

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



CINETICA DE DESHIDRATACION DE YUCA Y MALANGA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A N

MARIA DE LOURDES OROZCO MONTELLANO

RAFAEL VELASCO RODRIGUEZ

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
1. <u>Introducción</u>	1
2. <u>Antecedentes</u>	
2.1 Procesamiento tradicional de yuca y malanga	5
2.2 Cinética de deshidratación de productos almidonáceos	5
2.3 Importancia de las transferencias externas en la cinética de deshidratación	9
3. <u>Marco teórico</u>	
3.1 Secado de alimentos por convección	
3.1.1 Introducción	12
3.1.2 Comportamiento general del secado bajo condiciones externas constantes	13
3.1.3 Teoría general del secado	13
3.1.4 Teoría de difusión molecular del líquido.	15
3.2 Isotermas de desorción	20
3.2.1 Modelos de isotermas de desorción	
3.2.1.1 Modelo de Brunaver-Emett-Teller	22
3.2.1.2 Modelo de Halsey	23
3.2.1.3 Modelo de Henderson	24
3.2.2 Estimación del área de secado	24
3.2.3 Cálculo del calor de desorción	25

4.	<u>Materiales y Métodos</u>	
4.1	Materia prima empleada	
4.1.1	Origen de la materia prima	26
4.1.2	Caracterización de la materia prima	26
4.1.2.1	Determinación de almidón	26
4.1.2.2	Determinación de azúcares re- ductores	26
4.1.2.3	Determinación de HCN	26
4.1.2.4	Determinación de humedad	27
4.2	Tratamientos previos	
4.2.1	Escaldado con vapor de agua	27
4.2.2	Inmersión en soluciones de bisulfito de sodio	27
4.2.3	Inmersión en un agente antimicrobiano	27
4.3	Isotermas de desorción	
4.3.1	Descripción del equipo empleado	28
4.3.2	Metodología del trabajo	29
4.4	Deshidratación	
4.4.1	Descripción del equipo empleado	30
4.4.2	Metodología de trabajo	32
4.5	Coefficientes externos de transferencia	
4.5.1	Metodología de trabajo	33

	<u>PAGINA</u>
5. <u>Resultados experimentales y discusión</u>	
5.1 Tratamientos previos	36
5.2 Isotermas de desorción	36
5.3 Secado	44
6. <u>Conclusiones</u>	78
7. <u>Apéndices</u>	
8. <u>Nomenclatura</u>	155
9. <u>Bibliografía</u>	157

I. INTRODUCCION

Los tubérculos tropicales - yuca, malanga, ñame, etc - son alimentos básicos de cerca de un tercio de la población de los países tropicales. Anualmente se producen, según estimaciones, 170 millones de toneladas de estos cultivos, que equivalen en contenido calórico a 50 millones de toneladas de cereales (GOERING T.J., -- 1980).

Típicamente, las calorías de los tubérculos cuestan menos de la mitad que las de los cereales y leguminosas tradicionales. La yuca constituye casi las dos -- terceras partes de la producción de todos los tubérculos y es una fuente principal de calorías para unos 300 millones de personas del mundo en desarrollo. En el apéndice A se muestra, tanto la producción como el rendimiento por hectárea de este tubérculo en México.

Los tubérculos se cultivan mucho en el sudeste de Asia (especialmente en Indonesia y Tailandia), en Asia Meridional (sobre todo en la India), en Africa Occidental y Latinoamérica (principalmente en Brasil y Colombia). En el cuadro 1.1 se muestra la producción de estos tubérculos en los países en desarrollo.

LUGAR	YUCA	PATATAS	ÑAME	BATATAS	OTROS TUBERCULOS.	TOTAL
Africa	44.0	2.7	20.7	4.7	5.7	77.8
Latinoamérica	31.8	11.1	0.5	2.8	0.7	46.9
Cercano Oriente	0.1	5.2	0.1	0.1	0.1	5.6
Lejano Oriente	38.1	10.3	-	7.9	0.7	57.0
Asia	9.3	14.5	-	85.8	1.8	111.5
Otros	0.2	-	0.2	0.6	0.4	1.4
TOTAL	123.5	43.8	21.5	102.0	9.4	300.2
(% DEL TOTAL)	41	15	7	34	3	100

Cuadro 1.1. Producción de Tubérculos en los Países en Desarrollo 1978 (en millones de toneladas métricas). FAO.

Cerca del 95 por ciento de la producción es consumida directamente por los productores. Si bien estos cultivos no proporcionan los nutrientes adecuados, ya que casi todos tienen un alto contenido de almidón y bajo de proteína, se pueden combinar con otros cultivos en la producción de harinas compuestas. En regiones de Africa, por ejemplo, se ha sugerido que una mezcla del 70 por ciento de harina de yuca y del 30 por ciento de harina de cacahuete contendría más proteínas, densidad en calorías y niacina que el harina de maíz que frecuentemente se utiliza como alimento principal (GOERING T. J., 1980).

El empleo de los tubérculos como alimento animal en países en desarrollo es importante. Los carbohidratos de la yuca pueden aportar una valiosa fuente complementaria de energía a los forrajes tropicales típicos, que tienden a ser fibrosos, voluminosos y no apetecibles. Trabajos recientes en Venezuela (GOERING T. J., 1980), han demostrado que se puede obtener proteína de buena calidad y a costo razonable de las hojas de yuca, y que se puede utilizar para alimentar ganado. Así pues, en general, los productos de yuca pueden sustituir a otras fuentes de nutrientes para alimentar distintas especies de ganado tanto en países tropicales como de la zona templada.

Una de las posibilidades de utilización de los tubérculos en la industria es como base de procesos de fermentación que intervienen en la fabricación de productos de elevado valor como proteína unicelular y alcohol etílico. La producción de glucosa a partir de la yuca o de otros tubérculos es tan factible técnicamente como la práctica más corriente de emplear féculas de maíz o trigo. La tecnología para producir proteína unicelular a partir de una base de petróleo, es igualmente adecua

da para una base de materiales orgánicos tales como los tubérculos siempre que sean suficientemente baratas y los suministros adecuados.

En México, actualmente, se efectúan estudios sobre la fermentación sólida de harina de yuca con *Aspergillus niger* para la obtención de proteína unicelular (RAIMBAUD et al., 1980).

Brasil ha empezado a utilizar yuca en la producción de alcohol etílico como sustituto de gasolina. El alcohol puede sustituir hasta el 20 por ciento de gasolina sin necesidad de alteraciones del sistema de carburación de la mayoría de los motores (GOERING T.J., 1980). Se estima que cada tonelada de tubérculo fresco puede producir 160 litros de alcohol.

Debido a que México no es un país autosuficiente, en cuanto a producción de cereales, presenta una gran dependencia con los países exportadores de granos, -- por lo cual la utilización de harina de productos almidonáceos puede ser útil como fuente de carbohidratos en la elaboración de productos que incluyen cereales comunes.

Una ventaja especial de la yuca, y en general de todos los tubérculos es -- su alto rendimiento por hectárea de cultivo, y la facilidad con que se pueden cultivar en condiciones agrícolas y climáticas muy variadas. Por ejemplo una hectárea -- tiene un rendimiento anual de 10-20 toneladas de yuca, mientras que la misma, tendrá un rendimiento anual de 1-2 toneladas de maíz (GOERING T.J., 1980). Los cultivos de yuca pueden resistir sequías y prosperar en sistemas agrícolas relativamente primitivos. La naturaleza de poco riesgo de la producción de yuca hace de su cultivo una "Red de seguridad" ideal para garantizar ciertos suministros alimentarios en situaciones agrícolas y climáticas arriesgadas.

Por otra parte, la malanga es un tubérculo que no ha sido suficientemente explotado, considerando el valor económico y alimenticio que tiene. El valor de la-

malanga como producto alimenticio se atribuye a las siguientes características: fácil digestibilidad, alto valor energético, elevado contenido de vitamina B, y minerales tales como, Ca, P y Fe (MOY J.H., 1977).

Debido a que los gránulos de almidón de malanga son partículas muy pequeñas, se utiliza como ingrediente en la elaboración de plásticos biodegradables hasta en un 40% con poliestireno, polietileno, nylon y polivinilo.

El almidón de la malanga presenta una alta digestibilidad, por lo cual es ampliamente utilizado en la producción de alimentos para bebés y para personas alérgicas (PLUNCKNETT, 1979).

Dentro de este marco, las deshidrataciones de yuca y malanga tienen una gran importancia. Esto es, el secado industrial de estos tubérculos para la obtención de harinas exige un conocimiento profundo de la operación que facilite su control y el diseño apropiado de equipo con el fin de obtener productos con óptima calidad.

En base a estas consideraciones se construyó un secador de túnel a nivel laboratorio para estudiar la cinética de deshidratación de yuca y malanga; es decir, para determinar los mecanismos de transporte involucrados durante la operación de secado y la magnitud de los parámetros que definen estos mecanismos.

2. ANTECEDENTES

2.1. Procesamiento Tradicional de Yuca y Malanga.

Los tubérculos tropicales, tales como yuca y malanga son alimentos básicos de muchos de los países en vías de desarrollo, siendo cocinados y consumidos de manera similar a la papa.

Además, estos tubérculos son fuente relativamente poco conocida y subutilizada de alimentación animal y de energía.

A continuación se presenta una serie de productos elaborados a partir de yuca y malanga, indicando el lugar en que se elaboran:

PRODUCTO	LUGAR
Poi, elaborado a partir de malanga y puede ser: fresco, fermentado, enlatado, liofilizado.	Hawaii e Islas de la Polinesia.
Harina de Yuca y Malanga	Samoa, India, Taiwán y Hawaii
Almidón de Malanga	Hawaii
Bebida en polvo de Malanga (sabor -- chocolate).	Hawaii
Hojuelas de Malanga	Hawaii
Alcohol etílico, a partir de la fermentación de yuca.	Brasil
Piensos y féculas de yuca para ganado.	Tailandia
Tiras de Yuca	Nueva Zelanda y región del Caribe.
Gari, producto fermentado de yuca	Nigeria
Pan y Pasteles de Malanga	Hawaii

Cuadro 2.1. Productos de Yuca y Malanga, y el lugar donde son elaborados.

Dado el elevado contenido de agua y la gran densidad de tejido de estos tubérculos, su vida de anaquel es muy corta. Debido a esto, el principal método de conservación utilizado es la deshidratación. Tradicionalmente los tubérculos son rebanados y secados al sol (PLUCKNETT, 1979).

Dentro de esta línea de deshidratación tradicional, Nahlawi N. (1966) --- realizó un estudio de secado de ñame (tubérculo tropical, parecido a la yuca y a la malanga) con energía solar. Su propósito fué examinar la eficiencia operacional en un secador solar con ventilador. En este estudio se comparó la eficiencia de este método, con un secador solar de gabinete, y el secado solar en condiciones naturales. Al final se observó una mayor velocidad de secado en el secador solar de gabinete, - seguido del secador solar con ventilación y finalmente el secado solar en condiciones naturales. La calidad final del producto en los dos primeros secadores es superior, debido a la posibilidad de controlar algunos parámetros, tales como, temperatura y flujo de aire.

Lescano C. (1981) efectuó experimentos de secado en papas cocidas, usando un secador de gabinete a nivel de laboratorio. Este autor encontró una diferencia -- muy marcada en la velocidad de secado entre la papa cocida y la papa fresca: la papa cocida se deshidrata más lentamente que la papa fresca. La diferencia entre ambas -- puede ser explicada por la gelatinización de los gránulos de almidón, y los cambios en la estructura física causados por la cocción. En la papa cocida hay menor contenido de agua libre y por lo tanto es más difícil eliminar la humedad de este producto. Lescano observó también, que la variedad de la papa utilizada es muy importante; la calidad del producto final es superior para variedades de papa con alto contenido de humedad y bajo contenido de sólidos.

2.2. Cinética de Deshidratación en Productos Almidonáceos.

En los estudios de secado efectuados con productos almidonáceos (papa, almidón de papa, tapioca) se ha puesto en evidencia que no hay período de secado constante, y que la historia del secado puede ser seguida mediante un modelo que incluya uno o dos períodos de secado decreciente. En otras palabras, la velocidad de secado es controlada por el transporte interno de agua en el material. El proceso de deshidratación puede ser descrito en términos del coeficiente de difusión molecular del líquido.

Chirife (1969) observó en su estudio sobre la deshidratación de tapioca, que la curva de secado no presentaba un período de velocidad de secado constante. Para corroborar esta observación, midió el perfil de temperaturas en la superficie del producto a lo largo de la operación, encontrando que la temperatura ascendía constantemente y tendía a alcanzar la temperatura de bulbo seco del aire de secado.

En todos los casos bajo estudio, Chirife observó dos etapas de velocidad de secado decreciente. La transición del contenido de humedad de una etapa a otra depende de la temperatura y probablemente de la velocidad de aire. Esta transición de un período a otro puede ser atribuido a cambios estructurales debido al encogimiento de las muestras, cambios que dependen de las condiciones de secado. Este autor solo analiza sus resultados en el primer período de velocidad de secado decreciente en un intervalo de humedad reducido entre 0.1 y 1.0, trabajando con un nivel de exactitud de ± 0.5 g.

La ley de Fick para la difusión ha sido utilizada por varios investigadores para predecir el primer período de velocidad de secado decreciente. Este período es normalmente estudiado graficando el logaritmo de la humedad reducida, definida como el contenido de humedad libre a cualquier tiempo entre el contenido de humedad libre inicial, contra el tiempo de secado. Si esta relación es lineal, la difusividad puede ser calculada a partir de la pendiente, según lo establece la solución a -

la ecuación de Fick.

A continuación se presenta una recopilación de los resultados obtenidos con anterioridad para la difusión del agua en diversos productos almidonáceos King C.J. -- (1968).

Producto (Condiciones de trabajo)	Orden de magnitud del coeficiente de difu-- sión aparente. (cm ² /seg)	Energía de ac tivación - -- (cal/gmol)	Autor (Año)
.Almidón de papa (humedad inicial en base húmeda: 140% y 30%, temperatura de 50°C).	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁹	6300 - 8100	Fish (1958)
.Papa (temperatura de --- 69°C).	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶	12500	Saravacos et al. (1965)
.Papa y Manzana	2.5 x 10 ⁻⁶ - 6x10 ⁻⁶	-	Saravacos et al. (1967)
.Tapioca (temperatura entre 55°C y 100°C).	2.5x 10 ⁻⁶ - 6x10 ⁻⁶	5400	Chirife (1971)

TABLA 2.2. Coeficiente de difusión aparente de distintos productos almidonáceos.

El coeficiente de difusión reportado en estos estudios, es un coeficiente aparente, ya que la difusividad molecular es altamente dependiente del contenido de humedad de la muestra y debe leerse como la difusividad promedio entre los niveles de contenido de humedad, inicial y final, establecidos durante el secado. A continuación se analizará con mayor profundidad esta dependencia:

Con respecto al contenido de humedad, Fish (1958) reportó que la dependencia más drástica ocurre a niveles de humedad menores a 10% en base seca. Este efecto puede observarse en la Tabla 2.2, donde la difusividad varía en dos órdenes de --

magnitud en el intervalo de 10^{-7} a 10^{-9} cm^2/seg dependiendo del contenido inicial de humedad.

Debido a esto, el transporte del agua en el almidón es demasiado lento durante las últimas etapas del proceso de deshidratación. Esta disminución en la difusión, y por tanto en la velocidad de secado, está asociada con la pérdida de la rotación libre de las moléculas de agua (King C. J., 1968). Fenómeno que se traduce en un aumento en la altura de la barrera energética durante la difusión, a medida que el contenido de humedad en el material decrece.

Aún más, el mecanismo de la transferencia de agua a través de un sólido es muy complejo, debido a que la deshidratación, es un proceso en estado transiente con respecto al contenido de humedad y a la temperatura del producto (varía constantemente, tendiendo a alcanzar la temperatura de bulbo seco del aire ambiente). Además, el material disminuye de tamaño conforme tiene lugar la operación. Esta descripción de la complejidad del transporte interno subraya el carácter "APARENTE" del coeficiente de difusión reportados por estos autores. Además, de esta alta dependencia con el contenido de humedad, el coeficiente de difusión es función de la presión, temperatura y variedad del producto.

El coeficiente de difusión interno es inversamente proporcional a la presión del sistema King C. J. (1968).

En cuanto al mecanismo de transferencia, Chirife (1971) asume que el agua interna de la tapioca migra por un proceso de difusión líquida, esto es comprobado por la dependencia del coeficiente de difusión con la temperatura a partir del modelo de Arrhenius. La dependencia del coeficiente de difusión con la temperatura es particular para cada tipo de mecanismo.

La variación del producto, también es muy importante, debido a que nos re-

ciona el nivel de madurez del producto, y la composición del mismo. Así como los -- tratamientos previos a seguir, antes de ser deshidratados, y que pueden influir en -- el tiempo de secado.

2.3. Importancia de las Transferencias Externas en la Cinética de Deshidrata-- ción.

Como hemos señalado, la velocidad de secado esta controlada por la difu-- sión interna. Sin embargo, las transferencias externas de masa y calor pueden com-- plicar el modelo si no se trabaja con velocidades de aire suficientemente altas.

Chirife (1969), estudió el efecto de las condiciones externas en la deshi-- dratación de tapioca en un secador de túnel. Las variables estudiadas fueron la ve-- locidad y la temperatura del aire.

A flujo de aire bajos, la velocidad de secado esta controlada por mecanis-- mos mezclados: La transferencia externa de calor, la transferencia de masa en la in-- terfase gas-sólido, y la difusividad de transferencia de masa interna. A medida que el flujo de aire aumenta, la resistencia superficial disminuye y la resistencia in--terna adquiere más importancia. Evidentemente, al disminuir una de las resistencias a la transferencia decrece el tiempo de secado. Por otra parte, el aumento de tempe-- ratura también reduce el tiempo de deshidratación. Sin embargo, a temperaturas de -- trabajo mayores a 84°C se tienen limitaciones en cuanto a la calidad del producto -- por presentarse oscurecimiento.

Vaccarezza et al. (1974) trabajando con remolacha encontró que si bien, pa-- sada una primera etapa, los datos experimentales presentaban una gran concordancia - con los resultados teoricos; durante el inicio de la operación, los puntos experimen--tales mostraban una curvatura que no se ajustaba a la linealidad esperada por el mo--delo de Fick. Este efecto se esquematiza en la Figura 2.1.

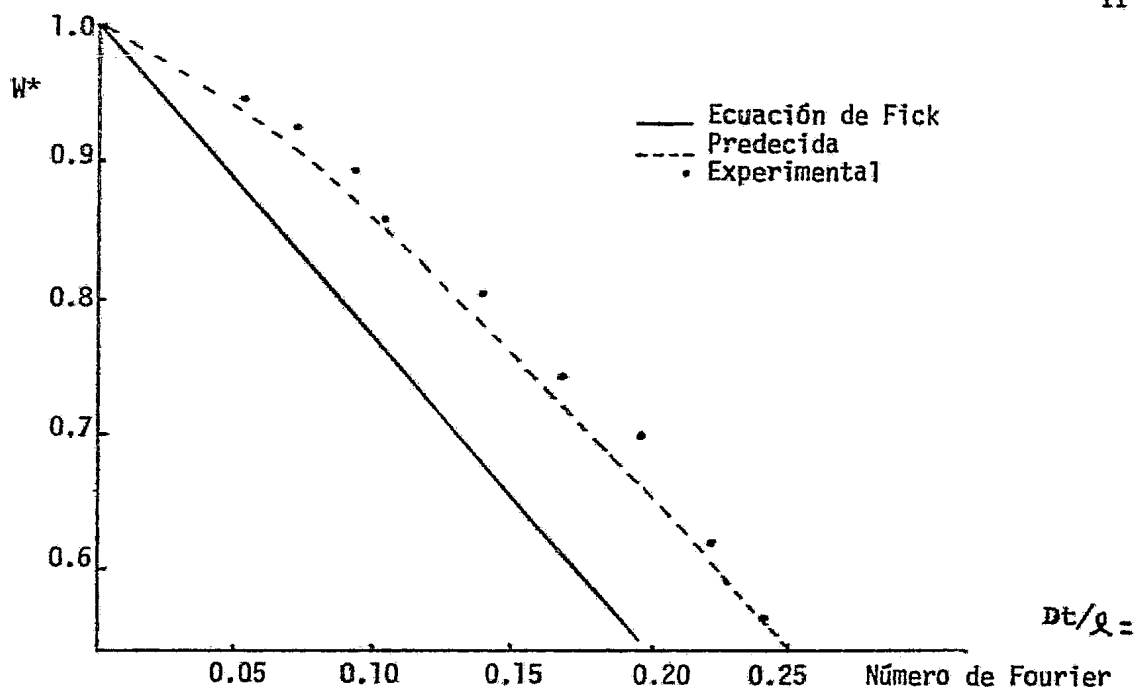


Figura 2.1. Comparación de la curva predecida con la experimental y los cambios de humedad durante la deshidratación de la remolacha

Vaccarezza discutió el origen de esta curvatura en relación a los diferentes factores que pudiesen provocarla: distribución de humedad inicial no uniforme, - resistencia a la transferencia de masa externa importante, resistencia interna a la - transferencia de calor. Vaccarezza concluyó que debido a las características iniciales de la materia prima empleada, las altas velocidades de operación y la inexistencia de gradientes de temperatura en el interior del producto, la explicación más razonable para esa desviación era el efecto de la transferencia externa de calor.

Al principio de la operación la temperatura de las muestras aumenta rápidamente hacia la temperatura de bulbo seco del aire de secado y este cambio de temperatura en el producto puede influir en la deshidratación en dos maneras:

i) Retraso en alcanzar las condiciones de equilibrio entre el sólido húmedo y el aire ambiente en la superficie del material. Cabe señalar que el modelo de Fick, supone existencia de condiciones de equilibrio desde el inicio de la operación.

ii) Influencia en la difusividad del agua en el sólido debido a la dependencia de este parámetro con la temperatura.

Debido a esto Vaccarezza, resuelve la ecuación de Fick en base a la historia térmica de alimento. Esta resolución se tradujo en una corrección semiempírica al modelo de Fick. Corrección que debió expresar la influencia del espesor con la resistencia externa a la transferencia de calor. Basándose en datos de la literatura para diferentes productos durante el primer período de velocidad de secado decreciente, el exponente del espesor, definido como 2 en la solución a la ecuación de Fick - fué corregido a valores entre 1.80 y 1.96.

Esta modificación permitió modelar los datos experimentales en toda la amplitud del período de secado.

La humedad relativa tiene un fuerte efecto en la transición del control de la transferencia de masa al control de la transferencia de calor. A humedades relativas bajas, y a altas presiones se favorecerá el control de la transferencia de masa; y en condiciones contrarias se favorecerá la transferencia de calor (King C. J., 1968).

3. MARCO TEORICO

3.1. Secado de Alimentos Sólidos por Convección.

3.1.1. Introducción.

Para diseñar cualquier secador o sistema de secado es esencial tener información sobre la velocidad de deshidratación de materiales específicos bajo ciertas condiciones, es decir, información cuantitativa sobre la velocidad a la cual el agua es removida del material húmedo.

En un principio los estudios de secado por convección limitaron su análisis al estudio de los efectos de la temperatura, la humedad y el flujo de aire tanto en la velocidad y en el tiempo de secado como en las características físicas del producto final. Los procedimientos actuales de diseño incluyen la estimación de la velocidad de secado (o una sucesión específica de velocidades) a partir de cuyo análisis el tiempo de secado y eventualmente la capacidad del secador pueden ser determinados. Las ecuaciones resultantes pueden ser usadas para predecir el comportamiento de un sistema de secado por convección; permitiendo además, determinar el efecto producido por la variación de ciertos parámetros en la eficiencia de la deshidratación. (Segurajuregui, 1982).

La experiencia ha demostrado que un conjunto de pruebas de secado cuidadosamente planeadas pueden ser usadas para simular la mayoría de las formas de secado en escala industrial con bastante éxito (Van Arsdel, 1973). Para esto una serie de factores deben ser tomados en cuenta: Los contenidos de humedad en el equilibrio y libre del material; las condiciones del aire de secado y su variación con el tiempo (en el caso de un secador de túnel); la forma, tamaño, arreglo y carga del producto; el comportamiento del coeficiente de difusión interna del sólido.

3.1.2. Comportamiento General del Secado bajo condiciones externas constantes.

En el secado de un alimento sólido mediante un gas a temperatura y humedad constante tienen lugar transferencias de masa y calor tanto en el interior del material como en la interfase sólido-gas. Este fenómeno ha sido esquematizado en la Figura 3.1.

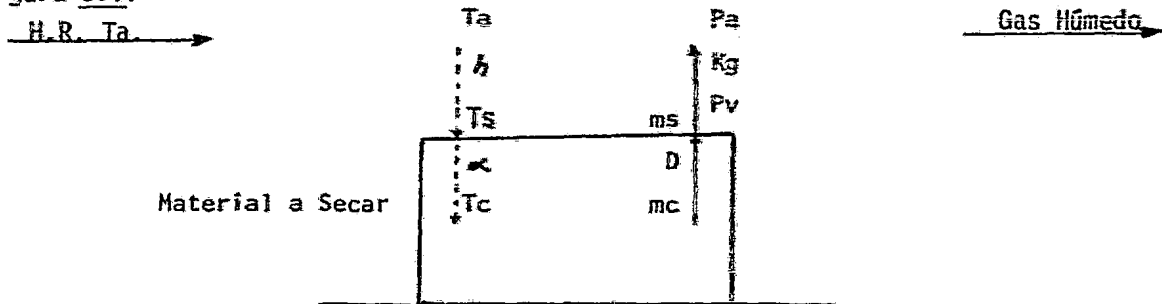


Figura 3.1 . Esquema de las transferencias de masa (—) y calor (---) en el secado de un alimento sólido.

Estas transferencias ocurren debido a la existencia de gradientes de temperatura: entre el medio y la superficie, T_a y T_s , y la superficie y el sólido T_s y T_c , y gradientes de concentración entre el medio y la superficie, P_a y P_v , y la superficie y el sólido, m_s y m_c . De esta forma las velocidades de transferencia dependerán de la amplitud de estos gradientes, área y coeficientes de transferencia.

Durante el secado, el gas cede energía al material propiciando la eliminación de humedad en este y, la velocidad global de esta operación es gobernada por la transferencia que se lleve a cabo a una menor velocidad; esto es, por el paso que --- ofrezca una mayor resistencia. Por estas razones los coeficientes de transferencia - particulares (ó sus inversos, las resistencias) deberán concentrar nuestro interés al analizar el secado de alimentos sólidos por convección.

3.1.3. Teoría General del Secado.

La Figura 3.2, muestra el perfil del contenido de humedad con el tiempo durante el secado de un material húmedo bajo condiciones externa constantes. En esta -

gráfica se observan diferentes periodos que corresponden a los diferentes mecanismos de control que se establecen durante la operación.

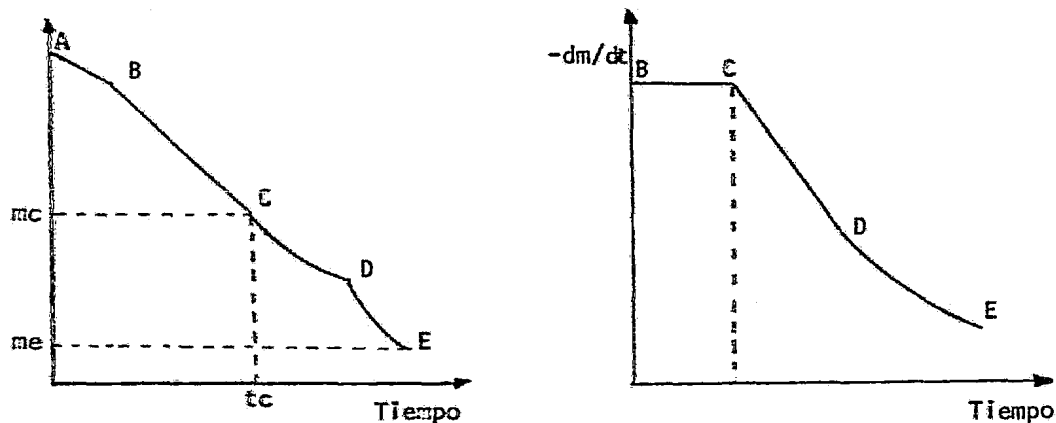


Figura 3.2 (a) Perfil del contenido de humedad con el tiempo de secado. A-B= Período de secado inestable, B-C= período de secado constante, C-D= Primer período de secado decreciente, D-E= Segundo período de secado decreciente.
(b) Perfil de la velocidad de secado con el tiempo.

Un análisis del fenómeno que tiene lugar nos deja ver que una vez que el sólido ha sido puesto en contacto con el medio de secado, su temperatura se ajusta hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo. Este primer período de estado inestable es seguido por un período durante el cual tanto la temperatura como la velocidad de secado permanecen constantes. Esto se debe a que la superficie del material es mantenido en condiciones de saturación y, por lo tanto, la presión de vapor del agua en el alimento es igual a la presión de vapor de agua pura a la temperatura de bulbo húmedo. En otras palabras, el suministro de agua del interior del material a la superficie será suficiente como para mantener las condiciones de saturación.

Durante este período la resistencia a la transferencia de masa y calor está localizada en la corriente de aire y la velocidad de secado puede ser expresada en términos de la transferencia de masa en la interfase sólido-gas, la transferencia de calor en la interfase sólido-gas, o la transferencia interna de humedad mediante las-

siguientes expresiones:

$$\left(-\frac{dm'}{dt}\right)_{\text{constante}} = A K_g (P^\circ - P_a)$$

$$\left(-\frac{dm'}{dt}\right)_{\text{constante}} = A h (T_a - T_{bh}) (\Delta H_v)^{-2}$$

$$\left(-\frac{dm'}{dt}\right)_{\text{constante}} = -D \rho_s A \frac{dm}{dx}$$

donde: m' = contenido de agua (g de agua)

K_g = Coeficiente de transferencia de masa en la interfase sólido-gas.

h = Coeficiente de transferencia de calor en la interfase sólido-gas.

ΔH_v = Calor de vaporización.

D = Difusividad interna del líquido.

ρ_s = Densidad del sólido.

m = Contenido de humedad (g agua/g sólido).

x = Distancia.

T_a = Temperatura de bulbo seco.

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo.

El final de este período tiene lugar cuando el suministro interno de agua - es insuficiente para mantener la superficie en condiciones de saturación, se dice entonces que el sólido ha alcanzado un contenido crítico de humedad. A partir de este punto la velocidad de secado decrece. Durante este período el transporte desde cierto nivel dentro del material donde todavía rigen las condiciones de saturación a la superficie pasa a ser el paso controlante de la velocidad. Diferentes mecanismos han sido propuestos para explicar dicha transferencia, entre otros:

- i) Movimiento del líquido por fuerzas capilares.
- ii) Difusión del líquido debido a una diferencia de concentración.

- iii) Difusión de vapor de agua en los poros, causada por una diferencia en presiones parciales.

La evidencia experimental muestra que el mecanismo más común en el secado de alimentos sólidos es el de difusión molecular del líquido (Van Arsdel, 1973).

La velocidad de secado decrece continuamente durante este período debido al aumento de la resistencia interna causado por el aumento de la distancia entre superficie y el nivel dentro del sólido donde existen condiciones de saturación. Paralelamente la temperatura en la superficie del material tiende a la temperatura de bulbo seco en la corriente de aire. Este fenómeno puede ser interpretado en términos del contenido de humedad mediante la ley de Fick.

La velocidad del secado tiende a cero al tiempo en que el contenido de humedad presente en el sólido alcanza la presión de vapor en el equilibrio con las condiciones del aire que rodea al material.

Esta disminución en la velocidad de secado se ve marcada por uno o más cambios abruptos, que sin duda señalan transiciones de un tipo de mecanismo de transferencia a otro en el movimiento del agua en el interior del sólido. En la práctica, estos cambios en la velocidad de secado son encubiertos por la desigual exposición del material a la corriente de aire que resulta en la coexistencia de diferentes grados de secado a un tiempo dado.

Experimentalmente, se ha observado que muchos alimentos presentan un período de velocidad de secado constante muy breve (Kubota etal. 1976; Brooker etal. 1974), y que la deshidratación tiene lugar prácticamente en el período de secado decreciente; es decir, en el período controlado por la transferencia de masa interna en el material.

