

Almacenamiento aireado de maíz en los Llanos Orientales

Alfonso Parra Coronado
Ingeniero Agrícola

Profesor Asistente Universidad Nacional de Colombia

RESUMEN

En este artículo se presenta una metodología de trabajo desarrollada en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Santafé de Bogotá, D.C., con el fin de realizar estudios de almacenamiento de granos con aireación en regiones tropicales. La metodología se basa en la técnica de simulación matemática, mediante la cual es posible predecir simultáneamente, la variación meteorológica, el proceso de aireación y el proceso de deterioro de productos agrícolas y optimizar el dimensionamiento y operación de sistemas de almacenamiento con aireación.

Se presentan los resultados obtenidos del estudio de almacenamiento con aireación de maíz desgranado en la región de los Llanos Orientales; se proporcionan recomendaciones específicas para la operación del sistema.

1. INTRODUCCION

Las grandes pérdidas post-cosecha asociadas con el almacenamiento de granos y debidas a condiciones climatológicas y de manejo adversas, conducen a la necesidad imperiosa de realizar estudios sobre almacenamiento en regiones tropicales.

Un buen manejo y utilización de equipos en el almacenamiento de granos reduciría las pérdidas producidas en esta actividad, pudiéndose mantener una reserva por períodos de tiempo más prolongados de los granos excedentes de recolección, minimizando los riesgos de insuficiente abastecimiento en época de escasez como consecuencia de adversidades climáticas, presencia de plagas, roedores, etc.

El almacenamiento de granos consiste en la preservación de la calidad inicial de los mismos

mediante el control de las condiciones ambientales del almacén y la minimización de la influencia de los agentes deteriorantes, con miras también a reducir los efectos que una excesiva oferta produciría en los precios.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del estudio de almacenamiento aireado de maíz en los Llanos Orientales, encaminados a optimizar los caudales mínimos de aire requeridos para el proceso, así como la determinación del período de almacenamiento adecuado para la zona, con el fin de mantener la calidad del producto por debajo de un nivel de deterioro permisible y proporcionar recomendaciones para el manejo de sistemas de almacenamiento con aireación.

2. METODOLOGIA

La metodología propuesta para la evaluación del potencial de almacenamiento aireado de granos de una región, se basa en el uso de un programa de computador que constituye la herramienta básica para la obtención de la información requerida. Otros elementos metodológicos incluyen el manejo de la información meteorológica, uso de calor suplementario, período de almacenamiento, patrón de operación del ventilador, patrón de agitación y 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 programa. En las referencias 3 y 6 se describe el programa utilizado y su proceso de validación. Los datos de entrada para el programa son la información meteorológica del lugar y las condiciones de operación del sistema. Con base en dicha información, se simulan simultáneamente los procesos de almacenamiento aireado y deterioro y se optimiza el flujo de aire, calculan-

do el caudal mínimo requerido bajo las condiciones simuladas para culminar el proceso antes de que se alcance un nivel de deterioro pre-establecido (máximo permisible). El programa proporciona además información correspondiente a las condiciones del producto al finalizar el período de almacenamiento.

Manejo de la información meteorológica

En Colombia, la información meteorológica fácilmente disponible 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 considera que una serie de información de diez años consecutivos es adecuada para el estudio del almacenamiento con aireación de un lugar, dado que la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos meteorológicos es periódica. El programa de simulación requiere de los datos meteorológicos de las 7:00, 13:00 y 19:00 horas, así como de la máxima y mínima, tanto de humedad relativa como de temperatura. Con estos datos y utilizando una nueva subrutina, la cual genera los valores de las 24 horas del día, se obtiene el comportamiento de las condiciones psicrométricas del aire durante un día típico del mes. Estos datos horarios son utilizados por el programa para predecir el comportamiento del producto almacenado bajo ciertas condiciones de operación.

