

# Secado de trozos de yuca por convección natural en los valles de los ríos Cauca y Magdalena

Alfonso Parra Coronado  
Ingeniero Agrícola. Profesor Asistente  
Universidad Nacional de Colombia  
Santafé de Bogotá, D.C., Colombia

## RESUMEN

**E**n este artículo se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del potencial de secado de yuca en trozos por convección natural en los Valles de los ríos Cauca y Magdalena, utilizando la metodología desarrollada en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia sede Santafé de Bogotá, D.C., por Domínguez J. y Parra A. (1982), dentro de la línea de investigación "**Secado y almacenamiento de Productos Agrícolas**". La metodología se basa en la técnica de simulación matemática, mediante la cual

es posible predecir simultáneamente, la variación meteorológica, el proceso de secado y el proceso de deterioración del producto, con el fin de optimizar el manejo y funcionamiento de sistemas de secado solar y natural.

El modelo de simulación se compone de: el modelo de secado natural desarrollado por Roa (1974), el modelo de deterioro desarrollado por Ospina (1979) y de una rutina de interpolación polinomial que permite obtener la carga máxima de yuca ( $\text{Kg/m}^2$ ) que se puede secar sin que se deteriore más del 15%.

## 1. INTRODUCCION

En los últimos años el cultivo de la yuca se ha venido incrementando debido principalmente al interés de los agricultores e investigadores que han puesto su atención en este cultivo por su importancia a nivel mundial como fuente energética alimenticia.

Las raíces de yuca, ricas en carbohidratos, constituyen aproximadamente el 50% del peso total de la planta en el momento de la cosecha. En América Latina, aproximadamente el 60% de la producción es utilizada para consumo humano y el 40% restante es empleada en la producción de almidón, de alcohol carburante y en la alimentación animal.

En Europa, el alto precio de los cereales ha despertado un mayor interés por la harina obtenida de los trozos secos de raíces de yuca para su uso como elemento constitutivo en los alimentos concentrados para animales, pudiendo sustituir a los cereales en cantidades superiores al 30% en raciones para aves, cerdos y rumiantes, lo cual constituye un gran mercado potencial para este producto.

En Colombia el mercadeo de la yuca fresca es muy inestable dada su alta perecibilidad, por lo cual es necesario implementar sistemas de secado para este producto, siendo el secado natural el de más fácil acceso a nuestro agricultor. El secado natural ofrece la posibilidad de obtener un producto más manejable con períodos de almacenamiento largos, además de ser uno de los métodos más eficaces para disminuir los niveles de cianuro perjudiciales permitiendo a la vez la concentración de nutrientes. Para procesar industrialmente la raíz de yuca es necesario disminuir su contenido de humedad inicial (57% a 65% b.h.) a un contenido de humedad entre 12% y 14% b.h., ya que con estos niveles el producto no se deteriora, facilitando su almacenamiento.

El funcionamiento de un sistema de secado por convección natural depende de la variación climática de la región en la cual opera. Para optimizar el manejo y funcionamiento del sistema es necesario evaluar y cuantificar esta variación de una forma probabilística, lo cual exige el estudio del comportamiento del secado durante varios años.

Debido a la complejidad del proceso y la necesidad de estudiar un período de años lo suficientemente largo, la experimentación de campo constituye una forma muy dispendiosa y prolongada para realizar este tipo de estudios, siendo la simulación matemática la forma más práctica, eficiente y económica de llevar a cabo estos estudios, ya que es posible simular simultáneamente el proceso de secado y deterioración del producto, y la variación climática a partir del uso de registros meteorológicos.

## 2. METODOLOGIA

La metodología propuesta para la optimización del manejo y funcionamiento de un sistema de secado por convección natural se basa en el uso de un programa de computador, el cual constituye la herramienta básica para la obtención de la información requerida. Incluye otros elementos metodológicos como son: El manejo de la información meteorológica, estudio de la estación tipo, determinación del mes crítico, selección de la hora de iniciación del secado y la interpretación de los resultados.

### 2.1. Descripción del programa

En la Figura 1 se presenta el diagrama general del programa. En las referencias 4 y 5 se describe detalladamente el programa utilizado y su proceso de validación. Los datos de entrada para el programa de computador son la información meteorológica del lugar y los datos correspondientes al producto. Con base en dicha información se simula simultáneamente los procesos de secado y deterioración con el fin de determinar la carga máxima permisible de yuca ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) a secar bajo las condiciones simuladas, para culminar el proceso antes de que se alcance un nivel de deterioro pre-establecido. El programa suministra además las condiciones del producto después del secado y el tiempo requerido para el proceso.

