CIAT
66793
COLECCION HISTORICA

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURAL TROPICAL

PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA

SECADO Y ALMACENAMIENTO DE ARROZ

CIAT
BIBLIOTECA
4019

por

Gonzalo Roa
Ingeniero Agrícola

Palmira, Agosto 14, 1972

CONTENIDO

Introducción

Sicometría

Contenido de Humedad del Arroz en Equilibrio con el Medio Ambiente

Sistemas de Secado de Arroz

a Secado Natural

b Secado en Silos de Almacenamiento

c Secado en Secadores Verticales con Flujo de Grano

Ventiladores

Costo de Secado en el CIAT

Apéndice

SECADO Y ALAMCENAMIENTO DE ARROZ 1/

Introducción. El secado de granos es uno de los procesos más antiguos, más estudiados y sin embargo hoy no se acostumbra a dar recomendaciones sencillas, precisas y de caracter general que puedan ser aplicadas por operarios no calificados para poder asegurar una exitosa operación con costos mínimos Razones en favor de éste argumento son· a) la variabilidad del estado del aire ambiental, b) la no uniformidad del contenido de humedad del grano cosechado y c) la complejidad de los procesos simultáneos de transferencia de calor y masa durante el secado

Existen sí, secadores rápidos, automáticos, a los cuales el operador poco puede modificar en su funcionamiento Sin embargo, estos secadores, y en particular los de arroz, arrojan normalmente costos más altos por metro cúbico de grano procesado La calidad del producto tampoco es la óptima

Con miras a dar soluciones generales a éste problema, varios institutos de investigación en Ingeniería Agrícola han dedicado años de permanente estudio a desarrollar modelos matemáticos que permitan la simulación de cualquier operación en secadores industriales aprovechando la rapidez de cálculo y memoria de los computadores Esta etapa ha sido ya superada y es posible ahora diseñar mediante programas de optimización los secadores, y la operacion más eficiente de ellos para cualquier grano y en cualquier región del mundo, sin necesidad de experimentar más en el campo y en los laboratorios Michigan

---

1/ Este artículo es el resumen de una conferencia dictada por el autor a un grupo de Ingenieros Agrónomos del Brasil La Conferencia fue parte del curso completo sobre arroz que el CIAT ofreció a los profesionales brasileros durante los meses de Julio y Agosto de 1972

State University, East Lansing, Michigan, es el centro de investigación lider en esta rama habiendo alcanzado ya los primeros éxitos (1)

Independientemente de estos progresos, la mejor información que puede suministrársele a los encargados de secar granos, son las instrucciones en los principios básicos en que se fundan los procesos de secado y almacenamiento, para que ellos entiendan y puedan utilizar eficientemente los datos útiles existentes en la literatura (2)

En parte, las técnicas de secado de arroz obedecen a los mismos procesos físicos de secado de otros granos, semillas y en general de materiales higroscópicos Dos propiedades físicas características del arroz a) su tendencia a ruptura por esfuerzos mecánicos originados por la rápida deshidratación especialmente durante el período final de secado con aire caliente y seco (3) y b) su alta densidad (4), por la cual el proceso de difusión de la humedad dentro del grano es lento, hacen que sea necesario utilizar técnicas especiales durante el secado

Se revisan en la primera parte del artículo los conceptos básicos de las propiedades del aire que se resumen en la carta sicométrica Se establece el concepto de contenido de humedad del grano en equilibrio con el medio ambiente La utilidad de éstos conceptos se demuestran en los análisis de los sistemas de secado y almacenamiento Se comparan los diferentes sistemas en base al tiempo de acondicionamiento, calidad del producto y costos de operación Al final de esta sección se critican los actuales secadores comerciales de tipo continuo y se ponen de manifiesto las posibles ventajas de un secador continuo, de flujos de aire y grano concurrentes y que no se produce comercialmente en la actualidad Las relaciones flujo de aire, resitencia del grano de arroz al paso del aire, potencia requerida por el motor y eficiencia del soplador se discuten brevemente

Un ejemplo numérico en el cual intervienen un silo y un soplador existentes en las instalaciones del CIAT, ilustran algunas relaciones elemertales relevantes al secado de arroz, su economía y al uso eficiente de los sopladores Por último, se analizan los costos de tres sistemas de secado que se utilizan experimentalemente en el CIAT

Sicometría Aire es, desde un punto de vista práctico, una mezcla de aire seco y de vapor de agua La temperatura de la mezcla y la cantidad de la humedad determinan de manera única el estado o la calidad del aire húmedo que por simplicidad llamamos aire Una vez conocido este estado, otras propiedades útiles como la temperatura del bulbo humedo, temperatura de condensación, humedad relativa, energía interna del aire entalpía -, voulmen específico y otras más pueden ser leídas fácilmente en la carta sicométrica, en donde, se simbolizan gráficamente las relaciones termodinámicas del aire En la figura No 1, se incluye una copia de la carta sicométrica Información de esta carta le instruirá por ejemplo, en la cantidad de calor que debe adicionarsele a un volumen de aire dado pora elevar su temperatura en un cierto de número de grados deseado

Contenido de Humedad del Arroz en Equilibrio con el Medio Ambiente Granos, semillas y en general materiales porosos ganan, pierden, o están en equilibrio de humedad con el aire ambiental que los rodea Un grano de arroz recién cosechado pierde agua porque la presión del vapor de agua de la superficie es casi siempre mayor que la presión de vapor de agua del aire ambiente El proceso de transferencia de masa continuará hasta que ambas presiones se igualen El punto de equilibrio corresponde exactamente a un determinado contenido de humedad del grano, que es propiedad de la naturaleza porosa del mismo El proceso de equilibrio de secado se ilustra gráficamente en la figura No 2 Generalizando se puede decir que el contenido de humedad de determinado grano expuesto por un

tiempo suficientemente largo, en condiciones de aire estacionarias, se equilibra en un valor fijo, que depende de la temperatura y humedad del aire En la figura No 3 se dibujan tres curvas de equilibrio para cierta variedad de arroz con cáscara Las curvas de equilibrio de humedad del arroz tienen la misma forma para cada una de las variedades, pero los valores pueden diferir hasta en un 10 por ciento En general, todos los granos presentan la misma forma de curva de equilibrio En la curva mencionada anteriormente se resalta el valor de 12 por ciento, que es el valor recomendado para almacenamientos largos de más de seis meses (5) La curva de respiración del arroz (ver figura No 4), explica en parte, el porqué de la recomendación de éste valor la cantidad del anhídrido carbónico desprendido y por tanto el calor de respiración y el calentameinto del grano, se reducen en esa parte de la curva a un valor mínimo Las temperaturas mayores de 35°C y los contenidos de humedad superiores al 15 por ciento forman un ambiente propicio para que los microorganismos presentes en el grano se desarrollen y arruinen el producto

Elaborando una tabla de las diferentes combinaciones de humedades relativas y temperaturas del aire que corresponden al 12 por ciento (6,7) de humedad del arroz y dibujando los puntos que cada par de valores definen en la carta sicométrica, (ver figura No 1), tenemos entonces una curva de equilibrio trasladada a lugar apto para encontrar los grados de temperatura en que debe aumentarse el estado del ambiente para acondicionar el arroz al 12 por ciento de humedad Estos valores están tabulados en la tabla No 1 Por ejemplo, si la ciudad de Buenaventura presenta un promedio de temperatura de 26°C y una humedad del 90 por ciento, un calentamiento del aire hasta 34 2°C nos proporcionará el aire - con una nueva humedad relativa del 56 por ciento-necesario para el acondicionamiento

Sistemas de Secado de Arroz Distinguimos tres formas diferentes de secado que se utilizan satisfactoriamente en la actualidad Ellas son: a) secado natural, b) secado en silos de almacenamiento y c) secado en secadoras industriales verticales y con flujo de grano

Secado natural Comprende procesos tales como dejar la espiga cortada en el campo bien drenado, atar las espigas y colgarlas en estacas o postes; o desgranar el arroz y secarlo en un piso de concreto

El procedimiento de secado en espiga es lento porque la espiga debe secarse simultáneamente con el grano En condiciones ambientales típicas del Japón la forma de secado en espigas toma de 7 a 10 días

En la Figura No 5 se presentan cuatro curvas de deshidratación correspondientes a cuatro días de secado en suelo de concreto en la estación del CIAT durante el mes de Julio El cuadro de la misma figura ilustra como la rata de secado depende de la intensidad de la radiación solar, de la humedad del aire y de la velocidad del viento El espesor de la capa del grano y de la rata de movida del grano se conservaron constantes Un arado de vertedera, fue adaptado para los esperimentos Haciendo un balance de energía se deduce, que en promedio la energía radiante incidente se distribuyó aproximadamente así:

Treinta y seis por ciento fue reflejada en el grano

Treinta y cuatro por ciento fue utilizada efectivamente para evaporar el agua desde el 18 hasta el 13 por ciento de humedad