Estudio de la estación tipo

Una vez definida la región de acuerdo a características climáticas similares, se procede a 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

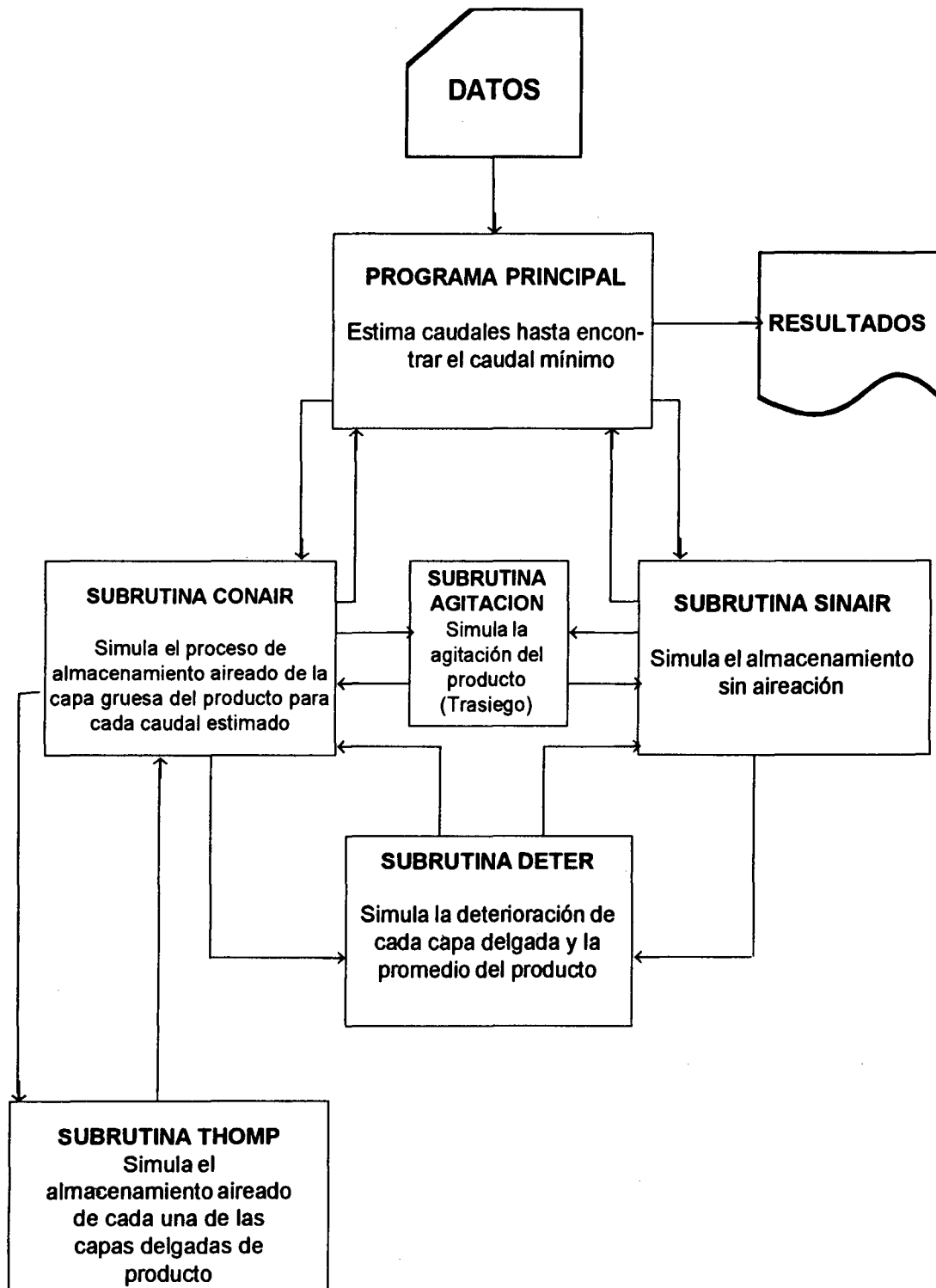


FIGURA 1. Diagrama general del programa

confiabilidad. Para el estudio de la estación Tipo se emplean los promedios de la información para cada mes, correspondientes a la serie de años considerada.

Estudiando la estación tipo se determina el período de almacenamiento y se optimizan los parámetros de operación del sistema para la región, según el criterio del caudal mínimo. Se consideran los siguientes aspectos: mes crítico, patrón de agitación del producto, hora de iniciación de la aireación, patrón de operación del ventilador y nivel de calor suplementario.

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 determinar los caudales mínimos para aireación de los años de estudio en cada una de las estaciones empleadas para la evaluación de la región. Ordenando los resultados del caudal en forma 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 almacenamiento aireado para otros niveles de calor suplementario.