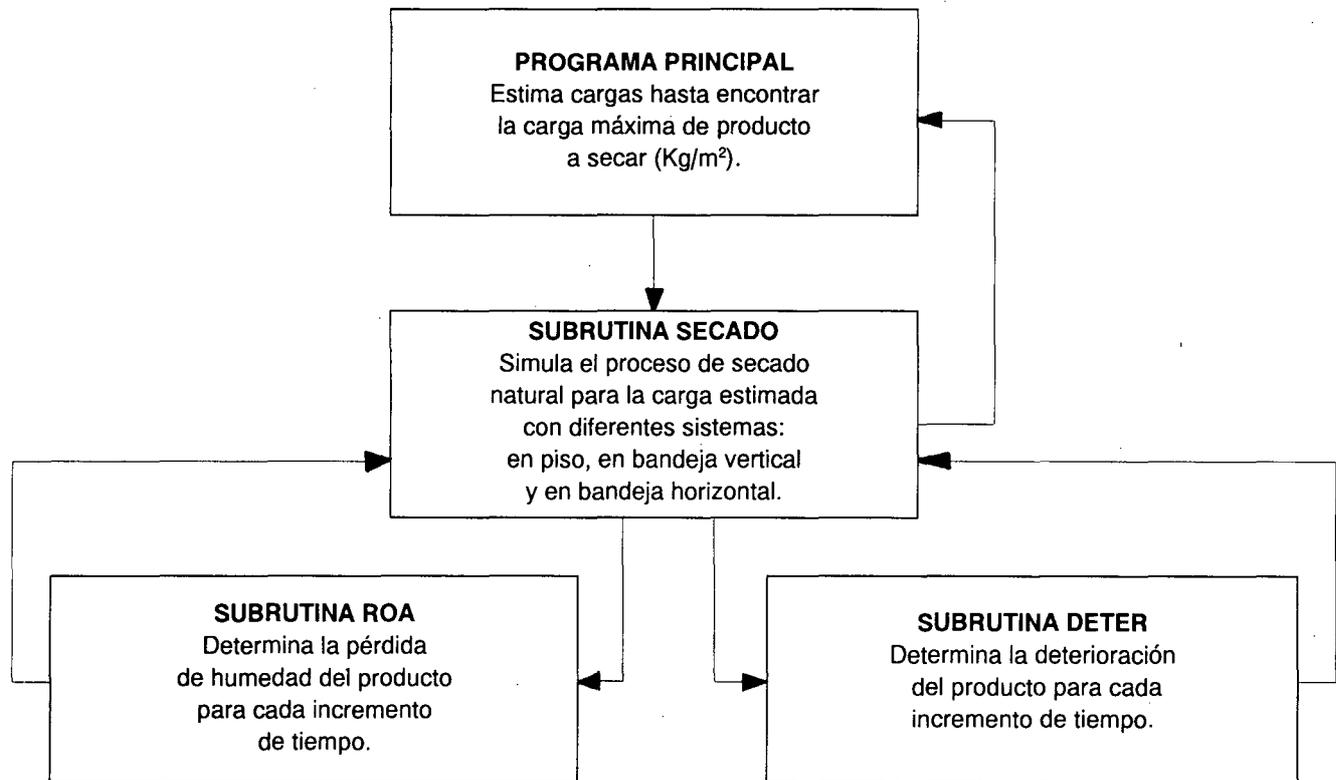


Figura 1. DIAGRAMA GENERAL DEL PROGRAMA

## 2.2. Manejo de la información meteorológica

La información meteorológica fácilmente disponible en Colombia, consiste en datos tabulados, en los cuales aparecen los promedios mensuales de temperatura y humedad relativa para las 7:00, 13:00 y 19:00 horas, los promedios mensuales de los valores extremos, la oscilación media y la media mensual. Se dispone además de valores promedios mensuales de velocidad del viento.