Veinte por ciento se perdió por convección

Diez por ciento por radiación de onda larga emitida por el arroz

La temperatura máxima medida fue de 44°C, superior a los 40°C, que se acepta como valor máximo Sin embargo, el procentaje de granos enteros no fue inferior

el grano secado por una secadora automática de columna y de mezcla existente en el CIAT El movimiento en el grano fué tal que el arado pasó con intervalos no mayores de 10 minutos por el mismo sitio El espesor de la capa fué de 3 8 cm Mediante estas condiciones y métodos, los granos de la superficie expuestos a la radiación se liberan prontamente de ésta, uniformándose la humedad y la temperatura en cada grano, para hacer desaparecer los esfuerzos interiores Por otra parte, cuando éstos granos reaparecen en la superficie, la deshidratación es más efectiva por haber aumentado la humedad superficial

Secado en Silos de Almacenamiento. Este secado puede efectuarse de tres maneras a) soplando aire sin calentamiento, b) calentando el aire no más de 10°C, c) usando altas temperaturas y altos volumenes de aire intermitentemente

En los dos primeros casos el volumen del aire necesario es bajo 2 a 5 metros cúbicos de aire por metro cúbico de arroz, o lo que es equivalente a una velocidad del aire de 2 5 metros por minuto. El tiempo de acondicionamiento puede ser de 7 a 8 días, dependiendo de el ambiente y de la altura del arroz que puede ser de 2 5 a 3 metros Si la cargada del tanque o silo se hace por capas de 60 y 90 cm de espesor, cada 2 o 3 días, se puede acelerar el secado Los datos de la tabla No 1 pueden utilizarse si se requiere un contenido de humedad final del 12 por ciento Para otros valores de humedad deseado, se puede utilizar la carta sicométrica y las curvas de equilibrio para determinar el calentamiento mínimo necesario La calidad del producto obtenido mediante este procedimiento es óptimo por las bajas ratas de deshidratación En la figura No 6 se ilustra una clase de silo muy popular

También ha sido práctica acelerar el secado en silos que pueden servir de almacenamiento usando altas temperaturas y altas velocidades de aire mediante el

el siguiente proceso (7)

a Primer período

1 Comenzar a secar después de 6 horas de cosechado

2 Secar de 30 a 45 min con aire a 55°C y 80 mt/min

b Segundo período

1 Comenzar después de 6 a 12 horas de terminado el primer período

2 Secar por 20 o 30 min a 55°C

c Tercero y subsiguientes períodos hasta obtener el contenido de humedad deseados

1 Comenzar 6 a 12 horas después de terminado el período anterior

2 Secar durante 20 min a 55°C

d Último período

a Comenzar después de 12 a 24 horas de terminado el penúltimo período

b Airear cuando las condiciones climáticas lo permitan

Secadores verticales con flujo de grano En centros comerciales de secado se desea normalmente secar el grano en el menor tiempo posible por razones de ventas, de almacenaje, de eficiencia de operación para eliminar los riesgos de perder el grano Se utilizan en estos centros secadores automáticos, continuos o intermitentes, en los cuales aire caliente a 60°C y grano se cruzan perpendicularmente (ver figuras 7, 8 y 9) Estos secadores se denominan de columna o de torre En los secadores de la figura No 7 el aire caliente actúa permanentemente sobre un mismo número de granos secándolos rápidamente a lo largo de toda la columna El grano puede ser transportado desde el fondo del secador hasta la tolva superior para ser sometido de nuevo al aire caliente El tiempo de retención en la tolva es esencial para la uniformización del contenido de humedad en la

partícula El número de veces que esta operación se repite se llama <u>número de pasos</u>, que depende del contenido inicial de humedad del grano, del estado del aire, de la velocidad del grano y de la altura del secador La calidad del producto que es dada por el porcentaje de granos enteros, depende esencialmente de la temperatura del aire y del número de pasos -ver figura No 10 tomada de (3)- El secador de la figura No 8 difiere del anterior en que la columna es modificada con bafles trabados de tal manera que el grano se mezcle al bajar El secador de torre de la figura No 9 asegura íntimo contacto entre el aire y el grano por medio de los canales de entrada y salida del aire colocados en escalera

Elzinga (10) analiza estos secadores mencionados, de acuerdo a los resultados sobre condiciones óptimas de secado encontradas por Wasserman y coautores (3) quienes concluyeron básicamente que el mayor número de granos quebrados se producen en las etapas finales de secado si el grano es sometido a aire caliente (50°C o más), y seco Obsérvese que esta condición ocurre en los tres tipos de secadores descritos anteriormente Elzinga propone, por tanto, un secador cuyas condiciones de operación parecen ideales para secar el arroz en efecto, los secadores de flujos de aire y grano concurrentes presentan grandes ratas de deshidratación cuando el aire, caliente y seco se pone en contacto con el grano húmedo En la etapa final de secado el aire está a una temperatura menor y su humedad habrá aumentado, por lo cual no habrá daño al producto

<u>Ventiladores o sopladores para aereación o secado de arroz</u> La fabricación de ventiladores para uso de secado de granos es una industria especializada en países desarrollados Es fácil seleccionar el ventilador óptimo para una aplicación si se conocen los requerimientos que debe satisfacer Ver referencia (11)

Un ventilador se selecciona con base en:

a Velocidad del aire necesario

b Area de la sección del silo

c Valor de la resistencia del grano al paso del aire

d Altura del silo

e Eficiencia deseada en el ventilador

f Ruido permisible

De los puntos a) y b) se obtiene el caudal de aire necesario en metros por minuto y metros cúbicos por minuto El valor de la resistencia presentada por el arroz al paso del aire se calcula aproximadamente por la fórmula

$p' = V^{1.25}$ (derivada de la figura No 12)

en donde p es la resistencia o presión estática en milímetros de agua por metro de altura del silo V es la velocidad de aire en metros por minuto La presión total en el silo (p') es la resistencia o presión por metro multiplicada por la altura del grano en metros, más las pérdidas por fricción en el silo a través de los ductos y orificios

La potencia del motor está dada por

$$P = \frac{(Q) \times (p)}{N} K$$

en donde K es un factor de conversión de unidades y N es la eficiencia del soplador que depende de su tipo y del punto de operación del mismo

Los ventiladores pueden ser centrífugos o axiales Los centrífugos se dividen en tres clases de acuerdo a la dirección de sus paletas Los axiales en dos, de acuerdo a los volumenes de aire que deban suministrar Todos estos tipos tienen sus ventajas particulares y el comprador debe seleccionarlo apropiadamente (11)

A continuación se presenta un ejemplo numérico de cálculo con ventiladores

Se dispone de un ventilador "zone axial" 12" SH Farms Fans, de 16 pulgadas de diámetro en las paletas y de 1½ H P Las características publicadas por el manufacturador son 2/

Presiones estáticas en pulgadas de agua							
1 00	1 25	1 50	2.00	2 50	3 00	3 50	4 00
Flujo de aire en pies cúbicos por minuto							
3675	3570	3475	3275	3000	2425	1700	1375

Tabla No 2 Características del soplador 12" SH Farms Fans

Se dispone además de un silo de 14 pies de diámetro para secar y almacenar arroz Se desea conocer cual es la óptima altura del arroz para el uso más eficiente del ventilador Cual sería la nueva velocidad del aire si se secaran 250 quintales de 50 kg cada uno? Compare las eficiencias del soplador en ambos casos

Solución a) En la figura No 11 se dibujan las características del ventilador que se obtuvieron de la tabla No 2 La curva de potencia útil se calculó aplicando la fórmula

$$P = \frac{Q \times p}{6350}$$

En donde Q es el caudal del aire dado en pies cúbicos por minuto y p en pulgadas de agua 6350 es el factor apropiado para que la potencia sea dada en caballos

La potencia óptima que se lee en la figura No 11 es de 1 2 caballos que corresponde a una eficiencia del 80 por ciento - se asume que el motor siempre

2/ Se utilizan unidades inglesas por la conveniencia de este ejemplo práctico y por el equipo existente en el CIAT

suministra 1 5 H P - La presión estática correspondiente es de 2 5 pulgadas y 3000 pies cúbicos por minuto de caudal

La velocidad del aire es el flujo del aire dividido por el área de la sección del silo 3000/154 = 20 pies/min

Si se asume que las pérdidas de presión en los ductos del silo son despreciables podemos encontrar la presión estática por cada pié de altura de la gráfica No 12, tomada de la referencia (2)

Presión estática 4 pulgadas de agua/pie

Altura óptima del arroz 2 5/ 4 = 6 3 pies 3/

b Peso del arroz 133 x 60 - 8000 kgs

densidad aire por ciento de humedad 830 kg/mt^3

volumen 9 65 mt^3 - 340 pies^3

altura del arroz 340/154 - 2 2 pies

El problema debe ser resulto por tanteos y errores por que no admite solución directa

Se asume una caída de presión de 6 pulgadas de agua por cada pié De la figura No 12 se lee una velocidad de aire de 25 pies por min

Por otra parte, la presión estática total es de

2 2 x 6 1 32 pulgadas de agua

El jo de aire correspondiente·

3536 (valor interpolado de las características del ventilador)

3/ Altura óptima desde el punto de vista de eficiencia del ventilador

Velocidad del aire

3536/154 = 23 pies/min

Valor bastante aproximado al asumido

Se toma 24 pies/min como valor final No se puede establecer diferencias de caida de presión con una diferencia de velocidad de un pié por minuto

Potencia útil del fluido

$$P = \frac{3536 \times 1\ 32}{6350} = 75\ H\ P$$

Eficiencia de operación:

$$\eta = \frac{75}{1\ 5} \times 100 = 50\%$$

Es decir que, comparando éste punto de operación con el óptimo, la eficiencia disminuyó en un 30 por ciento en el ventilador y la velocidad del aire aumentó tan solo en un 16 5 por ciento

