

Potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar

ALFONSO PARRA CORONADO
Instructor asociado,
Departamento de Ingeniería agrícola,
Facultad de Ingeniería,
Universidad Nacional de Colombia.

JORGE DOMINGUEZ BELLO
Ingeniero agrícola, U.N.

RENE CAITA
Ingeniero agrícola, U.N.

En este trabajo se presentan los resultados de estudios del potencial de secado de productos agropecuarios con aire natural y energía solar de regiones tropicales, considerando el caso específico de la yuca.

La evaluación del potencial de secado de una región se basa en el uso de un programa de computador (Simulación matemática), mediante el cual se obtienen los valores del caudal mínimo de aire requerido para secar el producto antes que éste alcance un nivel de deterioro preestablecido.

Otros elementos metodológicos incluyen: manejo de la información meteorológica, mes crítico, patrón de agitación del producto, hora de iniciación del secado, patrón de operación del ventilador, uso de calor suplementario (energía solar) e interpretación de los resultados con el fin de optimizar el sistema.

Se presentan mapas para Colombia de líneas isocaudales e isoáreas de colector solar plano, con base en los cuales se puede obtener fácilmente la información requerida para el diseño de sistemas de secado de yuca a baja temperatura.

INTRODUCCION

La yuca tiene buen potencial como alimento y materia prima, para diversos usos industriales. Por su alto contenido de carbohidratos fácilmente digeribles, puede ser utilizada en la fabricación de alimentos concentrados para animales. La yuca con contenido de humedad del 14% bh, puede sustituir a los cereales en rangos superiores al 30% en raciones para aves, cerdos y rumiantes. Para tales propósitos se requieren técnicas adecuadas de manejo y conservación, entre las cuales se destaca el secado.

El secado es un buen sistema de acondicionamiento y conservación de productos agropecuarios. En el caso de la yuca, por su alto contenido de humedad, el secado implica la remoción de gran cantidad de agua, lo cual significa alto consumo de combustible. El costo de este último hace no viable económicamente el uso de siste-

mas con alta temperatura. Por esta razón, la aplicación de sistemas de secado a baja temperatura con uso de energía solar es una alternativa conveniente, especialmente para pequeños agricultores; además, se puede obtener un producto final de alta calidad si utiliza correctamente el sistema.

En el secado con aire natural y energía solar intervienen un gran número de variables, que hacen que el estudio y análisis del proceso sean muy complejos. A nivel de campo sería muy dispendiosa su realización. Se requeriría estudiar el proceso permanente durante una serie de años lo suficientemente larga, para lograr representatividad de los resultados. Además, tales resultados sólo serían aplicables al lugar o lugares de estudio. La constante variación de las características climáticas haría difícil la optimización de las condiciones de operación del sistema.

El estudio detallado y la solución de problemas como el que se acaba de mencionar, se ha facilitado mediante el uso de la técnica de simulación matemática. La simulación matemática permite cuantificar la influencia real de cada una de las variables consideradas.

El desarrollo de modelos matemáticos de simulación del secado y la deterioración de productos agropecuarios, ha otorgado un mejor conocimiento de su comportamiento, lo cual conduce a un mejor manejo de los mismos. Se identifican los aspectos críticos inherentes tanto al producto como al sistema, y se pueden establecer criterios para su perfeccionamiento.

La integración de los modelos de secado a baja temperatura y de deterioración en programas de computador, permite estudiar lugares o regiones de interés. Igualmente, se puede considerar un número suficiente de

variables, cada una de ellas con un amplio rango de variación. De esta manera se logra definir las condiciones más adecuadas de operación de sistemas de secado a baja temperatura y seleccionar los mejores sitios para su implementación. Se utiliza la información referente a condiciones climáticas, características del producto a secar y condiciones de operación del sistema.

EL POTENCIAL DE SECADO

El potencial de secado de una región o un lugar es la capacidad que pueden tener sus parámetros climáticos naturales para incidir en mayor o menor medida sobre el secado. Para cuantificar el potencial de secado se utiliza el caudal de aire requerido para realizar el proceso, pues este factor sintetiza el efecto de las variables involucradas. Un factor adicional para la evaluación del potencial de secado es el requerimiento de área de colector solar para obtener un determinado incremento de temperatura del aire de secado, el cual permita efectuar el proceso en buenas condiciones.