Teniendo en cuenta el período de almacenamiento, las condiciones iniciales del producto, los parámetros de operación del sistema y los resultados para el año crítico en cada estación, se pueden trazar mapas de líneas isocaudales de la región para diferentes niveles de calor suplementario.

3. RESULTADOS.

3.1. Resultados y Discusión.

Se seleccionó como estación Tipo la del Aeropuerto Vanguardia, ubicado en el municipio de Villavicencio (Meta), por ser representativa de la zona en cuanto a producción, vías de comunicación, infraestructura y ubicación geográfica. Además, dicha estación presenta la información meteorológica más completa y confiable entre las estaciones seleccionadas para la evaluación del potencial de almacenamiento de la región.

Simulación sin aireación

Mediante la subrutina Sinair se simuló el almacenamiento para períodos de uno a doce meses, variando el contenido de humedad desde 12% hasta 16% (b.h.)* con el fin de observar la evolución del deterioro a medida que aumenta el período de almacenamiento y el contenido de humedad inicial. Los resultados se muestran en la Tabla 1 y Figura 2.

En la Tabla 1 y Figura 2 se puede apreciar que maíz almacenado con contenido de humedad de 12% b.h. y 13% b.h. no sufre un deterioro significativo que pueda afectar la calidad del grano, inclusive si se deja durante todo el año, pues no registra un factor de deterioro igual o mayor al permitido (0.5%). Para valores de 14% se encontraron niveles de deterioro cercanos a 0.5% a partir del décimo segundo mes de almacenamiento. Para contenidos de humedad entre 15% b.h. y 16% b.h. se obtienen valores críticos permisibles más rápidamente; como puede observarse, para grano con contenido de humedad de 15% b.h., el 0.5% de deterioro se alcanzó en un período de 5 meses; con el 16% b.h. alcanza un deterioro de 0.54% al tercer mes.

De acuerdo con los resultados anteriores, no es

*(b.h.) = base humeda

Período (Meses)	Contenido de humedad (%)				
	12	13	14	15	16
1	0,0060	0,0178	0,0435	0,0998	0,1721
2	0,0121	0,0362	0,0890	0,1986	0,3566
3	0,0181	0,0541	0,1338	0,3013	0,5434
4	0,0233	0,0700	0,1735	0,4120	0,7136
5	0,0283	0,0851	0,2117	0,5039	0,8812
6	0,0330	0,0996	0,2485	0,5381	1,0463
7	0,0377	0,1138	0,2849	0,6200	1,2138
8	0,0425	0,1287	0,3233	0,7072	1,3948
9	0,0475	0,1442	0,3634	0,7994	1,5893
10	0,0527	0,1601	0,4050	0,8962	1,7969
11	0,0578	0,1759	0,4465	0,9937	2,0099
12	0,0630	0,1923	0,4914	1,0977	2,2412

Tabla 1. Pérdida de materia seca (%) durante el almacenamiento para diferentes períodos y contenidos de humedad.

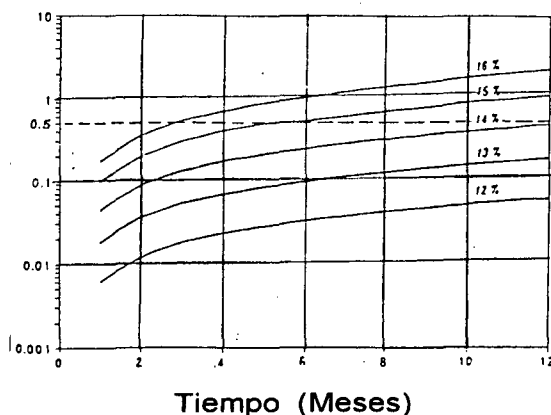


Figura 2. Curva de Pérdida de Materia Seca para diferentes períodos y Contenidos de Humedad. (b.h.)

aconsejable almacenar maíz con un contenido de humedad de 15% b.h. por un período mayor a cinco (5) meses, ya que rebasaría el deterioro máximo permisible para conservar su calidad. Si se desea almacenar maíz por un período indefinido, este debe tener un contenido de humedad máximo de 13% b.h.

Determinación del período de almacenamien-

to y mes crítico

Las irregularidades climatológicas de la zona impiden determinar las fechas de recolección con alguna aproximación, situación que dificulta la programación de almacenamiento de la región; por tal motivo, se procedió a simular la iniciación del almacenamiento a partir de cualquier mes del año.