3.1.4. Teoría de Difusión Molecular del Líquido.

Esta teoría supone que el líquido se transporta a través del sólido debido-

a la existencia de un gradiente de concentración en el mismo. Este movimiento puede ser descrito para una placa infinita, Figura 3.3; esto es, para una placa cuyo espesor sea relativamente menor a las demás dimensiones, asegurándose así, que la transferencia de masa tiene lugar fundamentalmente en esa dirección; mediante la ecuación de Fick:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = D \frac{\partial^2 m}{\partial x^2} \quad (3.1)$$

Donde el cambio de humedad (m) en función del tiempo (t) es proporcional a la variación de gradiente de humedad con respecto al espesor y donde el coeficiente de difusión interno (D) es constante en todo el proceso de secado.

Sherwood (1929) resolvió la ecuación de Fick para diferentes formas geométricas (placa infinita, cilindro infinito y esfera) suponiendo; i) el coeficiente de difusión molecular es constante; ii) la distribución de humedad inicial es uniforme; iii) la resistencia a la eliminación de humedad en la interfase sólido-gas es despreciable en comparación con la resistencia a la difusión; iv) el material no se encoge (Chirife; 1971).

Suponiendo que la humedad en la superficie del sólido esta en equilibrio con el medio de secado una vez iniciada la operación; el conjunto de condiciones en la frontera estará dado por:

- i) El contenido de humedad inicial es homogéneo para toda la muestra

$$m = m_i \quad \text{a} \quad t = 0, \quad x > 0.$$

- ii) El contenido de humedad al final de la operación, para todo punto, esta en equilibrio con el medio de secado.

$$m = m_e \quad \text{a} \quad t = \infty, \quad x > 0$$

- iii) y iv) El contenido de humedad en las superficies está en equilibrio con el medio de secado

$$\begin{aligned} m &= m_e \quad \text{a} \quad x = 0, \quad t > 0 \\ m &= m_e \quad \text{a} \quad x = 2l, \quad t > 0. \end{aligned}$$

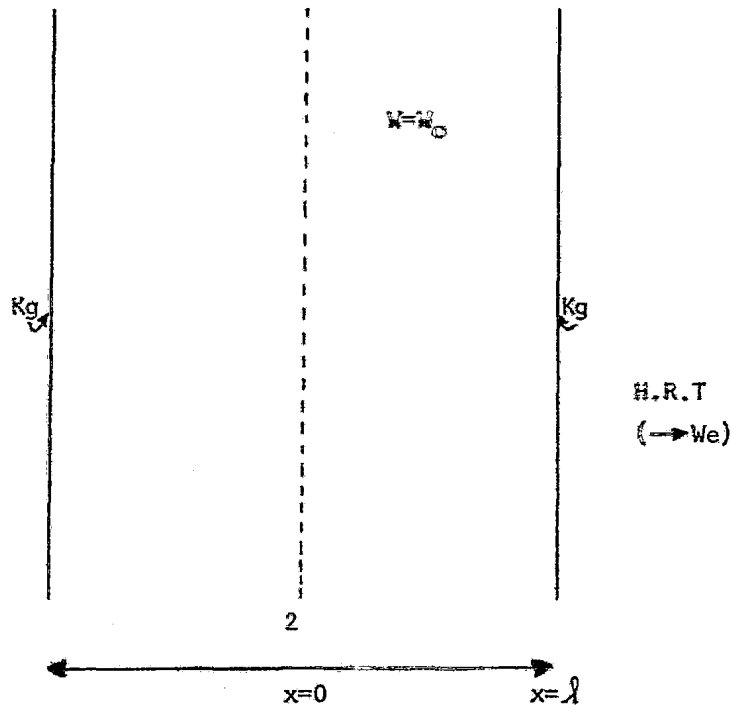


Figura 3.3 . Transferencia de masa en estado transiente en una placa infinita.

Para simplificar el problema, definiremos una humedad reducida, dada por:

$$\omega^* = \frac{m - m_e}{m_i - m_e}$$

En otras palabras,

$$\frac{\partial \omega^*}{\partial t} = \frac{D}{\partial x^2} \omega^* \quad (3.2)$$

Redefiniendo las condiciones en la frontera.

- i) $\omega^* = 1$ a $t = 0$, $x > 0$
- ii) $\omega^* = 0$ a $t = \infty$, $x > 0$
- iii) $\omega^* = 0$ a $t > 0$, $x = 0$
- iv) $\omega^* = 0$ a $t > 0$, $x = l$

La ecuación de Fick puede ser resuelta por separación de variables. Suponiendo que la solución a la ecuación de Fick es de la forma:

$$\omega^* = X(x) J(t) \quad (3.3)$$

donde: X es tan solo función de la distancia x .

J es tan solo función del tiempo t .

Reemplazando la ecuación (3.3) en la ecuación (3.2); tenemos que:

$$X \frac{\partial J}{\partial t} = D J \frac{\partial^2 X}{\partial x^2}$$

o bien,

$$\frac{1}{D J} \frac{\partial J}{\partial t} = \frac{1}{X} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} \quad (3.4)$$

Las variables están separadas; sabemos además que si X varía, t no variará (por tratarse de una variable independiente). En otras palabras, si bajo estas condiciones puede escribirse la ecuación (3.4) es debido a que dicha igualdad es constante. Por lo tanto,

$$\frac{1}{X} \frac{\partial^2 X}{\partial x^2} = \frac{1}{D J} \frac{\partial J}{\partial t} = -a^2 \quad (3.5)$$

donde: $-a^2 = \text{constante}$

Esta ecuación plantea dos tipos de ecuaciones:

$$\frac{\partial J}{\partial t} + a^2 D J = 0 \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial^2 X}{\partial x^2} + a^2 X = 0 \quad (3.7)$$

Integrando estas ecuaciones:

$$J = c_1 \exp(-a^2 D t) \quad (3.6)'$$

$$X = c_2 \cos ax + c_3 \sen ax \quad (3.7)'$$

Atendiendo a la ecuación (3.3), tendremos

$$\omega^* = \exp(-a^2 D t) [c_4 \cos ax + c_5 \sen ax] \quad (3.8)$$

Esta ecuación deberá ser válida para las condiciones en la frontera antes establecidas.

La expresión (3.8) cumple con la segunda condición en la frontera ($W^* = 0$ a $t \rightarrow \infty$ para toda x) sin sufrir ninguna alteración.

En cuanto a la tercera condición ($w^* = 0$; $x = 0$, $t > 0$), como $\cos 0 = 1$, este término debe eliminarse, la ecuación (3.8) se reduce entonces a:

$$W^* = C_5 \exp(-a^2 Dt) \sin ax \quad (3.9)$$

La cuarta condición, $W^* = 0$, $x = l$, $t > 0$, se satisface si $a = \frac{n\pi}{l}$

Donde $n = \text{entero} > 1$

por lo tanto,

$$W^* = C_5 \left[\exp\left(-a \frac{D^2 \pi^2}{2} t\right) \right] \sin \frac{n\pi}{l} x \quad (3.10)$$

Ahora bien, es evidente que ningún valor de C_5 cumple la primera condición en la frontera ($W^* = 1$, $x > 0$, $t = 0$), debido a que esta debe ser válida para toda x . La solución a este problema es dada por una serie infinita de la forma.

$$W^* = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left[\exp\left(-\frac{D n^2 \pi^2}{l^2} t\right) \right] \sin \frac{n\pi}{l} x \quad (3.11)$$

y la primera condición en la frontera requiere para ser satisfecha que,

$$1 = \sum_{n=1}^{\infty} \left[A_n \sin \frac{n\pi}{l} x \right] \text{ ya que si } t=0, \exp(0) = 1 \quad (3.12)$$

Para obtener el valor de A_n multiplicamos ambos lados de la ecuación (3.12) por $\sin(n\pi x/l)$, donde $n = \text{entero}$, e integrando entre 0 y l ,

$$\int_0^l \left(\sin \frac{n\pi x}{l}\right) dx = \int_0^l \left(\sin \frac{n\pi x}{l}\right) \left(\sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin \frac{n\pi x}{l}\right) dx \quad (3.13)$$

Como la integral de una suma es igual a la suma de las integrales, tendremos:

$$\int_0^l \left(\sin \frac{n\pi x}{l}\right) dx = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \int_0^l \left(\sin \frac{n\pi x}{l}\right) \left(\sin \frac{n\pi x}{l}\right) dx$$

$$\text{Queda: } \int_0^l \left(\sin \frac{n\pi x}{l}\right)^2 dx = R$$

Por lo que:

$$A_n = \frac{1}{R} \int_0^R (\sin \frac{n\pi x}{R}) dx = 1 - (-1)^n \frac{2}{n\pi} \quad (3.13)'$$

Sustituyendo la ecuación (3.13)' en la ecuación (3.11);

$$W^* = \frac{\bar{m} - m_e}{m_o - m_e} = \frac{4}{\pi} \left\{ \left[\exp \left(- \frac{D\pi^2 t}{2} \right) \right] \sin \frac{\pi x}{2} + \frac{1}{3} \left[\exp \left(- \frac{9D\pi^2 t}{2} \right) \right] \sin \frac{3\pi x}{2} + \dots \right\} \quad (3.14)$$

Por otra parte, en el caso de existir resistencia a la transferencia de masa externa, la tercera y cuarta condición en la frontera, pasaría a ser:

$$\frac{\partial W^*}{\partial x} = - \frac{Kg}{D} W^* \quad \text{a} \quad x=l$$

$$- D \frac{\partial W^*}{\partial x} = Kg W^* \quad (\text{La variación del contenido de humedad en la superficie es función de la relación del coeficiente de transferencia de masa interno y externo}).$$

En base a esta nueva condición, se puede demostrar que la solución a la ecuación de Fick estaría dada por la siguiente expresión:

$$W^* = \frac{\bar{m} - m_e}{m_o - m_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 L^2 e^{-\beta_n^2 Dt/2}}{\beta_n^2 (\beta_n^2 + L^2 + L)}$$

En ambos casos, resistencia a la transferencia de masa externa, despreciable e importante, para valores de humedad reducida menores a 0.6, la ecuación puede simplificarse al primer término de la serie. Como se puede observar, esta simplificación se traduciría en una línea recta.

Al graficar $\ln W^*$ contra t . Para el caso de resistencia a la transferencia de masa externa despreciable tendremos que:

$$W^* = \frac{\bar{m} - m_e}{m_o - m_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left\{ - \pi^2 \frac{Dt}{L^2} \right\} \quad (\text{para } W^* \leq 0.6)$$

Donde: \bar{m} = g H₂O / g sólido seco al tiempo t

m_o = humedad al tiempo inicial

m_e = humedad en el equilibrio

L = mitad del espesor de la muestra en el caso de secado simétrico. Si la deshidratación se lleva a cabo a través-

de una sola superficie, l , será el espesor de toda la muestra.

Para determinar si la resistencia a la transferencia de masa externa es importante o despreciable es necesario determinar el número de Biot, el cual está definido como:

$$\beta_i = \frac{l k_g}{D}$$

si $\beta_i > 40 \Rightarrow$ Resistencia externa a la transferencia de masa es despreciable.

$\beta_i < 40 \Rightarrow$ Resistencia externa a la transferencia de masa es importante.

3.2. Isotermas de Desorción.

En el estudio de deshidratación de alimentos, el contenido de humedad presente es un factor importante por su efecto tanto en el procesamiento como en la estabilidad posterior del producto durante su almacenamiento. Las isotermas de desorción permiten conocer las condiciones de contenido de humedad que se puede alcanzar a temperatura y humedad relativa específica. En otras palabras, pueden predecir las condiciones de equilibrio al final de la deshidratación.

Cada alimento, a una temperatura determinada, presenta un contenido de humedad en equilibrio con la humedad relativa del ambiente que lo rodea. El conocimiento de una serie de datos entre la humedad relativa o actividad de agua y el contenido de humedad en el equilibrio permite trazar una isoterma de desorción; esto es, una curva que relacione el contenido de humedad y actividad de agua del material, donde la actividad de agua está definida por la ecuación siguiente:

$$a = \frac{P}{P_s} = \frac{\% HR}{100}$$

- Donde:
- α = Actividad de agua.
 - P = Presión de vapor ejercida por el agua del alimento.
 - P_0 = Presión de vapor del agua pura a una T_0
 - T_0 = Temperatura de equilibrio del sistema.
 - H R = Humedad relativa del aire, a la cual no se pierde ni se gana agua.

En general, la humedad relativa en equilibrio con el contenido de humedad - del alimento, puede ser descrita por una curva del tipo mostrado en la Figura 3.5.

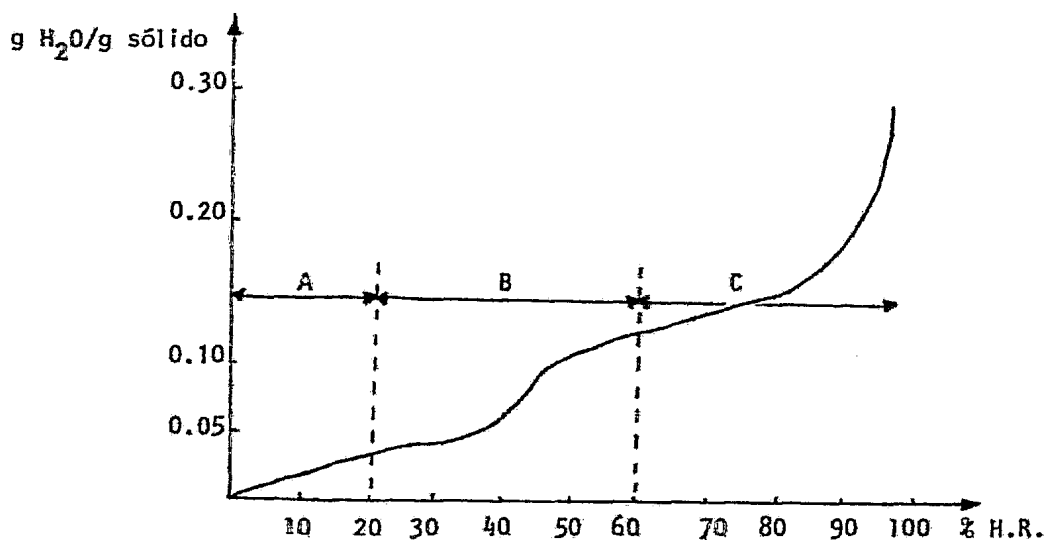


FIGURA 3.5. Isoterma de adsorción. Papa escaldada a 86°F. (Charm, 1978).

La isoterma de desorción puede dividirse en distintas zonas, dependiendo -- del estado del agua presente en el alimento; esto es:

- ZONA A. Corresponde a la desorción de la capa monomolecular de agua y evidencia la presencia de enlaces polares.
- ZONA B. Corresponde a la desorción de capas adicionales sobre la monocapa, y está relacionada con la presencia de enlaces no polares.
- ZONA C. Corresponde a la condensación de agua en los poros del material seguido por la disolución del material soluble presente; es decir, - está construida por el agua libre.

El valor de la monocapa da información sobre la estabilidad de los alimentos después de ser deshidratados. Se ha observado que un alimento con un contenido de humedad correspondiente a la monocapa presenta una mayor estabilidad (LABUZA, -- 1968).

Por otra parte, a contenidos de humedad superiores al valor de la monocapa se producen, también, reacciones de oscurecimiento no enzimático a mayor velocidad.

3.2.1. Modelos de Isotermas de Desorción.

La complejidad de la relación agua-alimento, limita la utilidad de cualquiera de los modelos matemáticos que intentan describir la isoterma completa. Sin embargo, a continuación presentaremos los modelos matemáticos más usados para explicar estas relaciones.

3.2.1.1. Modelo Brunaver - Emett-Teller.

El modelo con mayor aceptación para la primera parte de la isoterma es el modelo de Bet (1938) en el intervalo de actividad de agua de 0.1 a 0.5. Este modelo es una extensión del modelo de Langmuir (1918), el cual supuso que el calor de adsorción era constante debido a que la atracción del sólido por las moléculas de agua -- era la misma en todos los sitios. Además consideró que no habría interacción entre las moléculas adsorbidas. Sin embargo, esta isoterma explicó el comportamiento de desorción; tan solo, en la monocapa.

Brunaver - Emett-Teller, hicieron las siguientes suposiciones para ampliar el intervalo de aplicación de su modelo:

- a). El calor de desorción para la primera capa es constante e igual al H_v total (calor de vaporización), mas una constante debido a los sitios de interacción Q_H
- b). El calor para todas las capas sobre la monocapa es igual al H_v
- c). La adsorción o desorción solo ocurre en sitios específicos.

El modelo matemático es el siguiente:

$$\frac{V}{V_m} = \frac{ca}{(1-a)[1+(c-1)a]} \quad (3.15)$$

Rearreglando la ecuación tenemos:

$$\frac{a}{(1-a)V} = \frac{1}{V_m c} + \frac{a(c-1)}{V_m c} \quad (3.15)'$$

Donde: a = Actividad de agua.

V = Volumen desorbido en gH_2O/g sólido.

V_m = gH_2O/g sólido seco en una capa monomolecular.

$$c = k \exp(Q/RT)$$

k = Coeficiente de acomodación/factor de frecuencia.

$$k \approx 1$$

R = Constante general de los gases.

Si se grafica $a/(1-a)V$ contra a , se obtendrá una línea recta, como se muestra en la Figura 3.6. Un análisis de la pendiente y la ordenada al origen de esta recta, puede proporcionar el valor de la monocapa.

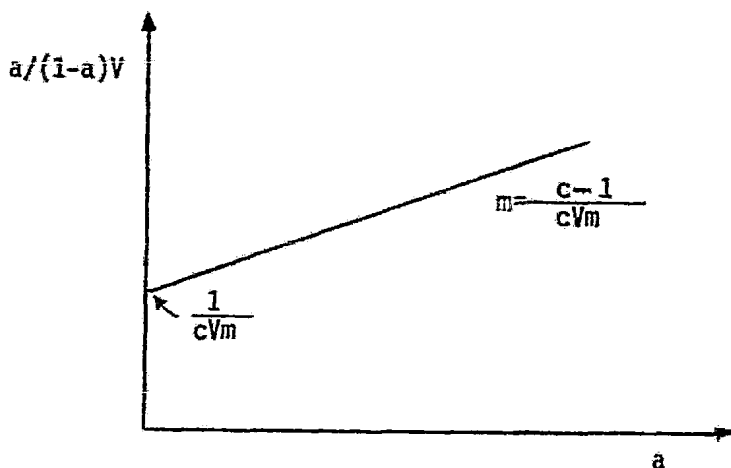


Figura 3.6. Gráfica de capa monomolecular en base al modelo de BET.

3.2.1.2. Modelo de Halsey

Otros modelos han intentado explicar el comportamiento de la isoterma en to

da el intervalo de actividades de agua. En particular los modelos de Halsey (1948) y Henderson (1952) han mostrado ser válidos en el intervalo de actividad de agua de 0.1 a 0.8.

La ecuación propuesta por Halsey es la siguiente:

$$a = \exp(-b/RT\theta^r) \quad (3.16)$$

Donde: b y r son constantes del modelo

T = temperatura absoluta

$\theta = \sqrt[3]{V/V_m}$ (g H₂O/g sólido)/(g H₂O/g sólido) monocapa

$$b' = b/RT$$

Linearizando la ecuación 3.16.

$$\ln \ln \frac{1}{a} = -r \ln \theta + \ln b' \quad (3.16)'$$

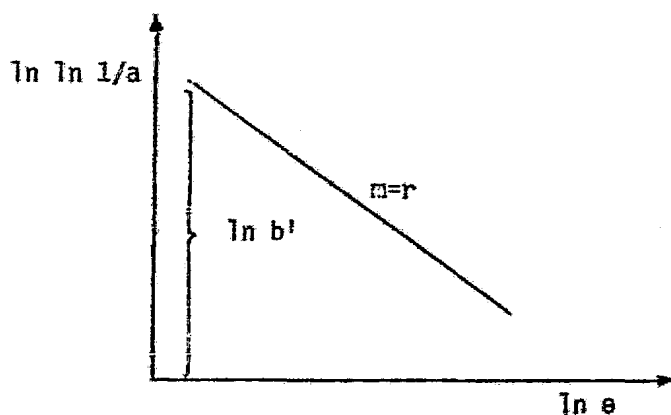


Figura 3.7. gráfica de la ecuación del modelo de Halsey, donde los parámetros r y b' pueden ser calculados.

Halsey asume que la energía potencial de las moléculas varía inversamente de la distancia a la superficie. También establece que el valor de r caracteriza el tipo de interacción entre el vapor y el sólido. Si r es grande, la atracción del sólido por el vapor es muy específica y no aleja mucho de la superficie. Si r es pequeña entonces las fuerzas que actúan, son del tipo de Van der Waals y pueden actuar a una gran distancia. Esta ecuación puede ser utilizada para describir la isot-

tema de desorción en un gran número de alimentos y componentes alimenticios.

3.2.1.3. Modelo de Henderson.

El modelo de Henderson, es el modelo más ampliamente utilizado para conocer la relación de la actividad de agua y la cantidad de agua adsorbida en diferentes alimentos. Henderson (1952) derivó una ecuación empírica, que contempla la isoterma completa, la cual ha tenido éxito para algunos alimentos (Rockland, 1957). La ecuación de Henderson es la siguiente:

$$1-a = \exp - (K m^n) \quad (3.17)$$

Donde: K y n son constantes del modelo.

m = cantidad adsorbida

Linearizando la ecuación 3.17.

$$\ln [-\ln(1-a)] = n \ln m + \ln k \quad (3.17)'$$

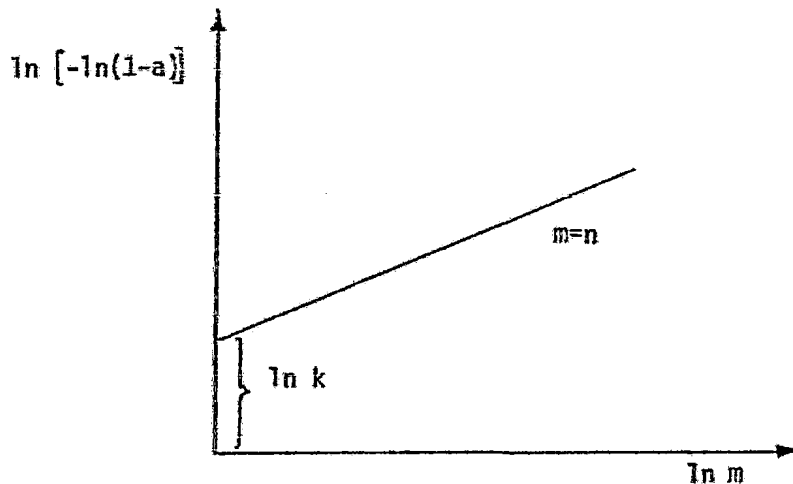


Figura 3.8. Gráfica de la ecuación del modelo de Henderson, cuya pendiente será igual a n y la intersección igual a K .

3.2.2. Estimación del Área del Secado.

El área superficial puede ser estimada en base al contenido de humedad en la monocapa suponiendo que el área de una molécula de agua es 10.6 \AA^2 . El área super

ficial en m^2/g es encontrada por la ecuación siguiente: (Labuza, 1968).

$$S_o = m \cdot \frac{1}{M_{H_2O}} N_o A_{H_2O} = 3.5 \times 10^3 m \quad (3.18)$$

Donde: m = valor de la monocapa (g H_2O adsorbidos/g sólido)

M_{H_2O} = peso molecular del agua = 18 g/g mol

N_o = No. de Avogadro = 6.02×10^{23} moléculas/g mol

A_{H_2O} = área de la molécula de agua = $10.6 \times 10^{-20} m^2$

3.2.3. Cálculo del Calor de Desorción.

Las isotermas de desorción permiten evaluar el calor necesario para desorber el agua del producto bajo estudio; esto es, la energía necesaria para llevar a cabo su deshidratación.

El fenómeno de desorción obedece la Ley de Clausius-Clapeyron la cual se muestra a continuación:

$$\frac{d(\ln a)}{d(1/T)} = - \frac{Q_s}{R} \quad (3.19)$$

Donde: a = actividad de agua

T = temperatura absoluta

Q_s = calor de desorción

R = constante general de los gases.

Si las isotermas se realizan a diferentes temperaturas, estas mostrarán un decremento en la cantidad adsorbida a medida que aumente la temperatura a una actividad de agua constante, como se muestra en la Figura 3.9.

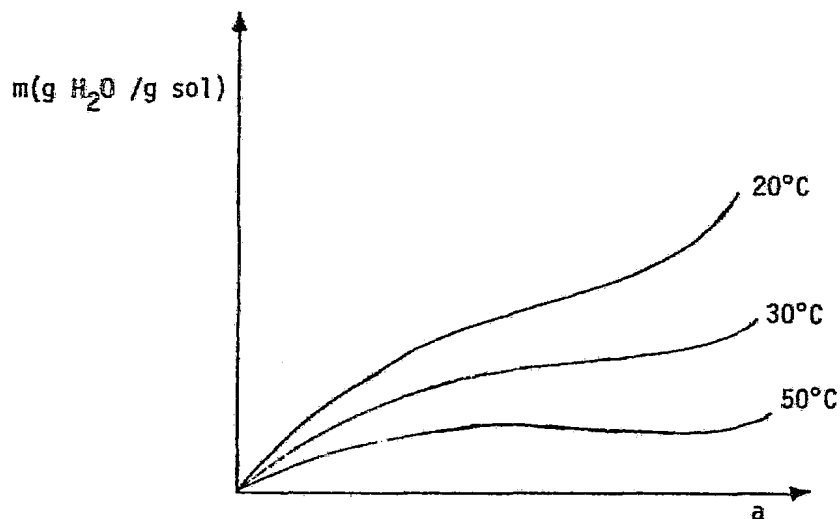


Figura 3.9. Efecto de la temperatura en la adsorción.

Como se observa en la ecuación anterior, si graficamos el logaritmo de la actividad de agua contra el recíproco de la temperatura absoluta a un contenido de humedad constante, obtendremos una línea recta cuya pendiente corresponde al calor de desorción dividido por la constante general de los gases. Esto se muestra en la Figura 3.10.

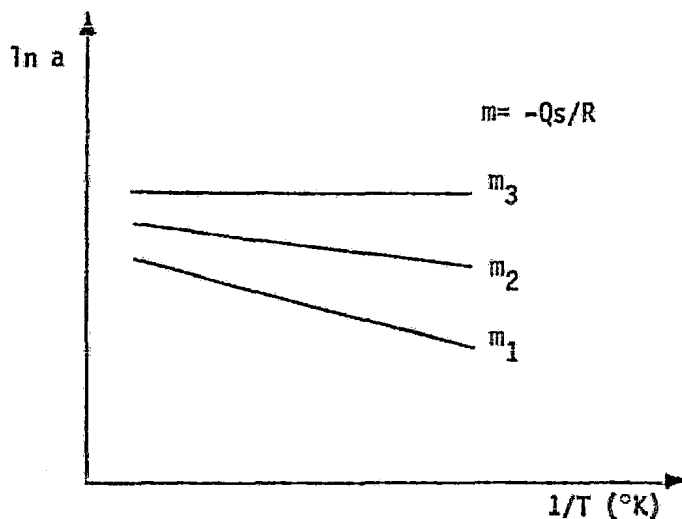


Figura 3.10. Dependencia de la actividad de agua con el inverso de la temperatura.

El comportamiento general del calor total de desorción con el contenido de humedad se indica en la Figura 3.11.

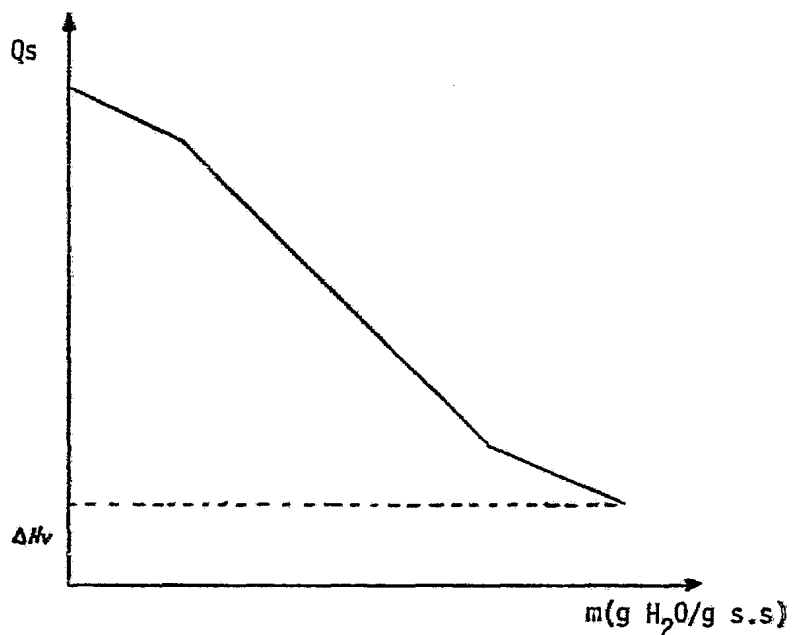


Figura 3.11. Dependencia del calor de desorción con el contenido de humedad.

En esta figura es posible observar, que el calor de desorción no es constante, incrementándose a bajos contenidos de humedad. Este comportamiento explica la dificultad con la que se elimina agua del producto a medida que tiene lugar su deshidratación.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Materia Prima Empleada.

Los productos empleados para este estudio fueron Yuca (maniot esculenta) variedad ESCULENTA y Malanga (colocasia esculenta) variedad LEHUA. A continuación se presenta una relación de la procedencia de estos tubérculos, así como las determinaciones analíticas llevadas a cabo, para su caracterización.

4.1.1. Origen de la Materia Prima.

La materia prima es originaria del estado de Tabasco, y se surtía periódicamente en los mercados de San Juan y Medellín, ubicados en la ciudad de México. Para prolongar la vida de anaquel del producto, este era almacenado en una cámara de refrigeración a 5° C.

4.1.2. Caracterización de la Materia Prima.

Cada lote de producto recibido se caracterizaba a su llegada y a diferentes tiempos durante su almacenamiento con el objeto de establecer el estado de madurez que guardaban los tubérculos al ser deshidratados. A continuación se señalan los análisis realizados. En el apéndice B se muestra una relación de los resultados obtenidos.

4.1.2.1. Determinación de Almidón.

El contenido de almidón fué evaluado en base al método de extracción alcalina (Purcell et al., 1978).

4.1.2.2. Determinación de Azúcares Reductores.

El contenido de azúcares reductores fué evaluado siguiendo el método DNS (Sumner et al., 1935).

4.1.2.3. Determinación de HCN.

La cuantificación de HCN fué determinada en base al método de Titulación -- Acida (26.064 A.O.A.C.). Esta determinación se efectuaba antes y después del proceso de deshidratación, con objeto de verificar si este proceso era suficiente para -- eliminar el compuesto tóxico.

4.1.2.4. Determinación de Humedad.

La determinación de humedad se llevó a cabo en una estufa a 70-75°C de temperatura y vacío de 508 mm de Hg.

4.2. Tratamientos Previos.

Con el fin de evitar alteraciones químicas y microbianas en las muestras ba jo estudio, el producto fué sometido a los siguientes tratamientos previos.

4.2.1. Escaldado con Vapor de Agua.

El escaldado con vapor de agua se efectuaba para evitar posibles coloraciones debido a reacciones enzimáticas. El tiempo de escaldado fué determinado basándo se en pruebas cualitativas de actividad enzimática para Fenolasa (Galeazzi et al., - 1981) y peroxidasa (Whitaker J.R., 1972).

4.2.2. Inmersión en Soluciones de Bisulfito de Sodio.

La inmersión en soluciones de bisulfito de sodio se efectuaba para evitar - posibles coloraciones debido a reacciones no enzimáticas. Las muestras al ser deshê dratadas, una vez escaldadas, eran introducidas en esta solución (200 ppm) durante - 10 minutos. En el caso de las isotermas de desorción, las soluciones de bisulfito - de sodio empleadas fueron más concentradas (300 ppm), para evitar el oscurecimiento - que de otra forma hubiera tenido lugar debido al prolongado tiempo de exposición de - las muestras a condiciones óptimas de actividad de agua y temperatura para evitar e ste tipo de oscurecimiento.

