

## **Estudio regional del potencial de secado con aire natural y energía solar**

---

**En este artículo se presenta y aplica una metodología de trabajo basada en la técnica de simulación matemática y desarrollada con el fin de realizar estudios sobre el potencial de secado de productos agropecuarios con aire natural y energía solar de regiones tropicales. La metodología se basa en el uso de un programa de computador e incluye otros elementos metodológicos en relación con el manejo de la información meteorológica, el patrón de operación del ventilador, el uso de energía solar y la interpretación de los resultados con el fin de optimizar el sistema.**

**Se reportan los resultados del estudio del potencial de secado con aire natural y energía solar de Tuluá (Valle) y se proporcionan recomendaciones específicas para la implementación de sistemas de secado a baja temperatura en la región.**

---

**JORGE DOMINGUEZ B.**  
Ingeniero Agrícola U.N.  
**ALFONSO PARRA C.**  
Ingeniero Agrícola U.N.  
Luis Gabriel Villa  
Ingeniero Agrónomo M. Sc. Ph.D.  
Profesor Asociado  
Universidad Nacional

El secado es el proceso comercial más utilizado para la preservación de la calidad de los productos agropecuarios después de la cosecha. Consiste esencialmente en la remoción de la mayor parte del agua contenida inicialmente en el producto, hasta un nivel en el cual pueda ser manejado y almacenado a temperatura ambiental durante largos períodos sin la pérdida de sus propiedades organolépticas y nutricionales.

Como consecuencia de la crisis energética y el alza de los precios de los combustibles, han aumentado considerablemente los costos de secado por métodos convencionales, exigiendo la búsqueda de recursos energéticos alternos para el proceso de secado.

El sistema de secado con aire natural y energía solar constituye una alternativa adecuada, eficiente y económica, ya que la mayoría de la energía requerida en el proceso, que es la necesaria para la evaporación del agua del producto, proviene de fuentes naturales como son la entalpía del aire ambiente y la radiación solar. El sistema de secado solar o natural consiste esencialmente en forzar caudales bajos de aire ambiente o ligeramente calentado por medio de colectores solares planos, a través de una capa estática de producto utilizando un ventilador.

Debido a que el secado solar y natural se realiza con temperaturas y caudales bajos, el tiempo de secado es largo, lo cual determina que el criterio fundamental para el diseño de sistemas de secado a baja temperatura sea secar el producto hasta un contenido de humedad seguro antes de que éste se deteriore hasta un nivel que disminuya su calidad. Esto determina que el flujo de aire sea el principal parámetro de diseño del sistema; para unas condiciones de operación determinadas, existe un caudal mínimo requerido para secar el producto antes de que se deteriore.

El funcionamiento de un sistema de secado con aire natural y energía solar depende de la variación climática de la región en la cual opera. Para diseñar sistemas confiables 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 lapso de años lo suficientemente largo, la experimentación de campo constituye una forma muy dispendiosa y prolongada para realizar estudios sobre la operación de sistemas de secado solar y natural, siendo la simulación matemática la forma más práctica y eficiente de llevar a cabo estos estudios, ya que es posible simular simultáneamente los procesos de secado y deterioración del producto, y la variación climática a partir del uso de registros meteorológicos.

### Objetivos

- a) Desarrollar una metodología de trabajo basada en la técnica de simulación matemática, que establezca las consideraciones necesarias, proporcione las herramientas requeridas y defina el procedimiento por seguir para estudiar y evaluar, desde el punto de vista técnico, el potencial que posee una región tropical para el secado de productos agropecuarios con aire natural y energía solar, y utilizar el caudal mínimo requerido como criterio para la comparación del potencial de secado de diferentes localidades y regiones.
- b) Aplicar esta metodología para evaluar el potencial de secado de Tuluá (Valle), con base en el estudio y determinación de las características de la región, en relación con el secado de maíz, y proporcionar recomendaciones específicas para el diseño de sistemas de secado natural y solar en esta localidad.

### El potencial de secado

En términos generales se podría decir que el potencial de secado de una región consiste en una serie de parámetros y patrones climáticos que se presentan de una forma natural y que determinan el comportamiento de las diferentes variables de un sistema de secado con aire natural y energía solar, definiendo de esa forma el éxito o fracaso del proceso de secado.

El potencial de secado depende de las condiciones meteorológicas y de sus variaciones diarias, estacionales y anuales; los principales factores que influyen sobre estas condiciones son la latitud, la altitud y las características climáticas regionales que dependen principalmente de factores geográficos como topografía, cercanía a masas de agua, vientos, vegetación, etc. Esto determina que el potencial de secado sea un elemento presente de una forma natural que está asociado siempre a una región, lo cual implica que debe ser asumido como un **recurso natural** que debe ser evaluado y estudiado como tal.

Debido a que el secado con aire natural y energía solar es un proceso muy complejo en el cual está involucrado un gran número de variables, es prácticamente imposible expresar el potencial de secado con base en las características sicrométricas de la región. Se requiere un parámetro que incluya todas las variables que influyen en el

proceso, las cuales tienen relación con el aire de secado, la variación climática y los parámetros de secado y deterioración del producto.

El parámetro propuesto para la cuantificación del potencial de secado es el flujo de aire mínimo requerido para secar antes de que se presente un nivel de deterioro que determine la disminución de la calidad final del producto, ya que este parámetro se puede obtener a partir de simulaciones del proceso de secado que incluya todas las variables involucradas.

El caudal mínimo proporciona una base cuantitativa para la comparación del potencial de secado de diferentes localidades o regiones, al permitir la elaboración de mapas con líneas "isopotenciales" que unen puntos con igual caudal requerido y que permiten, además de la comparación y selección de los mejores sitios, la obtención de información muy útil para diseño. Un criterio adicional para la evaluación del potencial de secado es la disminución del caudal requerido que se logra con diferentes niveles de calor suplementario (tamaño del colector solar).

De esta forma se puede realizar un inventario del potencial de secado con aire natural y energía solar de las principales regiones agrícolas del país que proporcione una base para la implementación de sistemas de secado a baja temperatura en gran escala, en una forma confiable, eficiente y económica.

### Metodología

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 que constituye la herramienta básica para la obtención de la información requerida. Otros elementos metodológicos incluyen el manejo de la información meteorológica, el patrón de operación del ventilador, el uso de calor suplementario (energía solar) y la interpretación de la información obtenida con el fin de optimizar el sistema.

#### Programa de optimización de caudales

El programa de computador se alimenta con la información meteorológica del lugar y las condiciones de operación del sistema; con base en estas especificaciones se simulan simultáneamente los procesos de secado y deterioración y 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 previamente establecido. El programa especifica también las condiciones del producto después del secado. En las referencias (1) y (2) se describe el programa utilizado y su proceso de validación.

#### Manejo de la meteorología

La información meteorológica disponible en cada región determina el planteamiento metodológico para su manejo. En Colombia son pocas las

estaciones en las cuales se hacen mediciones cada hora; la información fácilmente disponible consiste en datos tabulados en los cuales aparecen para cada año 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. A partir de la información disponible se utiliza el siguiente procedimiento:

- a) Se recopila la información disponible para los meses de cosecha y secado durante un período de diez años. Para la zona de Tuluá (Valle) se recopiló la información correspondiente a los meses de marzo y abril (época de cosecha de maíz) durante los años 1967-1976 en la estación "Aeropuerto Tuluá".
- b) Para cada año y cada mes se diseña una gráfica de la variación diaria de temperatura y humedad relativa a partir de los puntos conocidos; este será el comportamiento de las condiciones sicrométricas del aire durante un día típico del mes.
- c) Se leen de las gráficas los valores de temperatura y humedad relativa cada hora; de esta forma se obtienen los valores periódicos más probables de los parámetros meteorológicos en función del tiempo. Estos serán los valores que se utilicen como datos de entrada para el programa de computador.