Simulando el período comprendido de enero a diciembre con la estación Tipo (Aeropuerto Vanguardia), se encontró que el mes en el que se presenta el mayor caudal mínimo requerido para airear el grano sin que se presente un deterioro mayor al máximo permisible es junio (mes crítico).

Tomando como base la época post-cosecha de mayor producción y el análisis realizado con la subrutina Sinair, se tomó como período de almacenamiento el comprendido de junio a octubre, para almacenar maíz desgranado con un contenido de humedad del 15% b.h.

Patrón de agitación del producto

Para hallar el patrón de agitación del producto, se utilizó operación continua del ventilador, en la estación Tipo, con una hora de inicio del proceso TON=10:00. Observando la variación del caudal mínimo de aire cuando varía el intervalo entre agitaciones, se encontró que el patrón de agitación más favorable es el que se efectúa con intervalos de 1.200 horas (50 días), puesto que el caudal mínimo requerido es menor (0.035 m³/min-ton) frente a los intervalos mayores a 1.800 horas (mayores a 0.554 m³/min-ton); para intervalos menores a 1.200 horas no se requiere aireación.

Hora de iniciación de la aireación

Con el fin de establecer la hora de iniciación de la aireación, se trabajó la simulación con el patrón de agitación hallado (cada 50 días) y operación continua del ventilador. Los resultados obtenidos indican que la hora más favorable para iniciar la aireación se encuentra entre las 6:00 y 13:00 horas, puesto que presentan caudales de aire muy pequeños, con contenidos de humedad promedio del grano muy similares. Se escogió las 13:00 como la hora de iniciación de la aireación por presentar el menor caudal mini-

mo requerido (0.1 m³/min-ton) y por lo tanto las mejores condiciones psicrométricas del aire para conservar la calidad del grano almacenado.

Patrón de operación del ventilador

Por medio de la ecuación de Roa y utilizando los datos meteorológicos del mes de junio para los diez años de estudio, se calculó el contenido de humedad de equilibrio CHEQ para maíz (cada hora), los cuales fueron ordenados en forma ascendente para obtener diferentes niveles de probabilidad. Se tantearon diferentes patrones de operación para un nivel de probabilidad de ocurrencia del CHEQ de 90%, encontrándose que el patrón de operación del ventilador más adecuado está entre las 13:00 y las 15:00 horas (dos horas funcionando el ventilador), por presentar un caudal muy pequeño (0.26 m³/min-ton), además de facilitar el manejo del sistema y la reducción en los costos de operación.

Nivel de calor suplementario

Se estudió la influencia del nivel de calor suplementario (calor adicionado en forma artificial al aire), simulando el proceso con incrementos de temperatura de cero (0) grados centígrados, 1.1 y 2.0 grados centígrados.

Se observó que a medida que aumenta el nivel de calor suplementario el caudal mínimo requerido en el proceso de aireación disminuye así: al aumentar de 0°C a 11.1°C el caudal mínimo disminuye en 39.2% y al aumentar de 1.1°C a 2.0°C, el caudal mínimo disminuye en 46.4%.

La simulación para todas las estaciones de la región se realizó para niveles de calor suplementario de 0°C, 1.1°C y 2.0°C (Ver mapas).

3.2 Estudio para todas las estaciones de la región

Utilizando la información meteorológica corres-

pondiente al mes crítico en la región (junio) y los parámetros de operación del sistema optimizados en el estudio de la estación Tipo, se asimiló el almacenamiento del maíz durante la serie de años de estudio en cada estación; los resultados se analizaron probabilísticamente.

Utilizando el caudal obtenido para el peor año de la serie de estudio en cada estación, se trazaron los mapas de líneas isocaudales para tres niveles de calor suplementario: 0°C, 1.1°C y 2.0°C. Los valores de los mapas de líneas isocaudales, los cuales presentan una confiabilidad del 100%, son utilizables bajo las siguientes condiciones de almacenamiento.

- Deterioración máxima permisible 0.5% p.m.s. (pérdida de materia seca).
- Contenido de humedad del grano: 15% b.h.
- Tiempo de almacenamiento: 5 meses.
- Patrón de operación del ventilador: prendido a las 13:00 horas y apagado a las 15:00 horas (airear 2 horas diarias).
- Patrón de agitación del producto (trasiego): agitar cada 1.200 horas (50 días).
- Si se desea dimensionar un sistema de almacenamiento para K toneladas de maíz en algún lugar de la región, basta con seleccionar el mejor caudal ($m^3/\text{min-ton}$) con una confiabilidad del 100% y multiplicar por K, para obtener así la capacidad del ventilador.