Costos de secado de arroz en el CIAT. 4/

Se presenta a continuación los análisis de costos correspondientes a tres sistemas de secado utilizados en el CIAT durante los meses de Julio y Agosto de 1972

a SECADO NATURAL POR RADIACION SOLAR

piso de concreto 1 2 3, de 10 cm de espesor

4/ No se incluyen precios de transporte en este análisis

1 <u>Costos fijos</u>

Total costo de la mano de obra . . .. $ 10 oo/m^2

Total costo por m^2 .. . $ 18 84/m^2

capacidad máxima de secado 10 ton

area por tonelada 43 m^2/ton

area necesaria 430 m^2

costo total del piso . $ 8100 oo

I Depreciación

vida probable del piso 25 años

depreciación $8100/25 años = $ 324/año

toneladas por año (2 5 cosecha/año) x (6 5 ton/ha) x (32ha) =520 ton/año

costo por tonelada procesada ($324/año)/(520ton/año) = $ 0 62/ton

II Intereses

valor medio $4050 oo

tarifa de interés 8 5%/año

interés 4050 x.085= $344/año

costo por tonelada ($344/año)/(520 ton/año) = $0 66/ton

Total costos fijos $1.28/ton

2 <u>Costos de operación</u>

horas hombre por tonelada (14 h-h)/(3 5 ton) = 4.0 h-h/ton

salario $3 90/h-h

costo de operación 3 9x4 0 = ... $15 6/ton

Total costo de secado por tonelada $16 88/ton

b SECADO EN SILO DE ALMACENAMIENTO SIN CALENTAMIENTO DE AIRE

Características del silo·

diámetro 4 26 m

altura 2 54 m

piso perforado

equipado con a) soplador "vane-axial" y motor eléctrico de 1.5 H.P

b) tornillo sin fin para descarga con motor eléctrico de 2 H P.

b 1 <u>costos fijos</u>

costo del silo en EE.UU: U.S $ 1370 oo =$30,000 oo

I Depreciación

vida probable del silo 15 años

valor de venta cuando obsoleto· $5,000 oo

depreciación (30,000- 5,000)/15 = $1670 oo/año

depreciación por ton· ($1670/año)/(520 ton/año)y $ 3 20/ton

II. Intereses

porcentage de interés· 8 5%/año

valor medio $15,000 oo

interés 15.000x085 = $ 1,275 oo

interés por tonelada = $ 2 45/ton

total gastos fijos $5 65/ton

2 <u>gastos de operación</u>

1 Cargada del silo

horas-hombre por tonelada 1 h-h/ton

costo por tonelada $3,90/ton

II Energía eléctrica

motor 1 5 H P

horas de operación· 8 días

kilovatios-hora [5/] (1 5)x(8)x(24) = 168 kw-hr

tarifa $0 39/kw-hr

costo de energía eléctrica 168x0.39 = $65.5

peso procesado· 10 ton

costo por tonelada $ 6 5/ton

III Descarga del silo

horas hombre· 0 5 h-h/ton

costo 0.5 x 0 39 = $ 1 95/ton

IV Mantenimiento

tarifa 1% del valor de costo

costo 0 01x30,000 = $300.oo

costo por tonelada 300/520 = $0 58/ton

total gasto de operación . . . . . $ 12.95

total costo por tonelada . . . . . $ 18 60

c. SECADO CON SECADORA AUTOMATICA DE TIPO COLUMNAR CON MEZCLADO DE GRANO

Características de la secadora

marca SATAKE " Tempering Dryer "

modelo 6104131
30 M

5/ Se asume 74.5% como la eficiencia del motor

capacidad 3 toneladas

costo en el Japón U S. $2237 60

combustible petróleo y energía eléctrica

1 <u>costos fijos</u>

I Depreciación

costo inicial· $49,000 oo

vida probable 12 años

valor de venta a los 12 años $8000 oo

depreciación (49000-8000)/12 = $3400 oo/año

costo por tonelada ($3400/año)/(520ton/año) = $6 5/ton

II Interés

valor medio 24,500 oo

interés 24,500 x 0 085 = $ 2080 oo/año

interés por tonelada 2080/520 = $4 oo/ton

total costos fijos . . . $ 10 50

2 <u>costos de operación</u>

I Energía eléctrica

motor 4 5 H P

tiempo de operación 18 horas

costo por tonelada (4 5kw)x(18hr)x($0 39/kw-hr)/(3 ton) = $10 6/ton

II Petróleo

consumo de petróleo 45 litros

costo por ton (45 lt)x(0 27 gal/lt)x($3/gal)/3ton=$12 oo/ton

III Carga y descarga

horas hombre por tonelada· (10h-h)/(3 ton) = 3 33 h-h/ton

costo· 3 33x3 90 = $ 12.90/ton

IV Mantenimiento

tarifa: 3% de su valor inicial por cada año

costo 0 03x49,000= $ 1470 oo/año

costo por tonelada 1470/520 = $ 2 84/ton

total costos de operación	$ 38 34
total costos por tonelada	$ 48 84

BIBLIOGRAFIA

1. Bakker-Arkema, F.W. and Brooker, D.B. Editors. Institute for Simulation of Cooling and Drying Beds of Agricultural Products. Agricultural Engineering Department Michigan State University. East Lansing, Michigan. November 2 - 4, 1970.

2 ASAE Agricultural Engineers Yearbook American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan.

3. Wasserman, T., Miller, M.D. and Golden, W. G. Heated Air Drying of California Rice in Column Dryers. Calif. Agr. Exp. Stat. Ext. Serv. Leaf No 184. 1965

4. Hall, C W. Drying Farm Crops. Agricultural Consulting Associates, Inc Ann Arbor 1957

5. Behlen Modern Grain Conditioning Second Edition Behlen Manufacturing Company Columbus, Nebraska.

6 Juliano, B. O. Hygroscopic Equilibria of Rough Rice. Cereal Chemistry. Vol 41, No 3, May 1964.

7. Hogan, J.T. and Karon, M. L Hygroscopic Equilibria of Rough Rice at elevated Temperatures. Agricultural and Food Chemistry. Vol. 3, No. 10, Oct , 1955

8 Kramer, H A., The Mechanics of Rice Drying, Vol. 28, September,1947.

9 U S D.A Recent Research on Drying and Storage of Rough Rice. Texas Agricultural Experiment Station. Bulletin 29, January, 1953.

10. Elzinga, D.G., Artificial Rice Drying in the United States. Unpublished technical report. Agricultural Engineering Department. Michigan State University 1970

11 Henderson, S.M and Perry, R.L Agricultural Process Engineering. Second Edition Edited by the authors. University of California, Davis, California.

AUMENTO DE TEMPERATURA DEL AIRE PARA OBTENER

EL 12% DE HUMEDAD DEL ARROZ CON CASCARA

TABLA No 1

TEMPERATURA EN (GRADOS CENTIGRADOS)										
34	0	1.0	2 5	3.8	5 0	6 0				
32	0	1.1	2.7	3 8	5.0	6 1	7.0			
30	0	1.2	2 8	4.0	5.0	6.1	7.2	8.3	9 0	10 0
28	0	1.4	2 8	4.0	5 2	6 1	7 4	8 2	9 0	10 0
26	3	1.7	2 8	3 8	5.2	6.1	7 4	8.2	9 0	10 0
24	5	1 8	3.3	4.2	5.3	6 1	7 4	8.3	9 0	10 0
22	.5	1.9	3.3	4.2	5.4	6 4	7 4	8.3	9.0	10 0
20	.5	2 1	3.3	4.4	5.6	6 4	7 4	8.3	9 0	10 0
18	.6	2 0	3 4	4 4	5.6	6.6	7 4	8.3	9.0	10 0
16	1.0	2 2	3.4	4.4	5 6	6.6	7.4	8 3	9 0	10 0
14	1 1	2 2	3 4	4 4	5 6	6 6	7.4	8.3	9 0	10.0
12	1 1	2.2	3.4	4 4	5.6	6.6	7 4	8 3	9 0	10 0
10	1 1	2.2	3 4	5 0	5 6	6.6	7.4	8.3	9 0	10 0
	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

HUMEDAD RELATIVA (%)