4.2.3. Inmersión en un Agente Antimicrobiano.

En el estudio de isotermas de desorción cuando existían condiciones de altas humedades relativas (80% H.R., 88% H.R., 96% H.R.) y temperaturas de 30°C y 40°C, se recurrió al uso de mertiolate blanco concentrado (timerosal; Eli Lilly Compañía de México) para evitar el crecimiento de hongos, bacterias y levaduras. Las muestras eran introducidas en este compuesto antiséptico durante 10 minutos.

4.3. Isotermas de Desorción.

Con el objeto de conocer tanto las relaciones en el equilibrio entre el contenido de humedad de los productos bajo estudio y la humedad relativa del aire de secado a diferentes temperaturas, como las características estructurales de éstos tubérculos se construyeron isotermas de desorción. El método gravimétrico (Labuza, 1968), se empleó para la determinación de las condiciones en el equilibrio.

4.3.1. Descripción del Equilibrio Empleado.

Para este estudio se acondicionaron dos cámaras a temperatura constante. En cada una de ellas, la temperatura fué controlada mediante un termostato saginomiya modelo 110, conectado a las resistencias de las cámaras; con el fin de disminuir el intervalo de temperatura en el cual se realizaba el control se conectó un reostato controlaqa mod. ABCQ, alcanzándose una definición de $\pm 2^\circ\text{C}$.

Previamente a la determinación de isotermas de desorción se llevó a cabo un estudio de distribución de temperaturas dentro de las cámaras para definir las posiciones en las que se tenían niveles de temperatura aproximadamente constantes ($\pm 2^\circ\text{C}$). Para este propósito se empleó un juego de termopares de aguja Ecklund Inc., con medidor digital. En el apéndice C se muestran las curvas de calibración (temperatura real vs. temperatura en el controlador) para las dos cámaras; en un recuadro se señalan las posiciones de trabajo para cada temperatura.

En estas posiciones se colocaron celdas de actividad de agua con el fin de estudiar las condiciones de equilibrio.

Dos diferentes tipos de celda fueron empleados: i) desecadores de 21 cm de diámetro y ii) frascos de vidrio de 350 ml.

El primer tipo es similar al reportado en otros trabajos (Labuza, 1968), para la determinación gravimétrica de la actividad de agua; y el segundo corresponde a una modificación a la celda de Ramón Arana, (comunicación personal). Un diagrama de esta última celda se muestra en la Figura.4.1.

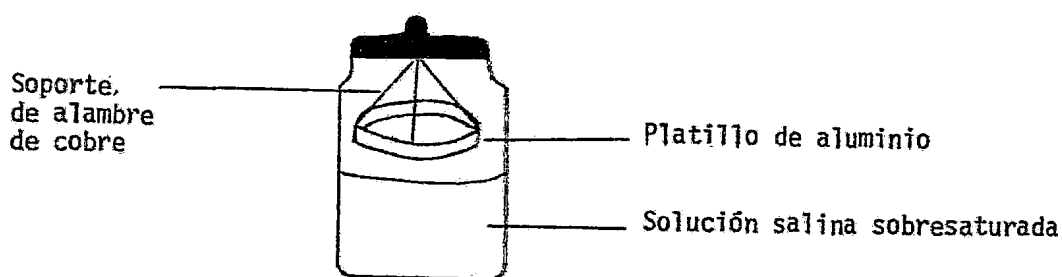


Figura 4.1. Celda de 350 ml para la determinación de actividad de agua.

Las diferentes humedades relativas fueron obtenidas con soluciones de sales, sobresaturadas. En la tabla 4.1 (Brooker et al., 1974) se enlistan las sales empleadas, señalando en cada caso la temperatura y humedad relativa correspondientes.

Temp (°C)	LiCl	Mg Cl ₂ 6 H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ 6 H ₂ O	NaCl	(NH ₄) ₂ SO ₄	KNO ₃	K ₂ SO ₄
10	13.3	34.2	57.8	75.4	81.8	95.5	97.9
32.2	11.9	32.6	51.6	75.6	80.0	90.0	96.5
48.88	11.5	31.6	47.3	74.8	79.1	85.3	95.8
68.33	11.1	30.3	42.2	73.2	78.0	78.0	95.0

Tabla 4.1. Humedad relativa (%) a diferentes temperaturas y soluciones salinas sobresaturadas.

4.3.2. Metodología de Trabajo.

La metodología de trabajo empleada fué la siguiente:

Muestras del producto bajo estudio eran colocadas sobre el platillo de aluminio en la celda de 350 ml o sobre el soporte del desecador. En el primer caso, se utilizaban 3 frascos para cada solución salina sobresaturada; esto es, a cada condición de temperatura y humedad relativa. En el segundo caso se colocaban, en cada desecador, seis muestras del tubérculo rebanado y tratado conforme se señaló con anterioridad.

Las rebanadas se pesaban inicialmente, y eran muestreadas hasta alcanzar el equilibrio. El criterio empleado para concluir sobre la consecución del equilibrio fue la reproducibilidad del peso de la muestra, en una segunda cifra decimal, durante tres días consecutivos. Una vez alcanzado el equilibrio se determinaba la humedad final en una estufa a 70 - 75°C de temperatura y vacío de 508 mm de Hg. Los contenidos de humedad en el equilibrio reportados en este trabajo son un promedio aritmético de los valores obtenidos en las diferentes muestras.

La determinación del peso final se efectuaba en una balanza analítica Sartorius modelo Werke GMBH, Germany. La toma de la muestra se realizaba en pesafiltros de aluminio a peso constante.

4.4. Deshidratación.

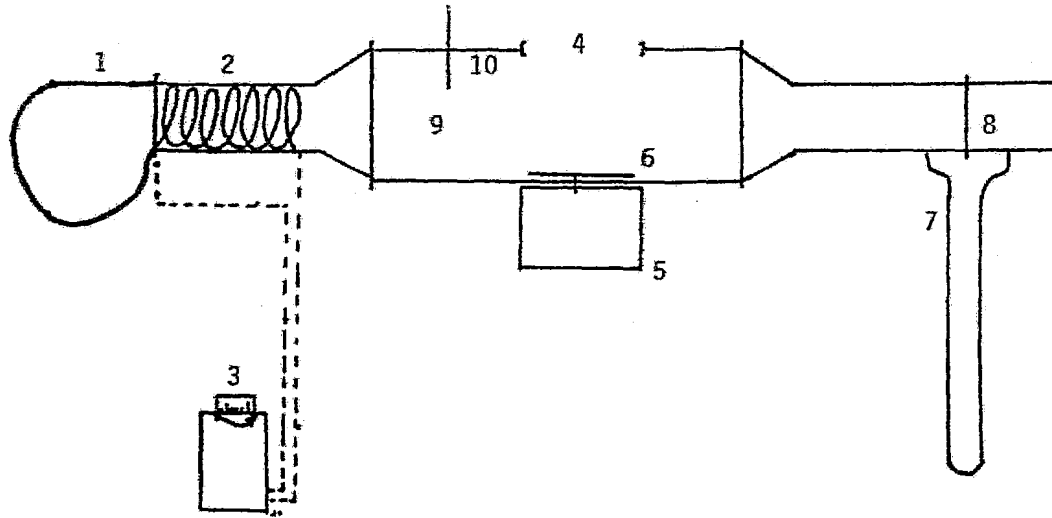
Con el objeto de determinar la cinética de deshidratación en Yuca y Malanga; esto es, el mecanismo de transporte interno del contenido de humedad y el valor de estos coeficientes de transporte a diferentes temperaturas, se hicieron pruebas de secado.

4.4.1. Descripción del Equipo Empleado.

Para realizar estos estudios se construyó en el laboratorio de Ingeniería Química de esta Facultad, un secador a nivel laboratorio. El equipo utilizado se muestra en la Figura 4.2.

Este equipo consta de un ventilador tipo jaula de ardilla, accionado por un

Figura 4.2. Secador de Túnel a nivel de laboratorio.



- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Ventilador tipo jaula de ardilla | 6. Platillo de la balanza |
| 2. Resistencia | 7. Manómetro |
| 3. Reostato | 8. Medidor de orificio |
| 4. Mirilla | 9. Cámara de secado |
| 5. Balanza digital | 10. Termómetro |
- Línea eléctrica
escala 1cm = 10 cm

motor. Durante el estudio, se trabajó con dos motores: i) Motor Mc Millan Modelo DGE 5338, flujo volumétrico 100 cc/seg; y ii) Motor Mc Millan Modelo DGE 5338 reforzado flujo volumétrico 80 cc/seg. El aire impulsado por el ventilador es calentado mediante una resistencia No. 100, montada sobre un soporte triangular de cerámica. La temperatura de trabajo del aire es controlada por un reostato controvaq Modelo ABCQ, y medida por un termómetro, exactitud de 0.05 grado centígrado, localizado de la cámara de secado.

A la salida de la zona de calentamiento se encuentra la cámara de secado, en la cual el platillo de la balanza digital OHAUS Modelo 1500 D de dos decimales de precisión, hace las veces de charola permitiendo registrar el peso de la muestra a lo largo de la deshidratación. Una placa de acrílico transparente de 1/8 de pulgada de espesor en la parte superior de la cámara de secado servía como mirilla permitiendo observar el estado del producto durante la deshidratación. A la salida de esta cámara se acopló un medidor de orificio para cuantificar el flujo de aire, mediante un caudómetro previamente calibrado.

El material de construcción del secador es lámina galvanizada de 1/8 pulgadas de espesor, y está aislado por una capa de aproximadamente 0.5 cm de espesor de fibra de vidrio, y lámina de asbesto de 0.5 cm de espesor.

El equipo de trabajo es desmontable. Las cámaras están conectadas entre sí por bridas, y para evitar posibles fugas de aire, se utilizó cartón de asbesto como empaque en cada una de las uniones.

4.4.2. Metodología de Trabajo.

Los tubérculos eran pelados manualmente y rebanados con una rebanadora manual Modelo Germany. El espesor de la muestra era medido con un vernier, y se tomaba un promedio entre ocho diferentes puntos repartidos homogéneamente en la rebanada. El área de la muestra era medida recortando papel milimétrico y pesándolo en una balanza

analítica Sartorius Modelo werke GMBH, Germany.

Una vez tratadas, las muestras se colocaban en el plato del secador que previamente era estabilizado, por 30 minutos, a la temperatura de trabajo.

El peso de la muestra era registrado cada 15 minutos, para este propósito la operación era suspendida apagando el ventilador por 30 segundos. Una vez registrado el peso de la muestra, el ventilador era encendido y la operación reiniciada. El fin de la deshidratación se consideraba cuando las lecturas del peso de la muestra se repetían durante un intervalo de 30 min. considerándose alcanzado el equilibrio.

Paralelamente a esto se determinaban cada 15 minutos la temperatura de bulbo seco y del ambiente; y cada 30 minutos la temperatura de bulbo húmedo mediante el uso de un psicrómetro.

Una vez alcanzado el equilibrio, las muestras se pesaban en una balanza analítica Sartorius Modelo Werke GMBH, Germany; y se les determinaba humedad final en una estufa a 70-75°C de temperatura y vacío de 508 mm de Hg.

4.5. Coeficientes Externos de Transferencia.

Con el objeto de determinar la importancia de la resistencia a la transferencia de masa externa en el sistema empleado, se diseñó un experimento para determinar su valor basándose en una planeación factorial del mismo, en función de las dos variaciones de trabajo: área de exposición y temperatura. El coeficiente de transferencia externa de calor fué estimado a partir de la analogía de Chilton-Colburn.

4.5.1. Metodología de Trabajo

Para realizar este estudio se utilizaron 4 pesafiltros de aluminio (sin tapa), los cuales proporcionaban un área de transferencia en un intervalo de 73 cm² a 36 cm². Los pesafiltros eran llenados con una mezcla de agua almidón en una proporción 1.5:1, esto es, saturada con agua. Una vez adicionada la mezcla, los pesafil-

tros eran colocados en el secador, y sobre el platillo de la balanza digital OHAUS - Modelo 1500 D, y su pérdida en peso era registrada con el tiempo. Para el análisis de datos se seleccionaron los puntos en los que la velocidad de secado era constante y la temperatura permanecía próxima a la temperatura de bulbo húmedo del aire de secado.

El coeficiente externo de transferencia de masa fue entonces evaluado a partir de la ecuación de velocidad constante de secado:

$$K_g = (dw/dt) / A (P_o - P_v) \quad (4.1)$$

Donde:

$$K_g = \text{coeficiente de transferencia externa de masa, } \left(\frac{g \text{ mol}}{\text{min} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{atm}} \right)$$

$$dw/dt = \text{velocidad de remoción de agua, g/mol/min.}$$

$$A = \text{área de transferencia, cm}^2$$

$$P_o = \text{presión de vapor de agua a temperatura de bulbo húmedo, atm}$$

$$P_v = \text{presión parcial de vapor de agua en el aire, atm}$$

El número de variables es dos: temperatura y área de exposición. Por lo tanto el número de experimentos a realizar será $2^n = 2^2 = 4$. Si definimos un nivel máximo y mínimo para cada variable los experimentos que deben hacerse serán:

- i) Temperatura máxima (TM), área máxima (AM)
- ii) Temperatura máxima (TM), área mínima (Am)
- iii) Temperatura mínima (Tm), área máxima (AM)
- iv) Temperatura mínima (Tm), área mínima (Am)
- v) Temperatura media (T 1/2), área media (T 1/2) (por duplicado).

El objetivo del experimento a las condiciones medias es estimar la variación

experimental que se tiene en estos experimentos.

Los intervalos seleccionados para las variables de trabajo fueron, temperatura: 40°C - 70°C, área de exposición: 73 cm² - 36 cm².

Estas variables fueron reducidas a su forma adimensional de la siguiente manera:

$$\Delta T = \frac{T_M - T_m}{2} \quad ; \quad x_1 = \frac{T - T_{1/2}}{\Delta T}$$

$$\Delta A = \frac{A_M - A_m}{2} \quad ; \quad x_2 = \frac{A - A_{1/2}}{\Delta A}$$

Esta reducción permite definir K_g en términos del polinomio:

$$K_g = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{12} x_1 x_2 \quad (4.2)$$

Donde los coeficientes están dados por:

$$a_0 = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 K_{gi}$$

$$a_1 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (x_1)_i K_{gi}$$

$$a_2 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (x_2)_i K_{gi}$$

$$a_{12} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 (x_1)_i (x_2)_i K_{gi}$$

La ecuación (4.2) permite evaluar K_g para cualquier condición de temperatura y área de exposición expresadas en forma adimensional.

Finalmente, el valor de K_c puede ser estimado mediante la conversión:

$$K_c \left(\frac{\text{cm}}{\text{min}} \right) = K_g \left(\frac{\text{g mol}}{\text{min} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{atm}} \right) \cdot R \left(\frac{\text{cm}^3 \text{atm}}{\text{g mol} \cdot \text{°K}} \right) \cdot T (\text{°K})$$

Una vez estimado el valor del coeficiente externo de transferencia de masa, el coeficiente externo de transferencia de calor fué evaluado a partir de la analogía de Chilton-Colburn (Geankoplis, 1978)..

$$J_D = \frac{K_c}{v} (N_{Sc})^{2/3} = J_h = \frac{h}{c_p G} (N_{Pr})^{2/3} \quad (4.3)$$

Donde: v = velocidad superficial, m/seg.

$$N_{Sc} = \text{número de Schmidt} = \frac{\mu}{\rho D_{AB}}$$

μ = viscosidad del aire a la temperatura de trabajo, g/cm seg.

D_{AB} = difusividad molecular aire-vapor de agua a la presión y temperatura de trabajo, cm²/seg.

h = coeficiente de transferencia externo de calor, cal/seg. cm² °C

c_p = capacidad calorífica, cal/g °C.

G = gasto másico, g/cm² seg.

N_{Pr} = número de Prandtl = $C_p M/K$

K = conductividad térmica del aire, cal/cm.°C. min.

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

5.1. Tratamientos Previos.

Previamente al proceso de deshidratación, las muestras eran sometidas a un tratamiento de escaldado para evitar coloraciones ocasionadas por reacciones enzimáticas. El tiempo de escaldado para yuca fué de 7 minutos y para malanga de 20 minutos. Este tiempo fué medido en función de la inactivación de las enzimas fenolasa y peroxidasa. Después del escaldado las rebanadas de yuca y malanga fueron inmersas durante 10 minutos en una solución de bisulfito de sodio (200 ppm) para evitar oscurecimiento no enzimático.

El ácido cianhídrico fué cuantificado para los dos tubérculos ya que existen reportes en la literatura (Pluncknett, 1979) donde se menciona la presencia de este agente tóxico en algunas variedades de yuca. Como se muestra en el apéndice B, solamente las muestras de yuca presentaron contenido de ácido cianhídrico y este fué muy bajo. La operación de secado y el tratamiento previo de escaldado eliminaron estas trazas.

5.2. Isotermas de Desorción.

En las figuras 5.1 y 5.2 se muestran las isotermas de desorción para yuca y malanga obtenidas a 30, 40 y 49°C, a partir de los datos presentados en el apéndice D. En estas isotermas se pueden observar los niveles de retención de humedad como función de la humedad relativa del medio o actividad de agua del producto a temperatura constante.

Dada la complejidad de la relación agua-alimento, la utilidad de los modelos matemáticos es limitada para describir la isoterma completa. Sin embargo, es nuestro caso, el modelo de Henderson, $1-a = \exp - (K m^n)$ (Iglesias et al, 1976), re-

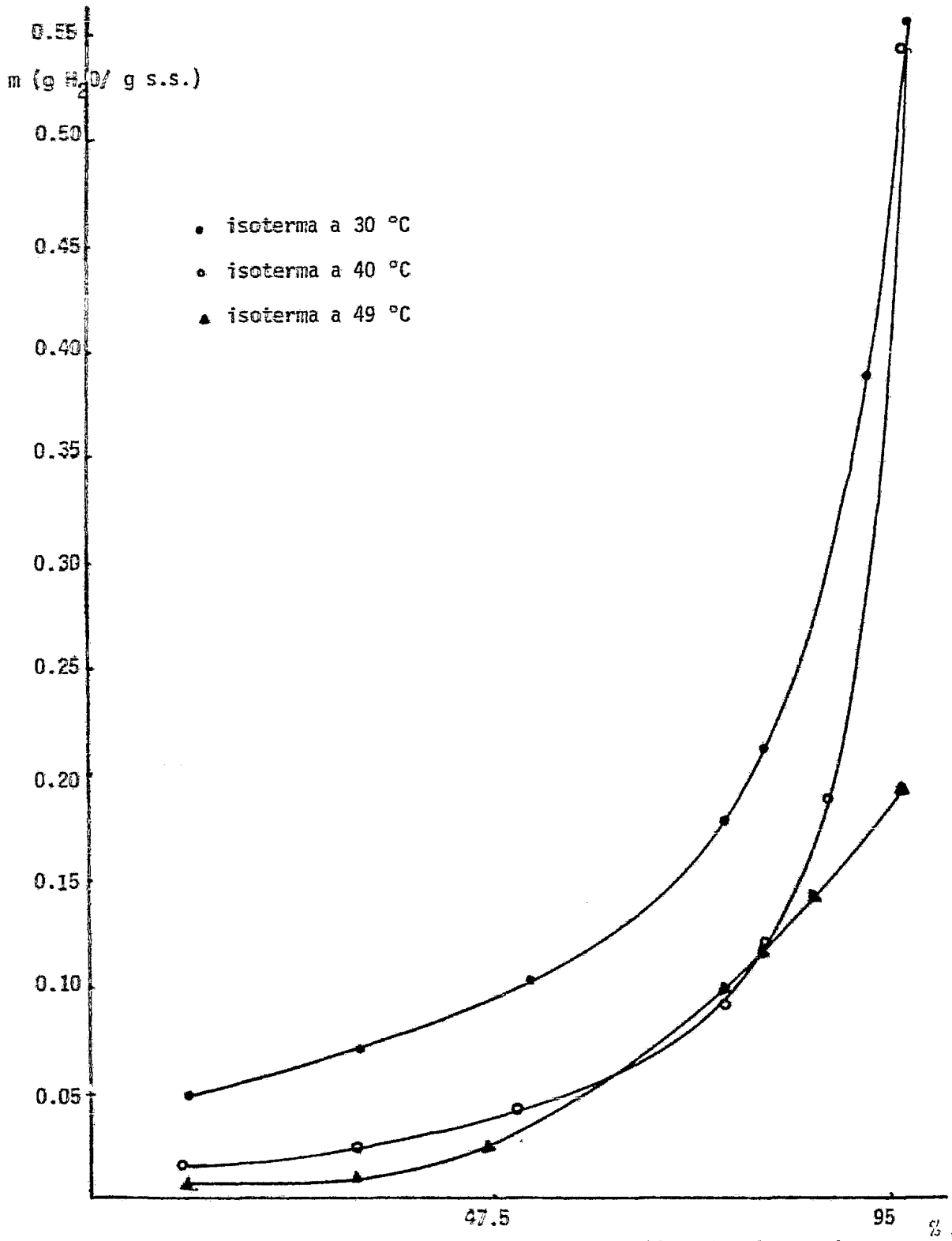


Figura 5.1. Isotermas de desorción de malanga a diferentes temperaturas.

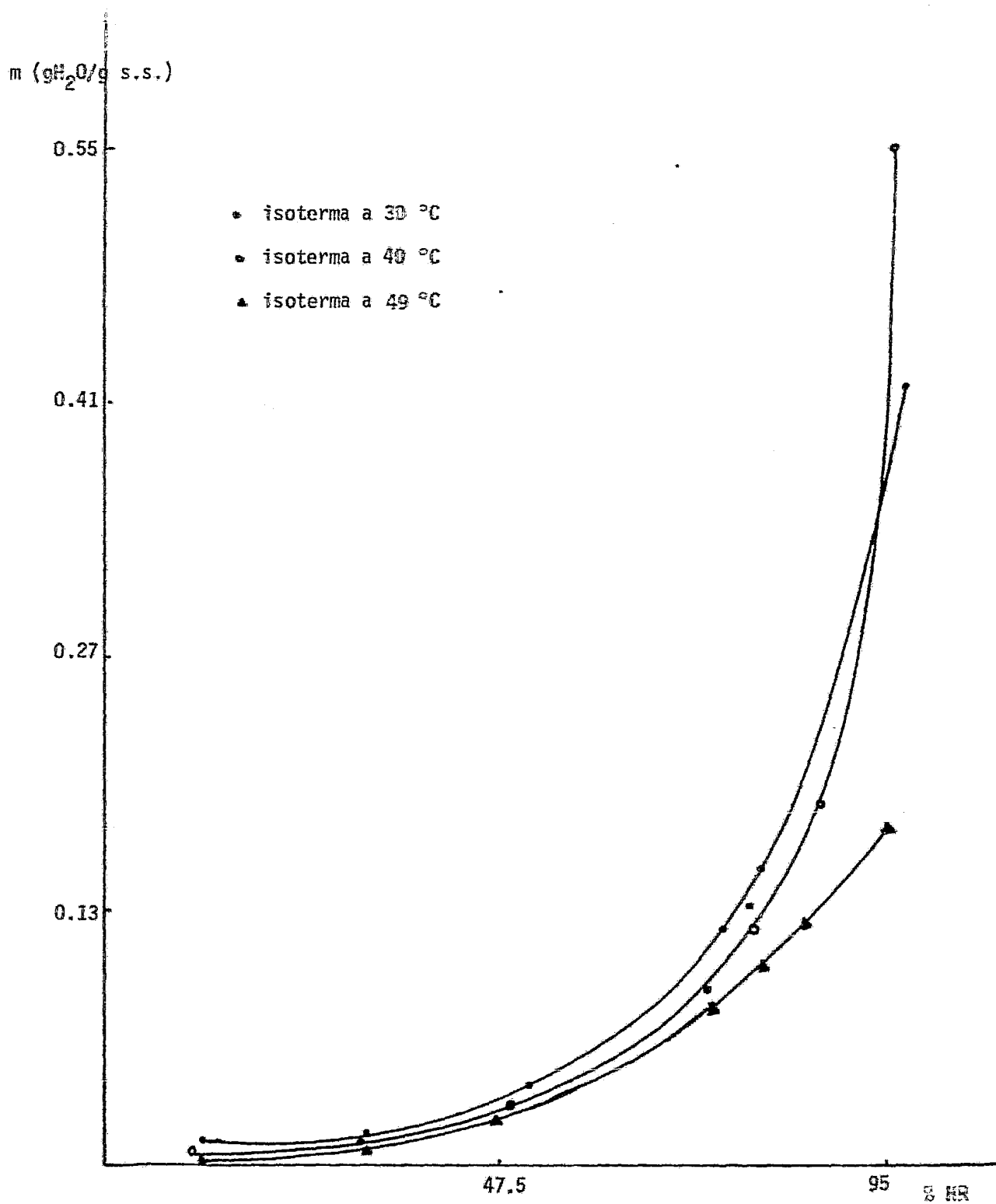


Figura 5.2. Isothermas de desorción de yuca a diferentes temperaturas.

sultó ser más adecuado para explicar el fenómeno de desorción de agua. En la tabla 5.1 se muestran los modelos matemáticos obtenidos para cada temperatura en el rango de humedades relativas bajo estudio. En las isotermas de desorción graficadas en las figuras 5.3 y 5.4 se muestran los puntos experimentales y los modelos matemáticos ajustados, representados por las líneas continuas.

T	PRODUCTO	MODELO MATEMATICO	CORRELACION
30°C	MALANGA	$n = 1.21, k = 8.78$	0.964
40°C	MALANGA	$n = 0.81, k = 7.42$	0.984
49°C	MLANGA	$n = 0.72, k = 8.32$	0.979
30°C	YUCA	$n = 0.82, k = 7.98$	0.982
40°C	YUCA	$n = 0.75, k = 6.61$	0.964
49°C	YUCA	$n = 0.77, k = 9.53$	0.996

TABLA 5.1. Modelos matemáticos para cada temperatura en el rango de humedades relativas bajo estudio.

Nuestros resultados se comparan favorablemente, en cuanto al rango de contenidos de humedad en los que están comprendidos, con la isoterma de adsorción de papa reportada por Charm (1978).

Para la determinación del contenido de humedad en la monocapa (n) se empleó el modelo de isoterma de Bet. La relación $a/v_m(1-a)$ se graficó contra la actividad de agua, obteniéndose una línea recta. Con los valores de la pendiente y la ordenada en el origen de esta recta, el valor de la monocapa puede ser calculado, como se señaló en el capítulo 3. Los valores para el contenido de humedad en la monocapa obtenidos fueron los siguientes: para malanga a 30°C, $4.914 \times 10^{-2} \text{ gH}_2\text{O/gSS}$; a 40°C $3.34 \times 10^{-2} \text{ gH}_2\text{O/gSS}$; para yuca a 30°C, $3.48 \times 10^{-2} \text{ gH}_2\text{O/gSS}$; a 40°C, $2.17E$

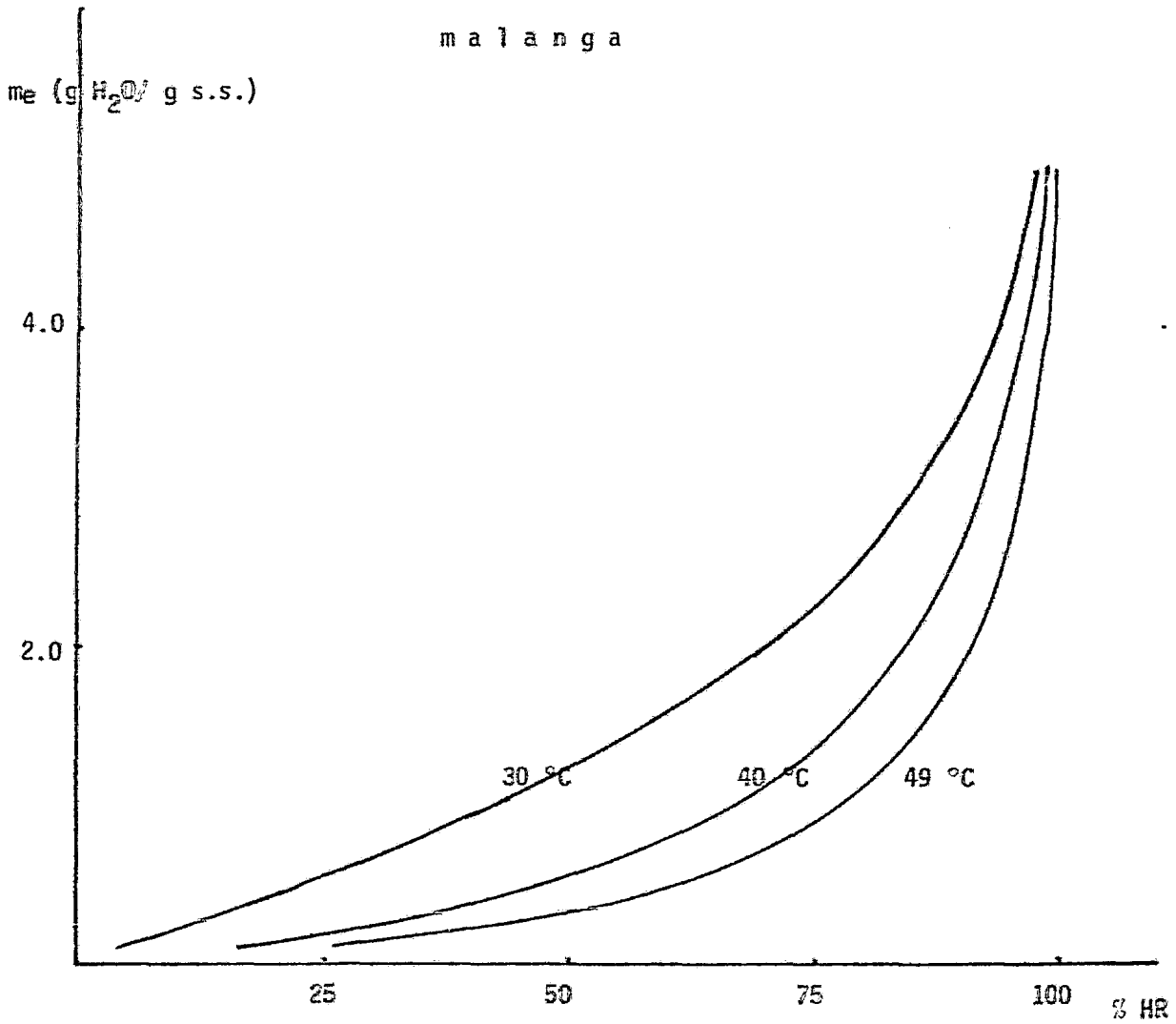


Figura 5.3. Isothermas de desorción modeladas a las temperaturas de trabajo.
Modelo de Henderson.