Mediante el uso de información meteorológica de una serie adecuada de años y el análisis probabilístico de los resultados, se puede evaluar con precisión el potencial de secado de un lugar o de una región.

METODOLOGIA

La metodología propuesta para la evaluación del potencial de secado con aire natural y energía solar de una región, se basa en el uso de un programa de computador, el cual es la herramienta básica para la obtención de la información requerida. Otros elementos metodológicos, incluyen el manejo de la información meteorológica, mes crítico, patrón de agitación del producto, hora de iniciación del secado, patrón de operación del ventilador, uso de calor suplementario (energía solar) y

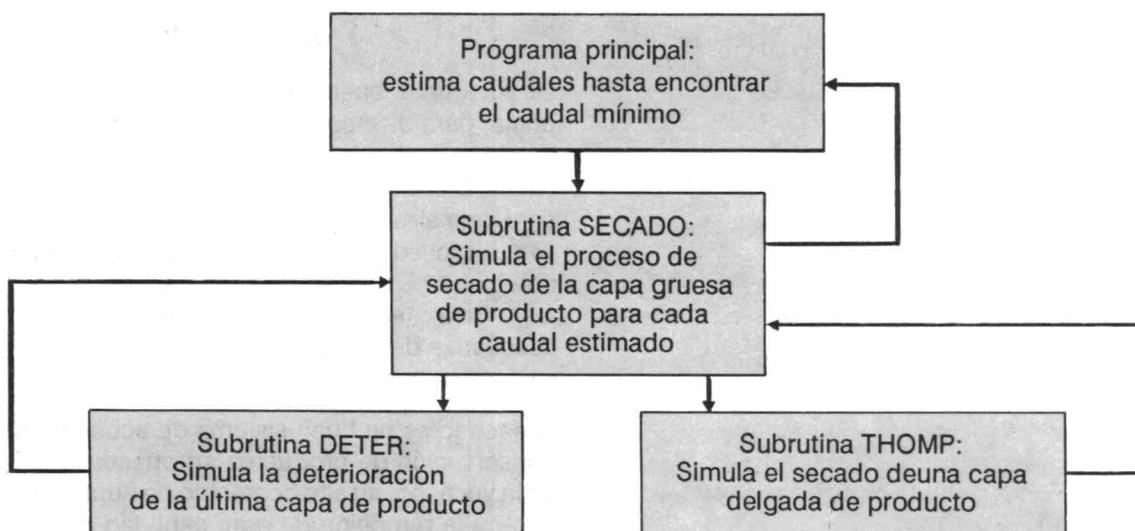


FIGURA 1. Diagrama general del programa.

la interpretación de la información obtenida con el fin de optimizar el sistema.

Programa de optimización de caudales

En la Figura 1 se presenta el diagrama general del sistema. En las referencias 5 y 6, se describe el programa utilizado y su proceso de validación. Los datos de entrada para el programa de computador son la información meteorológica del lugar y las condiciones de operación del sistema. Con base en dicha información, se simulan simultáneamente los procesos de secado y deterioración. Se optimiza el flujo de aire, calculando el caudal mínimo requerido bajo las condiciones simuladas para culminar el proceso antes de que se alcance un nivel de deterioro preestablecido. El programa especifica también las condiciones del producto después de secado.

Manejo de la información meteorológica

Se considera que una serie de información de 10 años consecutivos es adecuada para el estudio del potencial de secado de un lugar, dado que la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos meteorológicos es periódica. Con los datos meteorológicos promedio de cada mes, se calcula la variación horaria de temperatura y humedad relativa. Este será el comportamiento de las condiciones sicrométricas del aire durante un día típico del mes. Los valores obtenidos se utilizan como datos de entrada para el programa de computador.

Estudio de la estación tipo

Si las características climáticas de la región son similares, es suficiente analizar una "estación tipo", cuya ubicación sea representativa de la región y de la zona de mayor producción, también se debe considerar la información meteorológica disponible y su confiabilidad.