Se considera que una serie de información entre cinco y diez años consecutivos es adecuada para el estudio de sistemas de secado por convección natural en una región, dado que la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos meteorológicos es periódica. Los datos meteorológicos promedio a las 7:00, 13:00 y 19:00 horas y los promedios mensuales de los valores extremos, junto con el valor promedio mensual de la velocidad del viento se utilizan como datos de entrada para el programa de computador, el

cual por medio de una interpolación polinomial segmentada determina los valores promedio horarios de temperatura y humedad relativa, definiendo así el comportamiento de las condiciones psicrométricas del aire durante un día típico del mes.

## 2.3. Estudio de la estación tipo

Si las características climatológicas de la región son similares, es suficiente analizar una "estación tipo", que cuente con suficiente información meteorológica disponible y confiable y cuya ubicación sea representativa de la región y de la zona de mayor producción. Al estudiar la estación tipo se determinan los parámetros de operación del sistema para la región, según el criterio de la máxima carga permisible (obtenida para el peor mes de secado). Se consideran los siguientes aspectos: mes crítico y hora de iniciación del secado, cuando el proceso es continuo.

## 2.4. Estudio para todas las estaciones de la región

Los parámetros de operación del sistema encontrados en el estudio de la estación Tipo, se aplican para obtener las cargas de yuca ( $\text{Kg/m}^2$ ) y tiempos de secado de los años de estudio en cada una de las estaciones seleccionadas para la evaluación de la región. Ordenando los resultados de carga en orden descendente se puede calcular la probabilidad de que en un año cualquiera dicho valor no sea superado. El menor valor de carga corresponderá con la mayor probabilidad y viceversa. Si se desea secar una carga de yuca con una confiabilidad del 100%, debe tomarse el valor encontrado en el peor año de secado (año en que se obtiene la menor carga); esta será la carga máxima permisible en cada estación para un nivel de probabilidad del 100%.

Teniendo en cuenta los parámetros de operaciones del sistema, los resultados para el año crítico (peor año de secado) en cada estación y el contenido de humedad inicial del producto, se pueden trazar mapas de líneas isocargas de la región.

## 3. RESULTADOS Y ANALISIS

Hasta el momento se ha estudiado el potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar por convección forzada (utilizando ventilador) en las regiones productoras de Colombia, encontrándose valores de caudales de aire muy grandes para secar el producto, los cuales oscilan entre 83 y 158  $\text{m}^3/\text{min. ton.}$  para un incremento de temperatura de  $5^\circ\text{C}$ . Lo anterior planteó la necesidad de realizar estudios similares para secado natural de yuca en patios y en bandeja vertical, con el fin de poder utilizar un sistema combinado de secado natural y secado artificial y así reducir los costos por caudales requeridos (capacidad del ventilador).

Actualmente se encuentra en estudio la evaluación del potencial de secado natural de yuca en patios y en bandeja vertical de las regiones productoras de Colombia, habiéndose concluido el estudio para los Valles de los ríos Cauca y Magdalena.

## 3.1. Estaciones Tipo

Debido a las características climáticas, fue necesario subdividir cada una de las regiones de estudio de la siguiente forma:

El Valle del río Cauca se dividió en dos subregiones: Altillanura de Popayán - Cauca Medio, en la cual se seleccionó como estación tipo la del aeropuerto Farfán en el Municipio de Tuluá (Valle), y Bajo Cauca, para la cual se tomó como estación tipo la del aeropuerto Olaya Herrera de la ciudad de Medellín (Antioquia).

El Valle del río Magdalena se dividió igualmente en dos subregiones: Alto Magdalena, estación tipo "La Esperanza" en el Municipio de Honda (Tolima) y Magdalena Medio, donde se tomó como estación tipo la de Villa de Leyva en Sabana de Torres (Santander).

En la Tabla No. 1 se muestran los resultados finales obtenidos para el uso óptimo de los sistemas estudiados.

Se tomó como mes crítico el de menor carga de yuca a secar en cada una de las estaciones tipo, ya que éste es el mes que presenta las condiciones climáticas más desfavorables para el secado. Se encontró que el mes crítico para toda la región del Valle del río Magdalena es el mes de noviembre; diciembre es el mes crítico para la subregión del Cauca Medio y el mes de septiembre para la subregión del Bajo Cauca.

La carga de yuca a secar ( $\text{Kg/m}^2$ ) fue inferior en cerca del 6% al promedio de todos los meses en la región del río Cauca y en 9% en la región del río Magdalena.

La hora de iniciación del proceso de secado no tiene mayor influencia en el buen desarrollo del mismo; se tomó las 8:00 A.M. como la hora de iniciación, con un secado diario de diez (10) horas cuando el proceso no es continuo (hasta las 6:00 P.M., hora en que se recoge el producto).