#### **Patrón de operación del ventilador**

El patrón de operación del ventilador define los períodos del día durante los cuales éste funciona, constituyendo uno de los principales parámetros de funcionamiento del sistema. Para la selección de un patrón de operación que minimice el uso de energía, optimice el funcionamiento del sistema y cumpla con el contenido de humedad y calidad finales requeridas, se utiliza el siguiente procedimiento:

- a) Se construye un gráfico probabilístico que muestre la variación del contenido de humedad de equilibrio en función de la hora del día, a partir de las gráficas de día típico y la ecuación de humedad de equilibrio; trazando líneas horizontales se pueden determinar los intervalos del día durante los cuales la humedad de equilibrio es menor o igual que un valor determinado, para diferentes niveles de probabilidad. Con la ayuda de este gráfico se pueden seleccionar de una manera racional varios patrones de operación que podrían ser adecuados.
- b) Usando como guía el gráfico anterior, se tantean varios patrones hasta encontrar uno con el cual se obtengan los mejores resultados en cuanto a caudal requerido y condición final del producto; si se usa el programa de computador se puede simular el secado con diferentes patrones de operación. Las simulaciones se

realizan con la información meteorológica promedio para los diez años, la cual representa la tendencia general del lugar, ya que el patrón de operación debe ser igual para todos los años.

#### **Calor suplementario (energía solar)**

El efecto del calor suplementario sobre el comportamiento del sistema se estudia en términos del nivel de calor suplementario, el cual expresa el incremento promedio de la temperatura del aire que se obtiene con el uso de energía solar; el procedimiento es el siguiente:

- a) Una vez seleccionado el patrón de operación del ventilador óptimo se simula el secado para diferentes niveles de calor suplementario usando el patrón seleccionado y utilizando la información meteorológica promedio de diez años, la cual representa la tendencia del lugar, ya que se supone que el nivel de calor suplementario, el cual depende del tamaño del colector, es igual para todos los años.
- b) A partir de los resultados de simulación se evalúa el efecto de los diferentes niveles de calor suplementario sobre el caudal mínimo requerido, el tiempo de secado, el contenido de humedad final promedio y el índice de sobrecalentamiento, para lo cual se diseñan gráficas del nivel de calor suplementario contra estas variables dependientes.
- c) A partir de estas gráficas se selecciona el nivel de calor suplementario más adecuado, con el cual se realizan las simulaciones para todos los años y meses estudiados.

#### **Simulación del secado para diez años**

Una vez seleccionados el patrón de operación y el nivel de calor suplementario óptimos se simula el secado bajo estas condiciones para los diez años estudiados y se construyen gráficas de caudal requerido contra un año para cada mes estudiado (marzo y abril). Ordenando los resultados de caudal en orden ascendente se puede construir una gráfica que muestre la probabilidad de que en un año cualquiera el caudal requerido sea menor o igual que el que aparece en la gráfica; a partir de esta gráfica se pueden seleccionar caudales de diseño para diferentes niveles de confiabilidad.

#### **Requerimientos para otros niveles de calor suplementario**

Con base en los resultados anteriores se selecciona el mes más crítico para el cual se simulan otros incrementos de temperatura que podrían llegar a ser ventajosos. Con estos resultados se construyen gráficas de caudal mínimo y tiempo de secado contra nivel de calor suplementario, a partir de las cuales se pueden tantear diferentes combinaciones de tamaño del ventilador y nivel de calor suplementario (tamaño del colector solar), para seleccionar así la mejor para diseño.

Una vez determinados los caudales mínimos para los diferentes niveles de calor suplementario se

calculan los requerimientos comparativos de potencia y energía para los diferentes niveles, tomando como referencia el nivel de  $1.1^{\circ}\text{C}$ , ya que éste se puede obtener sin colector, al pasar el aire por el ventilador y su motor antes de pasar por la masa de grano. Los requerimientos se expresan como un porcentaje de los requerimientos con el nivel de  $1.1^{\circ}\text{C}$ , a partir de los caudales precisados, los tiempos de secado y las leyes de similitud de ventiladores. Con estos resultados se construyen gráficas de los requerimientos de caudal, potencia y energía en función del nivel de calor suplementario.

### Resultados y discusión

#### Manejo de la meteorología

En la gráfica 1 se reportan las gráficas de temperatura y humedad relativa para cada día típico del mes de marzo de 1971, construidas a partir de la información meteorológica disponible: para los veinte meses estudiados se construyeron gráficas similares a ésta, con el fin de determinar a partir de ellas los valores horarios de temperatura y humedad relativa para cada día típico de cada mes estudiado.

#### Condiciones del grano

Las condiciones iniciales del grano (maíz) utilizadas para todas las simulaciones son contenido de humedad del 20% y contenido de grano partido del 6%, lo cual corresponde a valores típicos de nuestro medio. La simulación del secado se prolongó en

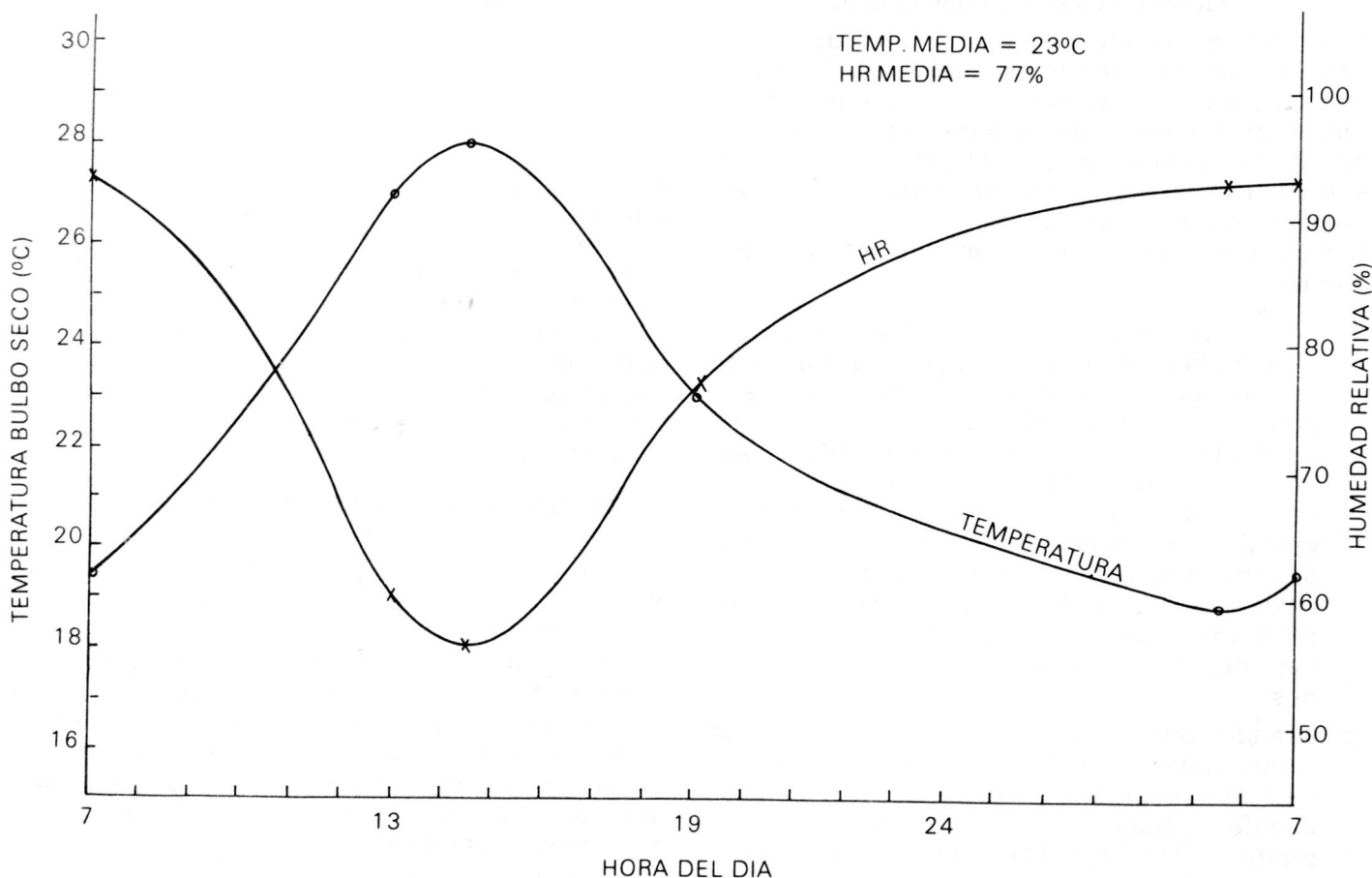
todos los casos hasta alcanzar simultáneamente un contenido de humedad final promedio menor o igual que 14% bh y un contenido de humedad final en la última capa en secarse menor o igual que 16% bh, que son valores recomendados por la literatura.