Arroz al 12% en cordic
de equilibri

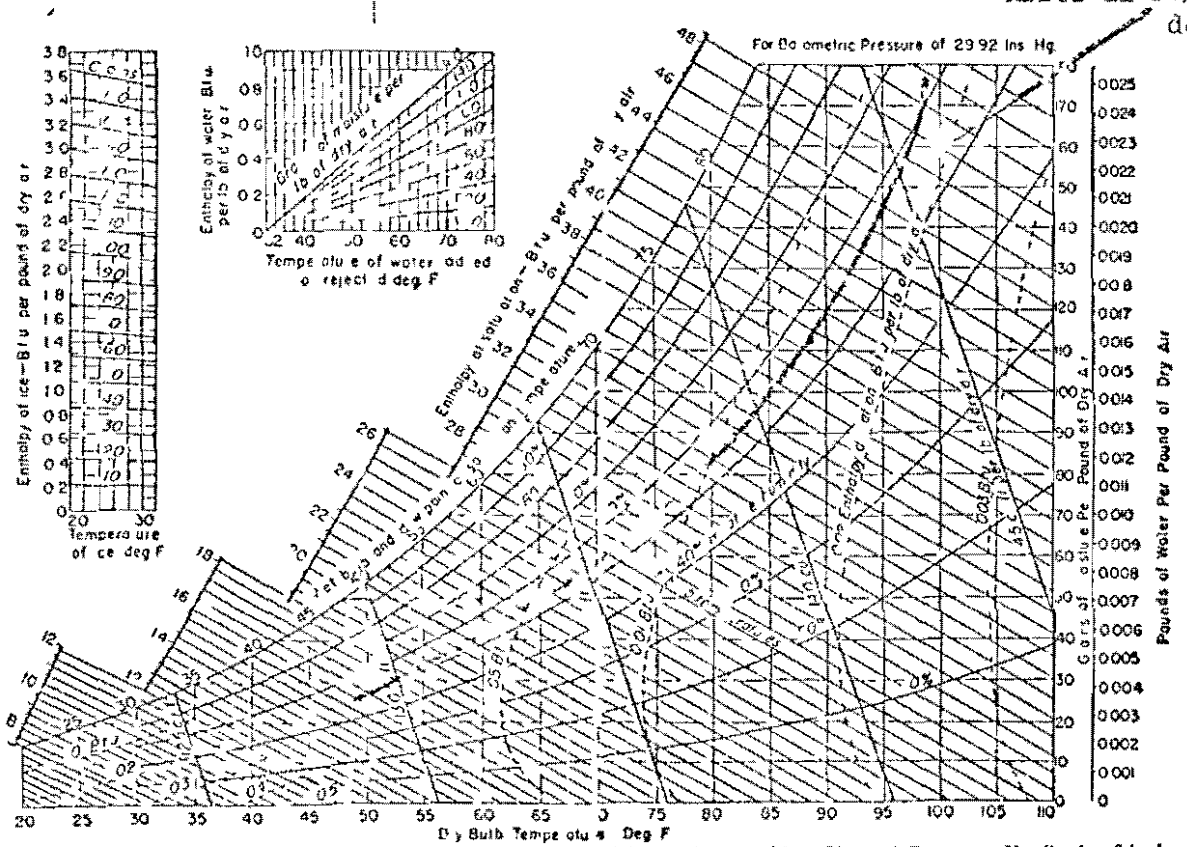


Fig. 48.1. Psychrometric chart. Barometric pressure 14.696 psi. [John H. Perry (ed.), *Chemical Engineers' Handbook*, 3d ed., McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1950.]

Figura No. 1 Carta Sicométrica

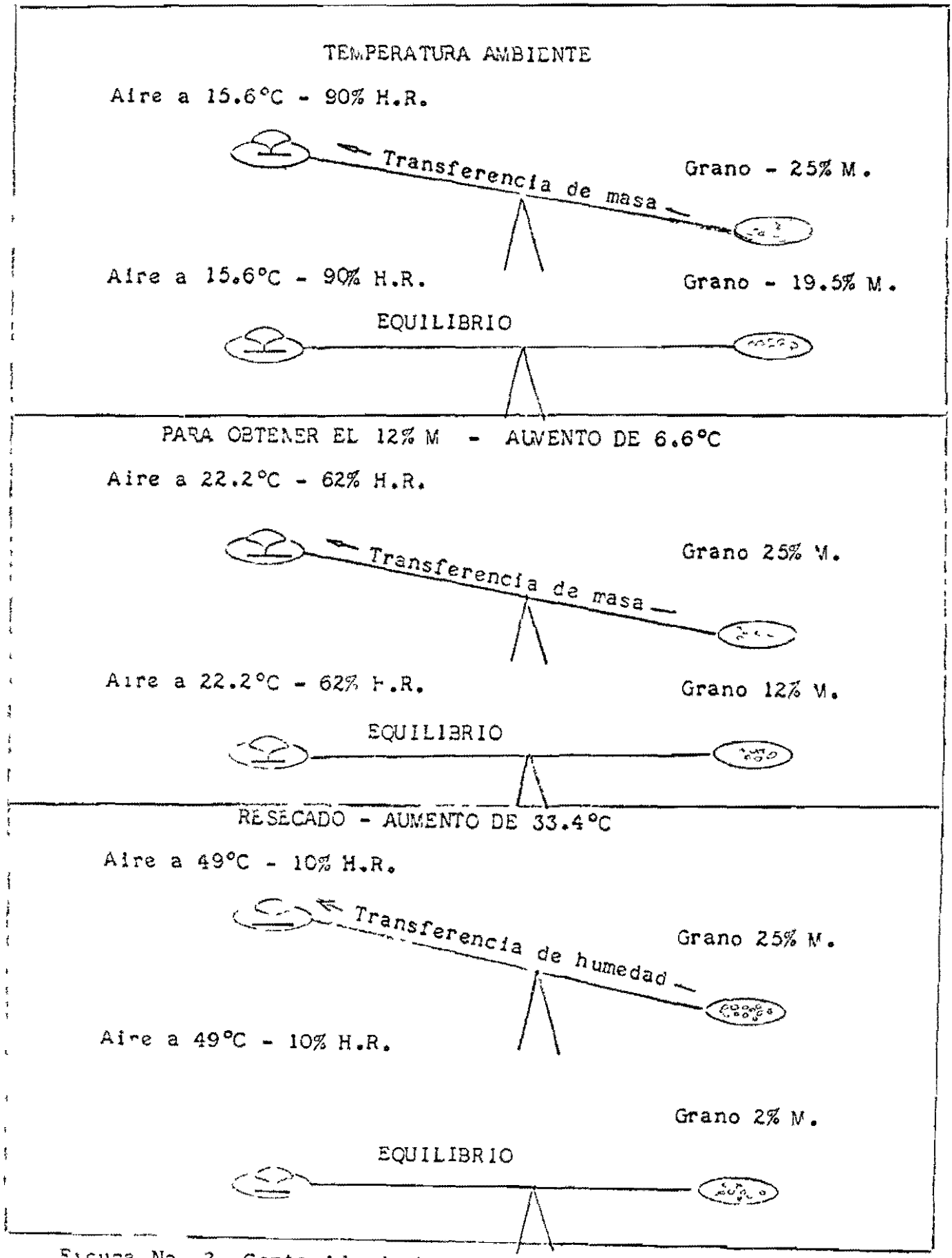


Figura No. 2 Contenido de humedad en Equilibrio

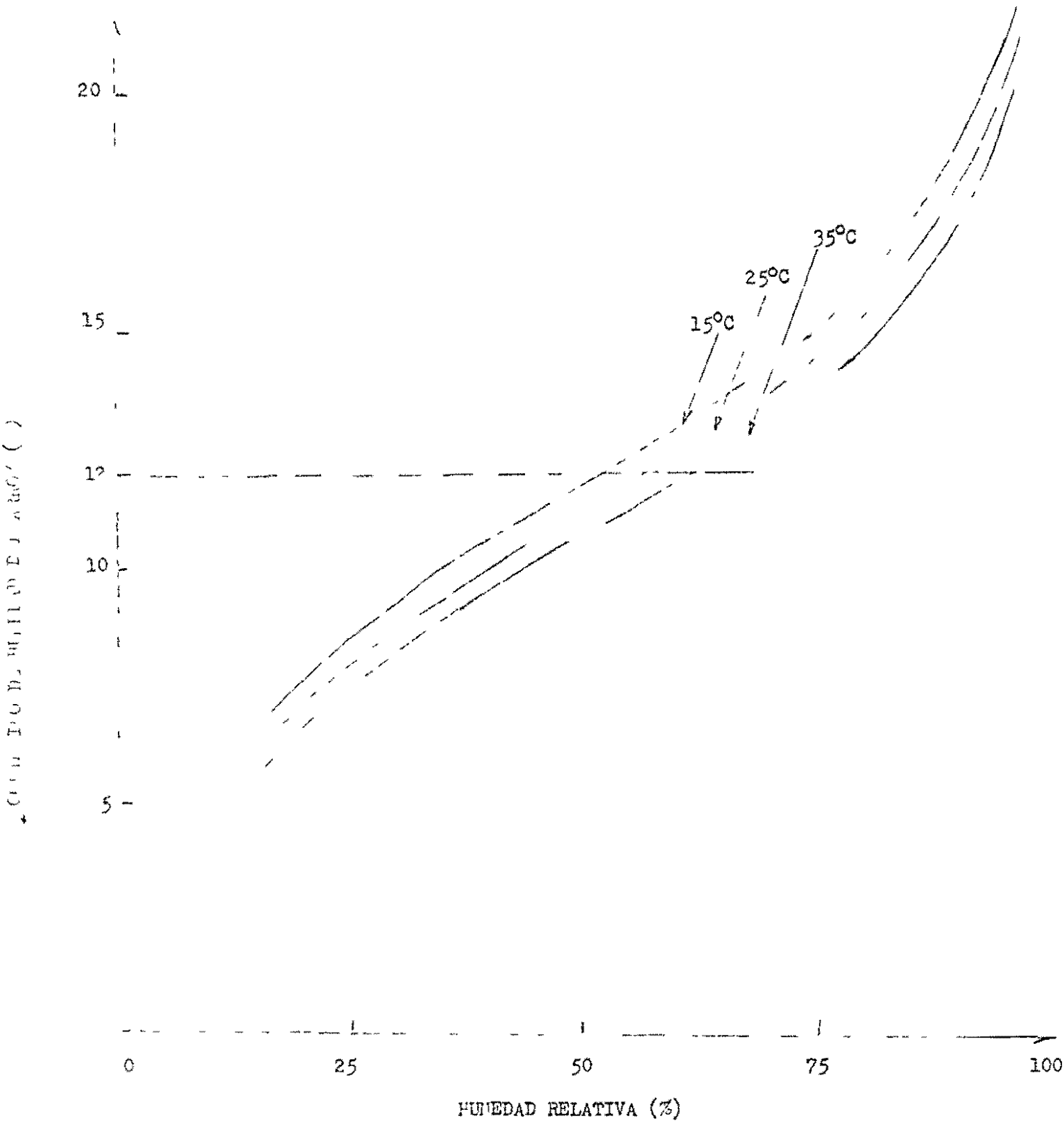


Figura No. 3 Curvas de Contenido de Humedad del Arroz en Equilibrio con el Medio Ambiente