Los factores climatológicos que mayor incidencia tienen sobre el potencial de secado natural de yuca son en su orden: velocidad del viento, temperatura y humedad relativa.

El contenido de humedad final deseado en la yuca, no tiene influencia sobre los valores de cargas máximas permisibles; en otras palabras, si se desea llevar

el producto a un contenido de humedad final del 35% misma que se tendrá cuando el producto se lleve al  
bh, la carga máxima permisible en Kg/m<sup>2</sup> será la contenido de humedad en equilibrio.

**Tabla No. 1. SECADO DE YUCA POR CONVENCION NATURAL  
MANEJO OPTIMO DE LOS SISTEMAS DE SECADO**

SISTEMA	REGION			
	VALLE DEL RIO CAUCA		VALLE DEL RIO MAGDALENA	
	CAUCA MEDIO	BAJO CAUCA	ALTO MAGDALENA	MAGDALENA MEDIO
	DICIEMBRE	SEPTIEMBRE	NOVIEMBRE	NOVIEMBRE
MES CRITICO				
Humedad de equilibrio: Cheq (%b.h.)	20.2 - 32.0	17.5 - 34.4	14.6 - 29.7	19.3 - 32.2

**CARGA MAXIMA DE YUCA (Kg/m<sup>2</sup>)**

Piso Continuo	13.7 - 28.8	23.3 - 27.6	19.0 - 28.6	20.8 - 27.6
Piso recogiendo*	2.9 - 26.6	18.2 - 23.6	11.1 - 26.0	13.9 - 24.8
Bandeja vertical continuo	48.1 - 59.1	48.9 - 57.7	47.2 - 58.6	46.4 - 56.2
Bandeja vertical recogiendo*	33.5 - 50.4	36.0 - 49.4	31.7 - 48.2	32.1 - 46.0

**TIEMPO DE SECADO (Horas)**

Piso Continuo	CHf=CHeq	72 - 117	70 - 159	53 - 144	51 - 100
	CHf=35%b.h.	48 - 64	38 - 69	42 - 57	38 - 52
Piso recogiendo	CHf=CHeq	76 - 104	76 - 127	57 - 305	53 - 79
	CHf=35%b.h.	52 - 73	49 - 75	49 - 73	49 - 55
Bandeja vertical continuo	CHf=CHeq	56 - 100	71 - 122	52 - 122	50 - 99
	CHf=35%b.h.	47 - 63	38 - 69	43 - 64	37 - 53
Bandeja vertical recogiendo	CHf=CHeq	76 - 103	57 - 121	55 - 152	55 - 78
	CHf=35%b.h.	54 - 73	49 - 75	34 - 58	34 - 56

**NOTAS:** CHf = Contenido de humedad de la yuca al finalizar el secado (%b.h.)  
\* Recogiendo de las 6:00 P.M. a las 8:00 A.M.

### 3.2. Estudio para todas las estaciones de cada región

Utilizando la información meteorológica correspondiente al mes crítico en cada región y la hora de iniciación del proceso, se simuló el secado natural de yuca durante la serie de años de estudio en cada estación; los resultados se analizaron probabilísticamente. Utilizando la carga de yuca obtenida para el peor año de la serie estudiada en cada estación (año con menor valor de carga), se trazaron los mapas de líneas isocargas para dos sistemas de secado diferentes: secado en piso y secado en bandeja vertical recogiendo el producto. Ver Figuras 2 y 3.

Los valores de los mapas de líneas isocargas, los cuales presentan una confiabilidad del 100%, son utilizables bajo las siguientes condiciones:

- Parámetros de operación del sistema:
- Mes crítico: - Subregión del Cauca medio: Diciembre
- Subregión del Bajo Cauca: Septiembre
- Región del Valle del río Magdalena: Noviembre
- Hora de iniciación del secado: 8 A.M. en todas las regiones.

Producto: - Contenido de humedad inicial: 65% b.h.  
 - Contenido de humedad final: 35% b.h. o contenido de humedad de equilibrio (varía según la región), la cual fue superior al 14% b.h. en todos los casos.