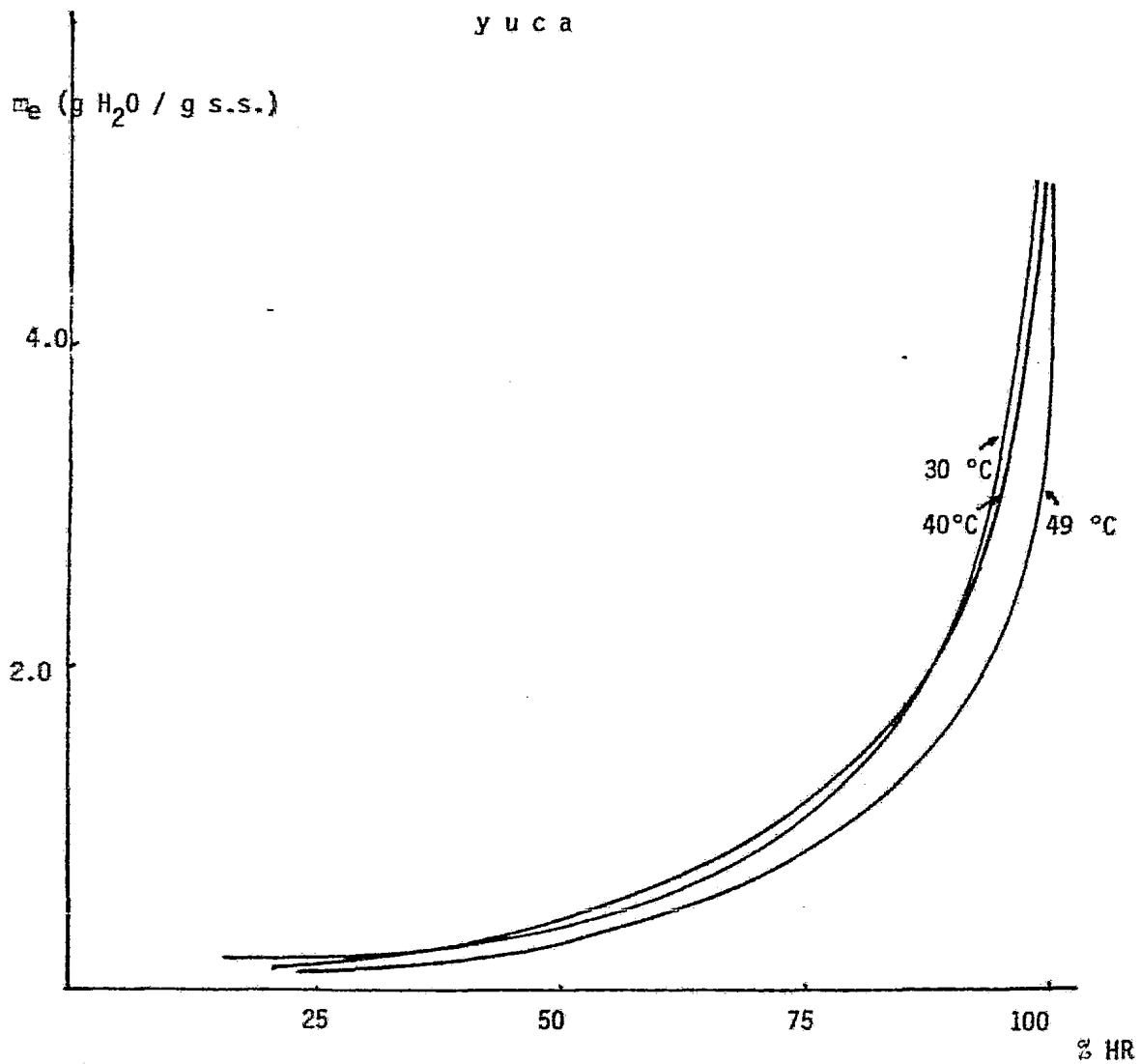


Figura 5.4. Isothermas de desorción modeladas a las temperaturas de trabajo.
Modelo de Henderson.

$\times 10^{-2}$ g H₂O/g s.s.; y a 49°C, 2.18×10^{-2} g H₂O/g s.s. Estos valores concuerdan con los resultados en la literatura para productos similares. Por la inexactitud de las mediciones de contenido de humedad en equilibrio a bajas humedades relativas la estimación de la monocapa no se presenta para todas las temperaturas.

El área superficial (S_0) de los materiales bajo estudio puede ser estimado suponiendo que el área de una molécula de agua es 10.6 \AA^2 y en base al dato de contenido de humedad en la monocapa. Los valores obtenidos a 30°C para yuca y malanga fueron 121.85 m²/g y 173 m²/g respectivamente, y están comprendidos entre los límites reportados por la literatura, 100 - 250 m²/g (Labuza, 1968).

Por último, en las figuras 5.5 y 5.6 se presentan las gráficas de calor de desorción contra contenido de humedad para yuca y malanga, obtenidas a partir de la metodología planteada en el capítulo 3. Como se puede observar a medida que decrece el contenido de humedad la energía necesaria para su remoción aumenta exponencialmente. Fenómeno que tiene su explicación en la calidad del agua, agua de enlace, -- que esta presente en los alimentos a bajos contenidos de humedad a diferencia del período inicial de secado cuando es el agua libre lo que abandona el producto.

Al comparar las gráficas para ambos productos resulta evidente que los calores de desorción de malanga son más altos que en el caso de la yuca. Esta diferencia es causada por el mayor tiempo de escaldado y consecuentemente mayor grado de gelatinización en el primer producto; esto es, en la malanga hay un contenido de agua de enlace, cuya eliminación obliga a un gasto energético más alto.

5.3. Secado.

Como se mencionó con anterioridad el análisis planteado en este trabajo -- busca la determinación del mecanismo de transferencia y la evaluación del parámetro de transporte interno del agua a diferentes temperaturas.

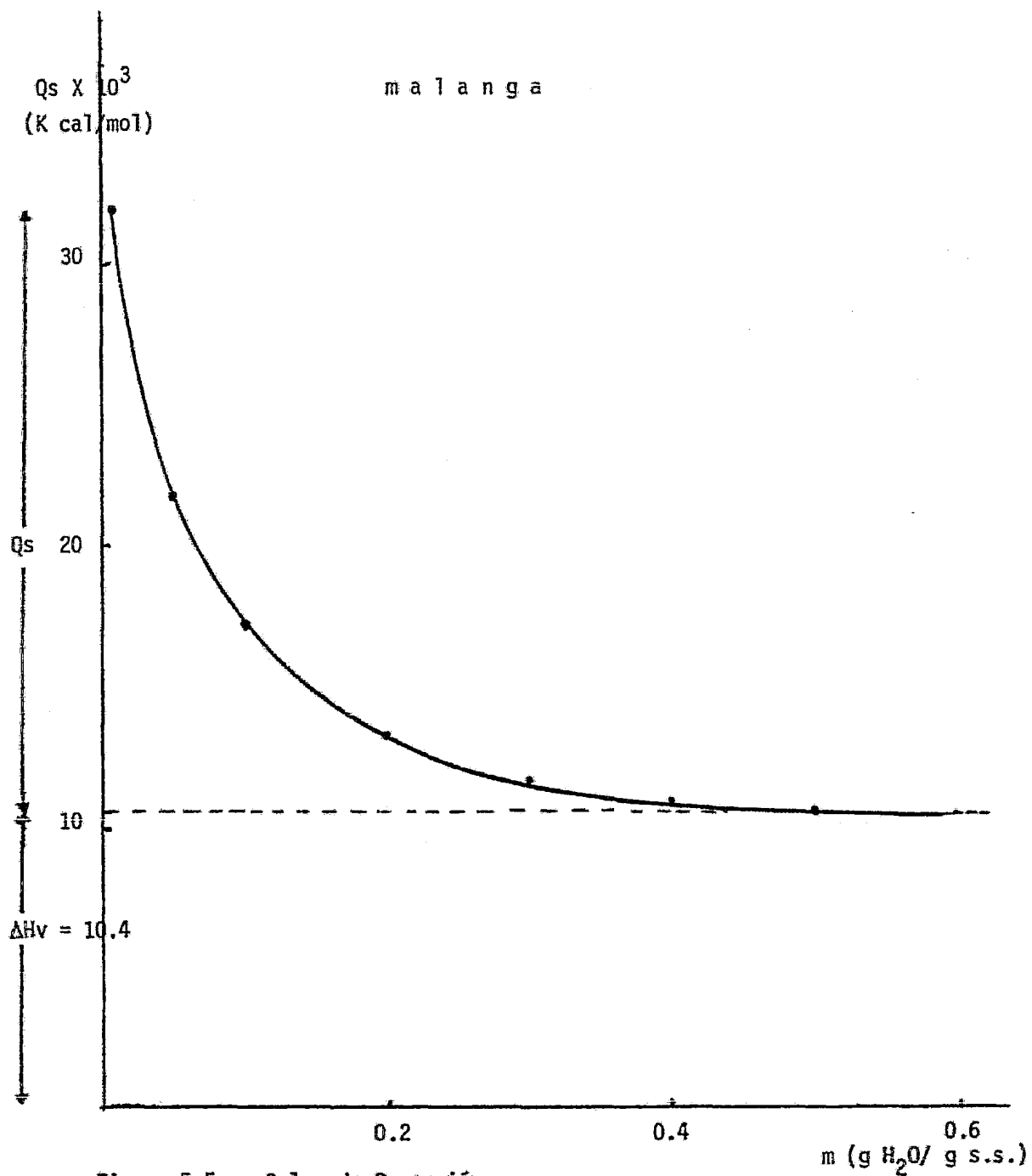


Figura 5.5. Calor de Desorción.

y u c a

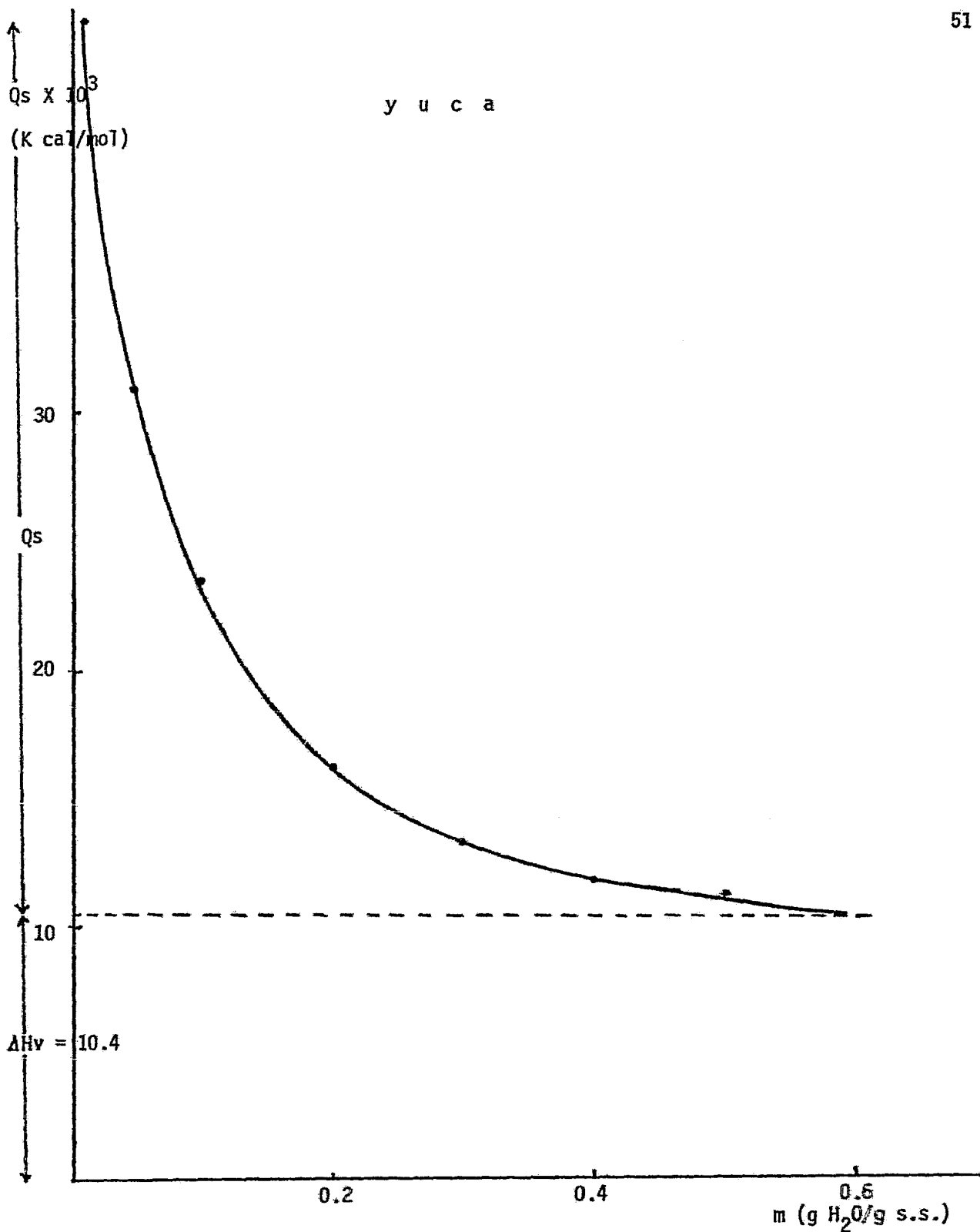


Figura 5.5. Calor de Desorción.

En el apéndice E, en las dos primeras columnas de las tablas E-1 a la E-40, se enlistan las mediciones realizadas en las corridas experimentales para yuca y malanga. Las variables estudiadas fueron temperatura y espesor, el grado de exactitud de las mediciones fué de ± 0.01 g.

En la tercera y cuarta columnas de las tablas del apéndice E, se muestran los datos del contenido de humedad obtenido a partir de los resultados experimentales y el contenido de humedad calculado en base al modelo matemático propuesto, este último en las tablas E₁, E₂, E₂₃, E₂₄. En las siguientes columnas se presentan los datos de contenidos de humedad promedio (\bar{m}), tiempo promedio (\bar{t}), velocidad de secado -- por unidad de área (dm/dtA) y humedad reducida (W^*). Estos parámetros fueron estimados a partir de las mediciones experimentales, como se muestra en el ejemplo de cálculo, presentado en el apéndice F. En la última columna de las tablas E₁, E₂, E₂₃, E₂₄ -- se simula la historia térmica del producto, cuya importancia en el análisis de datos -- será discutida más adelante. Finalmente, en la parte inferior de estas tablas se indican las condiciones del aire de trabajo, las características de espesor y área, tanto del producto húmedo como seco y los valores de los coeficientes externos de masa, K_c (cm/min) y calor, h (cal/min. cm^2 °C).

En las figuras 5.7 y 5.8, se presentan curvas de velocidad de secado por -- unidad de área contra el contenido de humedad promedio (dm/dtA vs \bar{m}), se reporta solamente una gráfica para cada producto . Como se puede observar, el perfil de deshidratación no muestra un período de secado constante, y se puede decir que el secado se lleva a cabo a velocidad decreciente únicamente. Esta observación concuerda con los resultados reportados en la literatura (Chirife, 1970), en los que se ha señalado repetidamente la ausencia de un período de secado constante en la deshidratación de productos -- almidonáceos. No se tiene la seguridad de que exista un segundo período de secado decreciente como se ha indicado para la papa (Van Arsdel, 1973), a partir de contenidos de -- humedad próximos al 13%, y otros productos almidonáceos (Chirife, 1970).

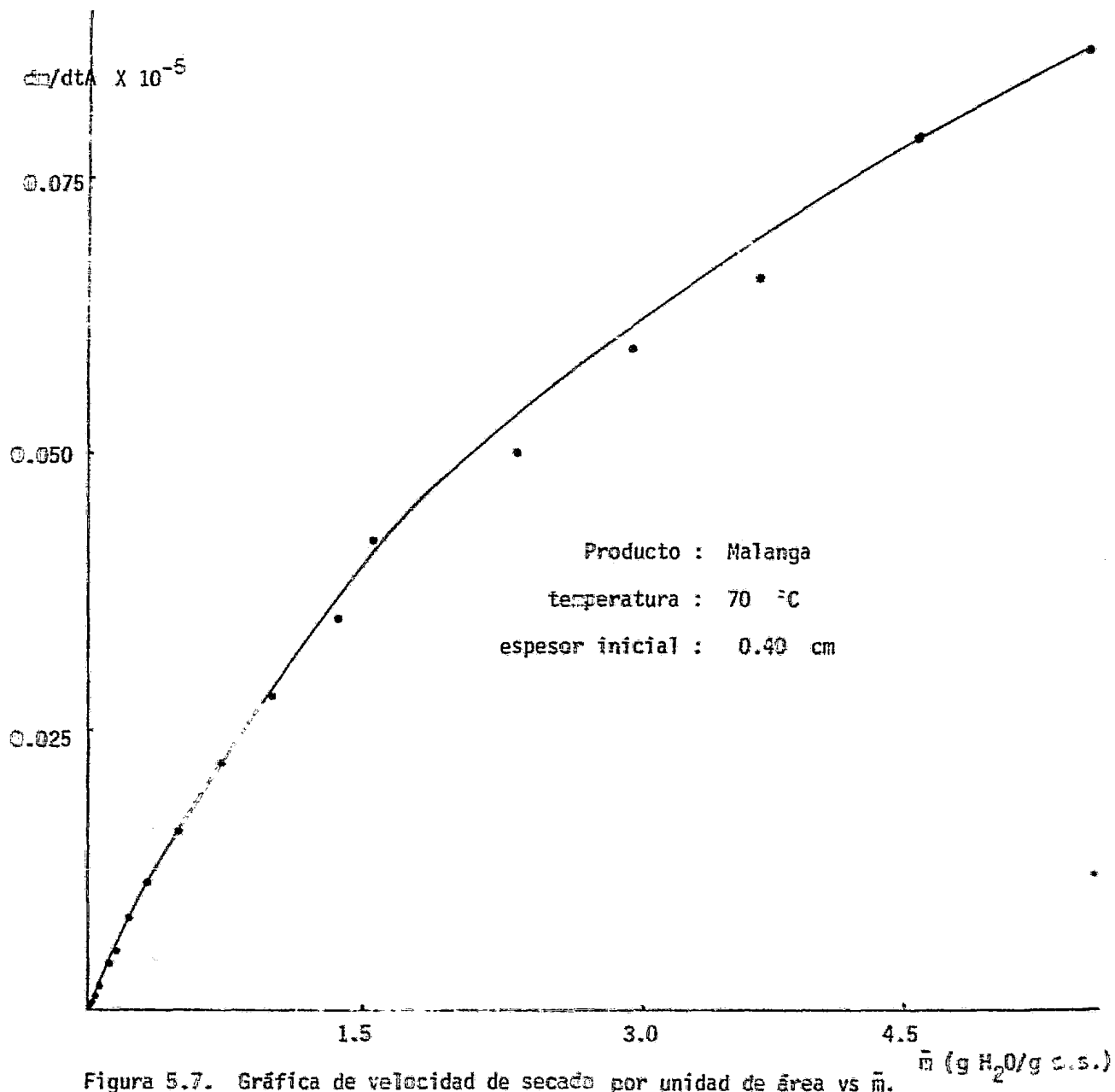


Figura 5.7. Gráfica de velocidade de secado por unidade de área vs \bar{m} . (\bar{m} (g H₂O/g s.s.))

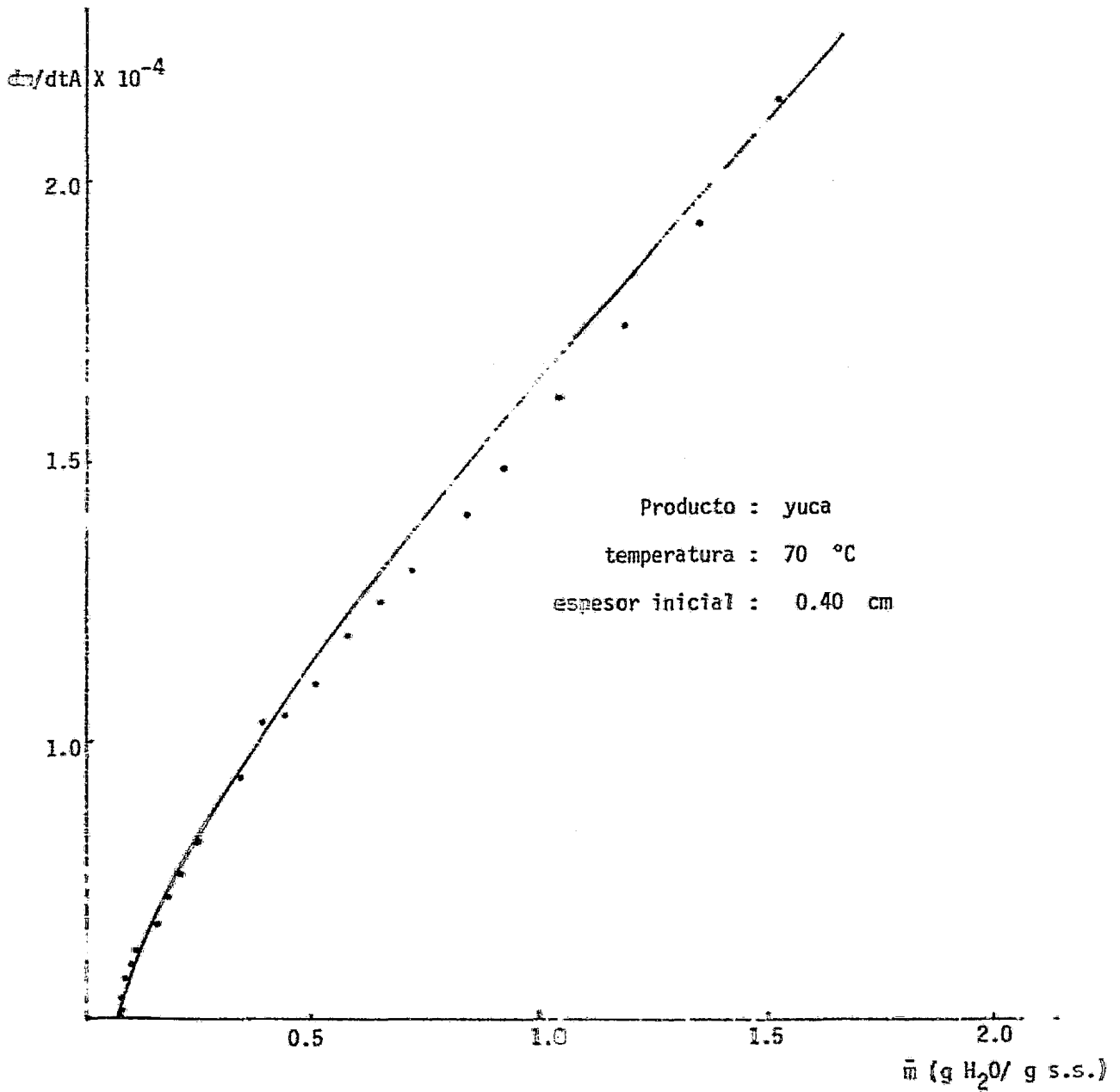


Figura 5.8. Gráfica de velocidade de secado por unidade de área vs \bar{m} .

En nuestro caso, el fenómeno se puede explicar con un sólo periodo de secado decreciente (representado por un coeficiente de difusividad aparente) y los efectos de transferencia externa de masa y calor.

En las figuras 5.9 y 5.10, se presentan las gráficas semilogarítmicas del contenido de humedad reducida (W^*) contra el tiempo de secado (t). En estas gráficas no se tomaron en cuenta valores de humedad reducida menores a 0.01, ya que el nivel de exactitud de las determinaciones experimentales fué de una segunda cifra decimal. El modelamiento de los resultados experimentales se planteó en base a estas gráficas, como se observa el comportamiento de la W^* contra tiempo no es lineal, sino hasta el final de la deshidratación. La curvatura observada podría ser explicada por varios fenómenos: la velocidad de aire de trabajo y el encogimiento continuo del material.

Si bien las altas velocidades empleadas por Chirife (0.5 a 1.4 m/seg) se traducen en la eliminación de resistencia externas a las transferencias de masa y calor, en nuestro caso, donde se trabajó con velocidades de 1.069×10^{-3} a 1.24×10^{-3} m/seg, la velocidad de secado se podría ver severamente influenciada por mecanismos de transferencia de masa y calor externos. Aunado a este problema, las muestras bajo estudio sufrieron un decremento en el área de transferencia conforme transcurría la operación a causa del encogimiento provocado por las condiciones de temperatura del aire y del espesor de la rebanda. Incluso en algunas corridas se observó que las muestras se doblaron adquiriendo una forma de silla de montar. Este problema fué más evidente en la muestra de menor espesor, expuestos a los niveles más altos de temperatura. Es lógico que dicho cambio en la geometría del producto modifica el área de intercambio de humedad.

Sin embargo, en el intervalo de humedad reducida de 0.1 a 0.01 se observa que la relación se lineariza, siendo este el caso para todas las curvas bajo estudio.

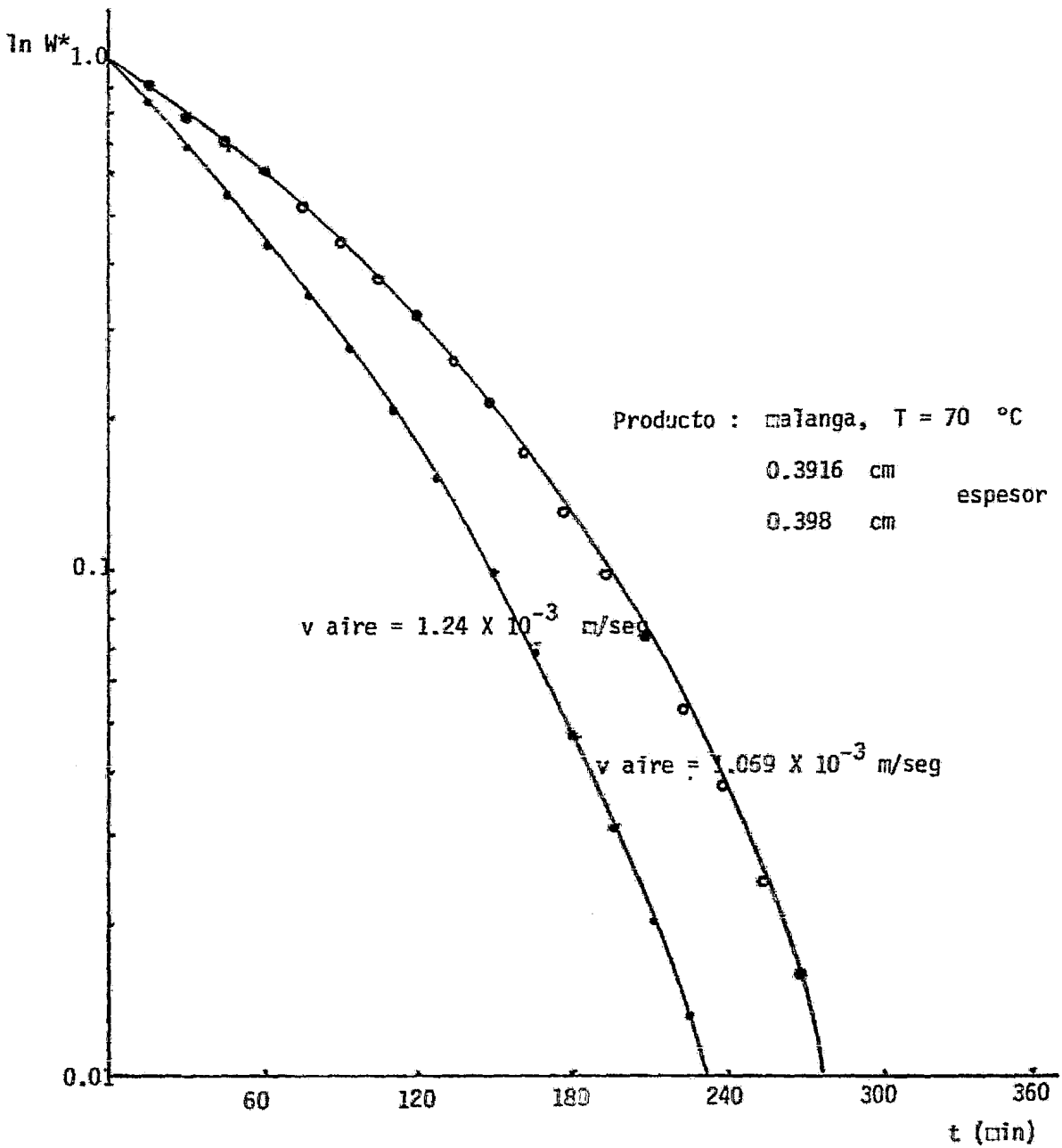


Figura 5.9. Gráfica semilogarítmica W^* vs t ; velocidades diferentes.

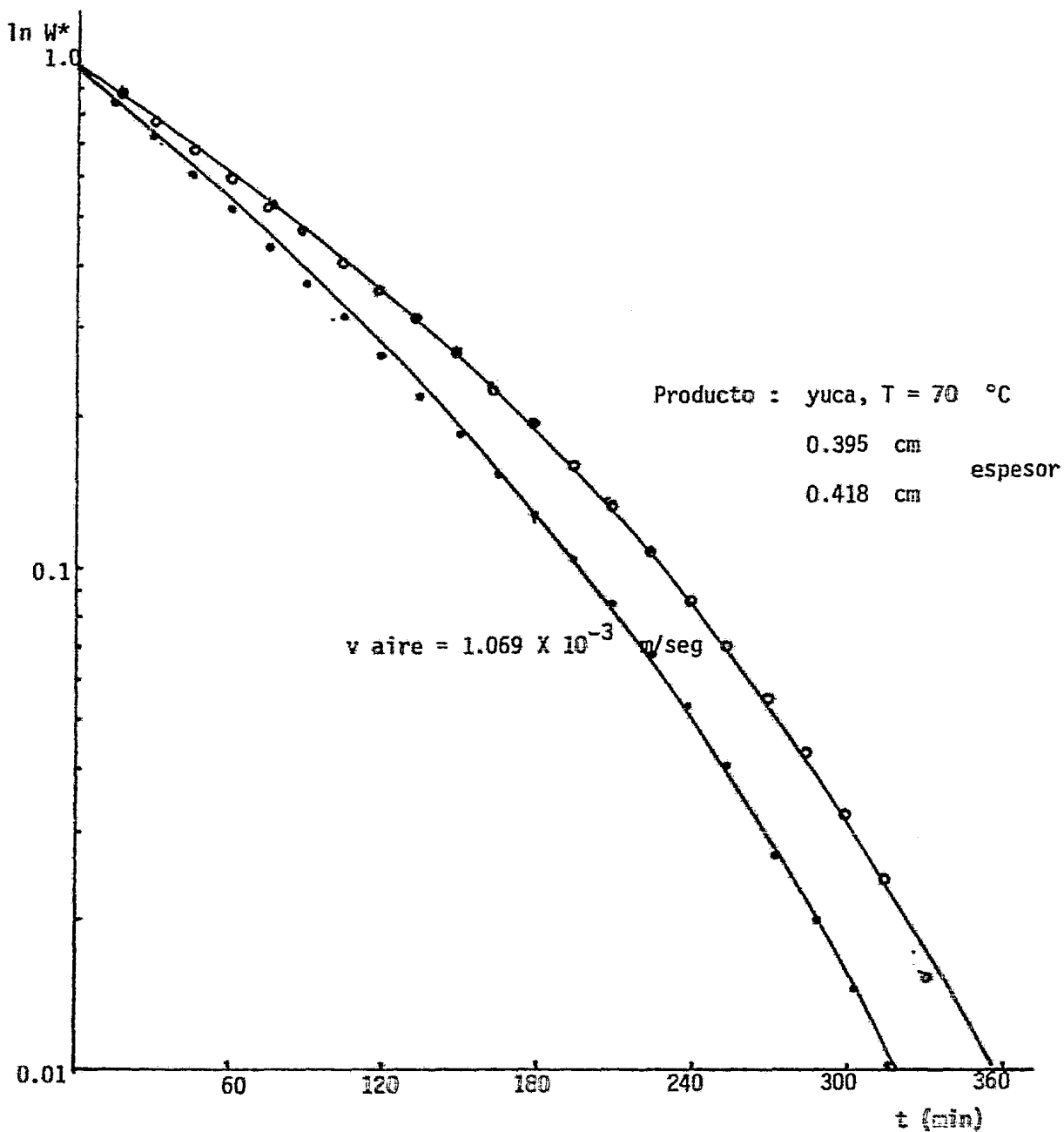


Figura 5.10. Gráfica semilogarítmica W^* vs T ; velocidades iguales.

Aún más, cuando se emplearon dos velocidades de secado diferentes para las mismas -- condiciones de espesor y temperatura, se apreció que una vez alcanzado un nivel de - humedad reducida de 0.1, correspondiente a un contenido de humedad del orden de 35%, los dos perfiles presentan comportamientos lineal con valores de pendientes muy pró- ximos, como se puede ver en la figura 5.9.

Para corroborar esta observación y decidir si la resistencia a la transfe- rencia de masa es importante se diseñó un experimento para evaluar los valores del - coeficiente externo de transferencia de masa (k_c) que permitiera estimar el número - de Biot para transferencia de masa, definido como:

$$Bi = \frac{k_c l}{D}, \text{ donde}$$

k_c = coeficiente externo de transferencia de masa

l = espesor de la muestra

D = coeficiente interno de difusión

Los valores de los coeficientes de transferencia de masa externa estimados fueron del orden de 1×10^{-2} cm/seg, como se puede observar en la parte inferior de las tablas del apéndice E. Asumiendo que el coeficiente de difusión interna tuviera valores de 1×10^4 a 1×10^{-6} cm/seg, los números de Biot obtenidos fueron siempre - mayores a 40, lo que nos permite concluir que la resistencia a la transferencia de - masa externa es despreciable (Heldman, 1981) y en consecuencia no explica la curvatu - ra inicial observada en las gráficas semilogarítmicas de humedad reducida contra --- tiempo. Inclusive cuando el número de Biot fué evaluado en función del coeficiente - de evaporación en la superficie, su valor era mayor a 40 subrayando la observación - anterior.