#### Patrón de operación del ventilador

En la gráfica 2 aparece el valor de humedad de equilibrio a diferentes horas del día para distintos niveles de probabilidad (50, 70 y 90%), correspondiente al mes de abril. A medida que transcurre el día, la humedad de equilibrio disminuye hasta un valor mínimo después del mediodía y luego aumenta nuevamente hasta un máximo en las horas de la madrugada. Se observa que la diferencia en el contenido de humedad esperado es pequeña para los diferentes niveles de probabilidad, siendo menor del 2% durante la mayor parte del día.

Para el mes de marzo se construyó una gráfica similar, la cual presenta un comportamiento semejante al de la gráfica 2. Al tantear los primeros patrones se encontró que los resultados obtenidos con las dos gráficas eran prácticamente iguales; esto indica que no existe, en cuanto a patrón de operación se refiere, una diferencia significativa entre el comportamiento en marzo y abril, y es conveniente utilizar el mismo patrón de operación a lo largo de los dos meses, determinado a partir de la gráfica 2.

En la tabla 1 se reportan los resultados obtenidos con los patrones estudiados. Se utilizaron patrones



GRAFICA 1. Curvas de temperatura y humedad relativa para día típico — Marzo 1971.

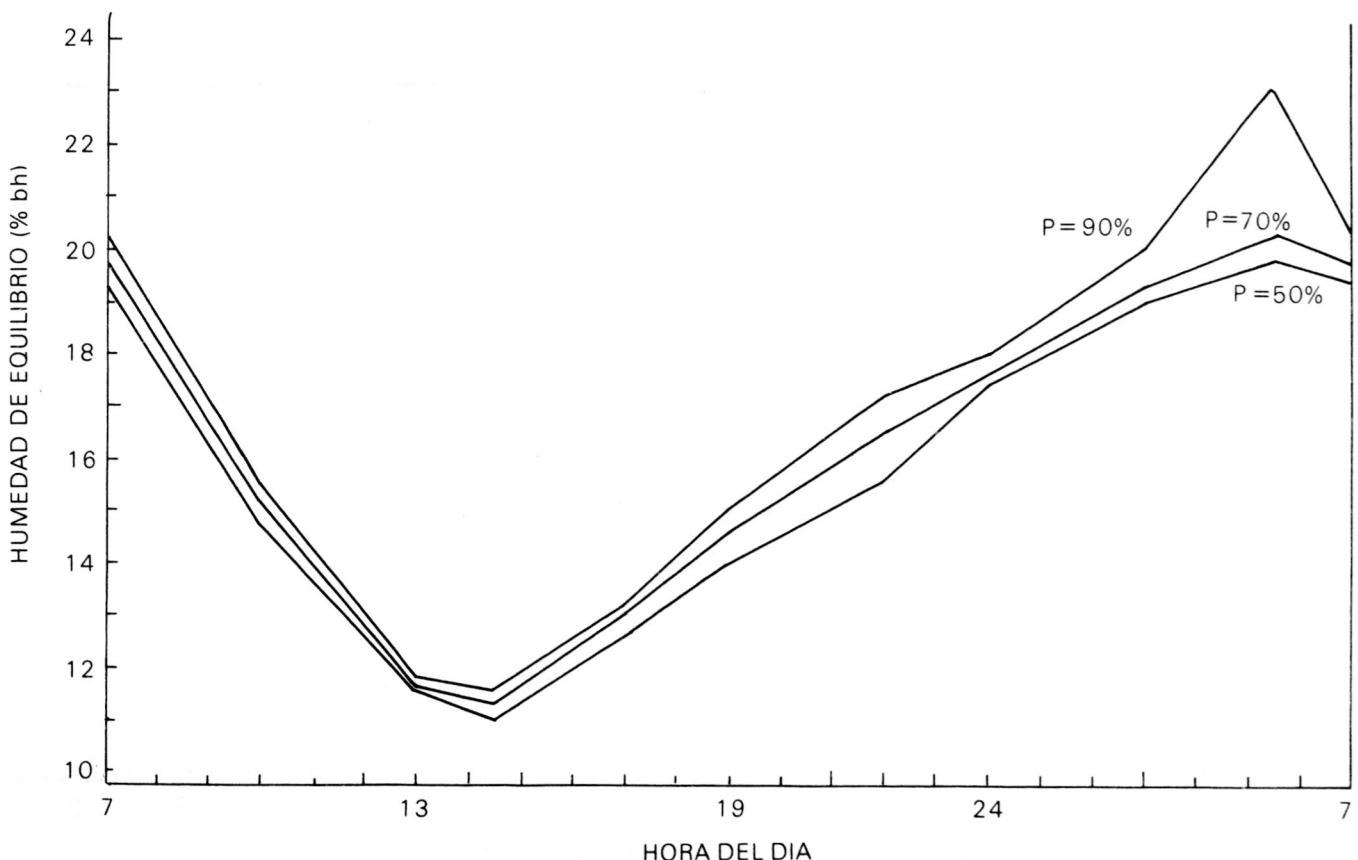
**TABLA 1**  
**Patrones de Operación del Ventilador Simulados con**  
**Condiciones Promedio**

Patrón Nº	Contenido de humedad promedio	Hora a la que se apaga el ventilador	Hora a la que se enciende el ventilador	Caudal requerido m <sup>3</sup> /min-ton	Indice de sobresecado
	18	24	8		
1	16-18	21	10	6.50	
	14-16	19	11		
	14	16	13		
2	18	24	8	4.00	35.0
	16-18	21	10		
	16	19	11		
3		24	9	2.91	10.0
4		24	8	2.83	5.0
5		3	7	2.75	5.0
6		4	6	2.35	0.0
7		5	6	2.38	0.0
8		Continuo	Continuo	2.50	0.0
9		24	1	2.27	0.0
10		24	2	2.46	0.0
11		22	0	2.46	0.0