- Deterioración permisible: 15%

Los mapas de líneas isocargas pueden utilizarse también cuando los sistemas de secado son continuos (no se recoge el producto), aumentando los valores de carga de yuca ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) suministrados por los mapas, así:

- Secado en piso continuo

Región del Valle del río Cauca:	Adicionar 4 $\text{Kg}/\text{m}^2$
Subregión del Alto Magdalena:	Adicionar 3 $\text{Kg}/\text{m}^2$
Subregión del Magdalena medio:	Adicionar 4 $\text{Kg}/\text{m}^2$

- Secado en bandeja vertical continuo

Región del Valle del río Cauca:	Adicionar 10 $\text{Kg}/\text{m}^2$
Región del Valle del río Magdalena:	Adicionar 11 $\text{Kg}/\text{m}^2$

Según los mapas de líneas isocargas, el mejor potencial de secado natural de trozos de yuca lo presenta el Alto Cauca (Dpto. del Cauca y sur del Valle del Cauca), seguido por el Alto Magdalena

(Dptos. de Huila, Tolima y sur-occidente de Cundinamarca), Bajo Cauca (Deptos. de Antioquia, Caldas y Risaralda), Cauca medio (Deptos. de Quindío y norte del Valle del Cauca) y Bajo Magdalena (noroccidente del Dpto. de Cundinamarca, Dpto. de Boyacá, Santander y sur de los Dptos. de Bolívar y Cesar).

Analizando los mapas de líneas isocargas, se observa que los valores de estas se duplican cuando el sistema utilizado es el de secado en bandeja vertical con respecto al secado en piso.

El tiempo para el proceso de secado depende directamente del contenido de humedad final deseado en el producto; a mayor contenido de humedad final, menor tiempo de secado. La diferencia de tiempo entre llevar el producto hasta el contenido de humedad de equilibrio o llevarlo hasta el 35% b.h. es notable, presentando diferencias que oscilan entre el 8% y el 76% según la región.

Lo anterior, unido a la no variación de la carga ( $\text{Kg}$  de yuca/ $\text{m}^2$ ) con respecto al contenido de humedad final de la yuca, hace pensar que probablemente el mejor sistema de secado que optimice los recursos disponibles, sea uno que combine secado por convección natural hasta el 35% b.h. y de ahí llevar el producto hasta el 14% b.h. por medio de secadores mecánicos. En la Tabla No. 1 se presentan los valores de carga máxima de yuca a secar para cada sistema, tiempos de secado y valores de humedad de equilibrio para cada región estudiada.

### 4. CONCLUSIONES

Es de suma importancia determinar las condiciones de operación para cada sistema de secado por convección natural (en piso, en bandeja vertical), debido a su gran incidencia sobre la carga máxima de yuca a secar y el tiempo de secado.

Los factores básicos a tener en cuenta para el dimensionamiento y operación de sistemas de secado de yuca por convección natural son las condiciones meteorológicas y el contenido de humedad inicial y final del producto. Estos factores definen los valores de carga máxima de yuca a secar y tiempo de secado.

Los mapas de líneas isocargas permiten seleccionar

los lugares más adecuados para la implementación de plantas de secado de yuca por convección natural.

## 5. RECOMENDACIONES

Evaluar experimentalmente los resultados obtenidos en el presente trabajo por parte de las instituciones vinculadas al secado de yuca, con el fin de establecer una retroalimentación que permita mejorar el modelo de simulación y los sistemas de secado.

Estudiar la posibilidad de utilizar un sistema combinado de secado natural y secado mecánico a baja temperatura en capa estática, realizando los estudios de factibilidad económica respectivos.

## BIBLIOGRAFIA

DIAZ, A. y MANRIQUE, N. Potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar en el Valle del río Cauca. Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1987.

DOMINGUEZ, J. y PARRA, A. Estudio del potencial

de secado con aire natural y energía solar de una región. Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1982.

MARIN, C. y VILLALOBOS, R. Potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar en el Valle del río Magdalena. Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1986.

MORENO, C. y RAMOS, M. Determinación de la carga máxima de yuca para secado por convección natural en los Valles del río Cauca y del río Magdalena. Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1992.

PRECIADO, S. Implementación y validación de un modelo de simulación de secado de yuca por convección natural. Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1990.

ROA, G. Natural drying of cassava. PhD Thesis, Michigan State University, Department of Agricultural Engineering, 1974.