Con el fin de estimar la importancia que la resistencia externa a la trans - ferencia de calor tiene sobre la temperatura del producto se calculó el valor del --

coeficiente externo de transferencia de calor, según se indica en el apéndice G, en base a la analogía entre los transportes de masa y calor de Chilton Colburn (Geankopolis, 1978). Los valores del coeficiente externo de transferencia de calor fueron utilizados para estimar el cambio de temperatura que tiene lugar durante la operación. Partiendo de un balance de energía entre el aire y el sólido, como se propone en la literatura (Vaccarezza, 1978), se dedujo una ecuación que permite evaluar la historia térmica del alimento. En el apéndice H, se presentan el desarrollo de este modelo y un ejemplo de cálculo.

Debido a que, las muestras, durante la deshidratación presentan determinado perfil de temperaturas y a la dependencia del coeficiente de difusión interno con esta variable, no se puede esperar un comportamiento lineal entre el logaritmo natural de la humedad reducida y el tiempo durante toda la operación. Esto es, la curvatura inicial puede ser explicada, al menos parcialmente, por el retardo en alcanzar la temperatura del aire de secado por parte de las muestras. La presencia de esta resistencia y sus implicaciones ha sido discutida con profundidad por diferentes autores (King, 1968 ; Vaccarezza et al, 1974).

En las figuras 5.11 y 5.12, se presentan gráficas de temperatura contra tiempo y temperatura contra humedad reducida para dos de los casos bajo estudio. Como se puede observar, la temperatura del producto alcanza la temperatura del medio en el tiempo en que la humedad reducida se encuentra cercana a 0.1. Una vez que el material ha alcanzado la temperatura de trabajo, los datos experimentales pueden ser tratados con la solución al modelo de Fick, planteado en el capítulo 3, para un coeficiente de difusión constante.

En otras palabras, a partir de un valor de humedad reducida de 0.1 consideramos que la velocidad está controlada por la transferencia interna únicamente y entonces el perfil de secado se reduce a la solución de la ecuación de Fick, en la-

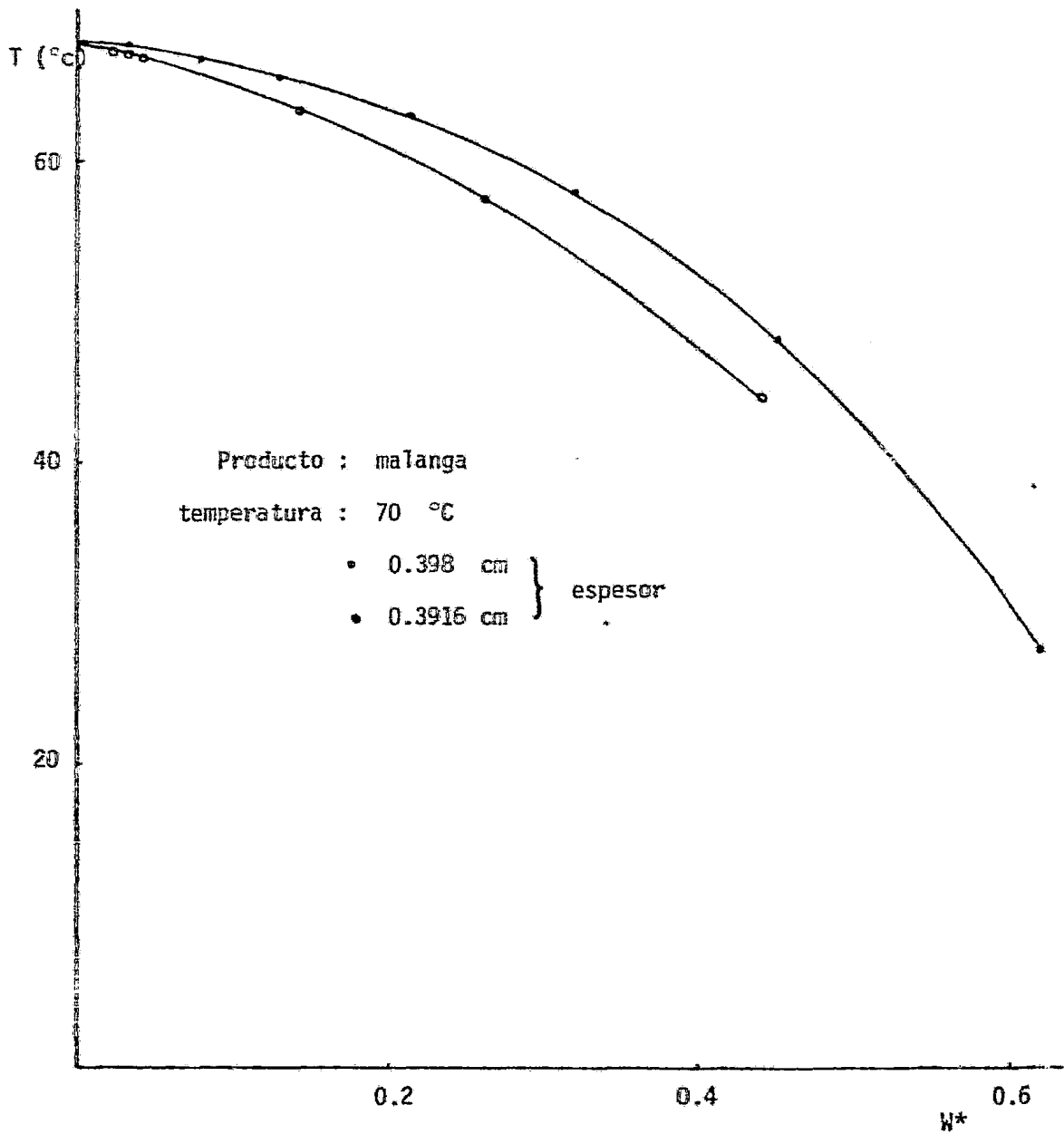


Figura 5.12. Gráfica de temperatura vs humedad reducida.

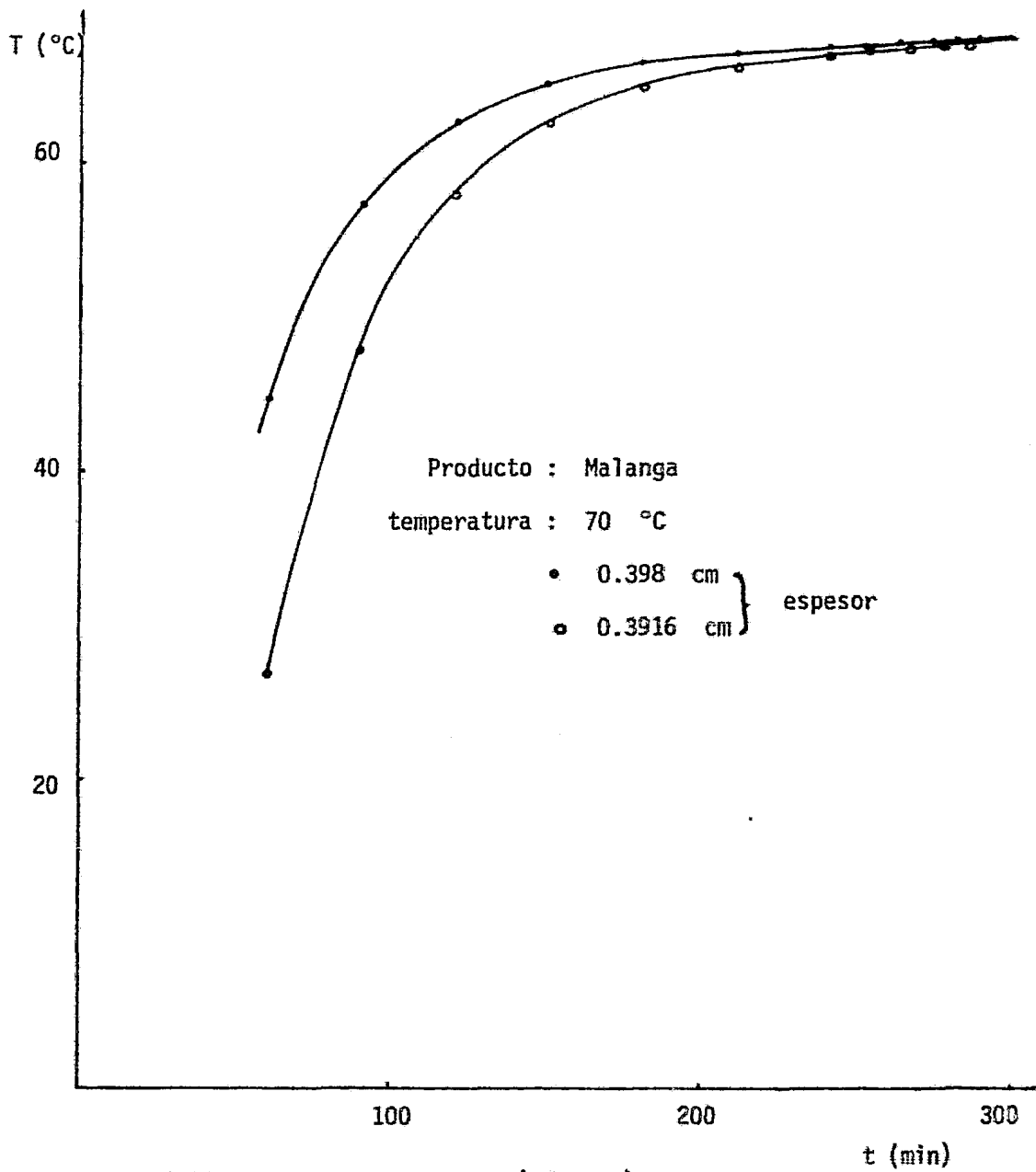


Figura 5.11. Historia térmica (T vs t).

que las resistencias a las transferencias externas de masa y calor no son consideradas.

La velocidad de calentamiento de la muestra dependerá del espesor de la rebanada. Como señala Vaccarezza (1978). Esta dependencia, aunada a las correcciones propias a la divergencia entre la geometría bajo estudio y el modelo geométrico empleado para su interpretación, modelo de una placa infinita, puede expresarse en una corrección empírica a la solución de la ecuación de Fick.

Para evaluar esta corrección empírica, se graficó el \ln de la pendiente de la relación en W^* contra t , en el intervalo $0.1 \cong W^* \cong 0.01$, contra el logaritmo natural de dos veces el espesor del producto. Esto se debe a que en este trabajo no se tiene condiciones de simetría en la deshidratación y el transporte de humedad se lleva a cabo en un sólo sentido, la dependencia con el espesor definido en la solución a la ecuación de Fick, donde se partía de una placa expuesta por ambos lados al medio ambiente, debe ser corregida en los términos antes señalados. Esta evaluación se realiza tanto para producto húmedo como para producto seco, como se muestra en las figuras 5.13 a 5.16. Este tratamiento nos permite corregir empíricamente la dependencia del coeficiente de difusión interno con el espesor y evaluar, en términos de esta corrección, la difusividad molecular a la temperatura bajo estudio.

En la tabla 5.2, presentamos tanto los coeficientes de difusión aparente, evaluado en base al espesor del producto húmedo, como los valores de los pseudocoficientes, calculados en base al espesor del producto seco. La mayoría de los autores reportan, solamente, un valor para el coeficiente de difusión sin especificar si se trata de coeficiente de difusión aparente o pseudocoficiente.

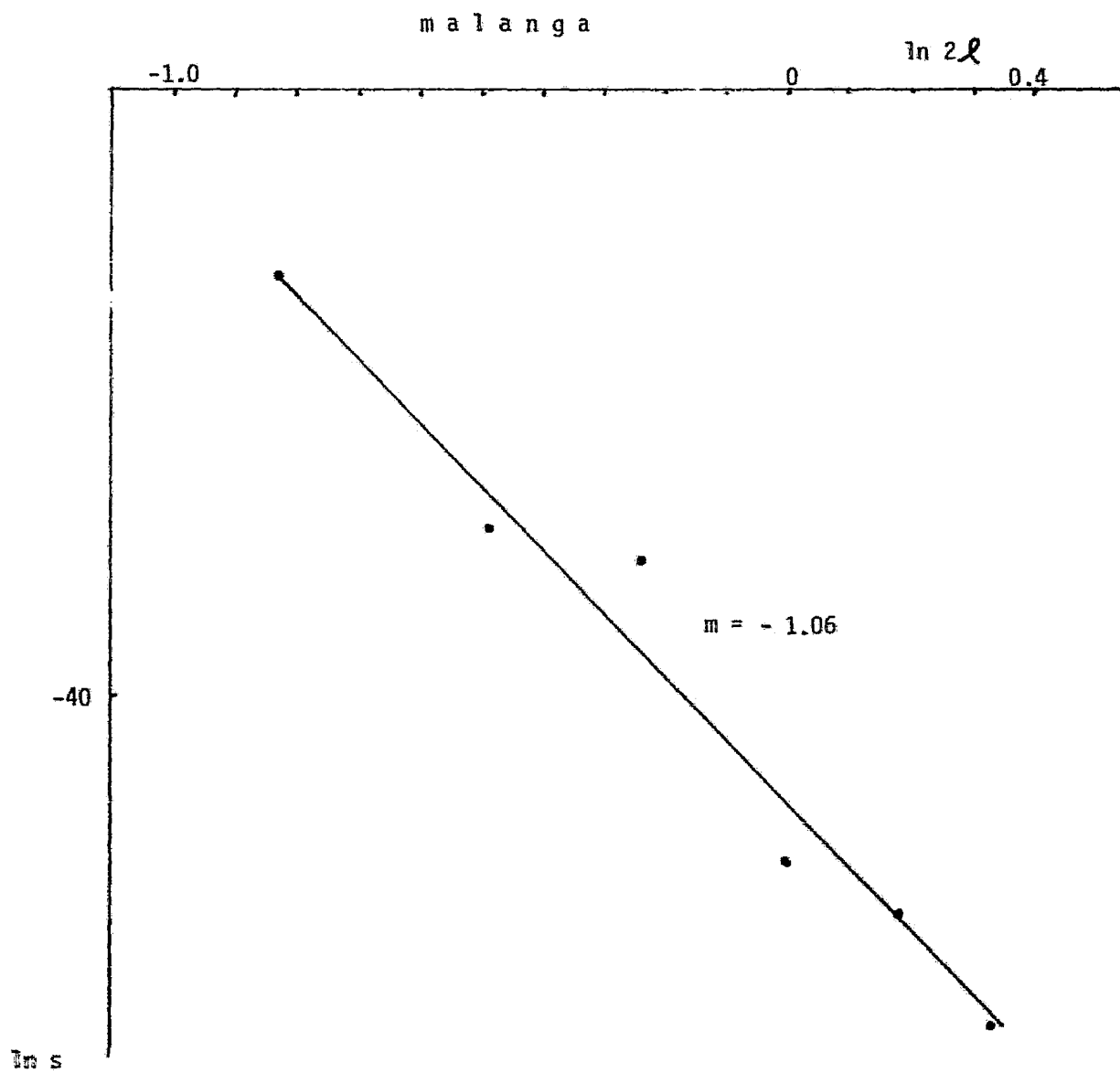


Figura 5.13. Gráfica de $\ln s$ vs $\ln 2l$. Considerando el espesor húmedo para todas las curvas de secado.

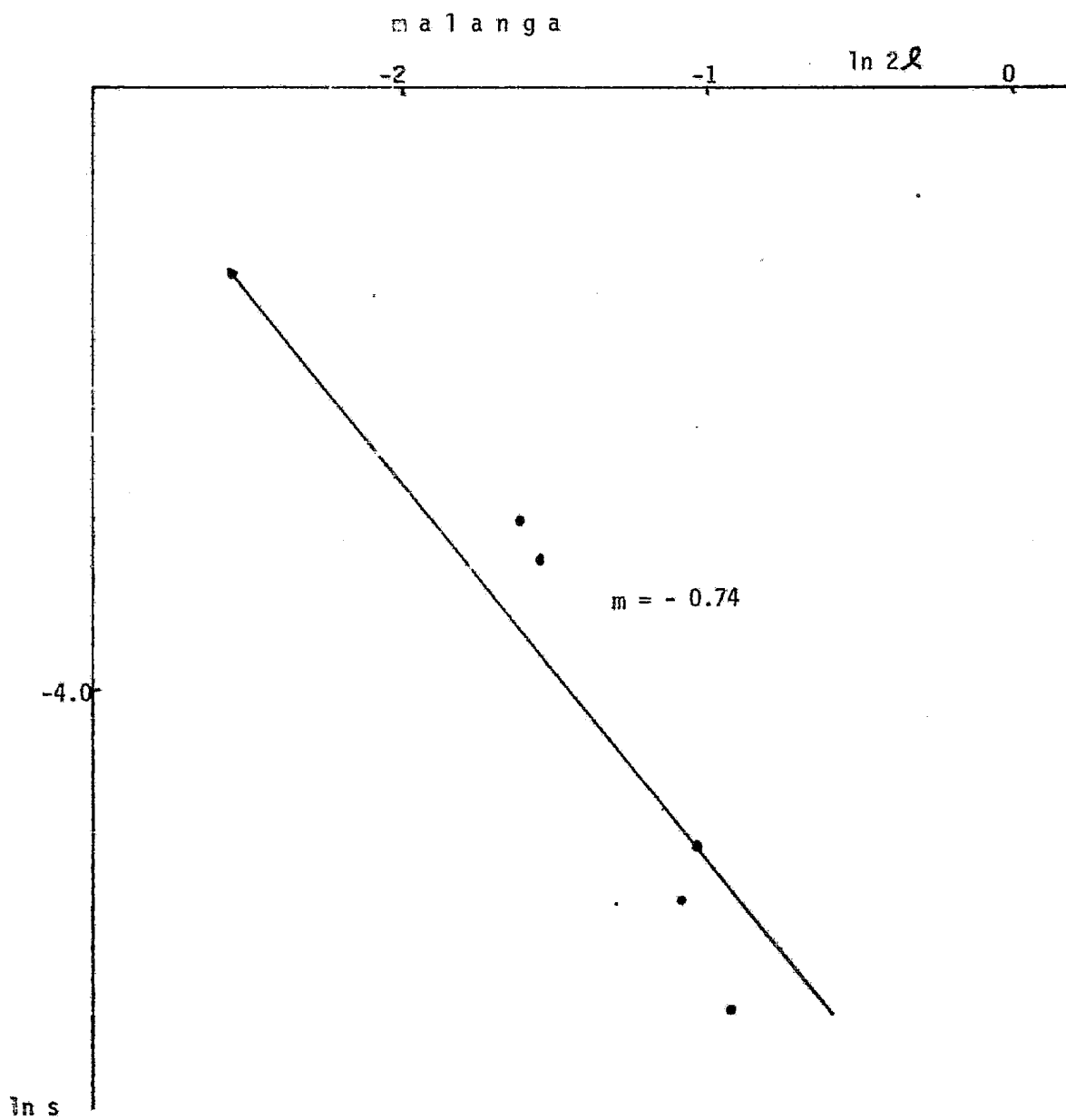


Figura 5.14. Gráfica de $\ln s$ vs $\ln 2l$. Considerando el espesor seco para todas las curvas de secado.

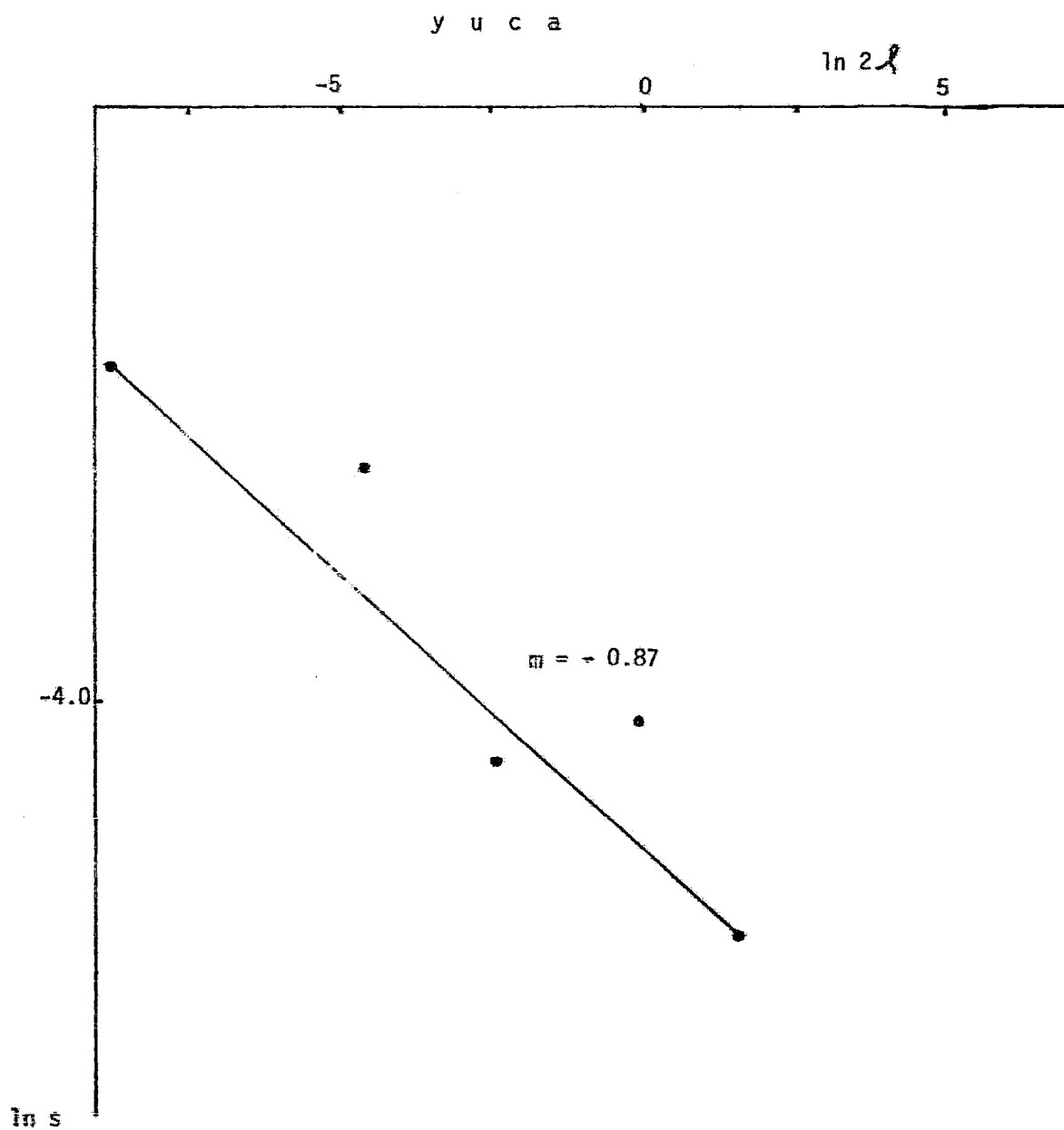


Figura 5.15. Gráfica de $\ln s$ vs $\ln 2l$. Considerando el espesor húmedo para todas las curvas de secado.

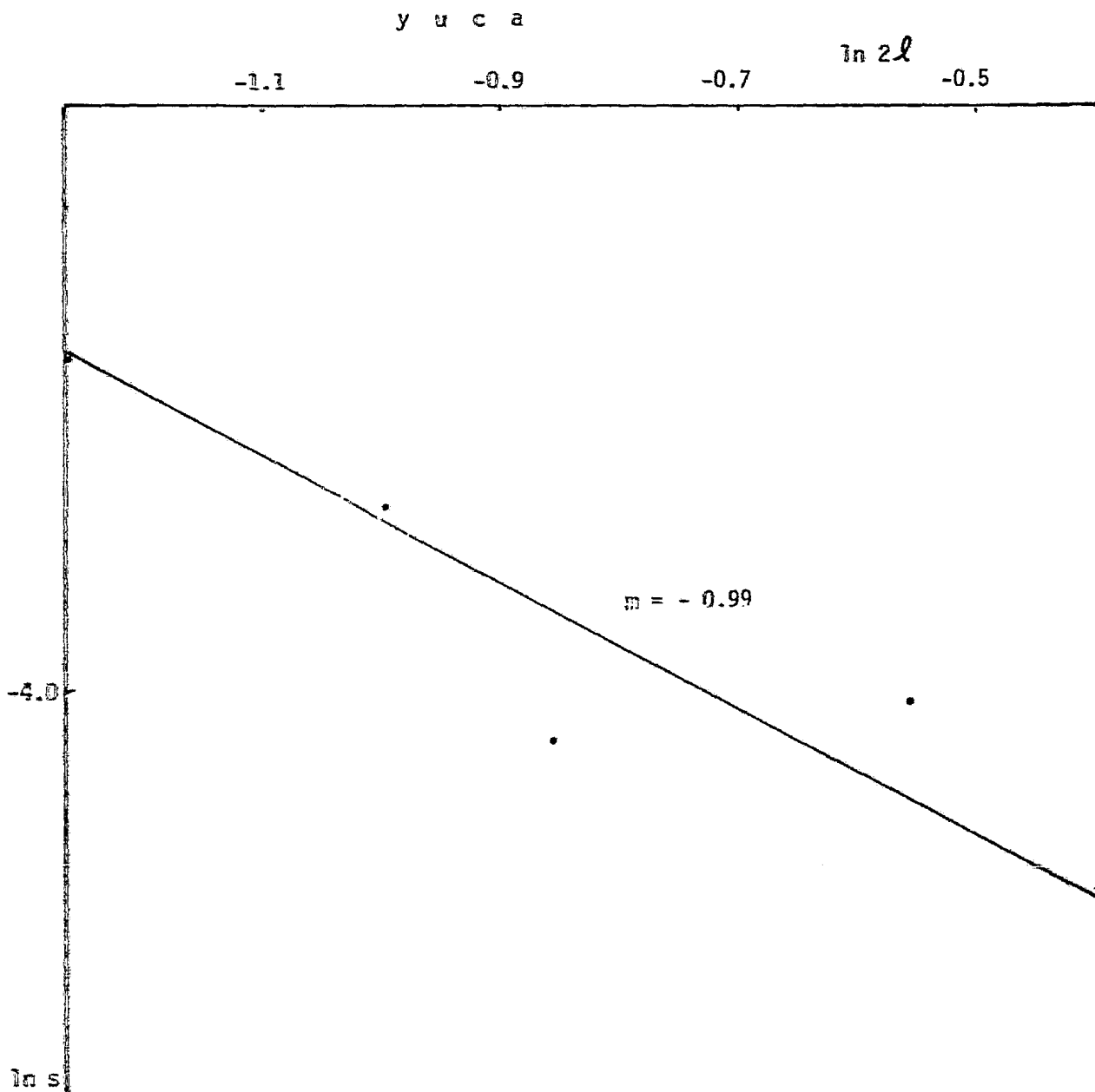


Figura 5.16. Gráfica de $\ln s$ vs $\ln 2l$. Considerando el espesor seco para todas las curvas de secado.

Y U C A		M A L A N G A		
T	D APARENTE (cm ² /seg)	PSEUDOCOEFCIENTE (cm ² /seg)	D APARENTE (cm ² /seg)	PSEUDOCOEFCIENTE (cm ² /s g)
45°C	—	—	1.80 x 10 ⁻⁵	1.04 x 10 ⁻⁵
50°C	1.93 x 10 ⁻⁵	1.08 x 10 ⁻⁵	1.85 x 10 ⁻⁵	1.10 x 10 ⁻⁵
55°C	2.22 x 10 ⁻⁵	1.17 x 10 ⁻⁵	2.54 x 10 ⁻⁵	1.35 x 10 ⁻⁵
60°C	2.27 x 10 ⁻⁵	1.18 x 10 ⁻⁵	2.96 x 10 ⁻⁵	1.18 x 10 ⁻⁵
65°C	2.28 x 10 ⁻⁵	1.6 x 10 ⁻⁵	3.92 x 10 ⁻⁵	1.95 x 10 ⁻⁵
70°C	2.80 x 10 ⁻⁵	1.77 x 10 ⁻⁵	3.35 x 10 ⁻⁵	2.40 x 10 ⁻⁵
80°C	3.32 x 10 ⁻⁵	2.70 x 10 ⁻⁵	—	—

TABLA 5.2: Valores de difusividad obtenidos en nuestro estudio para los dos tubérculos.

En el apéndice I, se esquematiza la estimación del coeficiente de transferencia de masa interno para un caso en particular.

Podemos observar que los resultados de difusión interna obtenidos en este trabajo se encuentran dentro del orden de magnitud de los valores reportados en la literatura y que fueron presentados en la Tabla 2.2.

Ahora bien, en el caso particular del tapioca, los coeficientes de difusión interna reportados por Chirife (1970): 1×10^{-6} cm²/seg, son menores a los determinados en este estudio. Este autor concluye que estos valores explican la primera parte del primer período de secado decreciente. Chirife, no reporta algunas propiedades -- que hubieran ayudado en el análisis que intentamos en este capítulo como son: el con-

tenido inicial de humedad, tratamientos previos y nivel de madurez del producto. Por otra parte, este autor determina la difusividad en el intervalo de humedades reducidas entre 1.0 y 0.1 que equivale a contenidos de humedad entre 80 y 35%. Es obvio - que el producto, en estas condiciones, no ha alcanzado todavía los niveles de secado comercial deseados. Valores del coeficiente de difusión correspondientes a contenidos de humedad relativa menores a 0.1, no fueron estimados por este autor,

Interesado en estimar la difusividad a bajos contenidos de humedad, Fish (1957) evalúa los coeficientes de difusión internos para niveles de humedad inicial entre 30 y 140% en base seca, observando una alta dependencia del coeficiente de difusión aparente con el contenido inicial de humedad.

Sumado a esto, podemos comentar que, el grado de gelatinización de los gránulos de almidón, producto del escaldado, afectaron el valor de este coeficiente. Un mayor grado de gelatinización se traducirá en una mayor dificultad en cuanto a la remoción de agua en el producto con la consiguiente disminución en el coeficiente de difusividad. Esta dependencia estaría sujeta a una verificación experimental para su cuantificación. En este sentido cabría esperar que los coeficiente de difusión experimentales para la yuca fueran superiores a los obtenidos para malanga, sin embargo, - este no fué el caso en nuestro estudio como se observa en la Tabla 5.2 . El mayor contenido de humedad inicial de la malanga 65-73%, en relación al de yuca 59-66%, podría enmascarar este efecto, debido a la influencia del contenido de humedad inicial en la difusividad aparente.

Para explicar el mecanismo de transferencia de masa interna, se estudiaron - diferentes relaciones entre el coeficiente experimental obtenido y la temperatura como se indica en la Tabla 5.3.

PRODUCTO	MECANISMO	RELACION	COEFICIENTE DE CORRELACION.
MALANGA	Difusión molecular líquida.	$\ln D$ vs $1/T$	0.9827
	Difusión gas.	D vs $1/T^2$	0.9818
	Difusión por capilaridad	D vs $1/T^{1/2}$	0.9817
	Flujo Knudsen.	D vs $1/T^{3/2}$	0.9822
YUCA	Difusión molecular líquida.	$\ln D$ vs $1/T$	0.9682
	Difusión gas.	D vs $1/T^2$	0.9502
	Difusión por capilaridad	D vs $1/T^{1/2}$	0.9548
	Flujo Knudsen	D vs $1/T^{3/2}$	0.9518

TABLA 5.3. Tipos de mecanismos de transferencia y la relación obtenida.

Como se puede observar, no hay una evidencia experimental que nos permita concluir sobre el mecanismo preciso mediante el cual tiene lugar la difusión. Sin embargo, nuestros datos no anulan la hipótesis de que el mecanismo sea difusión molecular de líquido, como reportan otros autores (Chirife, 1971; Vaccarezza et al. 1974).

El modelo de Arrhenius fué empleado para explicar la dependencia del coeficiente de difusión con la temperatura. Esta dependencia se muestra en la figura 5.17 a 5.18.