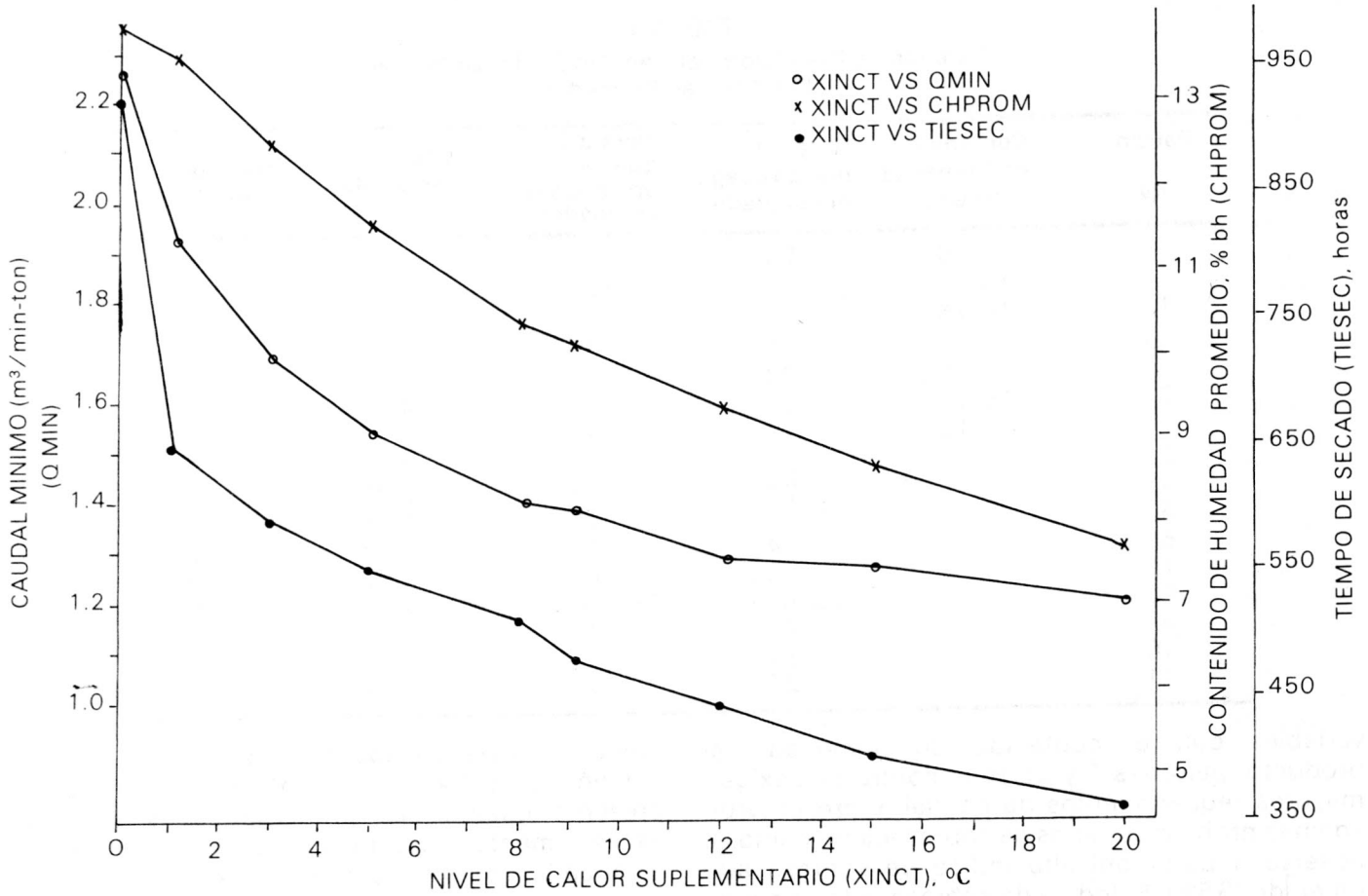
variables con el contenido de humedad del producto (patrones 1 y 2), se encontró que exigen mayores requerimientos de caudal, y presentaron además problemas serios de sobresecado, como se observa a partir del alto índice de sobresecado obtenido (35%). El índice de sobresecado se define como el porcentaje de capas de producto que se encuentran fuera del rango de contenido de

humedad final esperado (para este caso el rango se definió como  $14\% \pm 2\% \text{ bh}$ ); el sobresecado se presenta cuando las primeras capas se secan excesivamente antes de que el frente de secado alcance la última capa de producto.

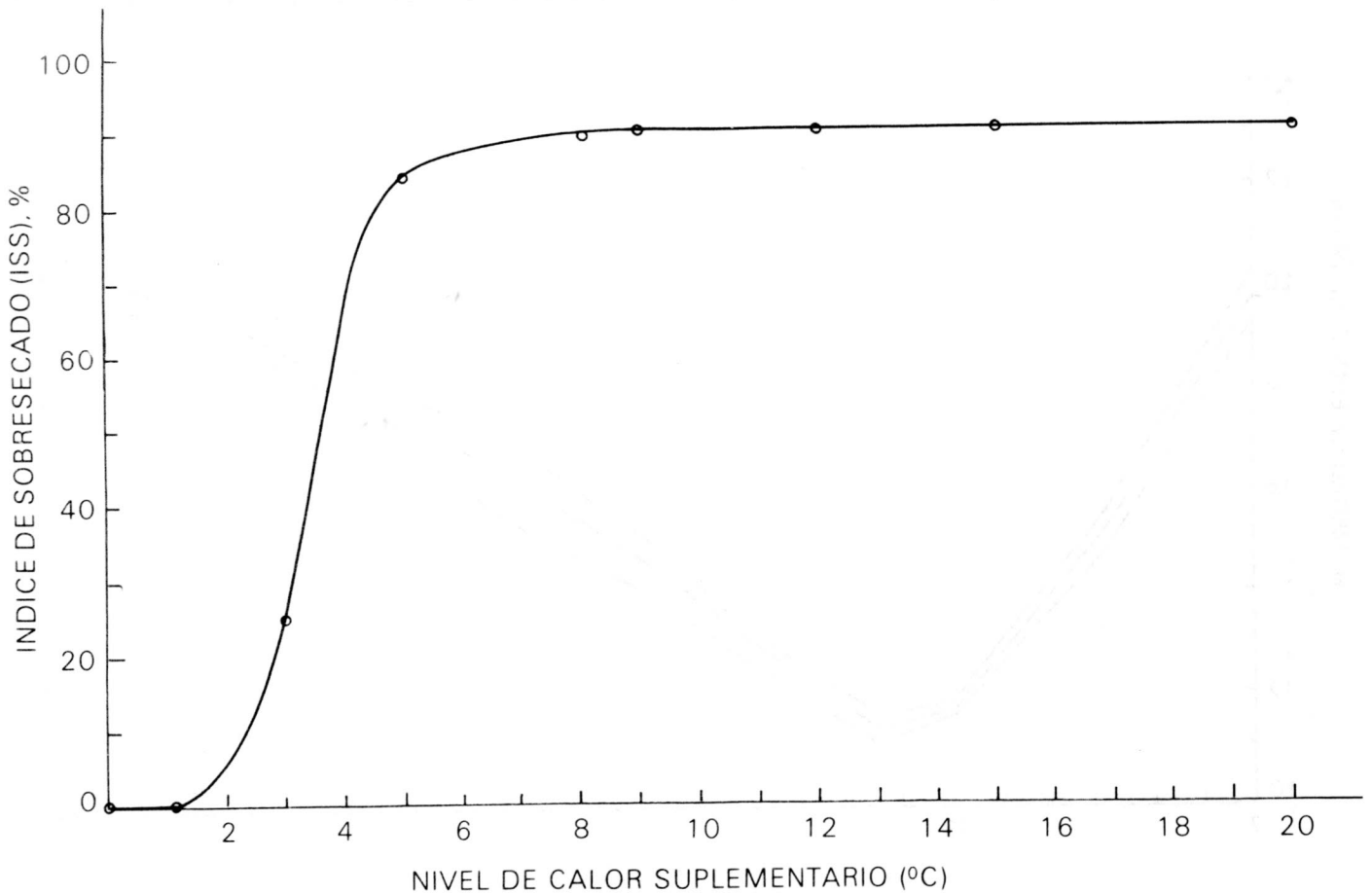
En los patrones 3, 4, 5, 6 y 7 se suprimieron diferentes lapsos correspondientes al período del



**GRAFICA 2. Probabilidad de la humedad de equilibrio en función de la hora del día — mes de abril.**



GRAFICA 3. Comportamiento del secado a diferentes niveles de calor suplementario.



GRAFICA 4. Nivel de calor suplementario Vs. índice de sobresecado.

día más frío y húmedo, como se observa en la gráfica 2. A medida que el lapso suprimido se hace más estrecho (patrones 3, 4 y 5), el caudal requerido y el índice de sobresecado disminuyen hasta que el caudal alcanza un valor mínimo en el patrón 6, en el cual se suprimen las dos horas más frías y húmedas, de las 4:00 a las 6:00 a.m. Si se disminuye aún más el lapso suprimido, el caudal requerido aumenta ligeramente como se observa en el patrón 7 y el patrón 8; en este último el lapso suprimido es cero, es decir el ventilador opera continuamente.

Adicionalmente se tantearon patrones suprimiendo diferentes lapsos durante las horas de temperatura y humedad de equilibrio intermedias (patrones 9, 10 y 11), encontrándose que el caudal requerido para el patrón 9, apagando el ventilador entre las 24:00 y la 1:00 horas, es el mejor de los once patrones ensayados, siendo el que presenta menores requerimientos de potencia y energía; este patrón de operación es también adecuado desde el punto de vista de la condición final del grano, no se presentan problemas de sobresecado pues el índice es del 0%, siendo seleccionado como el patrón óptimo para realizar todas las simulaciones.