Estudiando la estación tipo se optimizan los parámetros de operación del sistema para la región, según el criterio del caudal mínimo y tomando en cuenta la uniformidad del contenido de humedad final del producto. Se consideran los siguientes aspectos: mes crítico, patrón de agitación del producto, hora de iniciación del secado, patrón de operación del ventilador y nivel de calor suplementario.

Estudio para todas las estaciones de la región

Los parámetros de operación del sistema, optimizados en el estudio de la estación tipo, se aplican para obtener los caudales y tiempos de secado de los años de estudio en cada una de las estaciones empleadas para la evaluación de la región. Ordenando los resultados de caudal de manera ascendente, se puede calcular la probabilidad de que en un año cualquiera dicho valor no sea superado. Con base en ello se pueden seleccionar

los caudales de diseño para diferentes niveles de confiabilidad.

Utilizando la información meteorológica del peor año de cada estación (100% de confiabilidad), se puede estudiar el secado para otros niveles de calor suplementario y/o diferentes contenidos de humedad inicial.

Teniendo en cuenta las condiciones óptimas de operación del sistema, los resultados para el año crítico en cada estación y el contenido de humedad inicial del producto, se pueden trazar mapas de líneas isocaudales de la región.

Dimensionamiento de sistemas de secado a baja temperatura usando colectores solares

Con el fin de obtener una primera aproximación para hacer un análisis de costos, se dimensionan sistemas de secado de yuca a baja temperatura con uso de energía solar, bajo diferentes condiciones de contenido de humedad inicial e incrementos de temperatura. Se utilizan los resultados de la evaluación del potencial de secado de la región, empleando el caudal mínimo requerido con un 100% de confiabilidad, para el período estudiado en cada estación. Se estudian series entre 5 y 10 años, con información de radiación solar para obtener el área necesaria de colector.

Se evalúa también el requerimiento de potencia del ventilador, en función del incremento de temperatura y del caudal.

Por estar en función de la variable climática de radiación solar, el área requerida de colector solar se analiza probabilísticamente, ordenando ascendientemente los valores obtenidos. De esta forma se puede hallar el área mínima de colector solar, con un grado de confiabilidad determinado, que proporcione un incremento de temperatura dado. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se escoge un grado de confiabilidad razonable para el área de colector solar. Es posible entonces, elaborar mapas de líneas con igual requerimiento de área de colector solar, que complementen los mapas de líneas isocaudales.

Resultados y discusión

Hasta el momento se ha estudiado el potencial de secado con aire natural y energía solar para los siguientes productos: yuca (alto contenido de humedad inicial) y maíz (bajo contenido de humedad inicial).

Puesto que la yuca es la primera cosecha para la cual ya se han estudiado las regiones productoras más importantes y extensas del país, en este artículo se presentan solamente los resultados para este producto. En cuanto al maíz, sólo se ha estudiado la Costa Atlántica.

Cuadro 1

Potencial de secado de yuca con aire natural y E. solar condiciones óptimas de secado

C.H. inicial = 60% b.h.
C.H. final = 14% b.h.

Altura del producto en el silo = 0.3 m.
Densidad de la yuca cortada = 0.52 ton/m³

Deterioración permisible promedio = 15%
Agitar hasta C.H. = 35% b.h. en última capa

Sistema		Región Valle del río Cauca	Llanos Orientales	Valle del Magdalena	Costa Atlántica
Operación del ventilador		continuo	continuo	continuo	continuo
Iniciación del secado		entre las 7 y 14 horas	entre las 8 y 13 horas	entre las 8 y 13 horas	entre las 10 y 14 horas
Patrón de agitación		cada 3 horas	cada 3 horas	cada 3 horas	cada 4 horas
Caudal mínimo (m ³ /min-ton) Conf/dad 100%	Inc. tem 5°C	entre 83 y 148	entre 93 y 153	entre 88.8 y 127.1	entre 110 y 150
	Inc. tem 10°C	Entre 56 y 79	entre 61 y 83	entre 59.5 y 76.5	entre 70 y 85
Peor mes para secar		noviembre	junio alto: noviembre	medio: octubre	octubre
Tiempo de secado (horas)	Inc. tem 5°C	entre 32 y 52 horas	entre 35 y 39 horas	entre 32 y 42 hras	entre 33 y 36 horas
	Inc. 10°C	entre 28 y 42 horas	entre 30 y 33 horas	entre 29 y 35 horas	entre 26 y 30 horas
Area colector solar (m ² /tn) conf/dad 80%	Inc. tem 5°C	entre 39.9 y 123.7 m ²	entre 54.6 y 104.8 m ²	entre 33.7 y 49 m ²	
	Inc. tem 10°C	entre 56.5 y 183 m ²	entre 86.9 y 235.7 m ²	entre 48.2 y 64.5 m ²	