En la Tabla 2.2, se presentan los resultados de energía de activación obtenidos por diferentes autores para algunos productos almidonáceos y en la Tabla 5.4, se-

Figura 5.17. Gráfica de $\ln D$ vs $1/T$ (Relación de Arrhenius). Considerando el espesor húmedo de las curvas de de secado. m a ï a n g a

$1/T \times 10^{-3} \text{ (}^\circ\text{K)}$

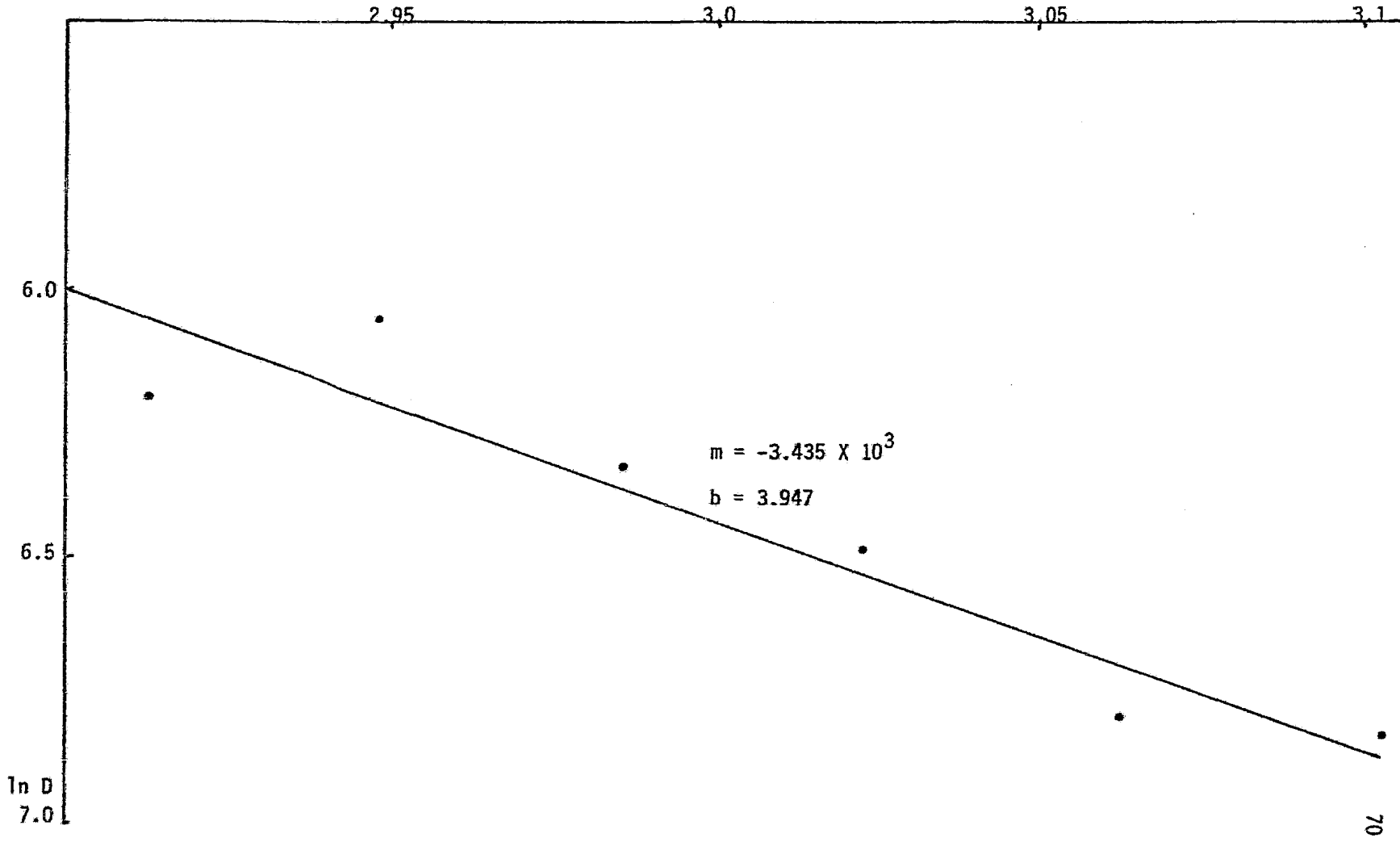
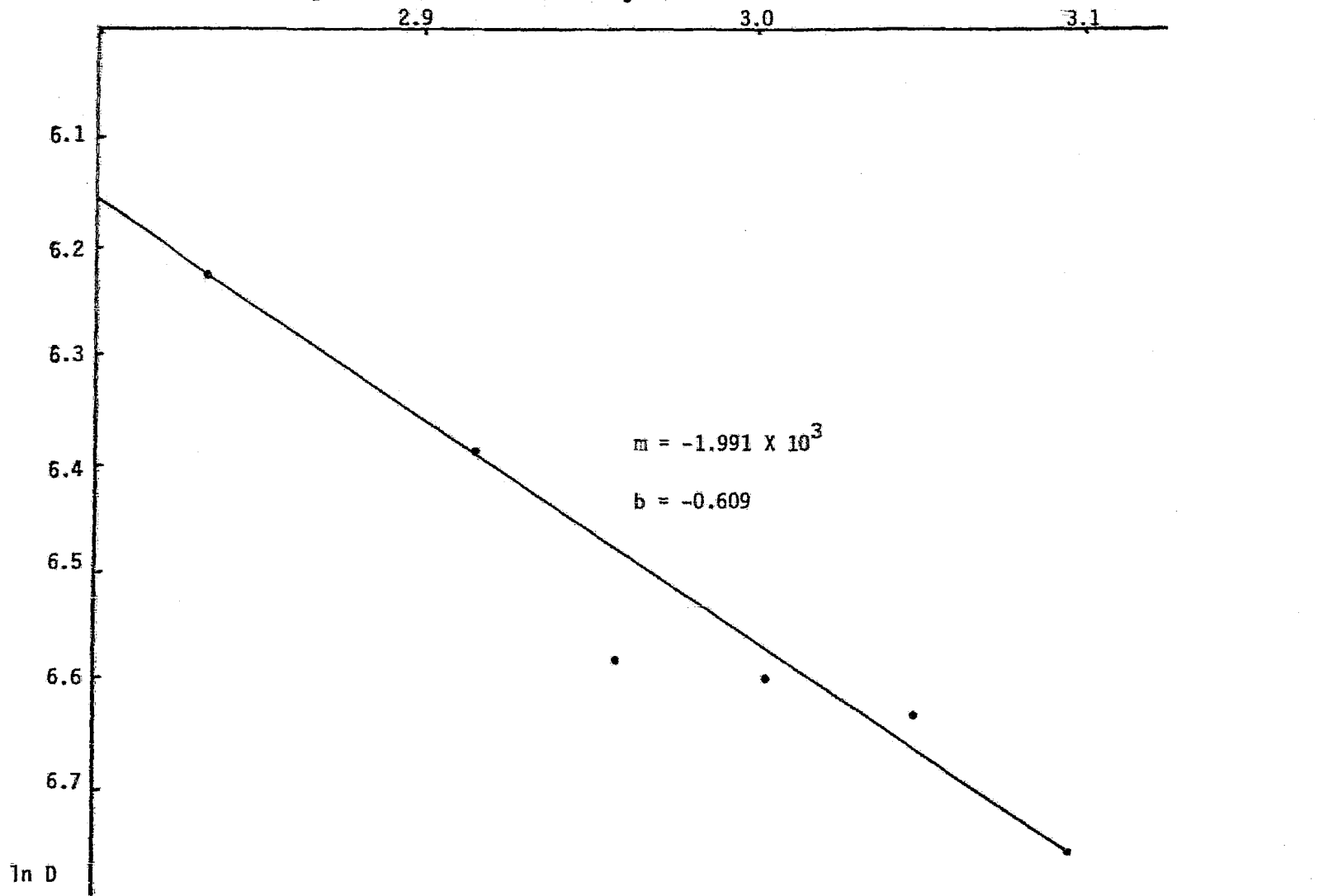


Figura 5.18. Gráfica del $\ln D$ vs $1/T$ (Relación de Arrhenius). Considerando el espesor húmedo de las curvas de secado. y u c a.



muestra la energía de activación evaluada en este estudio para ambos productos.

PRODUCTO		ENERGIA DE ACTIVACION (cal/mol)
MALANGA	Húmeda	6,183
	Seca	6,327.8
YUCA	Húmeda	3,583.8
	Seca	1,251.66

TABLA 5.4. Energía de activación evaluada en yuca y malanga.

Se puede observar que los valores de energía de activación calculados en nuestro estudio para yuca y malanga, están dentro del rango reportado en la literatura.

Cabe mencionar en este punto la posible dependencia de la energía de activación con el grado de gelatinización. Pareciera que a mayor tiempo de escaldado le corresponde un mayor valor de energía de activación; esto podría significar que se necesita una mayor cantidad de energía para el transporte en un producto gelatinizado parcial o totalmente. Una vez más, podemos señalar, que esta dependencia debe ser analizada con mayor profundidad y que en nuestro caso se vislumbra un valor de energía de activación más alto en el caso del producto con mayor tiempo de escaldado, y por lo tanto una mayor dependencia con el aumento de temperatura.

Finalmente, los datos experimentales obtenidos pueden ser simulados, en función de la solución a la ecuación de Fick, si se traduce la historia térmica en función al coeficiente de difusión interno. El modelamiento matemático, de nuestros resultados experimentales se muestran en las Figuras Nos. 5.19 a 5.22, los resultados para la construcción de estas gráficas se encuentran recopilados en el apéndice E y -

m a l a n g a

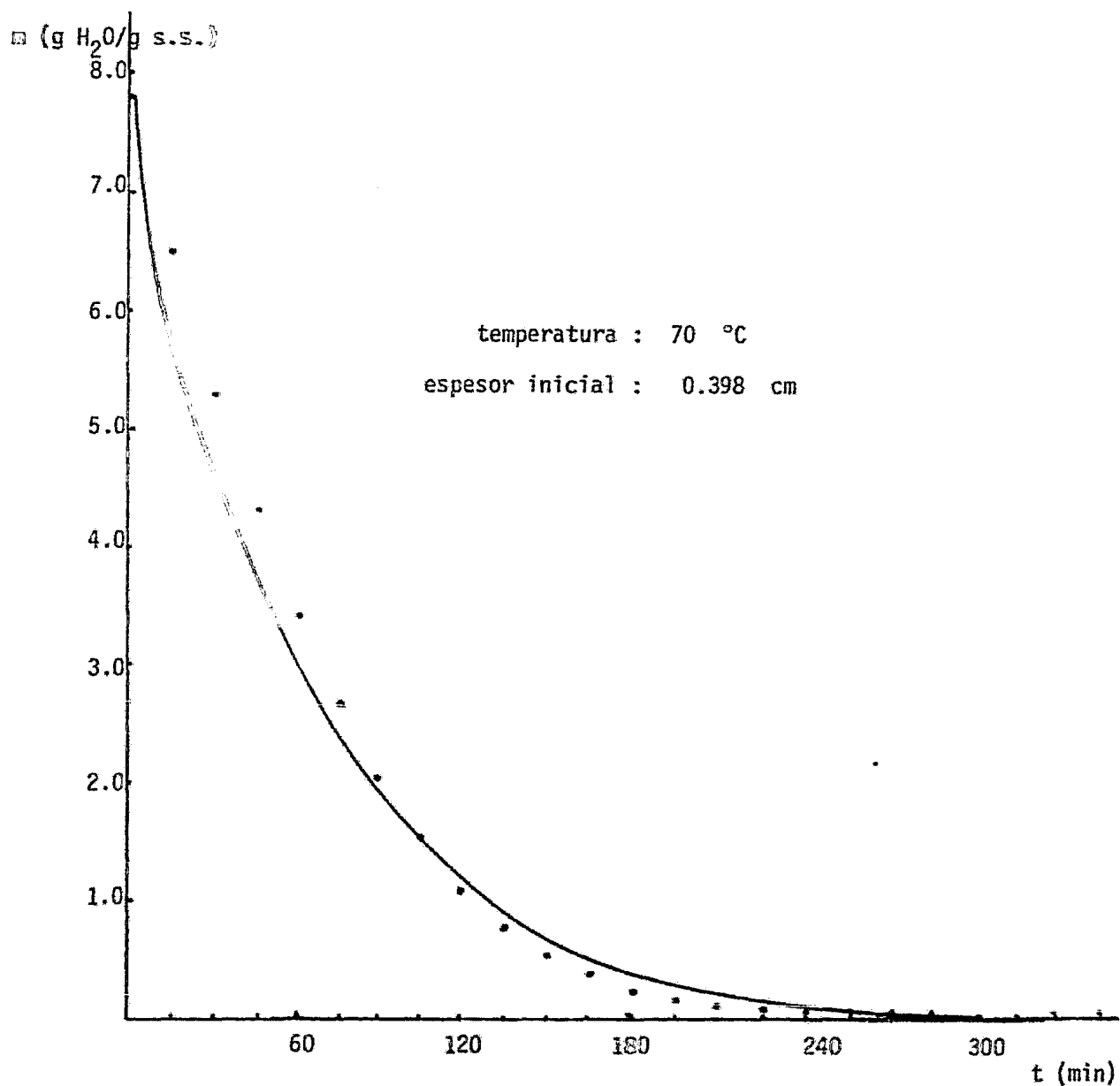


Figura 5.19. Gráfica m vs t. ● experimental
— modelada

m a l a n g a

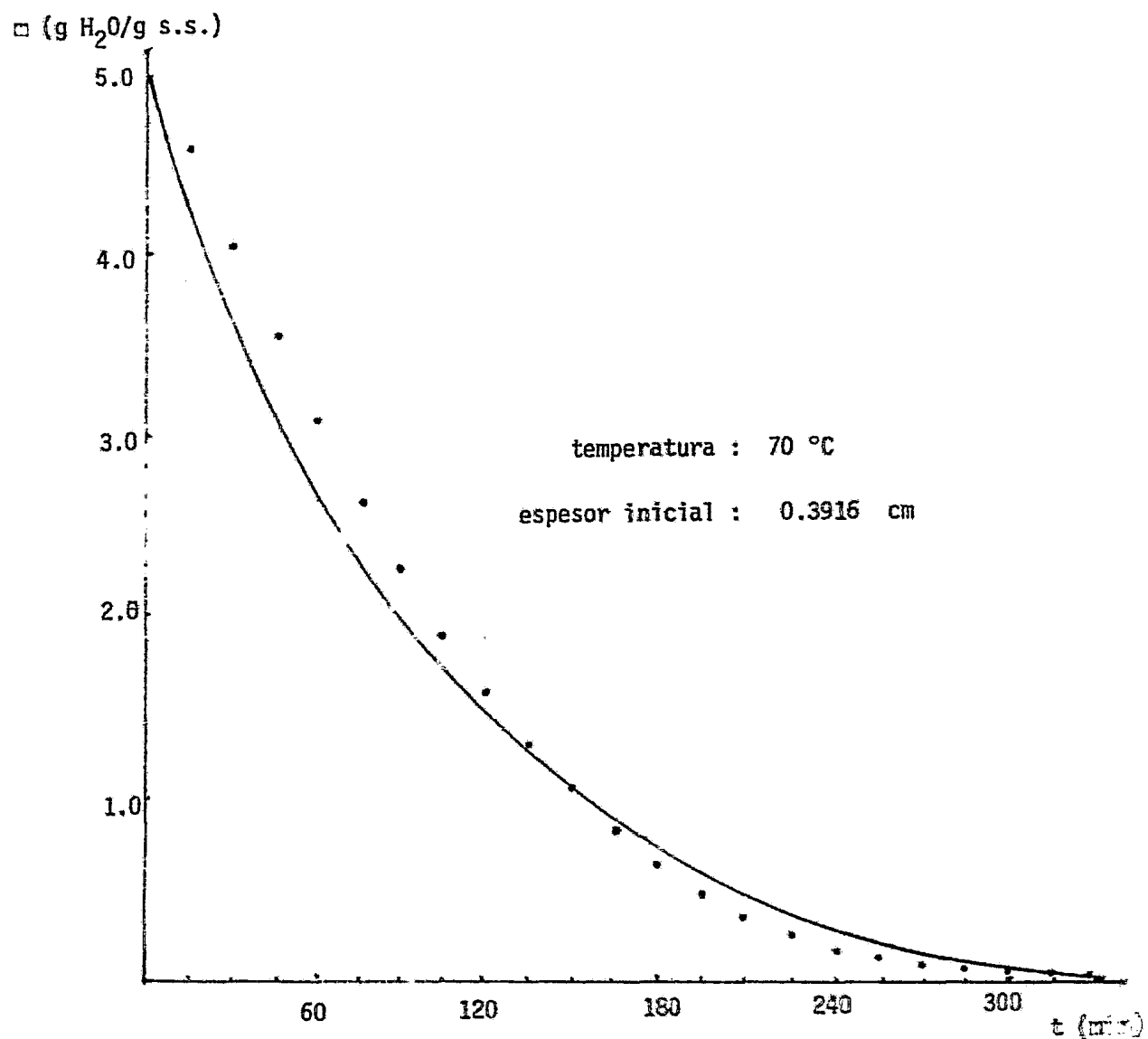


Figura 5.20. Gráfica m vs t .
● experimental
— modelada

y u c a

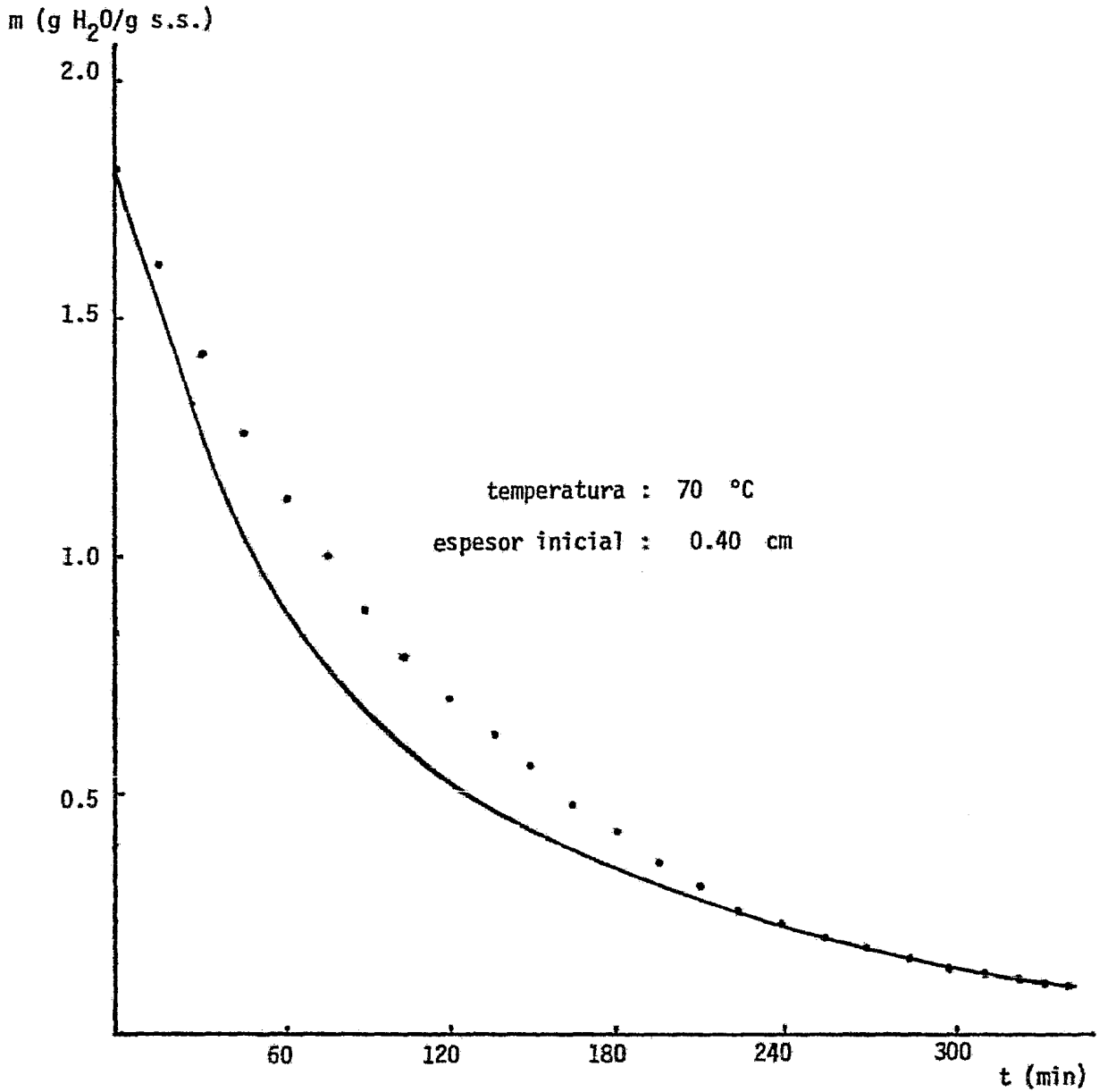


Figura 5.21. Gráfica m vs t. • experimental

— modelada

y u c a

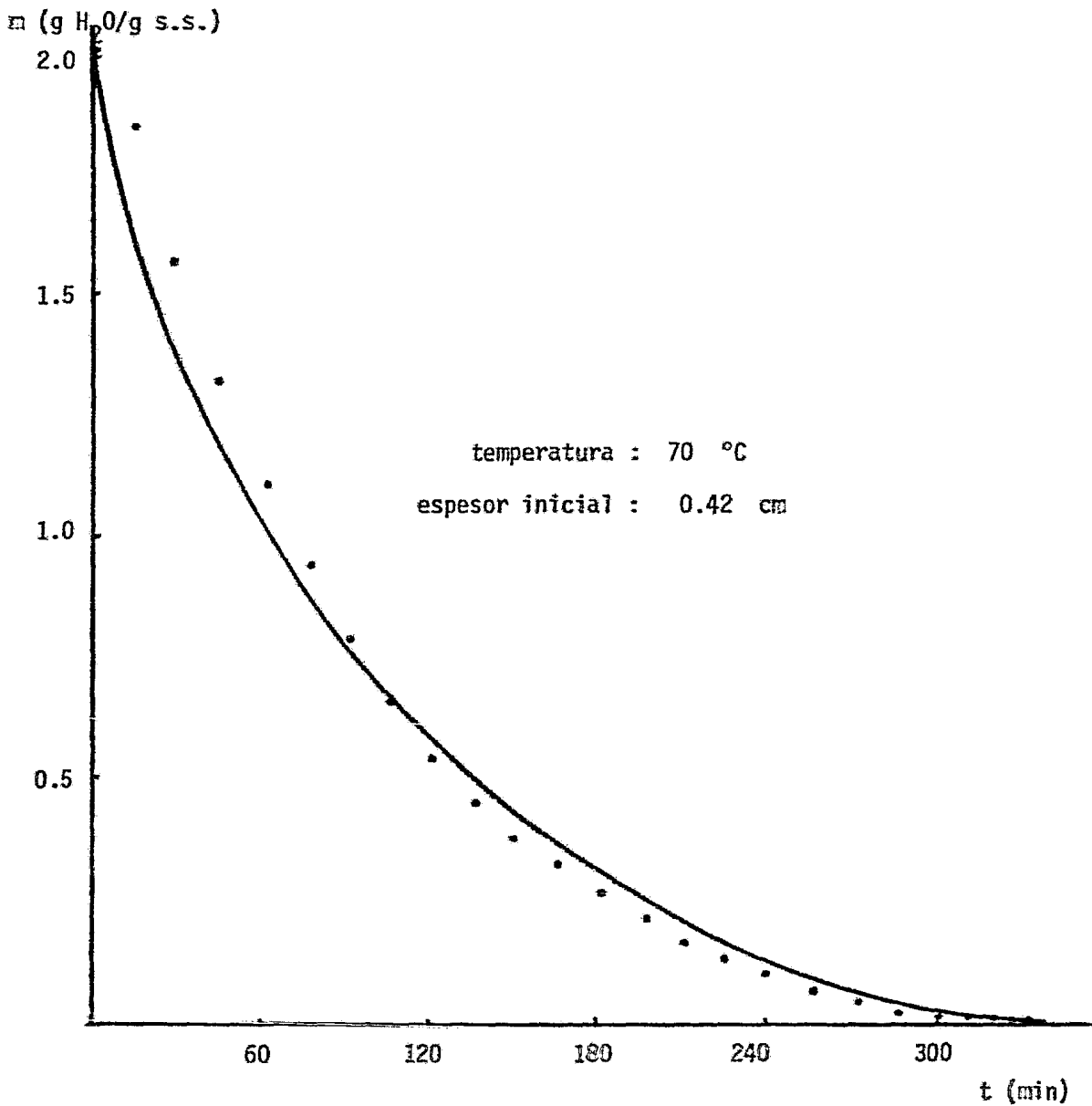


Figura 5.22. Gráfica m vs t. • experimental

— modelada

en el apéndice J se ilustra su cálculo en forma general.

Es importante hacer notar, la gran dificultad en la evaluación de la historia térmica debido a que el área de exposición varía constantemente durante la deshidratación, y en consecuencia la temperatura a un tiempo dado, es difícil de evaluar-- con certeza.

6. CONCLUSIONES.

A continuación presentamos las conclusiones alcanzadas en el estudio realizado sobre la cinética de deshidratación de yuca y malanga. Para una más fácil lectura y mejor comprensión hemos decidido partir de una enumeración de los diferentes aspectos del proyecto.

i) Acerca de los tratamientos previos...

Ambos tubérculos necesitan ser escaldados para evitar oscurecimiento enzimático de las muestras durante la operación de secado. Este tratamiento elimina además las trazas de ácido cianhídrico que pudieran estar presentes en el producto.

Aunado al tratamiento anterior, si se desea evitar el oscurecimiento no enzimático, las muestras deben ser inmersas en una solución de bisulfito de sodio.

ii) Acerca de las isoterms de desorción...

Las isoterms de desorción de yuca y malanga tienen un comportamiento que puede ser explicado por el modelo de Henderson, $1-a = \exp - (Km^n)$. En base a estas isoterms, los contenidos de humedad en la monocapa y las superficies especificadas fueron estimadas para ambos productos y los valores se comparan favorablemente con los reportados en la literatura.

Mediante la ecuación de Clausius - Clapeyron se encontró que el calor de desorción aumenta exponencialmente con la disminución en el contenido de humedad. Este incremento fue más pronunciado en el caso de malanga debido al mayor grado de gelatinización de la muestra, y por lo tanto, la mayor cantidad de agua de enlace en este tubérculo.

iii) Acerca de la construcción del equipo de secado...

La cinética de deshidratación de un alimento puede ser estudiada en el equipo de laboratorio construido para la realización de este proyecto. A pesar de las bajas velocidades empleadas, el número de determinaciones experimentales permite plantear un análisis matemático que explique el comportamiento de la curva de secado y a partir de este análisis es posible determinar el mecanismo de transporte interno y el valor del coeficiente interno de transferencia de masa.

iv) Acerca de la cinética de secado...

La deshidratación de yuca y malanga no presenta un período de secado constante y el fenómeno puede ser interpretado a partir de un sólo período de secado decreciente, representado por un coeficiente de difusión aparente entre los contenidos de humedad inicial y final de las muestras.

La magnitud del coeficiente externo de transferencia de masa permite considerar que el transporte de masa, en los casos bajo estudio, está controlada por la resistencia interna a la transferencia.

Por otra parte la magnitud del coeficiente externo de transferencia de calor es tal que el alimento está sujeto a un período de transferencia de calor en estado transiente antes de alcanzar la temperatura del medio de secado. Dicha historia térmica; dada la relación entre la conductividad térmica del material y el coeficiente externo de transferencia de calor, está gobernada por el transporte externo de calor.

En este marco, el coeficiente de difusión aparente fue evaluado en el intervalo de humedades reducidas entre 0.1 y 0.01, mediante la solución a la ecuación Fick, corregida empíricamente en términos de su dependencia con el espesor de la muestra. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportados en la literatura para otros productos almidonáceos.

La dependencia de los coeficientes de difusión con la temperatura puede ser-

explicado por el modelo de Arrhenius, por lo que se concluyó que el mecanismo de ---- transporte es difusión molecular de líquido. Los valores de energía de activación -- calculados se encuentran dentro del orden de magnitud de los reportados en la literatura.

v) Acerca del trabajo futuro...

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren, que se profundice en el - análisis del efecto del contenido de humedad inicial y el grado de gelatinización en el coeficiente interno de transporte y su dependencia con la temperatura.

explicado por el modelo de Arrhenius, por lo que se concluyó que el mecanismo de ---- transporte es difusión molecular de líquido. Los valores de energía de activación -- calculados se encuentran dentro del orden de magnitud de los reportados en la literatura.

v) Acerca del trabajo futuro...

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren, que se profundize en el - análisis del efecto del contenido de humedad inicial y el grado de gelatinización en- el coeficiente interno de transporte y su dependencia con la temperatura.

APENDICE A.

YUCA	Superficie Cosechada (Ha)			Rendimiento (Ton/Ha)			Producción (Ton)		
	Temporada	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal	Total	Riego	Temporal
Año Agrícola	30	2464	2494	5167	15698	15572	155	38681	38836
Campeche	-	40	40	-	10000	10000	-	400	400
Chiapas	-	1000	1000	-	18000	18000	-	18000	18000
Guerrero	5	-	5	11000	-	11000	55	-	55
Morelos	25	-	25	4000	-	4000	100	-	100
Tabasco	-	1300	1300	-	15000	5000	-	19500	19500
Veracruz	-	124	124	-	6298	6298	-	781	781
Otoño-invierno	30	1000	1030	5167	15000	14714	155	15000	15155
Guerrero	5	-	5	11000	-	11000	55	-	55
Morelos	25	-	25	4000	-	4000	100	-	100
Tabasco	-	1000	1000	-	15000	15000	-	15000	15000
Primavera-Verano	-	1464	1464	-	16175	16175	-	23681	23681
Campeche	-	40	40	-	10000	10000	-	400	400
Chiapas	-	1000	1000	-	18000	18000	-	18000	18000
Tabasco	-	300	300	-	15000	15000	-	4500	4500
Veracruz	-	124	124	-	6298	6298	-	781	781

Fuente: Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos, año 1978 (En miles de toneladas).

Apéndice B.

Caracterización de Malanga:

LOTE (FECHA)	GLUCOSIDOS CIANOGENICOS (% HCN)	AZUCARES REDUCTORES (mg/100g.muestra s)	ALMIDON (% base seca)
1 (15 -II-82)	-	102.27	60.79
2 (20-IV-82)	-	69.76	64.38
3 (21-V-82)	-	80.77	65.22
3 (15-VI-82)	-	109.86	63.56
4 (16-VI-82)	-	77.29	61.07
4 (1-VII-82)	-	95.27	58.39

Caracterización de yuca:

LÔTE (FECHA)	GLUCOSIDOS CIANOGENICOS (% HCN)	AZUCARES REDUCTORES (mg/100g.muestra s)	ALMIDON (% base seca)
1 (19-VII-82)	0.159	109.83	61.08
2 (17-VIII-82)	0.168	102.36	81.46
2 (27-VIII-82)	0.173	144.99	70.56

Apéndice B.

Caracterización de Malanga:

LOTE (FECHA)	GLUCOSIDOS CIANOGENICOS (% HCN)	AZUCARES REDUCTORES (mg/100g muestra s)	ALMIDON (% base seca)
1 (15 -II-82)	-	102.27	60.79
2 (20-IV-82)	-	69.76	64.38
3 (21-V-82)	-	80.77	65.22
3 (15-VI-82)	-	109.86	63.56
4 (16-VI-82)	-	77.29	61.07
4 (1-VII-82)	-	95.27	58.39

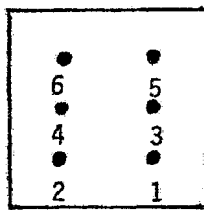
Caracterización de yuca:

LÔTE (FECHA)	GLUCOSIDOS CIANOGENICOS (% HCN)	AZUCARES REDUCTORES (mg/100g muestra s)	ALMIDON (% base seca)
1 (19-VII-82)	0.159	109.83	61.08
2 (17-VIII-82)	0.168	102.36	81.46
2 (27-VIII-82)	0.173	144.99	70.56

APENDICE C .