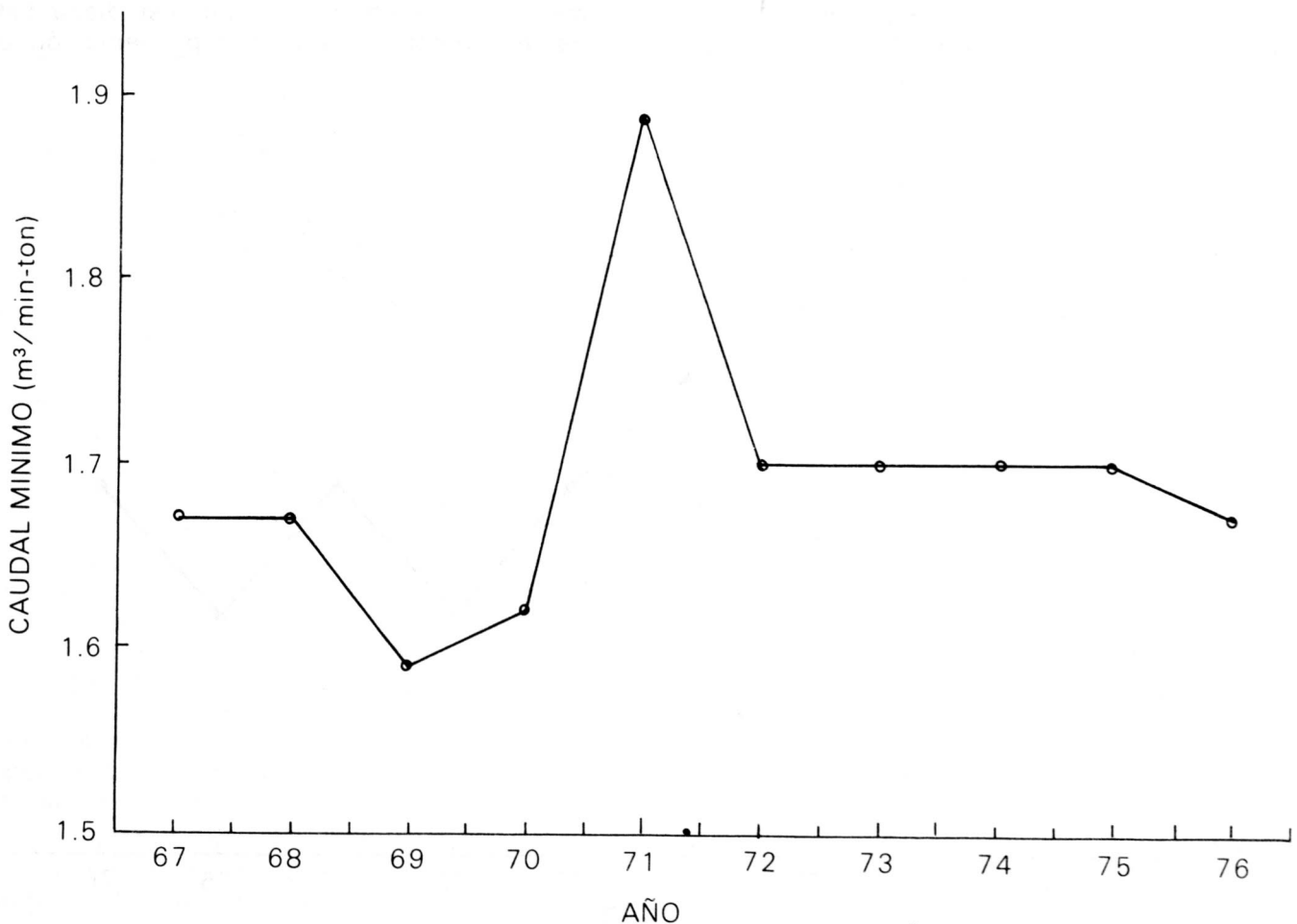
#### Calor suplementario

En las gráficas 3 y 4 están representados los resultados obtenidos para diferentes niveles de calor suplementario. Aunque un incremento de

temperatura promedio mayor de 10°C no es práctico en sistemas de secado con energía solar, se simularon incrementos mayores con el fin de estudiar el comportamiento del secado.

En la gráfica 3 se observa cómo a medida que aumenta el nivel de calor suplementario el caudal requerido disminuye; la curva de caudal mínimo descende rápidamente al principio y luego va reduciendo su pendiente hasta hacerse casi horizontal, es decir que con los primeros incrementos de temperatura el caudal requerido descende significativamente, pero a medida que el nivel de calor suplementario aumenta, la reducción es cada vez menor. Con un incremento de 3°C sobre la temperatura ambiental es posible obtener una reducción del caudal del 25%, pero si el nivel de calor suplementario se incrementa en 5°C desde 15°C hasta 20°C, la reducción del caudal es sólo del 6%.

La curva de tiempo de secado contra nivel de calor suplementario presenta un comportamiento similar pues también descende rápidamente con los primeros incrementos de temperatura y disminuye su pendiente a medida que aumenta el nivel de calor suplementario; con un incremento de 3°C sobre la temperatura ambiental se logra reducir el tiempo de secado en 35%; sin embargo, con un incremento de 5°C desde 15°C hasta 20°C, sólo se logra reducir el tiempo de secado en 10%.



GRAFICA 5. Caudal máximo simulado para los años estudiados (XINCT = 3°C). Mes de marzo.

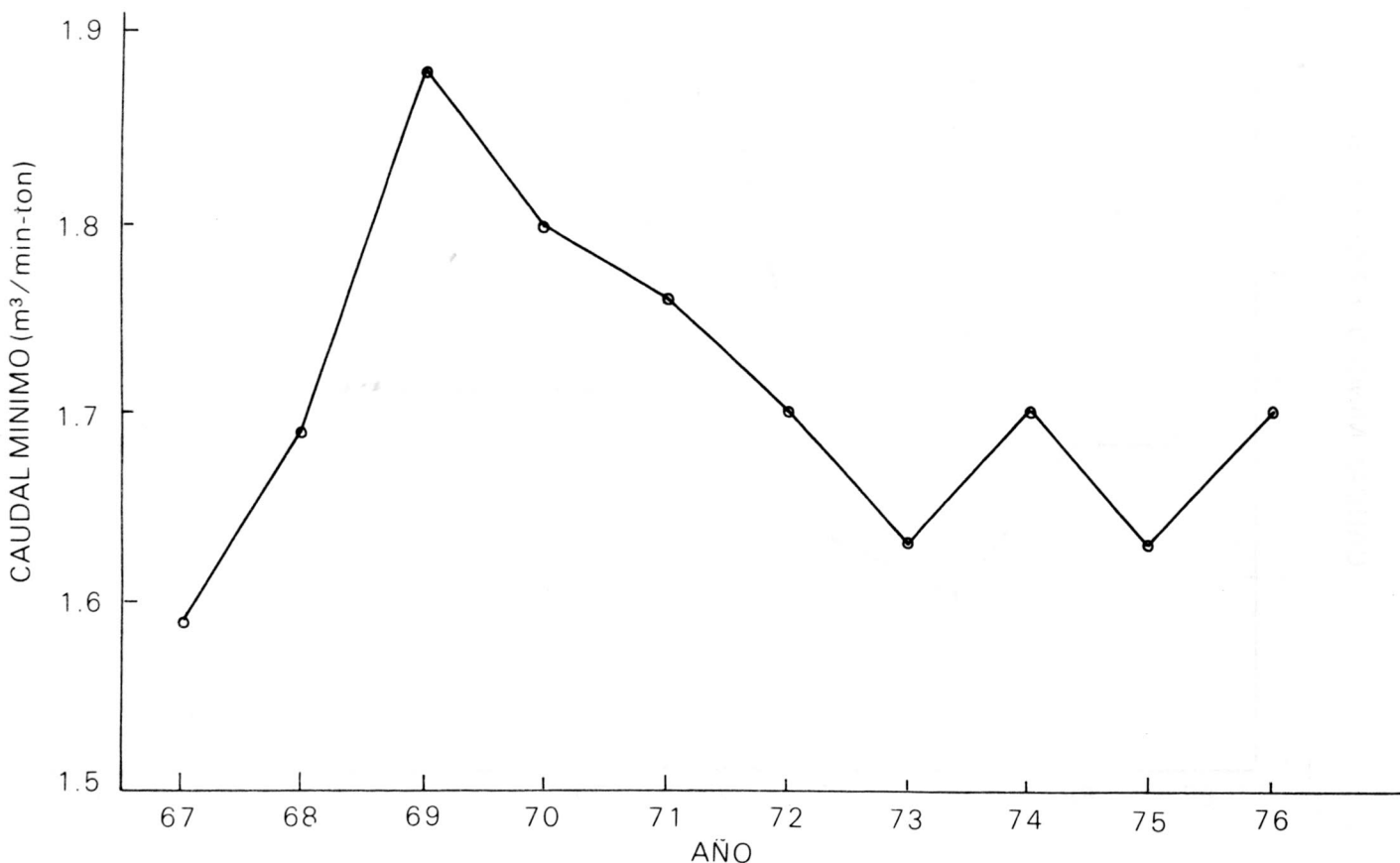
A medida que aumenta el nivel de calor suplementario el problema de sobresecado se hace más crítico. Se observa que la curva de contenido de humedad promedio contra nivel de calor suplementario (gráfica 3) desciende a medida que éste aumenta. Con incrementos de temperatura de hasta 3°C, el contenido de humedad final promedio está entre 12 y 14% bh, lo cual constituye un rango adecuado; para incrementos mayores de 3°C el contenido de humedad final promedio desciende por debajo del 12% presentándose una pérdida de peso innecesaria, como consecuencia de que el secado se debe prolongar hasta que se alcance a secar suficientemente la última capa, lo cual determina que las capas inferiores se sequen excesivamente. En la curva de índice de sobresecado contra nivel de calor suplementario (gráfica 4) se observa cómo éste es cero para incrementos hasta de 1.1°C y luego aumenta rápidamente hasta hacerse del 90% para incrementos mayores de 8°C. Este comportamiento se debe a la disminución del contenido de humedad de equilibrio como consecuencia del aumento de temperatura.