Estación tipo

En la Costa Atlántica y los Llanos Orientales, se seleccionaron como estaciones tipo las de Aracataca (Magdalena) y Villavicencio (Meta), respectivamente, los Valles del Río Magdalena y del Río Cauca, por sus características climáticas, fueron subdivididos: Alto Magdalena, estación tipo Honda (Tolima); Magdalena Medio, Sabana de Torres (Santander); Cauca Medio, Tuluá (Valle); Bajo Cauca, Valdivia (Antioquia). En el cuadro 1 se presentan los resultados finales de la optimización de los parámetros de operación del sistema.

El caudal en el mes crítico fue superior en cerca del 14% al promedio de todos los meses.

La agitación periódica del producto permite reducir significativamente el caudal de secado; además, se uniformizan las condiciones de humedad y grado de deterioro de toda la masa del producto. La disminución del caudal hace que aumente el tiempo de secado. Con respecto a la no agitación, el patrón de agitación de tres horas permite reducir el caudal de secado en aproximadamente un 25%.

La hora de iniciación del secado debe estar en el período comprendido entre las 8 y 13 horas, con el fin de aprovechar las condiciones más favorables del aire ambiente y utilizar los menores caudales de secado. Si se inicia el proceso a una hora fuera del intervalo mencionado, el

caudal se incrementa notablemente.

La operación continua del ventilador, permite alcanzar las mejores condiciones de operación del sistema y por tanto, el caudal de secado más conveniente. Si se apaga el ventilador, aun durante la madrugada que es el período más desfavorable al secado, el caudal necesario se incrementa por encima del 20%.

Las características del aire ambiente durante la temporada de invierno en cada región, impiden secar el producto hasta el nivel del 14% bh. El contenido de humedad de equilibrio de la yuca en tales condiciones es mayor del 18% bh. Por esta razón, es necesario utilizar calor suplementario, con el fin de aumentar el potencial de secado. Usando el nivel de 8°C el caudal de secado se reduce en aproximadamente 50%, con respecto al nivel del 1,1°C (el cual se obtiene al pasar el aire por el ventilador).

Estudio para todas las estaciones de cada región

Utilizando la información meteorológica correspondiente al mes crítico en cada región y los parámetros óptimos de operación del sistema, se simuló el secado de yuca durante la serie de años de estudio en cada estación y los resultados se analizaron probabilísticamente.

Utilizando el caudal obtenido para el peor año de la serie de estudio en cada estación, se trazó el mapa de líneas