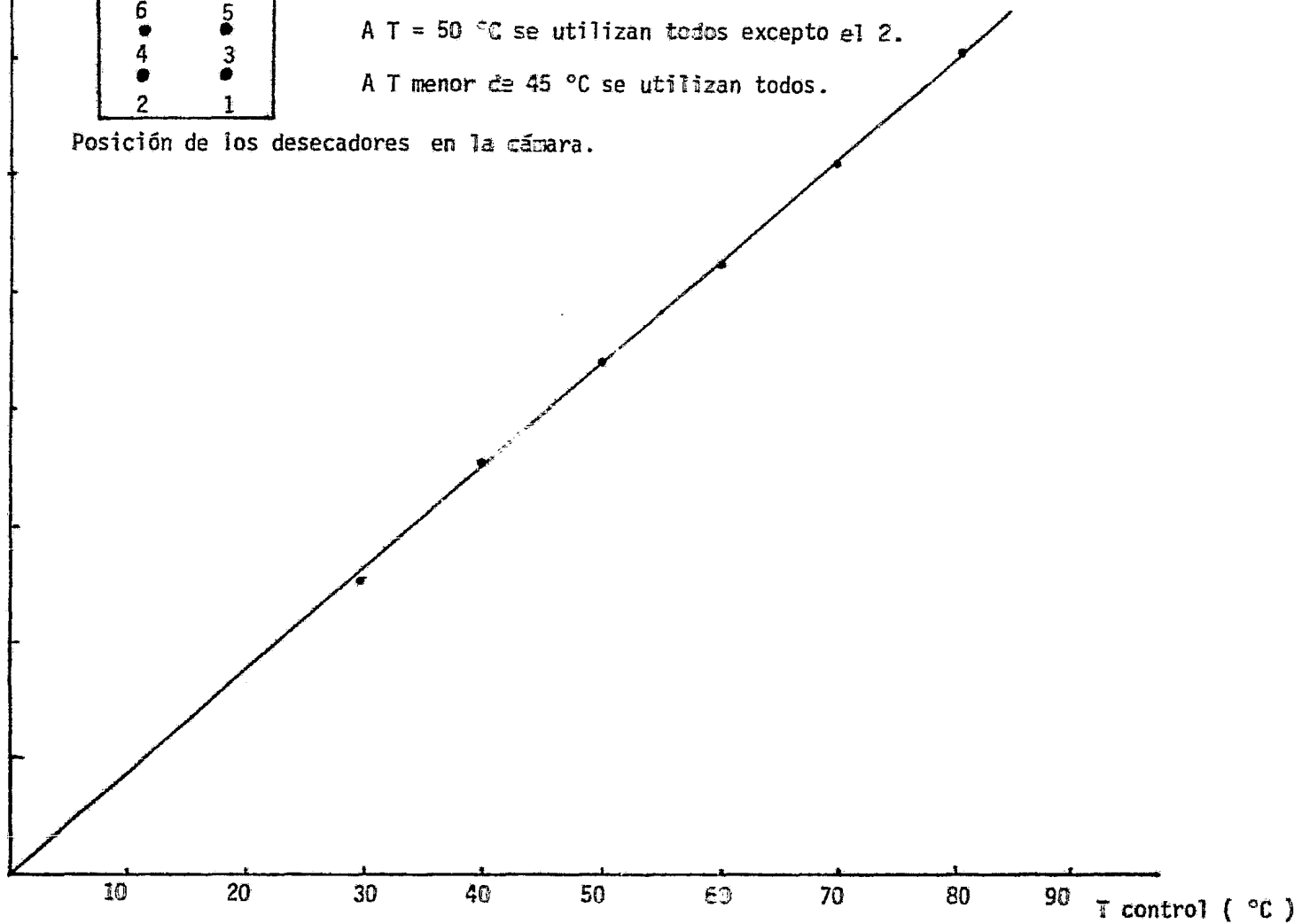
T real (°C)

80
70
60
50
40
30
20
10

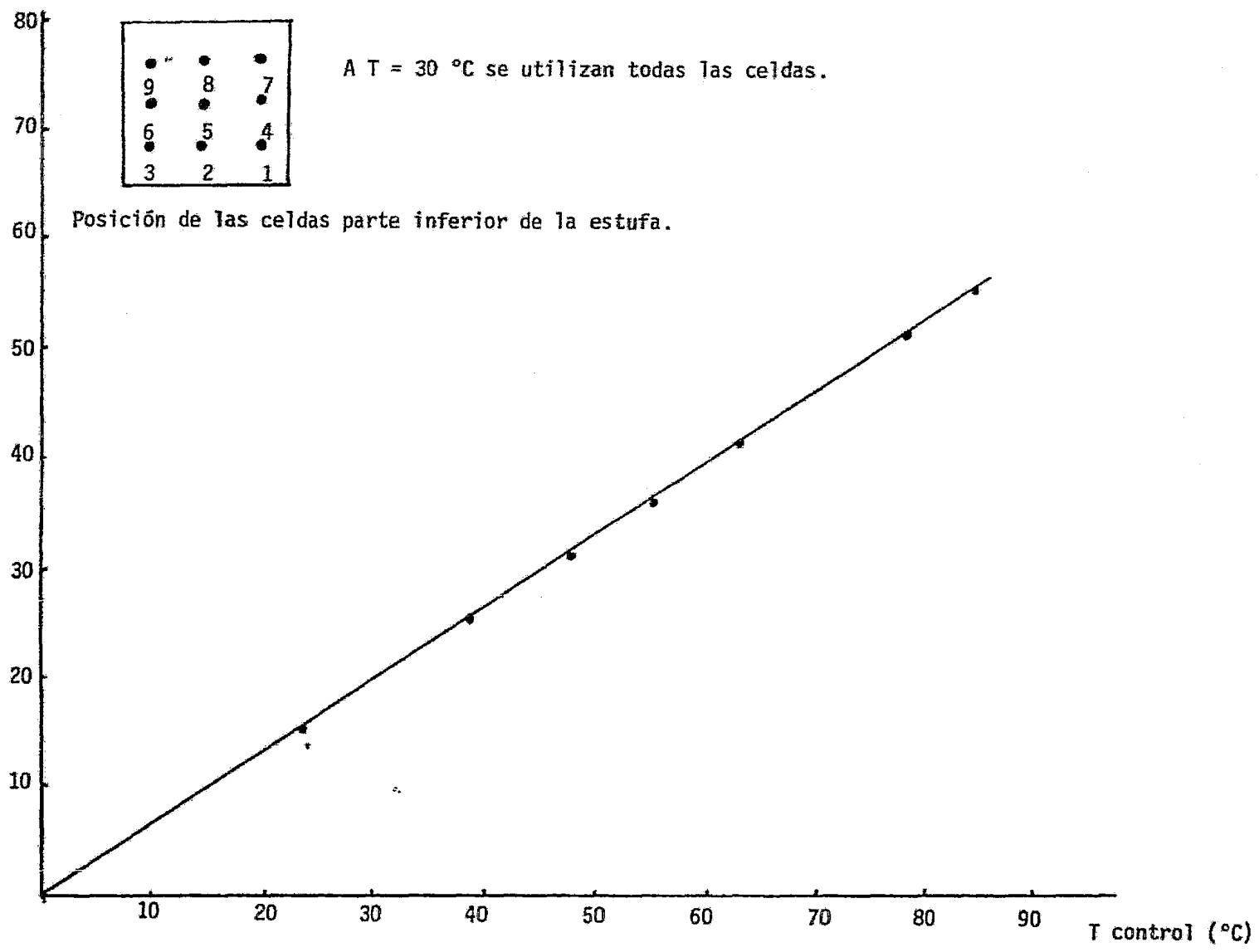


A T = 60 °C se utilizan todos excepto 1 y 2.
A T = 50 °C se utilizan todos excepto el 2.
A T menor de 45 °C se utilizan todos.

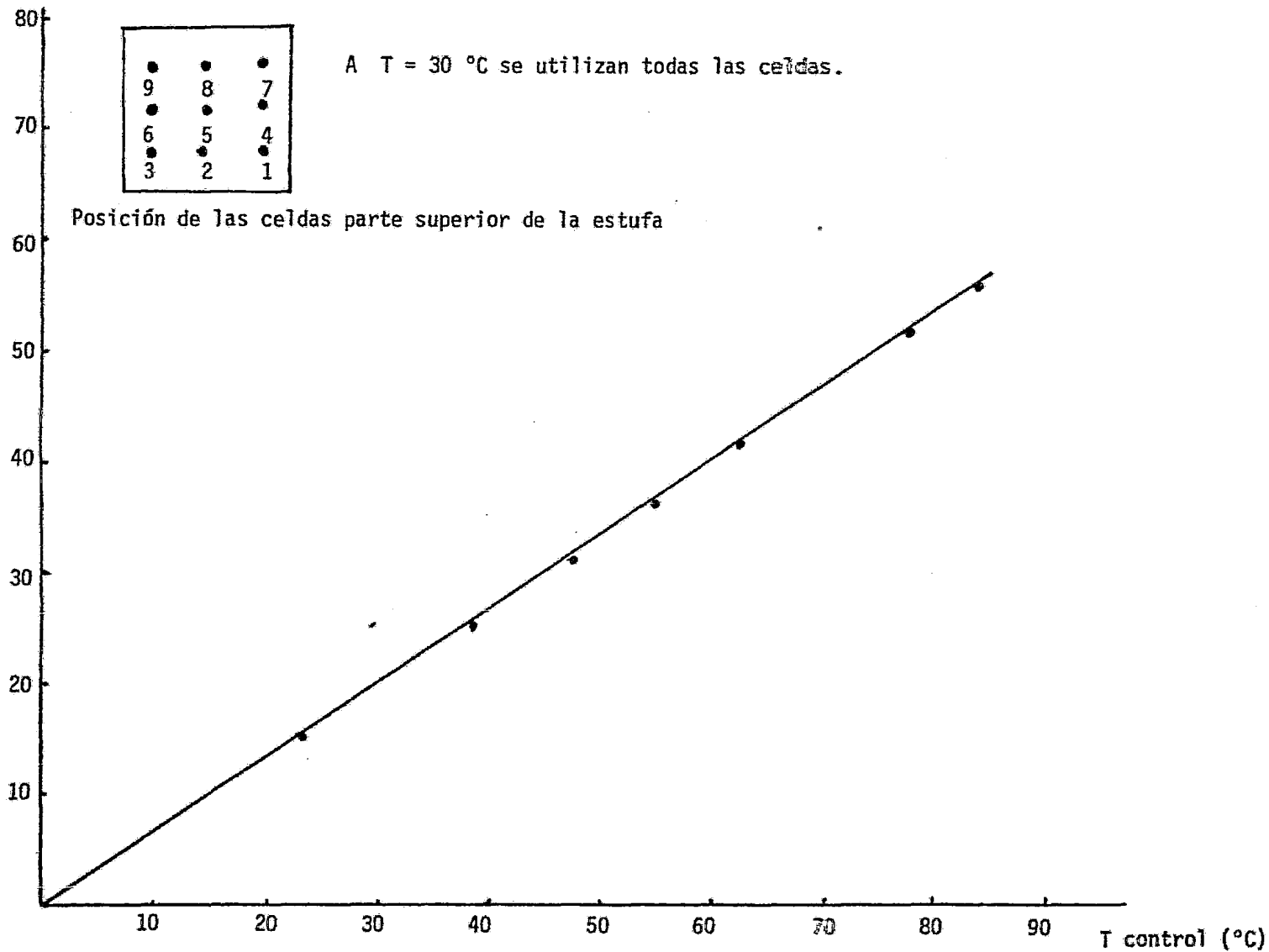
Posición de los desecadores en la cámara.



T real (°C)



T real (°C)



APENDICE D.

ISOTERMAS PARA MALANGA

Solución Salina	30°C		40°C		49°C	
	H.R.(%)	m.e.	H.R.(%)	m.e.	H.R.(%)	m.e.
LiCl	11.9530	0.0454	11.715	0.0086	11.500	0.0041
MgCl ₂	32.7330	0.0701	32.136	0.0259	31.600	0.0083
Mg(NO ₃) ₂	52.5130	0.1004	49.769	0.0455	47.300	0.0248
NaCl	75.7070	0.1774	75.229	0.0979	74.800	0.1018
(NH ₄) ₂ SO ₄	80.1200	0.2118	79.583	0.1263	79.100	0.1183
KNO ₃	90.6270	0.3878	87.827	0.1897	85.300	0.1444
K ₂ SO ₄	96.5930	0.5555	96.175	0.5432	95.800	0.1898

ISOTERMAS PARA YUCA

Solución Salina	30°C		40°C		49°C	
	H.R.(%)	m.e.	H.R.(%)	m.e.	H.R.(%)	m.e.
LiCl	11.9530	0.0096	11.715	0.0088	11.500	0.0041
MgCl ₂	32.7330	0.0179	32.136	0.0141	31.600	0.0124
Mg(NO ₃) ₂	52.5150	0.0454	49.769	0.0325	47.300	0.0300
NaCl	75.7070	0.1265	75.229	0.0833	74.800	0.0839
KNO ₃	90.6270	0.1911	87.827	0.1975	85300	0.1348
K ₂ SO ₄	96.5930	0.4221	96.175	0.5536	95.800	0.2131

APENDICE E .

Tabla E₁

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	m calc. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^4$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	β^*	T (°C)
0	39.84	7.81	7.81				1.00	
15	33.91	6.50		7.16	7.50	8.33	0.83	
30	28.53	5.31		5.91	22.50	7.56	0.68	
45	24.01	4.31		4.81	37.50	6.32	0.55	
60	20.03	3.43	2.89	3.87	52.50	5.65	0.44	44.61
75	16.65	2.68		3.06	67.50	4.79	0.34	
90	13.80	2.05	2.03	2.37	82.50	4.02	0.26	57.56
105	11.42	1.53		1.79	97.50	3.35	0.20	
120	9.50	1.10	1.17	1.32	112.50	2.68	0.14	63.31
135	8.03	0.78		0.94	127.50	2.11	0.10	
150	6.94	0.54	0.53	0.66	142.50	1.53	0.07	65.86
165	6.18	0.37		0.45	157.50	1.05	0.05	
180	5.67	0.24	0.24	0.31	172.50	0.77	0.03	66.98
195	5.25	0.16		0.20	187.50	0.48	0.02	
210	5.00	0.11	0.11	0.15	202.50	0.38	0.01	67.49
225	4.84	0.07		0.09	217.50	0.19	0.009	
240	4.72	0.04	0.04	0.06	232.52	0.17	0.005	67.71
255	4.66	0.03		0.08	247.50	0.08	0.004	
270	4.62	0.02	0.03	0.03	262.50	0.06	0.003	67.89
285	4.58	0.013		0.02	277.50	0.06	0.001	
300	4.57	0.011	0.012	0.01	292.50	0.01	0.001	67.89
315	4.55	0.007		0.009	307.50	0.003	0.001	
330	4.53	0.002	0.001	0.005	322.50	0.003	0.00	67.89
345	4.53	0.002		0.002	337.50	0.00		

Producto: Malanga

T de trabajo: 70 °C

vel. del aire: 1.24×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.39 cm espesor final: 0.22 cm

área inicial: 104.45 cm² área final: 58.73 cm²

Tbs : 26.43 °C Tbh : 15.73 °C

h : $8.03 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{min cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$ Kc : 45.12 cm/min

Tabla E₂

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	m calc. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X 10 ⁻⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	n [*]	T (°C)
0	37.03	4.99	4.99				1.00	
15	34.56	4.59		4.79	7.50	26.42	0.92	
30	31.17	4.04		4.32	22.50	45.04	0.81	
45	28.07	3.54		3.79	37.50	40.16	0.71	
60	25.22	3.08	2.65	3.31	52.50	37.74	0.62	27.50
75	22.58	2.65		2.87	67.50	35.30	0.53	
90	20.18	2.27	2.05	2.46	82.50	31.65	0.45	48.11
105	18.01	1.92		2.09	97.50	28.00	0.38	
120	16.07	1.60	1.69	1.76	112.50	25.56	0.32	58.20
135	14.32	1.32		1.46	127.50	23.13	0.26	
150	12.80	1.07	1.57	1.20	142.50	19.48	0.21	63.15
165	11.44	0.85		0.96	157.50	18.26	0.17	
180	10.23	0.66	0.75	0.75	172.50	15.83	0.13	65.57
195	9.29	0.50		0.58	187.50	12.17	0.10	
210	8.51	0.38	0.37	0.44	202.50	10.22	0.08	66.75
225	7.85	0.27		0.32	217.50	8.64	0.05	
240	7.35	0.19	0.18	0.23	232.50	10.59	0.04	67.33
255	6.95	0.13		0.16	247.50	6.45	0.02	
270	6.69	0.08	0.09	0.10	262.50	5.23	0.016	67.89
285	6.50	0.07		0.08	277.50	3.41	0.013	
300	6.38	0.03	0.04	0.05	292.50	0.85	0.006	67.89
315	6.31	0.02		0.03	307.50	0.97	0.003	
330	6.27	0.01	0.02	0.02	322.50	0.47	0.002	67.89
345	6.22	0.007		0.01	337.50	0.61	0.001	
360	6.21	0.005	0.005	0.005	352.50	0.12	0.00	67.89
375	6.21	0.005		0.005	367.50	0.00	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 70 °C

vel. del aire: 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.39 cm

espesor final: 0.20 cm

área inicial: 82.14 cm²

área final: 52.57 cm²

T_{bs} : 24.47 °C

T_{bh} : 16.34 °C

h : 7.71×10^{-3} cal/min cm² °C

Kc : 40.86 cm/min

Tabla E₃

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dt _A x10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	\bar{w}^*
0	30.95	6.13				1.00
15	26.92	5.20	5.67	7.50	74.36	0.85
30	23.26	4.36	4.78	22.50	67.16	0.71
45	20.07	3.62	3.99	37.50	58.77	0.59
60	17.27	2.98	3.30	52.50	51.57	0.49
75	14.86	2.42	2.70	67.50	44.39	0.40
90	12.74	1.94	2.18	82.50	39.58	0.32
105	10.96	1.53	1.73	97.50	32.38	0.25
120	9.40	1.17	1.35	112.50	28.78	0.19
135	8.01	0.86	1.01	127.50	23.99	0.14
150	6.97	0.61	0.73	142.50	20.39	0.10
165	6.10	0.41	0.51	157.50	15.59	0.07
180	5.44	0.25	0.33	172.50	11.99	0.04
195	5.04	0.16	0.21	187.50	7.19	0.03
210	4.67	0.10	0.13	202.50	4.79	0.02
225	4.58	0.06	0.08	217.50	3.59	0.01
240	4.51	0.04	0.05	232.50	1.32	0.005
255	4.41	0.02	0.03	242.50	1.28	0.003
270	4.42	0.018	0.02	262.50	0.36	0.002
285	4.40	0.014	0.016	277.50	0.32	0.001
300	4.37	0.007	0.011	292.50	0.56	0.00
315	4.37	0.007	0.007	307.50	0.00	

Producto: Malarga

T de trabajo: 65 °C

vel. del aire: 1.24 X 10⁻³ m/seg

espesor inicial: 0.41 cm

espesor final: 0.10 cm

área inicial: 83.34 cm²

área final: 46.68 cm²

T_{bs} : 25.38 °C

T_{bh} : 15.21 °C

h : 1.12 X 10⁻² cal/min cm² °C

Kc : 58.38 cm/m²n

Tabla E₄

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X10 ⁻⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	*
0	31.36	4.15				1.00
15	28.91	3.75	3.95	7.50	37.09	0.90
30	26.43	3.34	3.55	22.50	37.09	0.80
45	24.18	2.97	3.16	37.50	34.34	0.71
60	22.12	2.64	2.81	52.50	31.59	0.63
75	20.20	2.32	2.48	67.50	28.85	0.55
90	18.46	2.03	2.18	82.50	26.10	0.48
105	16.90	1.78	1.91	97.50	23.35	0.42
120	15.43	1.54	1.66	112.50	21.98	0.36
135	14.15	1.33	1.43	127.50	19.23	0.31
150	12.96	1.13	1.23	142.50	17.86	0.26
165	11.87	0.95	1.04	157.50	16.48	0.22
180	10.88	0.79	0.87	172.50	15.11	0.18
195	9.97	0.64	0.71	187.50	13.74	0.14
210	9.13	0.50	0.57	202.50	12.64	0.11
225	8.48	0.39	0.45	217.50	9.75	0.08
240	7.97	0.31	0.35	232.50	7.69	0.06
255	7.46	0.23	0.27	247.50	7.69	0.04
270	7.09	0.17	0.20	262.50	5.63	0.02
285	6.82	0.12	0.14	277.50	3.98	0.01
300	6.72	0.10	0.11	292.50	1.51	0.009
315	6.64	0.09	0.10	307.50	1.24	0.006
330	6.60	0.085	0.09	322.50	0.55	0.004
345	6.57	0.080	0.08	337.50	0.41	0.003
360	6.54	0.075	0.078	352.50	0.41	0.002
375	6.52	0.070	0.074	367.50	0.27	0.001
390	6.50	0.068	0.070	382.50	0.27	0.00
405	6.50	0.068	0.068	397.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 65 °C

vel. del aire: 1,069 X 10⁻³ m/seg

espesor inicial: 0.39 cm

espesor final: 0.20 cm

área inicial: 72.80 cm²

área final: 44.84 cm²

Tbs : 24.20 °C

Tbh : 16.29 °C

h : 1.10 X 10⁻² cal/min cm²°C

Kc : 57.42 cm/min

Tabla E₅

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X 10 ⁴ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	W*
0	23.96	6.59				1.00
15	20.58	5.35	5.97	7.50	12.91	0.81
30	17.78	4.48	4.91	22.50	9.09	0.68
45	15.29	3.71	0.10	37.50	7.94	0.56
60	13.09	3.04	3.38	52.50	7.00	0.46
75	11.17	2.44	2.74	67.50	6.07	0.37
90	9.50	1.93	2.19	82.50	5.29	0.29
105	8.07	1.49	1.71	97.50	4.67	2.24
120	6.80	1.10	1.29	112.50	4.05	0.17
135	5.84	0.80	0.95	127.50	3.11	0.12
150	5.06	0.56	0.68	142.50	2.49	0.08
165	4.48	0.33	0.47	157.50	1.87	0.06
180	4.07	0.26	0.32	172.50	1.24	0.04
195	3.79	0.17	0.21	187.50	0.93	0.02
210	3.59	0.11	0.14	202.50	0.62	0.01
225	3.49	0.08	0.09	217.50	0.31	0.009
240	3.41	0.05	0.06	232.50	0.16	0.006
255	3.37	0.04	0.05	247.50	0.12	0.004
270	3.34	0.03	0.04	262.50	0.09	0.002
285	3.30	0.02	0.02	277.50	0.01	0.001
300	3.29	0.01	0.016	292.50	0.01	0.00
315	3.29	0.01	0.014	307.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire: 1.24×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.39 cm

espesor final: 0.09 cm

área inicial: 64.27 cm²

área final: 29.52 cm²

T_{bs} : 26.03 °C

T_{bh} : 14.83 °C

h : 1.30×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 67.20 cm/min

Tabla E₆

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	W*
0	36.03	4.79				1.00
15	33.19	4.34	4.57	7.50	37.09	0.91
30	30.74	3.94	4.14	22.50	32.50	0.82
45	28.50	3.58	3.76	37.50	29.68	0.75
60	26.42	3.25	3.42	52.50	27.20	0.68
75	24.52	2.94	3.10	67.50	24.72	0.61
90	22.75	2.66	2.80	82.50	23.49	0.55
105	21.08	2.39	2.52	97.50	22.25	0.50
120	19.53	2.14	2.27	112.50	21.02	0.45
135	18.10	1.91	2.03	127.50	18.55	0.40
150	16.74	1.69	1.80	142.50	18.55	0.35
165	15.64	1.50	1.60	157.50	16.07	0.31
180	14.46	1.33	1.40	172.50	14.84	0.28
195	13.44	1.16	1.24	187.50	13.60	0.24
210	12.44	1.00	1.08	202.50	13.60	0.21
225	11.60	0.87	0.93	217.50	11.13	0.18
240	10.85	0.75	0.81	232.50	9.89	0.15
255	10.17	0.65	0.69	247.50	9.03	0.13
270	9.54	0.53	0.59	262.50	8.28	0.11
285	8.98	0.44	0.49	277.50	7.42	0.09
300	8.48	0.36	0.40	292.50	6.68	0.07
315	8.08	0.30	0.33	307.50	5.32	0.06
330	7.71	0.24	0.27	322.50	4.82	0.05
345	7.44	0.20	0.22	337.50	3.58	0.04
360	7.19	0.16	0.18	352.50	3.34	0.03
375	7.00	0.13	0.14	367.50	2.47	0.02
390	6.84	0.10	0.11	382.50	2.10	0.019
405	6.71	0.08	0.09	397.50	1.73	0.014
420	6.62	0.06	0.07	412.50	1.24	0.011
435	6.54	0.05	0.06	427.50	0.99	0.009
450	6.47	0.04	0.05	442.80	0.99	0.006
465	6.42	0.03	0.04	457.50	0.62	0.005
480	6.39	0.027	0.03	472.50	0.37	0.004
495	6.35	0.021	0.024	487.50	0.49	0.002
510	6.33	0.018	0.020	502.50	0.25	0.002
525	6.31	0.015	0.017	517.50	0.25	0.001
540	6.29	0.011	0.013	532.50	0.37	0.001
555	6.28	0.010	0.011	547.50	0.12	0.00
570	6.28	0.010	0.010	562.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire: 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.39 cm

espesor final: 0.12 cm

área inicial: 80.87 cm²

área final: 50.82 cm

Tbs : 23.71 °C

Tbh : 16.56 °C

h : 9.75×10^{-3} cal/min cm² °C

Kc : 50.52 cm/min

Tabla E₇

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA $\times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	\bar{j} *
0	40.30	6.10				1.00
15	36.75	5.30	5.70	7.50	52.71	0.87
30	31.65	4.58	4.94	22.50	47.74	0.75
45	28.15	3.95	4.26	37.50	40.77	0.65
60	24.95	3.39	3.67	52.50	37.80	0.55
75	22.06	2.89	3.14	67.50	33.81	0.47
90	19.55	2.44	2.67	82.50	29.83	0.40
105	17.32	2.05	2.25	97.50	25.86	0.38
120	15.36	1.71	1.88	112.50	22.87	0.28
135	13.64	1.40	1.55	127.50	19.89	0.23
150	12.12	1.14	1.27	142.50	17.90	0.18
165	10.77	0.90	1.02	157.50	15.91	0.14
180	9.68	0.71	0.80	172.50	12.93	0.11
195	8.78	0.55	0.63	187.50	10.94	0.08
210	8.06	0.42	0.48	202.50	7.96	0.07
225	7.44	0.32	0.37	217.50	6.96	0.05
240	7.05	0.24	0.28	232.50	4.97	0.04
255	6.72	0.18	0.21	247.50	3.98	0.03
270	6.48	0.14	0.16	262.50	2.98	0.02
285	6.30	0.11	0.13	277.50	1.99	0.014
300	6.20	0.09	0.10	292.50	1.19	0.011
315	6.10	0.07	0.08	307.50	1.19	0.008
330	6.04	0.06	0.07	322.50	0.70	0.006
345	5.99	0.05	0.06	337.50	0.60	0.005
360	5.95	0.048	0.05	352.50	0.50	0.003
375	5.94	0.046	0.047	367.50	0.13	0.003
390	5.90	0.039	0.043	382.50	0.46	0.002
405	5.88	0.036	0.038	397.50	0.20	0.001
420	5.86	0.032	0.034	412.50	0.20	0.001
435	5.84	0.029	0.031	427.50	0.20	0.001
450	5.83	0.027	0.028	442.50	0.20	0.00
465	5.83	0.027	0.027	457.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 55 °C

vel. del aire: 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.41 cm

área inicial: 100.55 cm^2

espesor final: 0.20 cm

área final: 56.48 cm^2

T_{bs} : 26.75 °C

h : 1.07×10^{-3} cal/min cm^2 °C

T_{bh} : 16.56 °C

K_c : 45.24 cm/min

Tabla E₈

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \cdot 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	W*
0	35.59	5.30				1.00
15	33.64	4.95	5.13	7.50	28.34	0.94
30	31.57	4.59	4.77	22.50	29.59	0.87
45	29.61	4.24	4.42	37.50	28.34	0.80
60	27.80	3.92	4.08	52.50	25.89	0.74
75	25.98	3.60	3.76	67.50	25.89	0.68
90	24.32	3.30	3.45	82.50	24.65	0.62
105	22.71	3.02	3.16	97.50	23.41	0.57
120	21.12	2.74	2.88	112.50	23.41	0.53
135	19.69	2.49	2.61	127.50	20.95	0.47
150	18.34	2.25	2.37	142.50	19.72	0.42
165	17.03	2.01	2.13	157.50	18.48	0.38
180	15.86	1.81	1.91	172.50	17.25	0.34
195	14.76	1.61	1.71	187.50	16.02	0.30
210	13.76	1.44	1.52	202.50	14.79	0.27
225	12.81	1.27	1.35	217.50	13.56	0.24
240	11.95	1.12	1.19	232.50	12.32	0.21
255	11.17	0.98	1.05	247.50	11.09	0.18
270	10.43	0.85	0.91	262.50	11.09	0.16
285	9.77	0.73	0.79	277.50	9.86	0.13
300	9.17	0.62	0.68	292.50	8.63	0.11
315	8.61	0.52	0.57	307.50	8.63	0.10
330	8.12	0.44	0.48	322.50	7.39	0.08
345	7.68	0.36	0.40	337.50	6.16	0.06
360	7.31	0.29	0.33	352.50	4.93	0.05
375	6.99	0.24	0.27	367.50	4.93	0.04
390	6.71	0.19	0.21	382.50	4.07	0.03
405	6.48	0.15	0.17	397.50	3.33	0.02
420	6.32	0.12	0.13	412.50	2.34	0.02
435	6.12	0.08	0.10	427.50	2.96	0.012
450	6.06	0.07	0.08	442.50	0.86	0.010
465	5.98	0.06	0.07	457.50	1.23	0.007
480	5.91	0.05	0.05	472.50	0.99	0.005
495	5.85	0.04	0.04	487.50	0.86	0.003
510	5.81	0.03	0.03	502.50	0.62	0.002
525	5.79	0.025	0.027	517.50	0.25	0.001
540	5.77	0.021	0.023	532.50	0.37	0.001
555	5.76	0.019	0.020	547.50	0.12	0.00
570	5.76	0.019	0.019	562.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 55 °C

vel. del aire: 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.43 cm

área inicial: 81.15 cm²

Tbs : 23.74 °C

h : 1.11×10^{-2} cal/min cm² °C

espesor final: 0.13 cm

área final: 41.15 cm²

Tbh : 15.84 °C

Kc : 56.82 cm/min

Tabla E₉

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	*
0	44.77	4.41				1.00
15	42.50	4.14	4.27	7.50	18.44	0.94
30	40.12	3.85	3.99	22.50	19.47	0.87
45	38.03	3.60	3.72	37.50	17.42	0.81
60	35.82	3.33	3.46	52.50	18.44	0.75
75	33.82	3.09	3.21	67.50	16.39	0.70
90	31.92	2.86	2.97	82.50	15.37	0.65
105	30.09	2.64	2.75	97.50	15.06	0.60
120	28.38	2.43	2.53	112.50	14.04	0.55
135	26.75	2.23	2.33	127.50	13.42	0.50
150	25.21	2.05	2.14	142.50	12.70	0.46
165	23.77	1.87	1.96	157.50	11.88	0.42
180	22.41	1.71	1.79	172.50	11.17	0.38
195	21.03	1.54	1.63	187.50	11.37	0.35
210	19.84	1.40	1.47	202.50	9.84	0.31
225	18.75	1.27	1.33	217.50	9.06	0.28
240	17.72	1.14	1.20	232.50	8.50	0.26
255	16.77	1.03	1.08	247.50	7.89	0.23
270	15.89	0.92	0.97	262.50	7.27	0.20
285	15.08	0.82	0.87	277.50	6.66	0.18
300	14.33	0.73	0.78	292.50	6.25	0.16
315	13.64	0.65	0.69	307.50	5.63	0.14
327	13.37	0.62	0.63	321.00	2.87	0.13
342	12.79	0.55	0.58	334.50	4.82	0.12
357	12.15	0.47	0.51	349.50	4.92	0.10
372	11.72	0.42	0.45	364.50	3.89	0.09
387	11.29	0.36	0.39	379.50	3.59	0.08
392	10.90	0.32	0.34	384.50	9.63	0.07
407	10.55	0.28	0.30	399.50	2.87	0.06
422	10.24	0.24	0.26	414.50	2.56	0.05
437	9.94	0.20	0.22	429.50	2.46	0.04
452	9.70	0.17	0.19	444.50	1.95	0.03
467	9.48	0.15	0.16	459.50	1.84	0.027
472	9.29	0.12	0.13	469.50	4.71	0.027
487	9.14	0.10	0.11	479.50	1.23	0.018
502	9.00	0.09	0.10	494.50	1.13	0.014
517	8.90	0.08	0.08	509.50	0.82	0.011
532	8.80	0.06	0.07	524.50	0.82	0.009
547	8.72	0.05	0.06	539.50	0.61	0.007