Con base en los resultados anteriores se seleccionó el nivel de calor suplementario de 3°C como el más adecuado pues proporciona una disminución significativa en el caudal y tiempo de secado requeridos, sin presentar problemas de sobresecado. Además, es un incremento de temperatura fácil de obtener pues al pasar el aire por el ventilador y su motor, aumenta su temperatura en 1.1°C, y se requiere un colector que caliente el aire en 1.9°C, el cual puede ser

relativamente pequeño y eficiente.

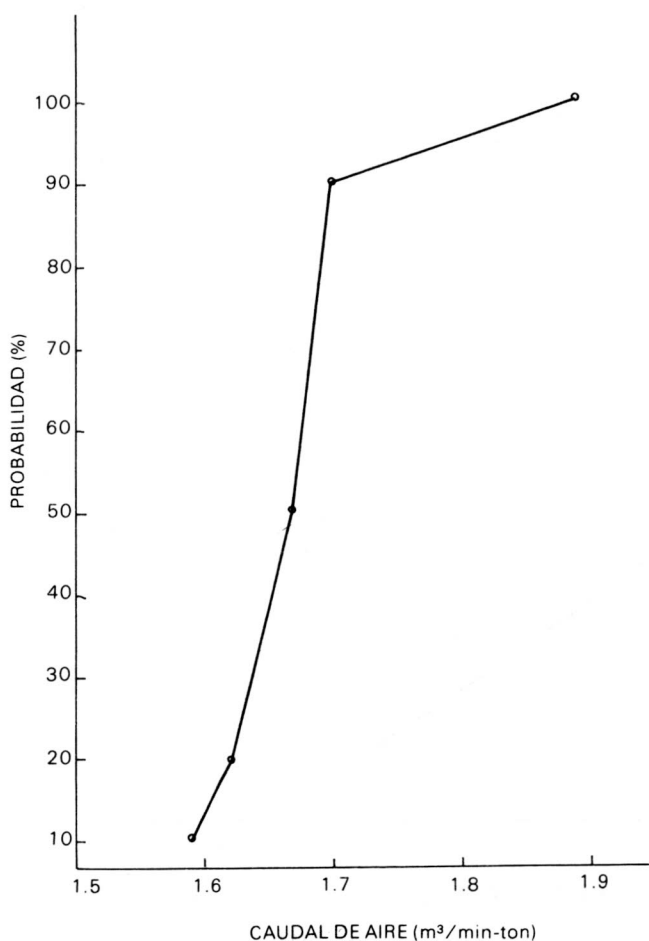
#### Simulación del secado para diez años

La simulación para los diez años se hizo con el patrón de operación del ventilador y el nivel de calor suplementario seleccionados, para los cuales se obtuvieron los resultados mostrados en las gráficas 5 y 6. El caudal requerido promedio de diez años para abril es 1.71 m<sup>3</sup>/min-ton y para marzo es de 1.69 m<sup>3</sup>/min-ton, lo cual indica que no existe diferencia significativa entre estos dos meses en relación con el secado. Se concluye que la fecha de cosecha no es un parámetro importante una vez establecida la época de cosecha, ya que las variaciones de un mes a otro no son significativas; de esta forma se confirma la validez del uso de un día típico que se puede suponer igual para todos los días del mes. Esta característica se podría generalizar para todas las regiones tropicales que presentan un comportamiento meteorológico similar. En ambos casos la mayoría de los caudales es cercana al valor promedio y existe un año crítico en el cual el caudal requerido es sensiblemente mayor. A partir de las gráficas 5 y 6, ordenando los caudales en orden ascendente, se obtuvieron las gráficas probabilísticas de caudal para marzo y abril (gráficas 7 y 8). Se observa que el caudal requerido para un nivel de 100% de confiabilidad es cercano a 1.9 m<sup>3</sup>/min-ton para ambos meses, lo cual indica que no existe diferencia significativa en la variación de la meteorología en relación con el secado para los meses de cosecha en la región estudiada. Este caudal es adecuado para la implementación de

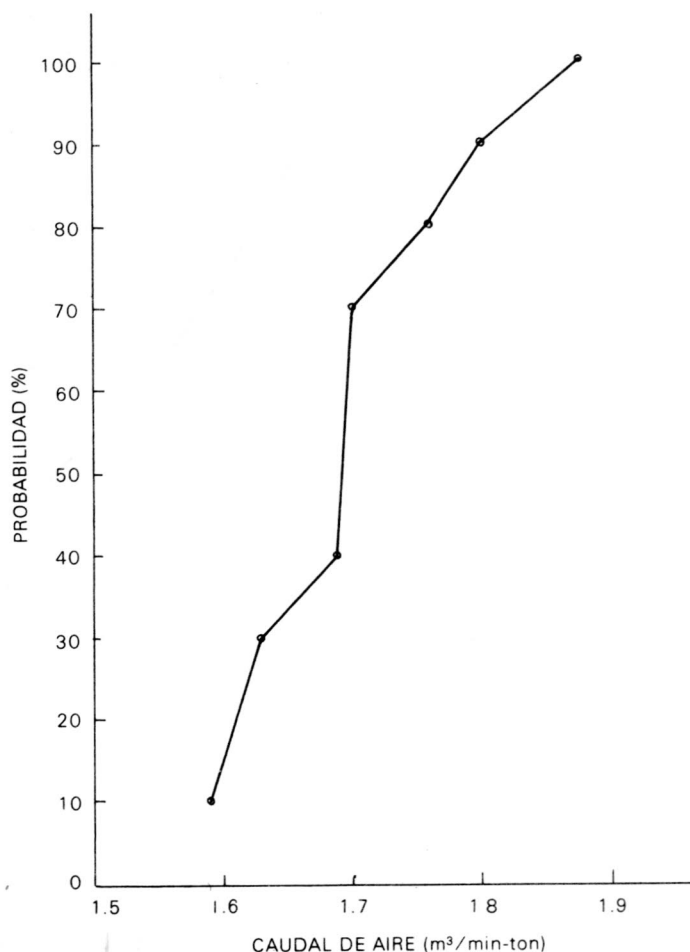


GRAFICA 6. Caudal mínimo simulado para los años estudiados (XINCT = 3°C). Mes de abril.





GRAFICA 7. Caudal mínimo de aire Vs. probabilidad. Mes de marzo.