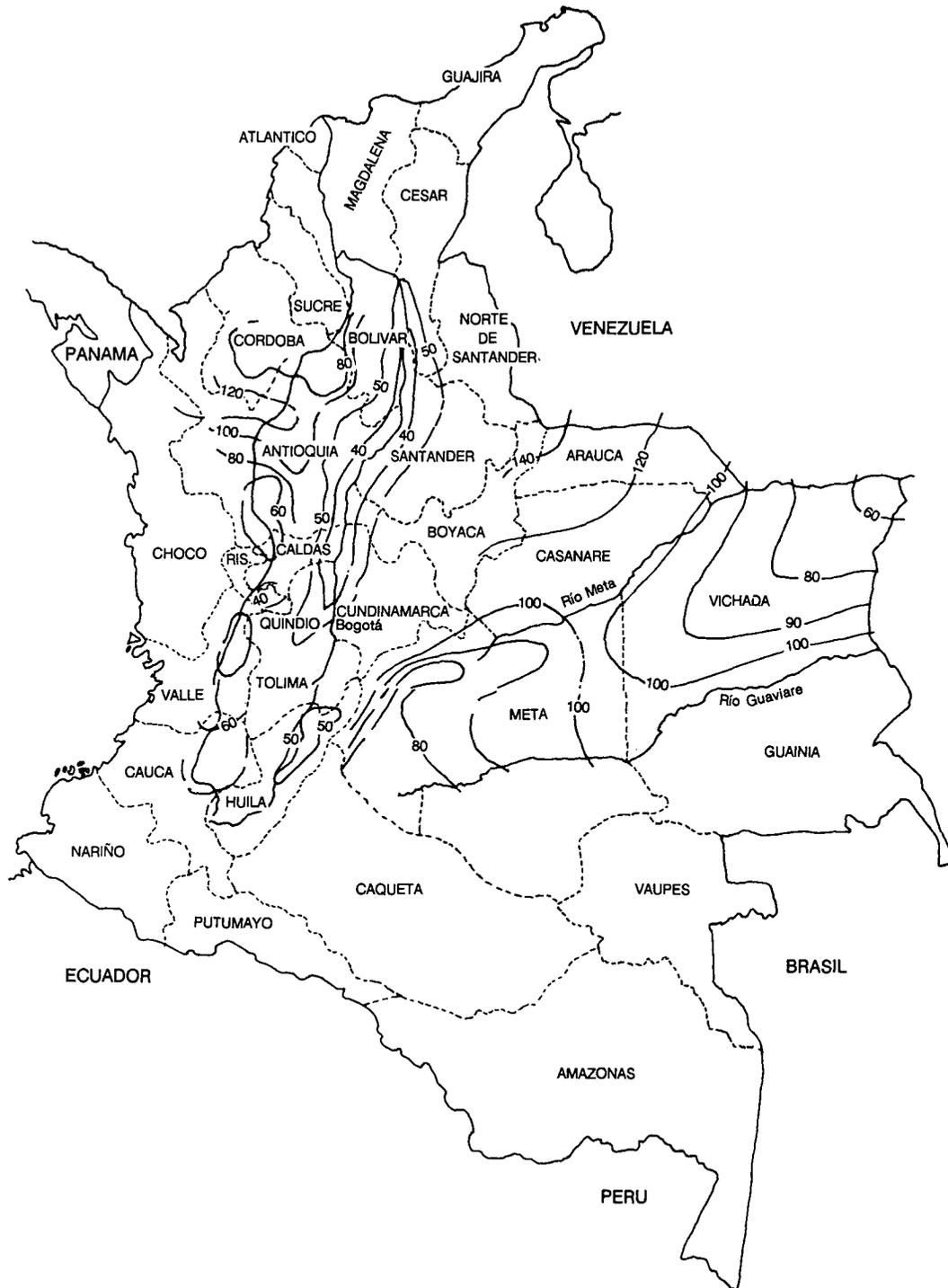


FIGURA 3. Mapa unificado de líneas isoéreas.

secado de las regiones de estudio. Mediante dicho mapa se puede obtener el caudal de secado para cualquier lugar dentro de las regiones ya estudiadas. Con dicho caudal se puede diseñar, con un 100% de confiabilidad, el sistema de secado de yuca a baja temperatura.

Mediante dicho mapa se puede obtener el caudal de secado para cualquier lugar dentro de las regiones ya estudiadas. Con dicho caudal se puede diseñar, con un 100% de confiabilidad, el sistema de secado de yuca a baja temperatura. Se simuló el secado utilizando niveles de calor suplementario entre 3^o y 10^oC. Se elaboraron gráficas que permiten obtener los caudales y tiempos de secado, al usar un determinado incremento de temperatura.

Utilizando la información meteorológica del peor año en cada estación y considerando un contenido de hume-

dad de la yuca del 60% bh, se observó la variación exponencial del caudal al aumentar la humedad inicial.

Al aumentar el contenido de esta última en un 5% (del 60 al 65% bh), el caudal de secado se incrementa en cerca de un 150%. Este hecho resalta la importancia de procesar yuca con alto contenido de materia seca, para así tener las condiciones más ventajosas.

Dimensionamiento de sistemas de secado a baja temperatura usando colectores solares

En todos los casos, se dimensionó el sistema para secar una tonelada de yuca fresca. Se dimensionó el sistema de secado usando la información de radiación solar para el mes crítico, según la región. Se consideraron contenidos de humedad inicial del 60 y 65% bh. Se dimensionó el colector solar para obtener incrementos de temperatura de 5, 6, 8 y 10°C. Se emplearon los caudales mínimos con un 100% de confiabilidad.