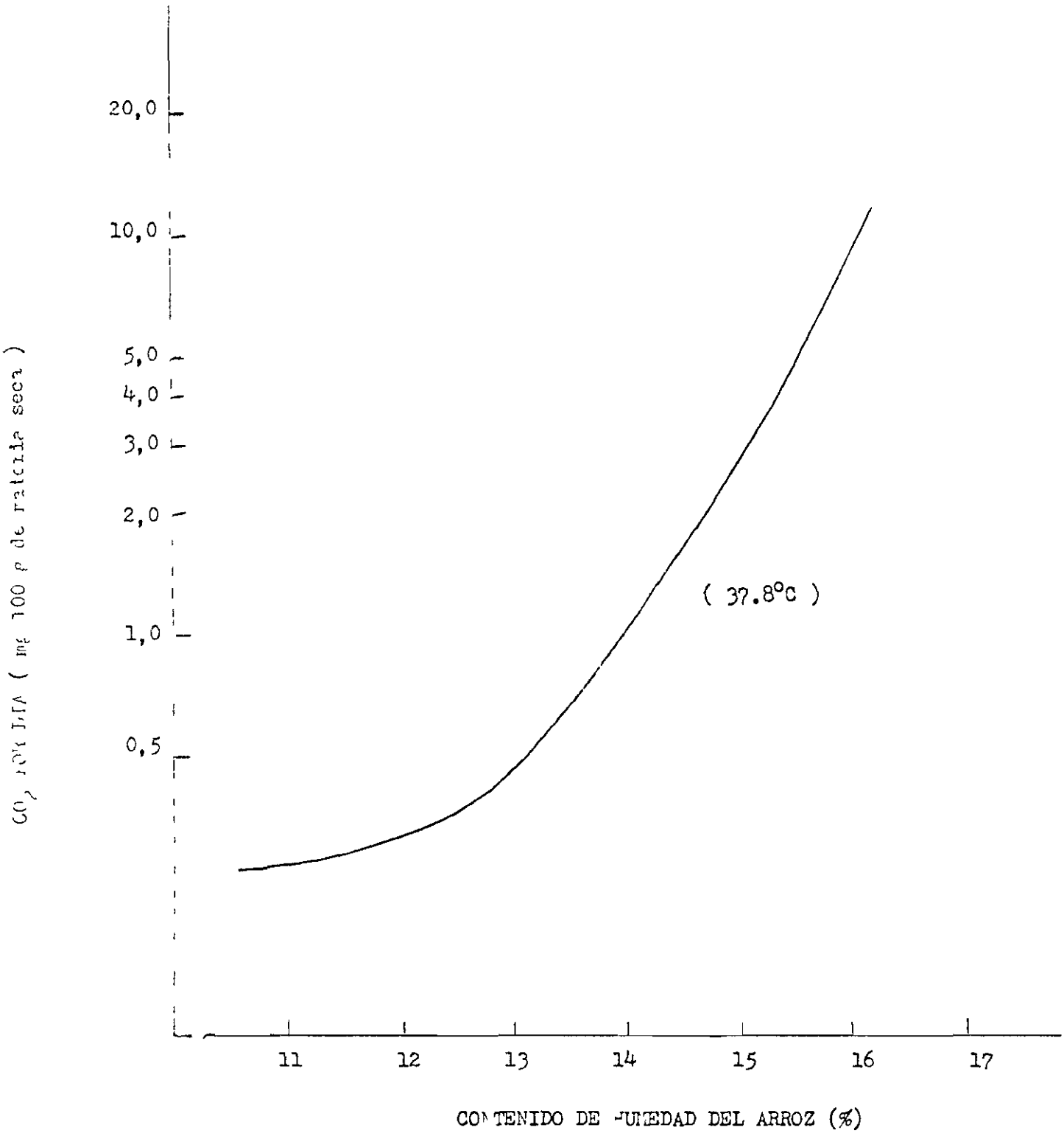
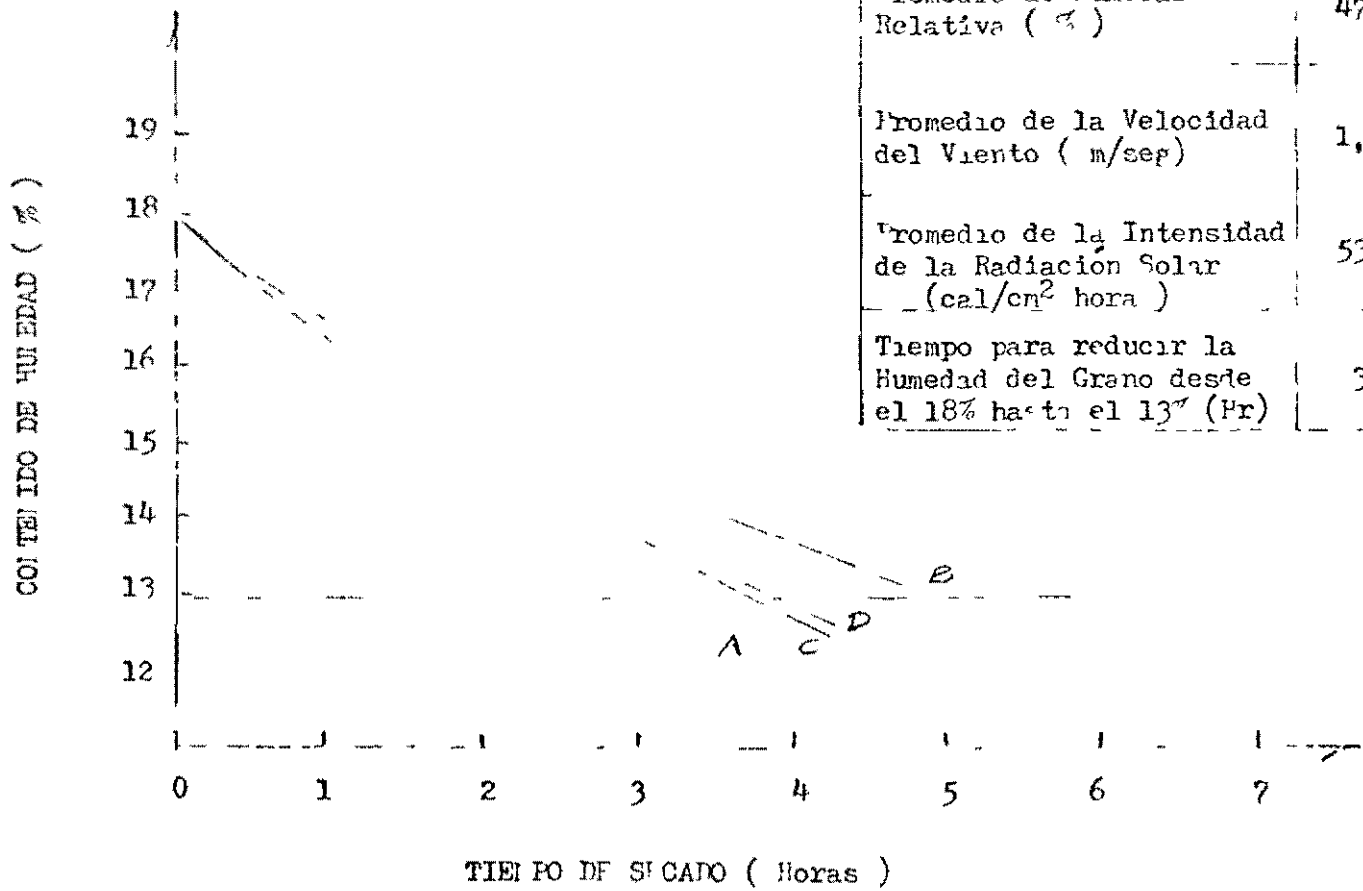


Figura No. 4 Respiración del Arroz como Función de su Contenido de Humedad



CUADRO DE VALORES

	DIA A	B	C	D
Promedio de Humedad Relativa (%)	47,8	50,0	54,0	59,6
Promedio de la Velocidad del Viento (m/seg)	1,48	1,10	0,85	1,65
Promedio de la Intensidad de la Radiación Solar (cal/cm^2 hora)	53,0	47,0	57,0	-
Tiempo para reducir la Humedad del Grano desde el 18% hasta el 13% (Hr)	3,5	4,0	3,95	3,9