## SUSCRIBASE YA !

PARA ESTAR AL DIA EN LOS ULTIMOS AVANCES DE TECNOLOGIA  
E INVESTIGACIONES DE LA INGENIERIA NACIONAL Y MUNDIAL

# INGENIERIA E INVESTIGACION

ORGANO TECNICO CIENTIFICO DE LA FACULTAD DE  
INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

APARTADO AEREO No. 5885 SANTAFE DE BOGOTA, D.C.

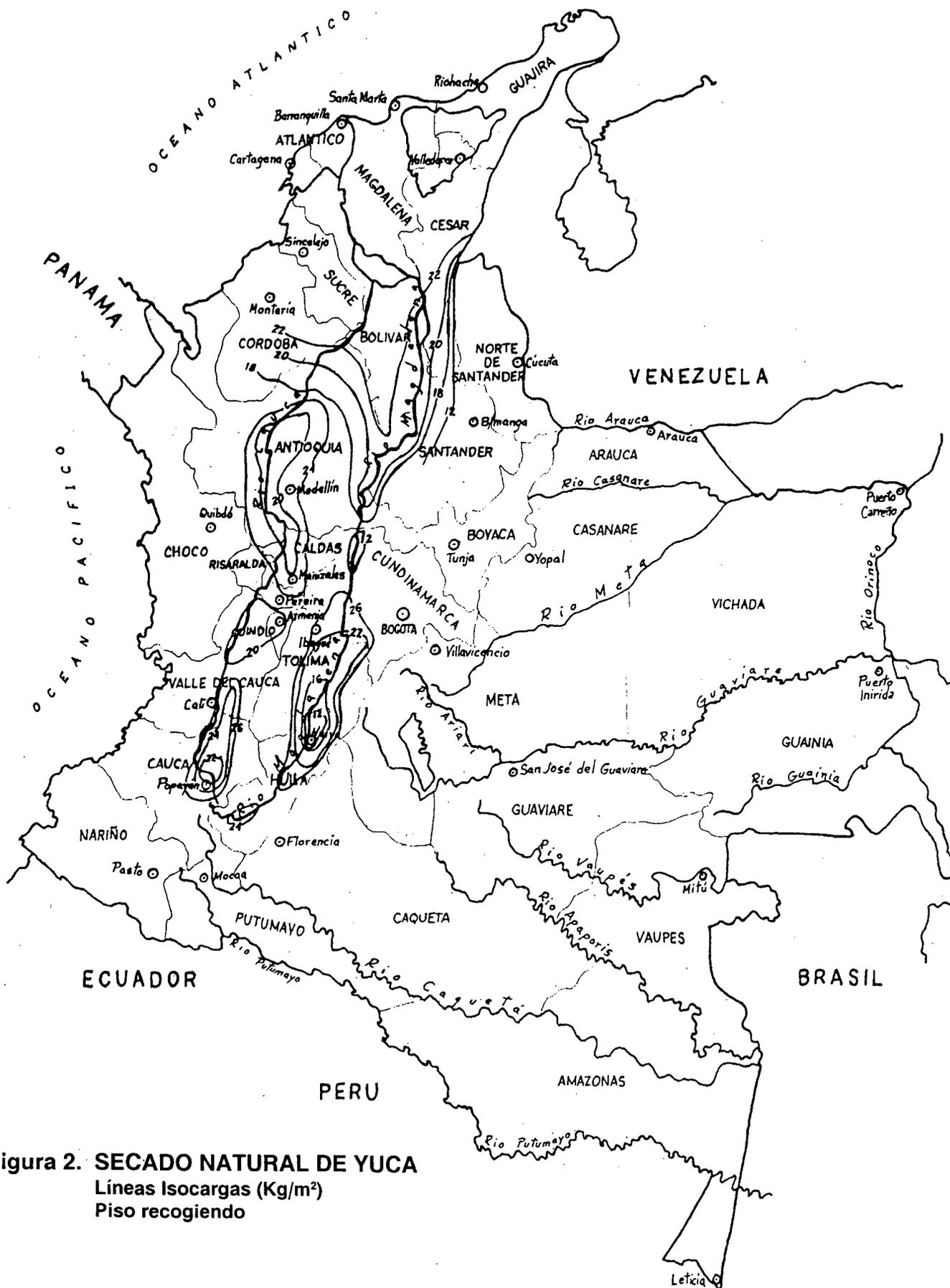


Figura 2. SECADO NATURAL DE YUCA  
Líneas Isocargas ( $\text{Kg/m}^2$ )  
Piso recogiendo