GRAFICA 8. Caudal mínimo de aire Vs. probabilidad. Mes de abril.

sistemas de secado a baja temperatura, ya que es un flujo de aire pequeño, con unos requerimientos de potencia relativamente bajos. Un sistema diseñado para el peor año no estaría exagerado para el mejor año ya que la diferencia de caudales requeridos para estos dos casos es menor del 19% en relación al caudal menor.

Requerimientos para otros niveles de calor suplementario.

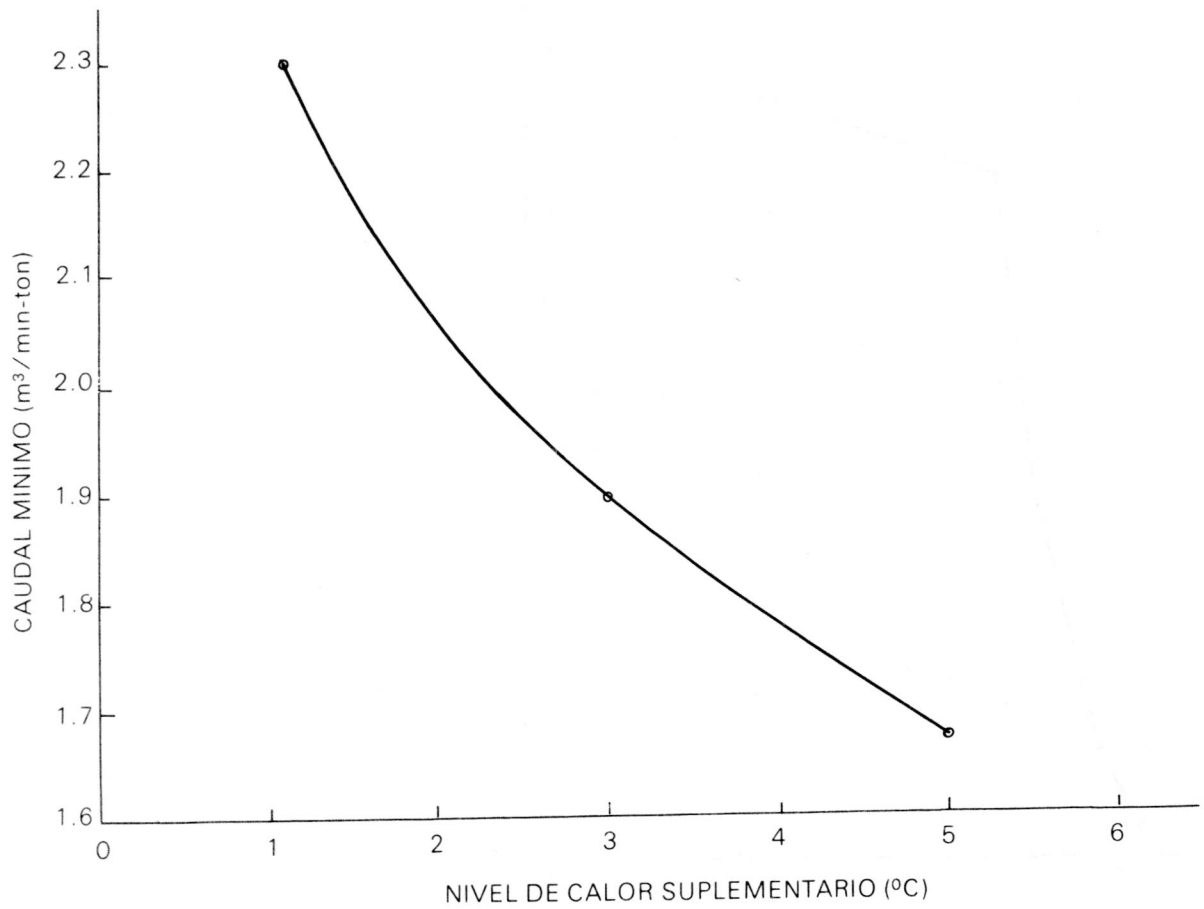
Para conocer el comportamiento del secado bajo otros niveles de calor suplementario, se simuló el proceso de secado para el peor de los veinte meses estudiados, correspondiente a marzo de 1971, con otros niveles de calor suplementario que podrían llegar a ser ventajosos, se obtuvieron los resultados mostrados en las gráficas 9 y 10. A partir de estas se pueden obtener los caudales y tiempos de secado requeridos con una confiabilidad del 100% para niveles de calor suplementario entre 1.1°C y 5°C. La selección del mejor nivel de calor suplementario depende de los criterios económicos y se puede realizar calculando el costo total del sistema para varios niveles, a partir de las gráficas 9 y 10.

En la gráfica 11 se reportan los requerimientos de caudal, potencia y energía en función del calor suplementario. Se observa que el uso de calor suplementario (energía solar) puede ser muy

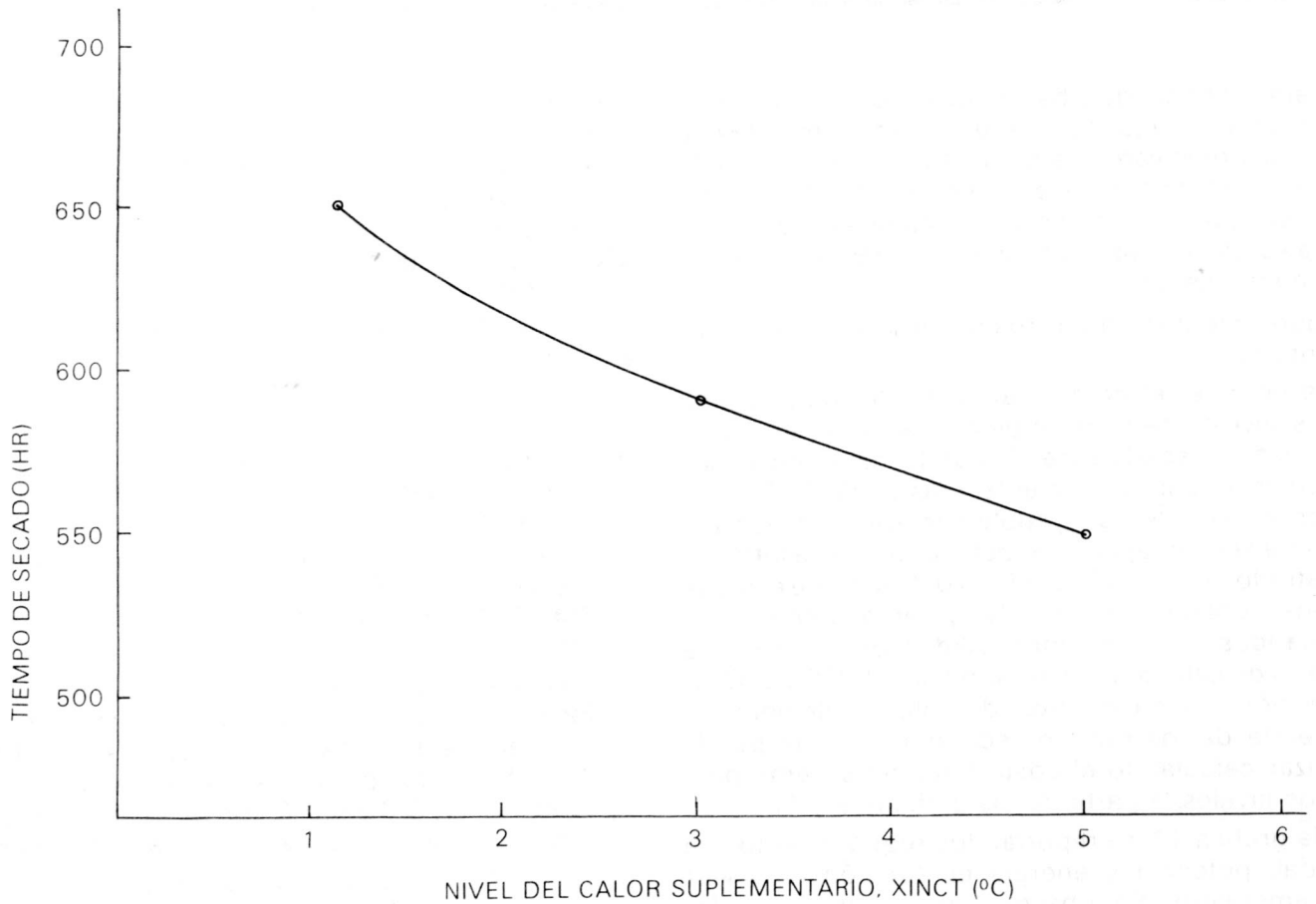
ventajoso, ya que con una pequeña reducción en el caudal se logra una reducción significativa en la potencia y energía requeridas debido a la relación exponencial que existe entre potencia y caudal. Si se usan incrementos de temperatura promedio de 3 y 5°C se logra reducir la potencia requerida hasta 55% y 38% de la energía requerida con un nivel de calor suplementario de 1.1°C respectivamente (ver gráfica 11).