AREA DEL SUELO DE CONCRETO 165 m^2

PESO ARROZ AL 18% 3.5 Ton/dia

COSTO DE SECADO $ 15/ton

Figura No. 5 Secado de arroz por radiación solar (CIAT, JULIO 1972)

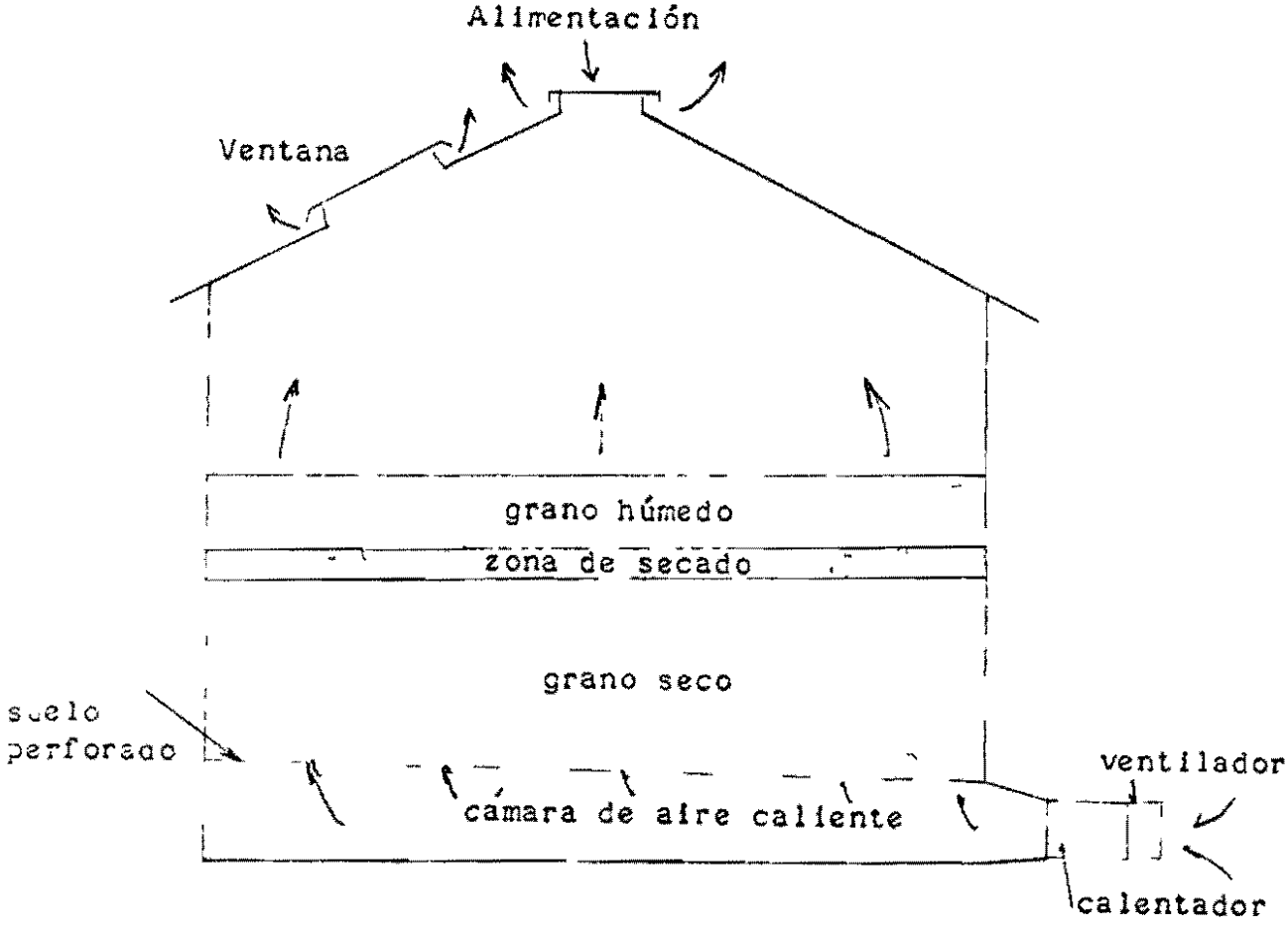


Figura No. 6 Secado en Silo de Almacenamiento