Según los mapas de líneas isocaudales, se aprecia que el caudal aumenta de Este a Oeste, siendo mayor en la región de Arauca, para luego disminuir a mediados del Dpto. del Meta hasta el Pie de Monte Llanero. Los caudales también aumentan hacia el sur del Dpto. del Vichada.

Los lugares más recomendables para la instala-

ción de estructuras de almacenamiento para maíz, serían los ubicados hacia el Noroeste del Dpto. del Vichada, muy cerca al municipio de Puerto Carreño, donde se presentan los menores caudales requeridos de toda la región, pero por su ubicación y difícil acceso, sería poco factible su implementación. En segundo lugar y como mejor opción para la instalación de estructuras de almacenamiento, se encuentra el Pie de Monte Llanero, más exactamente en la ciudad de Villavicencio, la cual presenta un caudal requerido pequeño además de que posee las mejores vías de comunicación y la mayor producción de maíz tecnificado en la región, lo que la convierte en un sitio estratégico para el almacenamiento de maíz en la zona.

No sería recomendable almacenar maíz en lugares ubicados en el Dpto. de Arauca, ya que los caudales mínimos requeridos presentan valores muy altos, lo cual incrementaría ostensiblemente los costos de operación.

Se recomienda realizar inspecciones periódicas en los sistemas de almacenamiento, con el fin de detectar posibles desarrollos de hongos e insectos, ya que debido a las condiciones climáticas de la región, ésta presenta elevados potenciales de desarrollo de insectos y producción de Aflatoxinas.

CONCLUSIONES

La utilización de programas de computador para el estudio del almacenamiento de granos permite examinar detalladamente las características del producto y las condiciones de operación del sistema, con lo cual se logra optimizar el proceso. Además se pueden estudiar regiones completas en poco tiempo y con resultados seguros, lo cual sería difícil conseguir mediante experimentación directa en el campo.

Es importante determinar y utilizar los parámetros de operación del sistema, por su gran inci-