### Conclusiones

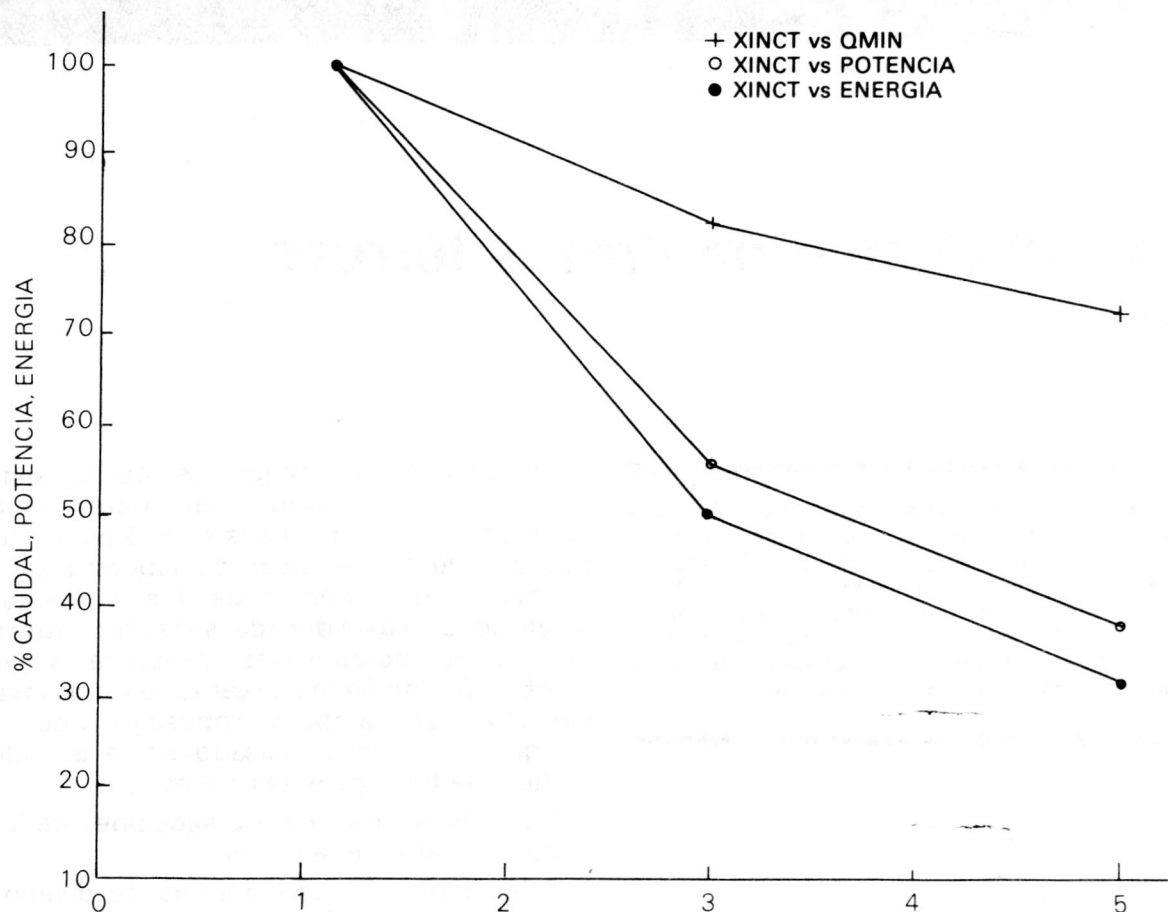
- Las consideraciones necesarias y el procedimiento por seguir propuestos en la metodología planteada son sencillos, completos y se adaptan muy bien a las condiciones específicas de las regiones tropicales, permitiendo optimizar sistemas de secado a baja temperatura de una forma rápida y eficaz.
- Los caudales requeridos para secar maíz en la localidad hasta un contenido de humedad final promedio entre 12 y 14% bh son de 2.3, 1.9 y 1.7 m<sup>3</sup>/min-ton para niveles de calor suplementario de 1.1, 3.0 y 5.0°C con tiempos de secado promedio de 29, 26 y 24 días respectivamente.
- Teniendo en cuenta los bajos requerimientos de caudal, el efecto benéfico del uso de energía solar y las condiciones meteorológicas relativa-



GRAFICA 9. Nivel de calor suplementario Vs. caudal mínimo. Mes crítico (marzo 1971).



GRAFICA 10. Nivel de calor suplementario Vs. tiempo de secado. Mes crítico (marzo 1971).



GRAFICA 11.

mente uniformes en la zona, se puede decir que ésta posee un buen potencial para el secado de productos agropecuarios.

### Recomendaciones

- a) Desarrollar un programa para el estudio del potencial de secado con aire natural y energía solar para diferentes regiones y en relación con diferentes productos, estableciendo las regiones y productos prioritarios según necesidades e importancia del secado, con el fin de elaborar mapas de potencial de secado con base en los

cuales se pueda evaluar este recurso y obtener fácilmente la información requerida para diseño.

- b) Desarrollar una metodología para el estudio del potencial de secado solar tradicional (convección libre), ya que el sistema tiene una gran importancia en la mayoría de los países tropicales incluido Colombia. Como punto de partida se podría usar la evaporación potencial como índice de potencial de secado y desarrollar un programa de optimización con base en el modelo de Roa.

### BIBLIOGRAFIA

Domínguez, J., Parra, A. **Estudio del Potencial de Secado con Aire Natural y Energía Solar de una Región**. Proyecto de grado, sin publicar, Bogotá, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, 1982.

Domínguez, J., Parra, A., Villa, L. G. **Simulación Matemática y Optimización del Secado de Productos Agropecuarios con Aire Natural y Energía Solar**. Ingeniería e Investigación, 1982, 2(2): 57-62.

Meyer, J. A., Villa, L. G. et al. **Potential of Solar Energy for Drying Agricultural Products**. Resource Management and Optimization, 1980, vol. 1, 61-67.

Morey, R. V. et al. **Evaluation of the Feasibility of Solar Energy Grain Drying**. Transactions of the ASAE, 1979, 22(2): 409-417.

Morey, R. V. et al. **Management of Ambient Air Drying Systems**. Transactions of the ASAE, 1979, 22(6): 1418-1425.

Pierce, R. O., Thompson, T. L. **Management of Solar and Low-**

**Temperature Grain Drying Systems**. Part I: Minimum Airflow Rates: Supplemental Heat and Fan Operation Strategies with Full Bin. Transactions of the ASAE, 1980, 23(4): 1020-1023.

Pierce, R. O., Thompson, T. L. **Solar Grain Drying in the North Central Region. Simulation Results**. Transactions of the ASAE, 1979, 22(1): 178-187.

Rossi, J. R., Roa, G. **Secagem e Armazenamento de Produtos Agropecuários com uso de Energia Solar e Ar Natural**. Sao Paulo, Aciensp, 1980.

Vallderuten, R., Roa, G., Villa, L. G. **Cálculo de Vazoes Mínimas de Ar para Secagem Natural de Milho baseado nos Registros Meteorológicos**. VIII Congresso da Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Botucatu, 1978.

Villa, L. G. et al. **Minimum Airflow for Drying soybean Seeds in Bins with Ambient and Solar Heated Air**. ASAE Paper Nº 78-3017, St. Joseph, Michigan, 1978.