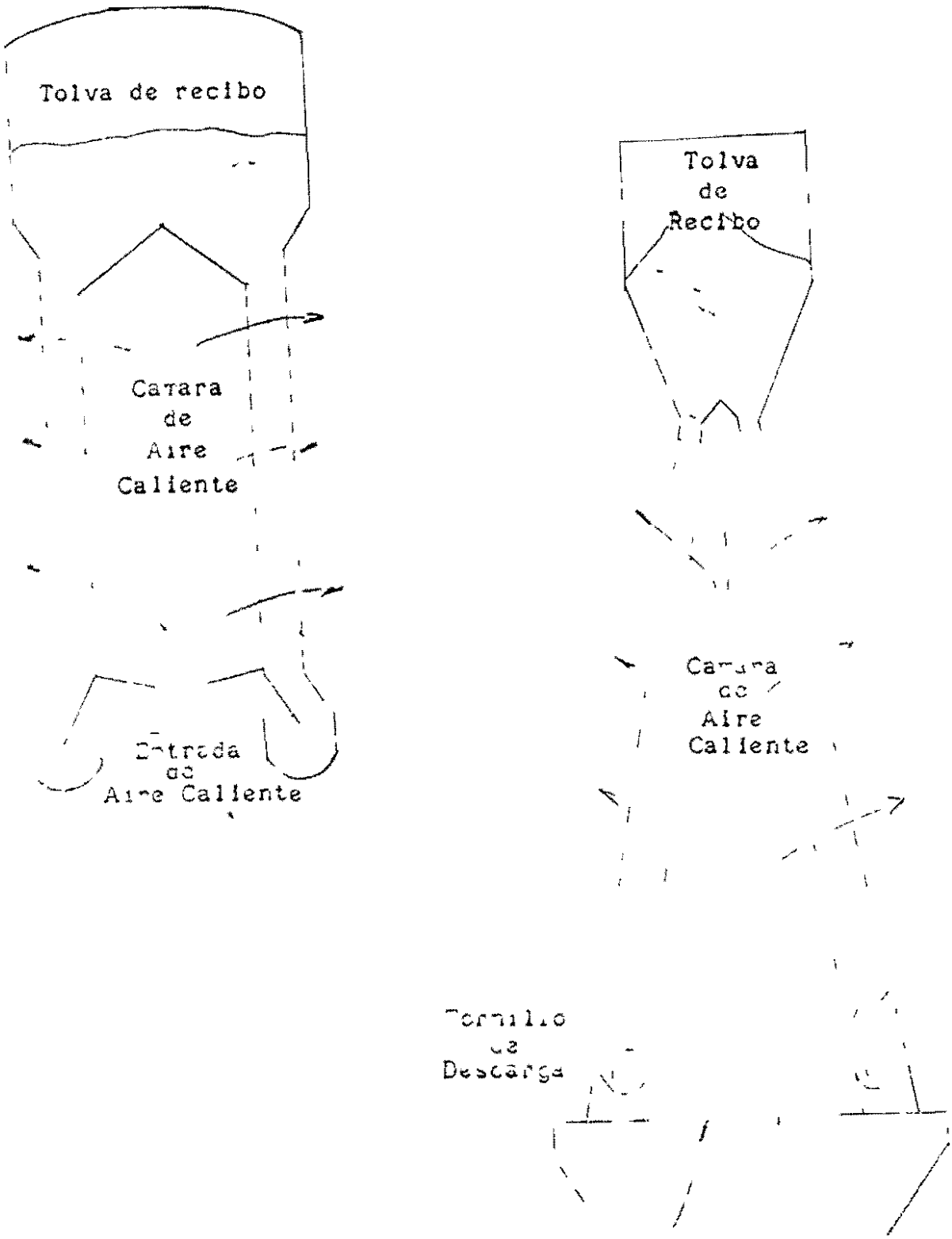


Figura No. 7 Secadores de Columna sin Mezclado

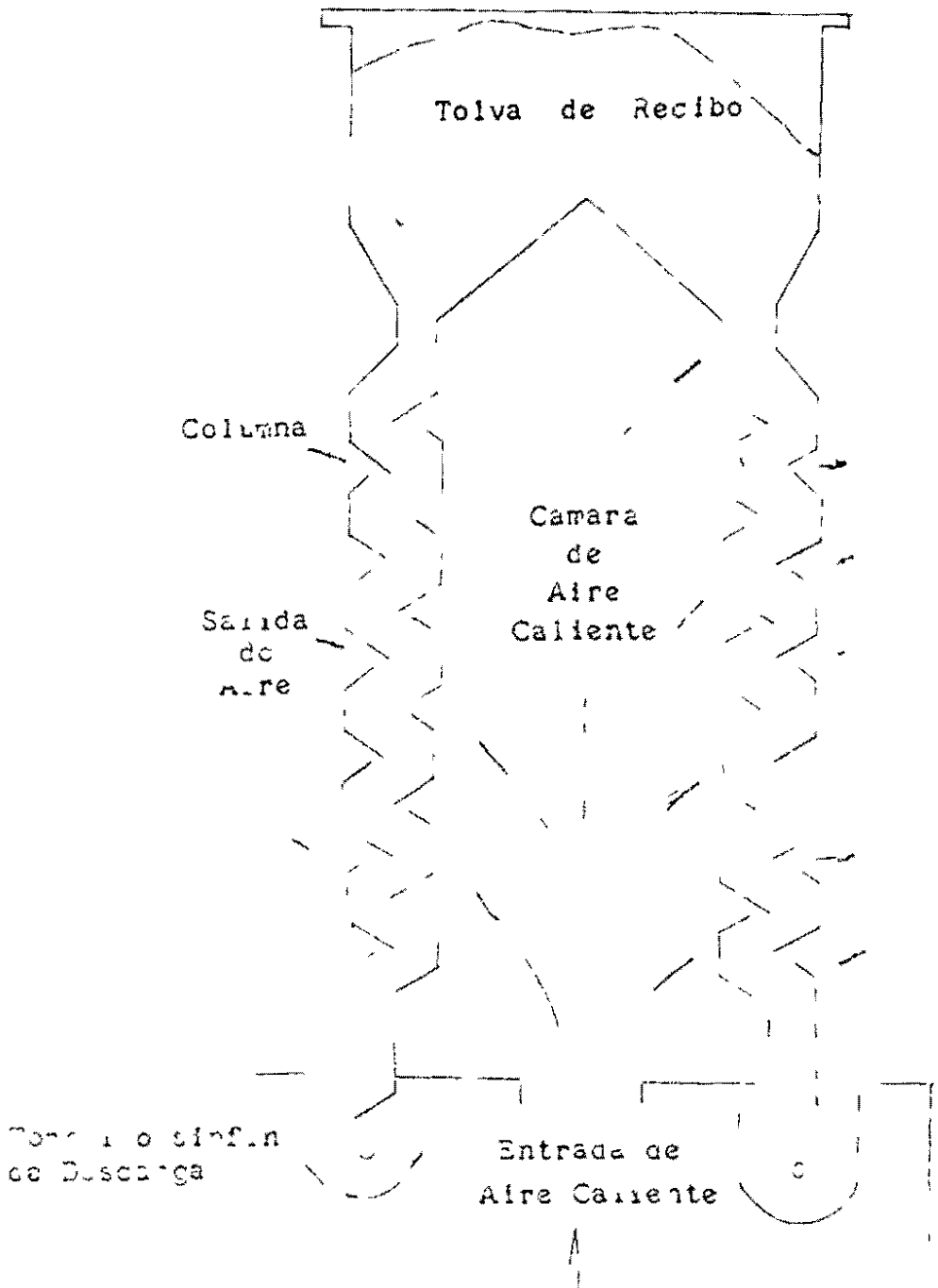
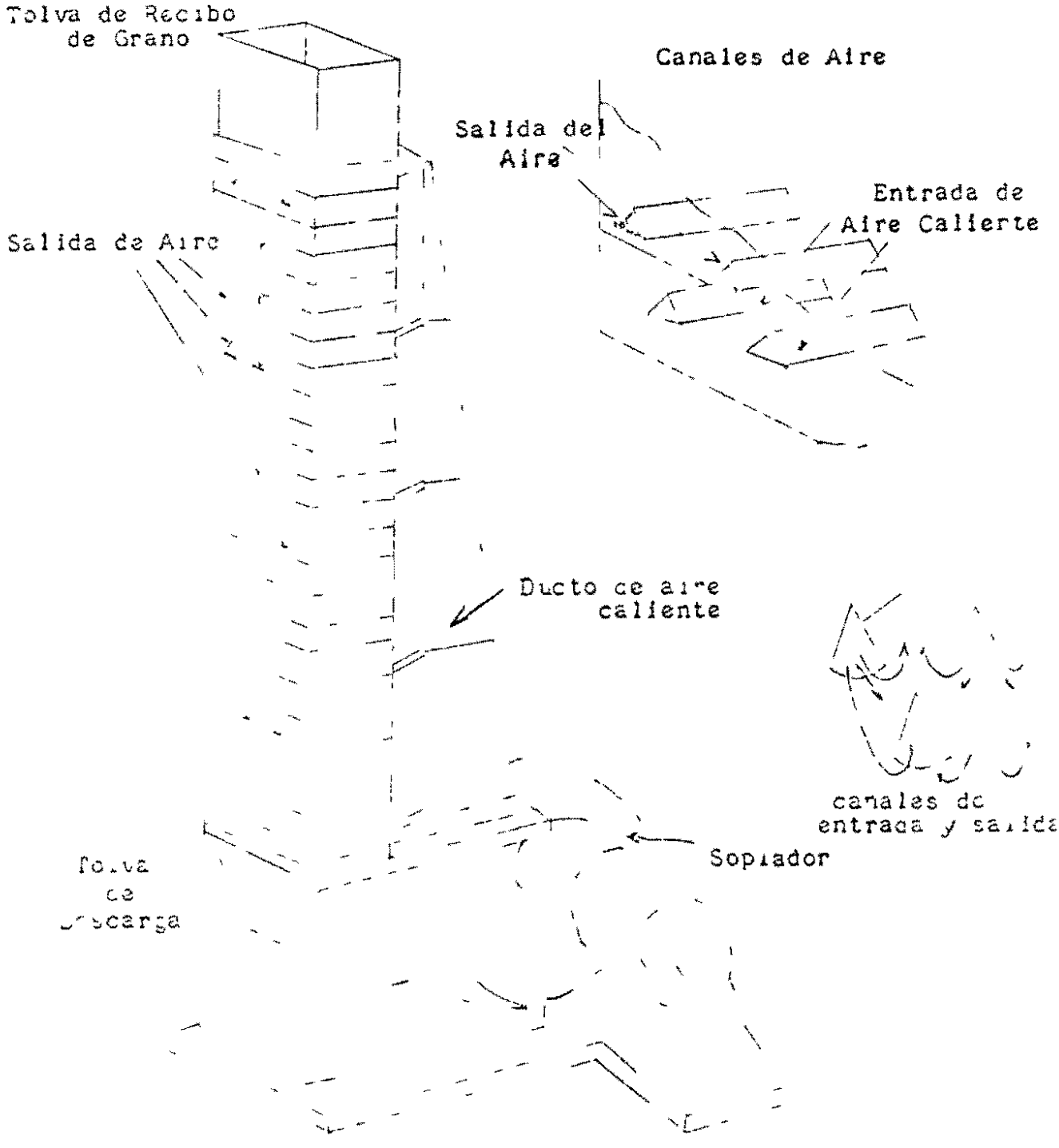
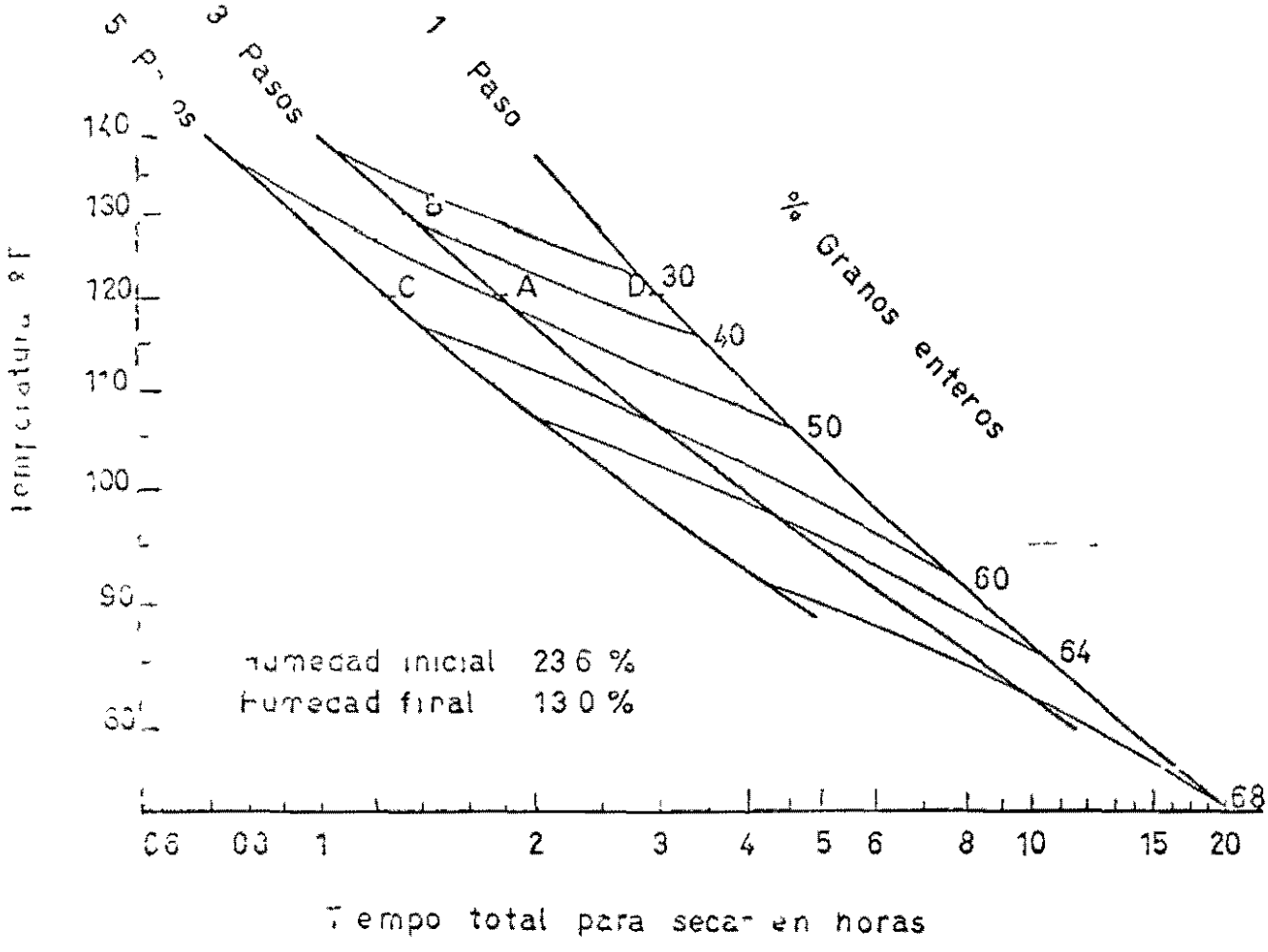