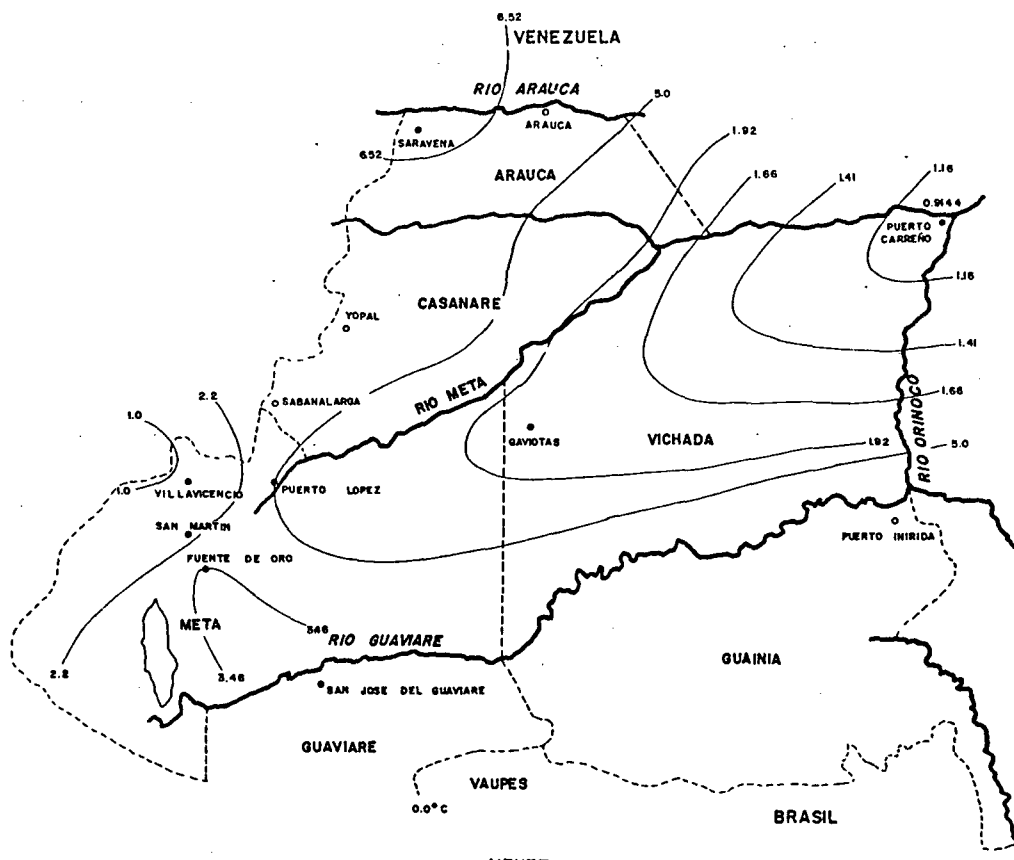


Figura 3. Mapa de líneas isocaudales para un nivel de calor suplementario de 0°C (m³/min-ton)

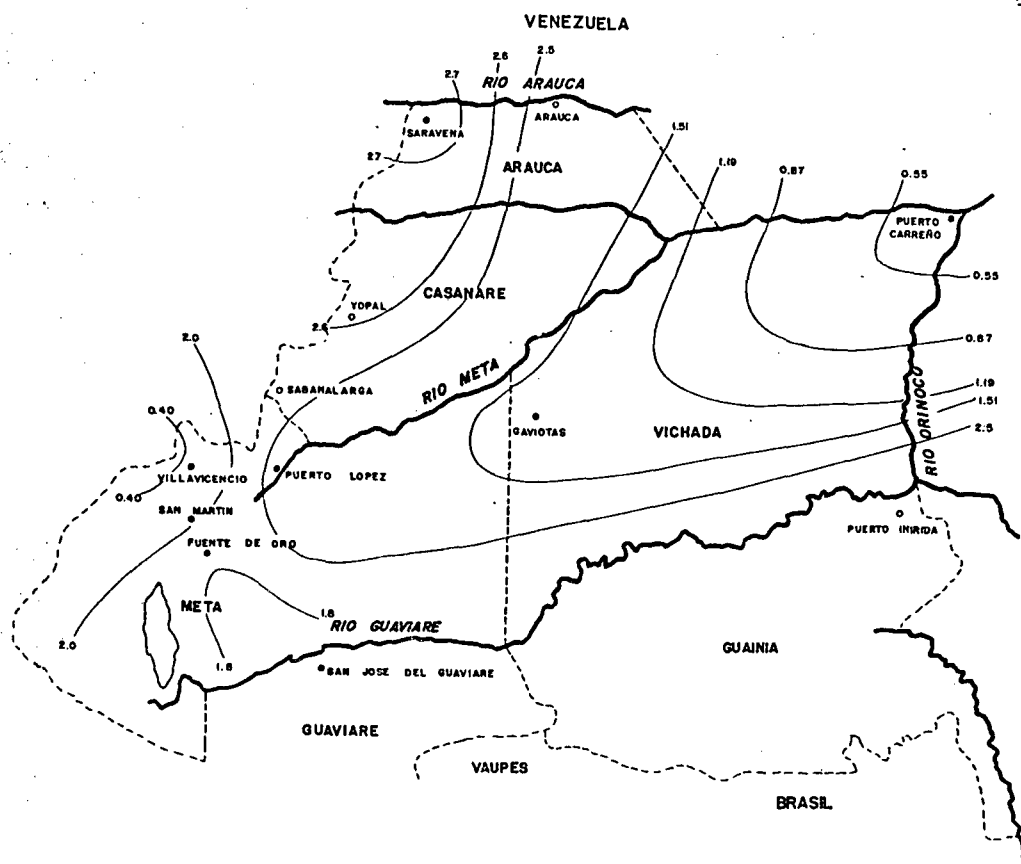


Figura 4. Mapa de líneas isocaudales para un nivel de calor suplementario de 1.1°C (m³/min-ton)