Al realizar el análisis probabilístico del área de colector solar, se encontró que no es conveniente utilizar un 100% de confiabilidad porque, aparentemente, las áreas son muy grandes. Los resultados sugieren que el grado de confiabilidad más adecuado a emplear es del 80%.

Se evaluó la incidencia del nivel de calor suplementario y del contenido de humedad inicial sobre el requerimiento de potencia del ventilador. Los requerimientos de potencia disminuyen al aumentar el nivel de calor suplementario, reduciéndose en aproximadamente un 30% al usar 10°C en vez de 5°C. Procesar yuca con humedad inicial del 65% bh hace que aumenten los requerimientos de potencia del ventilador en más de 700%, con respecto a la humedad inicial del 60% bh.

Con base en los resultados del dimensionamiento del sistema de secado, se elaboró el mapa de líneas de igual requerimiento de área de colector solar para secar yuca (ver Figura 3), el cual sirve de complemento al mapa de líneas isocaudales. Además de las condiciones de uso

mencionadas para el mapa de isocaudales, se considera un nivel de confiabilidad del área de colector del 80% y un peso de yuca fresca de una tonelada. Si se desea conocer el área de colector a usar para procesar una cantidad diferente de producto, se debe multiplicar el valor obtenido del mapa por el peso de yuca en toneladas.

CONCLUSIONES

La utilización de programas de computador para el estudio del potencial de secado de productos agropecuarios a baja temperatura, ofrece importantes ventajas. Se examinan detalladamente las características del producto y las condiciones de operación del sistema, con la cual se logra optimizar el proceso. Asimismo, se pueden estudiar regiones completas en poco tiempo y con resultados seguros, lo cual sería difícil conseguir mediante experimentación directa en el campo.

Es de suma importancia determinar y utilizar los parámetros óptimos de operación del sistema, por su gran incidencia sobre el caudal y el tiempo de secado.

El mapa de líneas isocaudales permite seleccionar los lugares o zonas más adecuadas para la implementación de plantas de secado de yuca a baja temperatura.

Los factores básicos para el diseño y operación de sistemas de secado de yuca a baja temperatura, aparte de las condiciones meteorológicas, son el contenido de humedad inicial del producto y el nivel de calor suplementario a utilizar. Estos factores definen los valores de caudal, área de colector solar, potencia del ventilador y tiempo de secado. Además, el contenido de humedad inicial determina la relación de conversión yuca fresca: yuca seca, lo cual repercute en la eficiencia de uso del sistema y en los beneficios económicos.

BIBLIOGRAFIA

1. Caila, Luis René. "Potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar en los Llanos Orientales". Tesis Ingeniería Agrícola. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1987.
2. Díaz Granados, Alfonso, Manrique, Nestor. "Potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar en el Valle del Río Cauca". Tesis Ingeniería Agrícola. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1987.
3. Domínguez, Jorge. Parra, Alfonso y Villa, Luis G. "Simulación matemática y optimización del secado de productos agropecuarios con aire natural y energía solar". Revista Ingeniería e Investigación, Volumen 2, Número 2, (PP. 57 - 62). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1983.
4. Domínguez, Jorge. Parra, Alfonso y Villa, Luis G. "Estudio del Potencial de secado con aire natural y energía solar". Revista Ingeniería e Investigación, Volumen 2, Número 3. (PP.5 - 15). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1983.
5. Marín, Carlos y Villalobos, Roberto. "Potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar en el Valle del Magdalena". Tesis Ingeniería Agrícola. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1986.
6. Ramos, Jaime y Villamizar, Julio. "Potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar en la Costa Atlántica". Tesis Ingeniería Agrícola. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1984.
7. Rossi, Silvio José y Roa, Gonzalo. Secagem e armazenamento de produtos agropecuarios con uso de energía solar e ar natural. Sao Paulo. ACIESP, 1980.
8. Villa, Luis Gabriel Roa, Gonzalo y Braunbeck, Oscar. "Natural an convected air drying of Cassava Chips". ASAE. Paper No. 79-4037, St. Joseph, Michigan, 1979.