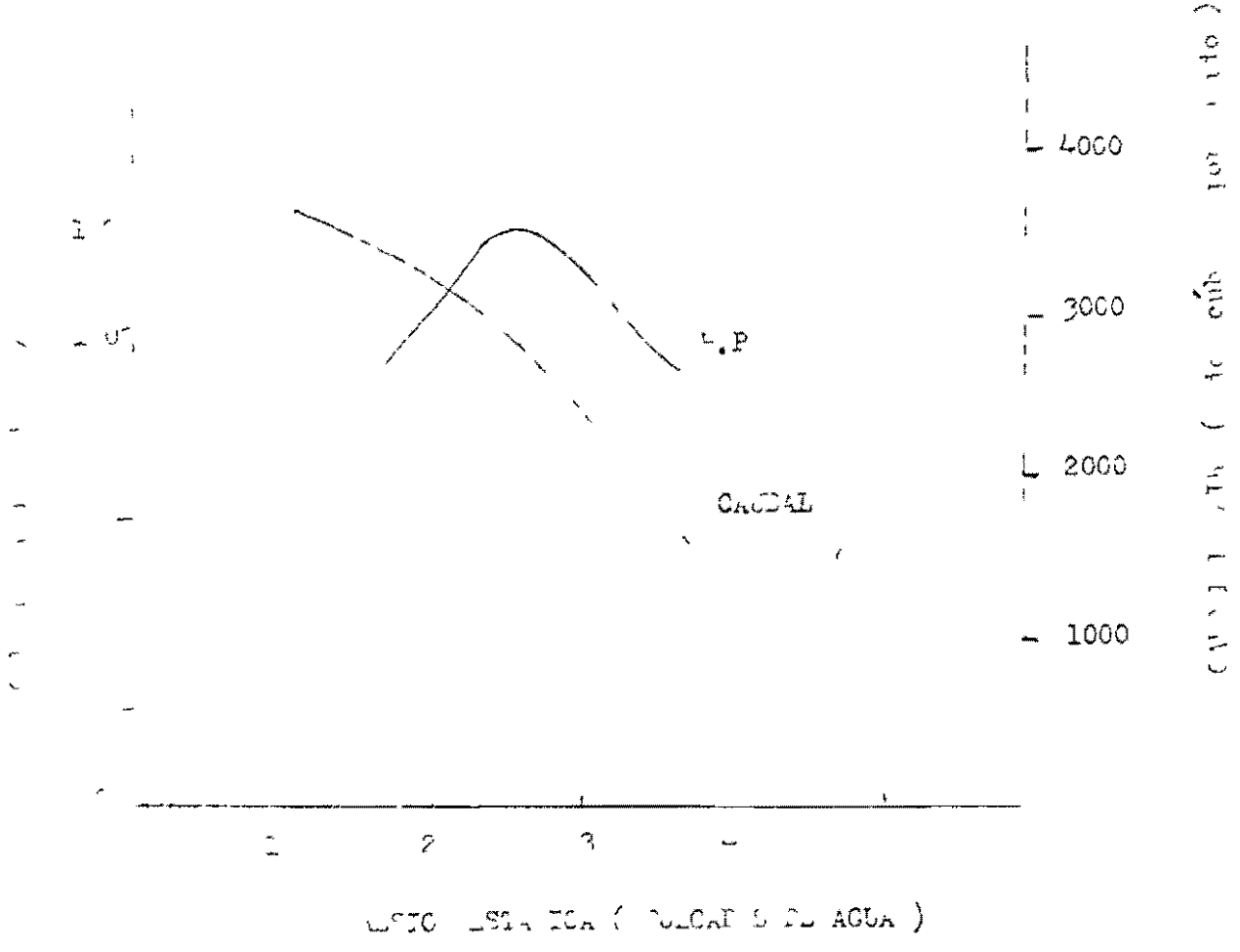
Figura No. 8 Secador de Columna con mezclado de Grano



Secador Continuo LSU (Louisiana State University)



[illegible] relación entre temperaturas usadas para secar, la duración del secado calidad del arroz, como efecto de varios Nos de pasos (7)



[illegible] solator
[illegible] 1-1/2 P.

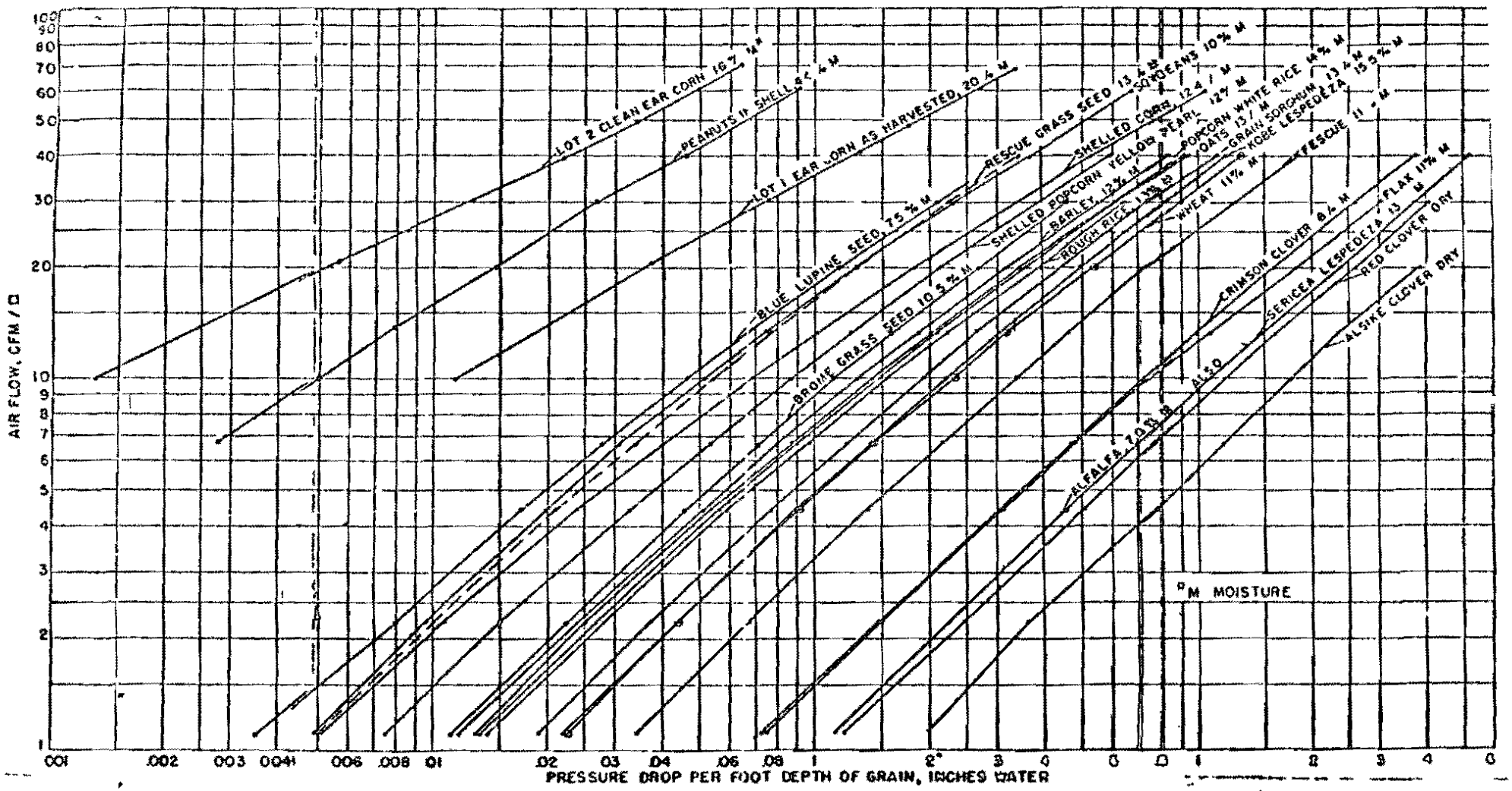


Figura No. 12 Relación flujo de aire - presión estática para diferentes producto agrícolas