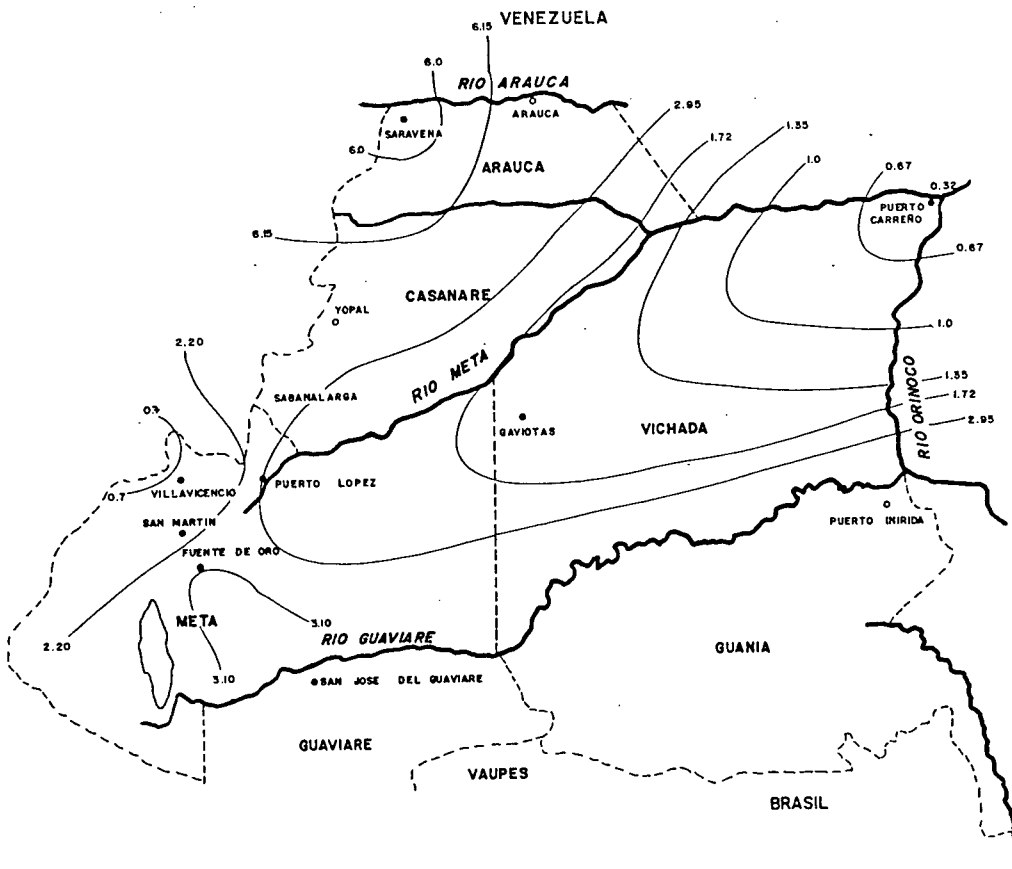


Figura 5. Mapa de líneas isocaudales para un nivel de calor suplementario de 2.0°C ($\text{m}^3/\text{min-ton}$)

dencia sobre el caudal y tiempo de aireación.

Los factores básicos para el diseño y operación de sistemas de almacenamiento aireado de granos, aparte de las condiciones meteorológicas, son el contenido de humedad del producto a almacenar y el nivel de calor suplementario a utilizar. Estos factores definen el período de almacenamiento y los valores del caudal y potencia del ventilador.

Los mapas de líneas isocaudales permiten seleccionar los lugares más adecuados para la implementación de plantas de almacenamiento aireado de granos.

BIBLIOGRAFIA

- BROOKER, D.B. and DUGGAL, A.K. Allowable Storage Time of Corn as Affected by Heat Buildup, Natural Convection and Aeration. In: Transaction of the ASAE. v. 25, No.3 (1982); 806-810.
- CAITA, Luis René. Potencial de secado de yuca con aire natural y energía solar en los Llanos Orientales. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1987.
- MORALES, Angel y VASQUEZ, Rubén. Simulación matemática del almacenamiento de granos con aireación. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1989.
- PARRA, Alfonso. Estudio regional del almacenamiento de granos con aireación. Revista Latinoamericana ACOGRANOS. Año 7, No. 10 (p.p. 15-25). Santafé de Bogotá, D.C., 1991.
- ROSSI, Silvio J. y ROA, Gonzalo. Secagem e Armazenamento de Produtos Agropecuários com uso de Energia Solar e Ar Natural. Sao Paulo, ACIESP, 1980.
- VASQUEZ, César. Simulación matemática para el almacenamiento aireado de maíz en los Llanos Orientales. Tesis de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, D.C., 1991.