a velocidades altas de la sembradora, lo cual constituye una desventaja.

Referencias

1. ODIGBOH, E.U. Mechanization of Nigerian cassava production and processing: research needs and interests. *J. & Proc. Inst. Agric. Engng*, 1976 31 (1) 20.
2. COBLEY, L.S. *An Introduction to the Botany of Tropical Crops*. London: Longmans, Green and Co., 1956.
3. OYOLU, C. Department of Crop Science, University of Nigeria, Nsukka. Comunicación personal.
4. ONOCHIE, B.E.; MAKANJUOLA, G.A.; SCHULTE, E.E. A study to determine the suitability of present varieties to mechanical harvesting. Informe de investigación no publicado, University of Ife, Nigeria.

5. MAKANJUOLA, G.A.; ONOCHIE, B.E.; SCHULTE, E.E. Preliminary studies on mechanical harvesting of cassava roots in Nigeria. Informe de investigación no publicado, University of Ife, Nigeria.
6. IBE, B.E. Department of Crop Science, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria. Comunicación personal.

Traducido por Stellia Sardi de Salcedo, BA.

Agradecemos la asistencia técnica de Jorge Santos, MS, Asociado de Investigación del CIAT.