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{T} (°C)	$dm/dt \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s. min. cm ²)	*
562	8.05	0.045	0.05	554.50	0.61	0.005
577	8.39	0.038	0.04	569.50	0.51	0.003
592	8.55	0.032	0.036	584.50	0.31	0.002
607	8.51	0.028	0.031	599.50	0.31	0.001
622	8.48	0.025	0.027	614.50	0.20	0.00
637	8.48	0.025	0.025	629.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 50 °C

vel. del aire: 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.41 cm

espesor final: 0.18 cm

área inicial: 97.60 cm²

área final: 67.05 cm²

Tbs : 25.60 °C

Tbh : 15.46 °C

h : 1.73×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 52.32 cm/min

Tabla E₁₀

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dt} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	w*
0	33.45	4.61				1.00
15	31.84	4.34	4.48	7.50	22.52	0.94
30	30.25	4.08	4.21	22.50	22.27	0.88
45	28.74	3.82	3.95	37.50	21.27	0.83
60	27.39	3.60	3.71	52.50	18.77	0.78
75	26.00	3.36	3.48	67.50	20.00	0.73
90	24.65	3.14	3.25	82.50	18.77	0.68
105	23.43	2.93	3.03	97.50	17.52	0.63
120	22.17	2.72	2.83	112.50	17.52	0.59
135	20.97	2.52	2.62	127.50	16.27	0.54
150	19.82	2.33	2.42	142.50	16.27	0.50
165	18.71	2.14	2.23	157.50	15.01	0.46
180	17.67	1.96	2.05	172.50	15.05	0.42
195	16.67	1.80	1.88	187.50	13.76	0.38
210	15.71	1.64	1.72	202.50	13.76	0.35
225	14.84	1.49	1.56	217.50	12.51	0.32
240	14.00	1.35	1.42	232.50	11.76	0.29
255	13.24	1.22	1.29	247.50	10.63	0.26
270	12.53	1.10	1.16	262.50	9.88	0.23
285	11.87	0.99	1.05	277.50	9.26	0.21
300	11.25	0.89	0.94	292.50	8.63	0.18
315	10.68	0.79	0.84	307.50	7.88	0.16
330	10.14	0.70	0.75	322.50	7.63	0.14
345	9.66	0.62	0.66	337.50	6.63	0.13
360	9.21	0.55	0.58	352.50	6.38	0.11
375	8.80	0.48	0.51	367.50	5.76	0.09
390	8.43	0.41	0.45	382.50	5.13	0.08
405	8.10	0.36	0.39	397.50	4.63	0.07
420	7.79	0.31	0.33	412.50	4.38	0.06
435	7.51	0.26	0.28	427.50	3.88	0.05
450	7.27	0.22	0.24	442.50	3.38	0.04
465	7.08	0.19	0.20	457.50	2.63	0.03
480	6.91	0.16	0.17	472.50	2.38	0.025
495	6.75	0.13	0.15	487.50	2.25	0.019
510	6.63	0.11	0.12	502.50	1.66	0.015
525	6.54	0.10	0.11	517.50	1.25	0.011
540	6.45	0.08	0.09	532.50	1.25	0.008
555	6.38	0.07	0.06	547.50	1.06	0.005
570	6.34	0.064	0.07	562.50	0.50	0.004

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \cdot 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s. min. cm ²)	*
585	6.29	0.055	0.06	577.50	0.75	0.002
600	6.25	0.049	0.052	592.50	0.34	0.001
615	6.23	0.045	0.047	607.50	0.34	0.00
630	6.23	0.045	0.045	622.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 45 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.40 cm

espesor final: 0.20 cm

área inicial : 79.93 cm²

área final: 39.02 cm²

T_{bs} : 23.77 °C

T_{bh} : 16.47 °C

h : 1.27×10^{-2} cal/min cm² °C

K_c : 63.60 cm/min

Tabla E₁₁

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA x10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* y
0	35.59	5.64				1.00
15	33.91	5.33	5.45	7.50	24.17	0.94
30	32.14	5.00	5.16	22.50	25.32	0.89
45	30.44	4.68	4.84	37.50	24.17	0.83
60	28.79	4.37	4.53	52.50	24.17	0.77
75	27.22	4.08	4.23	67.50	23.02	0.72
90	25.68	3.79	3.94	82.50	21.87	0.67
105	24.18	3.51	3.65	97.50	21.52	0.62
120	22.72	3.24	3.38	112.50	20.83	0.57
135	21.35	2.99	3.11	127.50	19.68	0.53
150	20.03	2.74	2.86	142.50	18.99	0.48
165	18.77	2.50	2.62	157.50	18.07	0.44
180	17.55	2.28	2.39	172.50	17.38	0.40
195	16.42	2.07	2.17	187.50	16.23	0.36
210	15.56	1.90	1.99	202.50	12.32	0.33
225	14.79	1.74	1.82	217.50	12.32	0.30
240	13.86	1.59	1.67	232.50	17.26	0.28
255	12.98	1.42	1.51	247.50	12.55	0.25
270	12.14	1.27	1.35	262.50	12.08	0.22
285	11.48	1.15	1.22	277.50	9.44	0.20
300	10.70	1.00	1.07	292.50	11.16	0.17
315	10.01	0.87	0.93	307.50	9.90	0.15
330	9.46	0.77	0.82	322.50	7.83	0.13
345	8.88	0.66	0.71	337.50	8.40	0.11
360	8.40	0.57	0.61	352.50	6.79	0.09
375	7.96	0.49	0.53	367.50	6.33	0.08
390	7.58	0.42	0.45	382.50	5.41	0.07
405	7.24	0.35	0.38	397.50	4.95	0.06
420	6.94	0.30	0.32	412.50	4.26	0.05
435	6.71	0.25	0.27	427.50	3.34	0.04
450	6.49	0.21	0.23	442.50	3.11	0.03
465	6.31	0.18	0.20	457.50	2.53	0.024
480	6.17	0.15	0.17	472.50	1.96	0.020
495	6.03	0.13	0.14	487.50	2.07	0.015
510	5.93	0.11	0.12	502.50	8.06	0.012
525	5.87	0.10	0.10	517.50	16.11	0.010
540	5.76	0.08	0.09	532.50	0.81	0.006
555	5.70	0.064	0.07	547.50	1.61	0.004
570	5.67	0.058	0.06	562.50	0.81	0.003

t (min)	s (s)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.º)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.º)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.º.min.cm ²)	μ^*
585	5.51	0.051	0.055	577.5	0.45	0.002
590	5.50	0.045	0.048	582.5	0.57	0.001
615	5.38	0.041	0.043	607.50	0.46	0.00
630	5.50	0.041	0.041	617.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 45 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.40 cm

espesor final: 0.15 cm

área inicial: 86.88 cm²

área final: 52.61 cm²

Tbs : 26.50 °C

Tbh : 15.08 °C

h : 1.23×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 61.20 cm/min

Tabla E₁₂

t (min)	w (g)	m expn. (g H ₂ O/ g s.s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^4$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	j^*
0	18.35	8.89				1.00
15	15.82	7.53	8.21	7.50	11.39	0.85
30	13.31	6.17	6.85	22.50	11.26	0.69
45	11.01	4.93	5.55	37.50	10.38	0.55
60	8.94	3.82	4.36	52.50	9.26	0.43
75	7.16	2.86	3.34	67.50	8.01	0.32
90	5.64	2.04	2.45	82.50	6.68	0.23
105	4.38	1.35	1.70	97.50	5.63	0.15
120	3.47	0.87	1.12	112.50	4.13	0.10
135	2.83	0.53	0.70	127.50	2.88	0.06
150	2.41	0.30	0.41	142.50	1.88	0.03
165	2.13	0.15	0.22	157.50	1.25	0.02
180	2.01	0.08	0.12	172.50	0.54	0.01
195	1.93	0.05	0.07	187.50	0.26	0.004
210	1.92	0.04	0.04	202.50	0.14	0.002
225	1.91	0.03	0.03	217.50	0.05	0.001
240	1.89	0.02	0.02	232.50	0.08	0.00
255	1.89	0.02	0.02	247.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.22 cm

espesor final: 0.03 cm

área inicial: 79.92 cm²

área final: 40.32 cm²

T_{bs} : 25.06 °C

T_{bh} : 13.94 °C

h : 1.20×10^{-2} cal/min.cm² °C

Kc : 61.20 cm/min

Tabla E₁₃

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^4$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* \bar{w}
0	20.76	5.16				1.00
15	17.85	4.25	4.68	7.50	63.43	0.83
30	15.12	3.45	3.85	22.50	58.98	0.68
45	12.68	2.73	3.09	37.50	52.42	0.53
60	10.59	2.11	2.42	52.50	45.63	0.43
75	8.86	1.60	1.86	67.50	37.84	0.31
90	7.49	1.20	1.40	82.50	30.05	0.23
105	6.40	0.88	1.04	97.50	23.37	0.17
120	5.56	0.63	0.76	112.50	17.81	0.12
135	4.91	0.44	0.54	127.50	14.47	0.09
150	4.40	0.29	0.37	142.50	11.13	0.06
165	4.04	0.19	0.24	157.50	7.79	0.04
180	3.78	0.11	0.15	172.50	5.56	0.02
195	3.66	0.08	0.09	187.50	2.56	0.01
210	3.53	0.04	0.06	202.50	2.78	0.006
225	3.49	0.03	0.03	217.50	0.89	0.004
240	3.45	0.01	0.02	232.50	0.89	0.001
255	3.43	0.008	0.01	247.50	0.45	0.00
270	3.43	0.008	0.008	262.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.22 cm

espesor final: 0.05 cm

área inicial: 89.86 cm²

área final : 66.47 cm²

T_{bs} : 22.27 °C

T_{bh} : 13.94 °C

h : 1.13×10^{-2} cal/min cm² °C

K_c : 57.60 cm/min

Tabla E₁₄

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	$\frac{1}{h}$ [*]
0	32.79	4.16				1.00
15	30.00	3.72	3.94	7.50	33.58	0.89
30	27.37	3.31	3.51	22.50	32.43	0.80
45	24.90	2.92	3.11	37.50	30.11	0.70
60	22.33	2.51	2.72	52.50	31.26	0.60
75	20.42	2.21	2.36	67.50	23.16	0.53
90	18.53	1.92	2.06	82.50	22.93	0.46
105	16.83	1.65	1.78	97.50	20.73	0.40
120	15.29	1.41	1.53	112.50	18.65	0.34
135	13.92	1.19	1.30	127.50	16.56	0.29
150	12.70	1.00	1.09	142.50	14.82	0.24
165	11.60	0.83	0.91	157.50	13.32	0.20
180	10.64	0.67	0.75	172.50	11.69	0.16
195	9.78	0.54	0.61	187.50	10.54	0.13
210	9.05	0.42	0.48	202.50	8.80	0.10
225	8.42	0.33	0.38	217.50	7.64	0.08
240	7.90	0.24	0.28	232.50	6.37	0.06
255	7.48	0.18	0.21	247.50	5.09	0.04
270	7.16	0.13	0.15	262.50	3.94	0.03
285	6.92	0.09	0.11	277.50	2.90	0.02
300	6.75	0.06	0.08	292.50	2.08	0.014
315	6.63	0.04	0.05	307.50	1.51	0.009
330	6.56	0.03	0.04	322.50	0.81	0.007
345	6.50	0.022	0.03	337.50	0.78	0.004
360	6.47	0.018	0.02	352.50	0.31	0.003
375	6.44	0.013	0.016	367.50	0.38	0.002
390	6.41	0.008	0.011	382.50	0.38	0.001
405	6.40	0.007	0.008	397.50	0.08	0.001
420	6.39	0.005	0.006	412.50	0.15	0.00
435	6.39	0.005	0.005	427.50	0.00	

Producto: Maíanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire: 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.31 cm

espesor final: 0.11 cm

área inicial: 86.35 cm²

área final: 52.50 cm²

T_{bs}: 25.34 °C

T_{bh}: 15.85 °C

h: 1.15×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc: 58.80 cm/min

Tabla E₁₅

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$dm/dtA \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	27.13	4.84				1.00
15	24.78	4.34	4.59	7.50	42.10	0.91
30	22.45	3.84	4.09	22.50	40.86	0.79
45	20.25	3.35	3.60	37.50	39.67	0.69
60	18.16	2.91	3.14	52.50	37.15	0.52
75	16.29	2.51	2.71	67.50	33.43	0.44
90	14.62	2.15	2.33	82.50	29.72	0.37
105	13.14	1.83	1.99	97.50	26.00	0.32
120	11.83	1.55	1.69	112.50	23.50	0.26
135	10.60	1.28	1.42	127.50	22.29	0.21
150	9.53	1.05	1.17	142.50	18.57	0.17
165	8.60	0.85	0.95	157.50	16.10	0.13
180	7.79	0.68	0.77	172.50	14.86	0.10
195	7.12	0.53	0.61	187.50	11.89	0.08
210	6.53	0.41	0.47	202.50	10.52	0.06
225	6.05	0.30	0.36	217.50	8.54	0.04
240	5.66	0.22	0.26	232.50	6.93	0.03
255	5.36	0.16	0.19	247.50	5.32	0.02
270	5.15	0.11	0.13	262.50	3.84	0.01
285	5.02	0.08	0.10	277.50	2.35	0.006
300	4.93	0.05	0.07	292.50	1.61	0.004
315	4.87	0.05	0.06	307.50	1.11	0.002
330	4.83	0.04	0.05	322.50	0.74	0.001
345	4.80	0.034	0.04	337.50	0.49	0.001
360	4.79	0.032	0.033	352.50	0.12	0.00
375	4.79	0.032	0.032	367.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.30 cm

espesor final: 0.09 cm

área inicial : 80.76 cm²

área final: 55.50 cm²

T_{bs} : 22.73 °C

T_{bh} : 15.22 °C

h : 1.19×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 61.07 cm/min

Tabla E₁₆

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* w
0	43.98	5.28				1.00
15	41.42	4.92	5.10	7.50	30.94	0.95
30	38.81	4.54	4.73	22.50	31.70	0.86
45	36.30	4.19	4.37	37.50	30.43	0.79
60	33.95	3.85	4.01	52.50	38.39	0.73
75	31.75	3.54	3.69	67.50	26.74	0.67
90	29.67	3.24	3.39	82.50	25.21	0.61
105	27.67	2.95	3.10	97.50	24.32	0.56
120	25.83	2.69	2.82	112.50	22.28	0.51
135	24.08	2.44	2.57	127.50	21.26	0.46
150	22.44	2.21	2.32	142.50	19.99	0.42
165	20.93	1.99	2.10	157.50	18.21	0.37
180	19.50	1.79	1.89	172.50	17.44	0.34
195	18.19	1.60	1.69	187.50	15.92	0.30
210	16.99	1.43	1.51	202.50	14.51	0.27
225	15.88	1.27	1.35	217.50	13.50	0.24
240	14.80	1.11	1.19	232.50	13.11	0.21
255	13.80	0.97	1.04	247.50	12.10	0.18
270	12.94	0.85	0.91	262.50	10.44	0.16
285	12.16	0.74	0.79	277.50	9.42	0.14
300	11.44	0.63	0.69	292.50	8.79	0.12
315	10.80	0.54	0.59	307.50	7.77	0.10
330	10.24	0.46	0.50	322.50	6.75	0.08
345	9.72	0.39	0.43	337.50	6.37	0.07
360	9.27	0.32	0.36	352.50	5.47	0.06
375	8.89	0.27	0.30	367.50	4.58	0.05
390	8.56	0.22	0.25	382.50	3.95	0.04
405	8.30	0.19	0.21	397.50	3.18	0.03
420	8.06	0.15	0.17	412.50	2.93	0.025
435	7.85	0.12	0.14	427.50	2.55	0.019
450	7.68	0.10	0.11	442.50	2.04	0.014
465	7.50	0.07	0.08	457.50	2.16	0.010
480	7.45	0.06	0.07	472.50	0.64	0.008
495	7.38	0.05	0.06	487.50	0.89	0.006
510	7.31	0.04	0.05	502.50	0.89	0.004
525	7.26	0.037	0.04	517.50	0.64	0.003
540	7.22	0.031	0.034	532.50	0.51	0.002
555	7.20	0.028	0.030	547.50	0.25	0.001
570	7.17	0.024	0.026	562.50	0.35	0.001

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$dm/dt_A \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	W*
585	7.15	0.021	0.023	577.50	0.28	0.00
600	7.15	0.021	0.021	592.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.50 cm

espesor final: 0.21 cm

área inicial : 78.54 cm²

área final : 43.45 cm²

T_{bs} : 25.79 °C

T_{bh} : 17.78 °C

h : 1.21×10^{-2} cal/min cm² °C

K_c : 61.80 cm/min

Tabla E₁₇

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X 10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	35.90	4.64				1.00
15	33.91	4.33	4.49	7.50	30.51	0.93
30	31.93	4.02	4.17	22.50	30.21	0.87
45	30.00	3.72	3.87	37.50	29.34	0.80
60	28.16	3.43	3.57	52.50	28.04	0.74
75	26.48	3.16	3.29	67.50	25.57	0.68
90	24.91	2.92	3.04	82.50	23.97	0.63
105	23.45	2.69	2.80	97.50	22.23	0.58
120	22.09	2.47	2.58	112.50	20.77	0.53
135	20.82	2.27	2.37	127.50	19.32	0.49
150	19.63	2.09	2.18	142.50	18.16	0.45
165	18.52	1.91	2.00	157.50	16.85	0.41
180	17.49	1.75	1.83	172.50	15.69	0.37
195	16.50	1.59	1.67	187.50	15.11	0.34
210	15.63	1.46	1.53	202.50	13.22	0.31
225	14.76	1.32	1.39	217.50	13.22	0.28
240	13.97	1.20	1.26	232.50	12.06	0.25
255	13.22	1.08	1.14	247.50	11.48	0.23
270	12.53	0.97	1.02	262.50	10.60	0.20
285	11.92	0.87	0.92	277.50	9.29	0.18
300	11.31	0.78	0.83	292.50	9.15	0.16
315	10.74	0.96	0.73	307.50	8.72	0.14
330	10.16	0.60	0.64	322.50	8.86	0.12
345	9.70	0.53	0.56	337.50	6.97	0.11
360	9.28	0.46	0.49	352.50	6.39	0.09
375	8.90	0.40	0.43	367.50	5.81	0.08
390	8.56	0.35	0.37	382.50	5.23	0.07
405	8.24	0.30	0.32	397.50	4.79	0.06
420	7.96	0.25	0.27	412.50	4.21	0.05
435	7.72	0.21	0.23	427.50	3.83	0.04
450	7.50	0.18	0.20	442.50	3.34	0.03
465	7.32	0.15	0.17	457.50	2.76	0.025
480	7.16	0.13	0.14	472.50	2.47	0.021
495	7.02	0.10	0.11	487.50	2.18	0.016
510	6.91	0.09	0.10	502.50	1.60	0.012
525	6.82	0.07	0.08	517.50	1.31	0.009
540	6.74	0.06	0.05	532.50	1.26	0.007
555	6.63	0.05	0.05	547.50	1.06	0.004
570	6.62	0.042	0.045	562.50	0.58	0.003

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	*
585	6.59	0.036	0.039	577.50	0.50	0.002
600	6.56	0.031	0.034	592.50	0.43	0.001
615	6.55	0.029	0.030	607.50	0.15	0.00
630	6.55	0.029	0.029	622.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.51 cm

espesor final: 0.15 cm

área inicial : 68.84 cm²

área final: 47.50 cm²

Tbs : 23.41 °C

Tbh : 15.30 °C

h : 1.28×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 65.40 cm/min

Tabla E₁₈

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\bar{dm}/dtA \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* #
0	46.36	7.23				1.00
15	44.51	6.91	7.07	7.50	28.47	0.96
30	42.17	6.49	6.70	22.50	36.24	0.90
45	39.87	6.08	6.29	37.50	35.21	0.84
60	37.63	5.68	5.88	52.50	34.30	0.79
75	35.51	5.31	5.50	67.50	32.36	0.63
90	33.46	4.94	5.13	82.50	31.06	0.68
105	31.33	4.56	4.75	97.50	29.77	0.63
120	29.39	4.22	4.39	112.50	27.18	0.58
135	27.60	3.90	4.06	127.50	26.67	0.54
150	25.86	3.59	3.75	142.50	25.63	0.50
165	24.19	3.30	3.45	157.50	31.45	0.45
180	22.14	2.93	3.11	172.50	22.55	0.40
195	20.67	2.67	2.80	187.50	21.49	0.37
210	19.27	2.42	2.55	202.50	20.06	0.33
225	17.96	2.19	2.31	217.50	19.03	0.30
240	16.72	1.97	2.08	232.50	17.75	0.27
255	15.56	1.76	1.87	247.50	16.70	0.24
270	14.47	1.57	1.67	262.50	15.53	0.22
285	13.46	1.39	1.48	277.50	14.37	0.19
300	12.52	1.22	1.31	292.50	12.94	0.17
315	11.69	1.08	1.15	307.50	12.68	0.15
330	10.86	0.93	1.00	322.50	10.48	0.13
345	10.18	0.81	0.87	337.50	10.10	0.11
360	9.52	0.69	0.75	352.50	8.67	0.10
375	8.96	0.59	0.64	367.50	7.77	0.08
390	8.45	0.50	0.55	382.50	7.12	0.07
405	7.99	0.42	0.46	397.50	5.95	0.06
420	7.60	0.35	0.39	412.50	5.57	0.05
435	7.24	0.29	0.32	427.50	4.53	0.04
450	6.95	0.23	0.26	442.50	4.14	0.03
465	6.68	0.19	0.21	457.50	3.24	0.02
480	6.47	0.15	0.17	472.50	2.72	0.018
495	6.29	0.12	0.13	487.50	1.94	0.014
510	6.16	0.09	0.10	505.50	1.81	0.011
525	6.04	0.07	0.08	517.50	1.29	0.008
540	5.96	0.06	0.07	532.50	0.91	0.006
555	5.90	0.05	0.05	547.50	0.91	0.004
570	5.84	0.04	0.04	562.50	0.65	0.003

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^{-5}$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
585	5.80	0.03	0.034	577.50	0.39	0.002
600	5.77	0.025	0.028	592.50	0.39	0.001
615	5.75	0.021	0.023	607.50	0.13	0.001
630	5.74	0.019	0.020	622.50	0.13	0.001
645	5.73	0.018	0.019	637.50	0.13	0.00
660	5.73	0.018	0.018	652.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.60 cm

espesor final: 0.20 cm

área inicial : 77.26 cm²

área final: 30.00 cm²

T_{bs} : 25.45 °C

T_{bh}: 17.00 °C

h : 1.22×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc: 62.40 cm/min

Tabla E₁₉

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X 10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	40.03	8.53				1.00
15	38.37	8.13	8.33	7.50	35.29	0.95
30	36.24	7.62	7.88	22.50	44.67	0.89
45	34.15	7.13	7.38	37.50	43.74	0.83
60	32.08	6.63	6.88	52.50	43.48	0.78
75	29.95	6.13	6.38	67.50	44.67	0.71
90	27.96	5.65	5.89	82.50	41.63	0.66
105	25.99	5.18	5.42	97.50	41.36	0.60
120	23.73	4.64	4.49	112.50	47.44	0.54
135	22.41	4.33	4.12	127.50	27.62	0.50
150	20.65	3.91	3.72	142.50	36.87	0.45
165	19.05	3.53	3.36	157.50	33.44	0.41
180	17.60	3.19	3.03	172.50	30.40	0.37
195	16.23	2.86	2.72	187.50	28.68	0.33
210	14.99	2.57	2.43	202.50	26.04	0.29
225	13.80	2.28	2.16	217.50	24.98	0.26
240	12.73	2.03	1.91	232.50	22.46	0.23
255	11.76	1.80	1.69	247.50	20.35	0.20
270	10.85	1.58	1.49	262.50	19.03	0.17
285	10.04	1.39	1.30	277.50	17.05	0.15
300	9.29	1.21	1.13	292.50	15.73	0.13
315	8.63	1.05	0.98	307.50	13.88	0.11
330	8.02	0.91	0.85	322.50	12.82	0.09
345	7.49	0.78	0.73	337.50	11.10	0.08
360	7.01	0.67	0.62	352.50	10.04	0.07
375	6.59	0.57	0.53	367.50	8.85	0.05
390	6.25	0.49	0.45	382.50	7.14	0.04
405	5.95	0.42	0.39	397.50	6.21	0.036
420	5.69	0.35	0.33	412.50	5.42	0.028
435	5.49	0.31	0.29	427.50	4.23	0.023
450	5.35	0.27	0.26	442.50	2.91	0.019
465	5.20	0.24	0.22	457.50	3.17	0.014
480	5.07	0.21	0.20	472.50	2.78	0.011
495	5.00	0.19	0.18	487.50	1.45	0.009
510	4.93	0.17	0.17	502.50	1.45	0.007
525	4.87	0.16	0.15	517.50	1.19	0.005
540	4.82	0.15	0.15	532.50	1.06	0.004
555	4.78	0.14	0.14	547.50	0.93	0.002
570	4.74	0.13	0.133	562.50	0.79	0.001

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	*
585	4.72	0.12	0.126	577.50	0.40	0.001
600	4.69	0.11	0.120	592.50	0.60	0.00
615	4.69	0.11	0.110	607.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.60 cm

espesor final: 0.14 cm

área inicial : 75.67 cm²

área final: 40.91 cm²

Tbs : 26.70 °C

Tbh: 15.40 °C

h : 1.23×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc: 63.00 cm/min

Tabla E₂₀

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X 10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* i
0	62.00	6.73				1.00
15	59.17	6.37	6.55	7.50	27.73	0.95
30	56.28	6.01	6.19	22.50	27.73	0.89
45	53.46	5.66	5.84	37.50	26.57	0.84
60	50.76	5.33	5.49	52.50	26.57	0.79
75	48.17	5.00	5.16	67.50	25.42	0.74
90	45.56	4.68	4.84	82.50	25.42	0.69
105	43.18	4.38	4.53	97.50	23.11	0.65
120	40.88	4.09	4.24	112.50	21.95	0.61
135	38.67	3.82	3.96	127.50	20.80	0.57
150	36.54	3.55	3.69	142.50	20.80	0.53
165	34.50	3.30	3.43	157.50	19.64	0.49
180	32.60	3.06	3.18	172.50	19.64	0.45
195	30.75	2.83	2.95	187.50	17.33	0.42
210	28.98	2.61	2.72	202.50	16.18	0.38
225	27.30	2.40	2.51	217.50	16.18	0.35
240	25.67	2.20	2.30	232.50	15.02	0.32
255	24.18	2.01	2.11	247.50	13.86	0.30
270	22.77	1.84	1.93	262.50	13.68	0.27
285	21.43	1.67	1.75	277.50	12.71	0.24
300	20.19	1.52	1.59	292.50	11.55	0.22
315	19.04	1.37	1.45	307.50	11.55	0.20
330	17.97	1.24	1.31	322.50	10.40	0.18
345	17.06	1.13	1.18	337.50	9.24	0.16
360	16.11	1.01	1.07	352.50	9.24	0.14
375	15.26	0.90	0.96	367.50	8.09	0.13
390	14.48	0.80	0.85	382.50	8.09	0.11
405	13.78	0.72	0.76	397.50	6.93	0.10
420	13.12	0.64	0.68	412.50	6.93	0.09
435	12.53	0.56	0.60	427.50	5.78	0.08
450	12.00	0.50	0.52	442.50	4.63	0.07
465	11.51	0.43	0.47	457.50	4.63	0.06
480	11.07	0.37	0.41	472.50	4.63	0.05
495	10.68	0.33	0.36	487.50	3.47	0.04
510	10.32	0.29	0.31	502.50	3.47	0.036
525	10.02	0.25	0.27	517.50	3.47	0.031
540	9.73	0.21	0.23	532.50	3.47	0.025
555	9.48	0.18	0.20	547.50	2.31	0.021
570	9.27	0.16	0.17	562.50	2.31	0.017

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$dm/dtA \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* %
585	9.10	0.13	0.15	577.50	1.16	0.013
600	8.94	0.11	0.12	592.50	1.16	0.010
615	8.82	0.10	0.11	607.50	1.16	0.008
630	8.73	0.09	0.09	622.50	0.81	0.007
645	8.64	0.08	0.08	637.50	0.81	0.005
660	8.54	0.06	0.07	652.50	0.10	0.003
675	8.46	0.05	0.06	667.50	0.81	0.001
690	8.42	0.049	0.05	682.50	0.35	0.001
705	8.40	0.047	0.048	697.50	0.11	0.001
720	8.39	0.045	0.045	712.50	0.11	0.001
735	8.38	0.044	0.045	727.50	0.11	0.00
750	8.38	0.044	0.044	742.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.70 cm

espesor final: 0.20 cm

área inicial : 86.54 cm²

área final: 36.02 cm²

Tbs : 24.71 °C

Tbh: 16.06 °C

h : 1.15×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc; 58.91 cm/min

Tablă E₂₁

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s. min.cm ²)	*
0	47.89	8.27				1.00
15	45.92	8.56	8.76	7.50	40.98	0.95
30	43.43	8.04	8.30	22.50	53.12	0.80
45	41.19	7.57	7.80	37.50	47.05	0.74
60	38.97	7.10	7.34	52.50	47.05	0.79
75	36.71	6.64	6.67	67.50	47.05	0.74
90	34.67	6.21	6.43	82.50	47.50	0.69
105	32.62	5.79	6.00	97.50	42.50	0.64
120	30.61	5.37	5.52	112.50	42.50	0.60
135	28.71	4.97	5.17	127.50	40.98	0.55
150	26.89	4.60	4.79	142.50	37.94	0.51
165	25.13	4.23	4.41	157.50	36.42	0.47
180	23.42	3.86	4.05	172.50	35.43	0.43
195	21.83	3.54	3.71	187.50	33.33	0.39
210	19.96	3.15	3.35	202.50	39.46	0.35
225	18.08	2.76	2.96	217.50	39.46	0.31
240	16.71	2.48	2.62	232.50	28.84	0.27
255	15.49	2.22	2.35	247.50	25.80	0.25
270	14.29	1.97	2.10	262.50	25.80	0.22
285	13.17	1.74	1.86	277.50	24.28	0.19
300	12.14	1.53	1.63	292.50	21.95	0.17
315	11.19	1.33	1.43	307.50	19.73	0.15
330	10.33	1.15	1.24	322.50	18.21	0.13
345	9.54	0.99	1.07	337.50	16.69	0.11
360	9.16	0.81	0.95	352.50	7.59	0.10
375	8.77	0.83	0.87	367.50	7.59	0.09
390	8.30	0.73	0.76	382.50	1.06	0.08
405	8.04	0.67	0.70	397.50	6.07	0.07
420	7.61	0.58	0.63	412.50	9.11	0.06
435	7.18	0.50	0.54	427.50	9.11	0.052
450	6.93	0.44	0.47	442.50	6.07	0.046
465	6.62	0.38	0.41	457.50	6.07	0.039
480	6.41	0.33	0.36	472.50	4.55	0.034
495	6.19	0.29	0.31	487.50	4.55	0.029
510	6.02	0.25	0.27	502.50	3.04	0.025
525	5.77	0.20	0.23	517.50	6.07	0.019
540	5.59	0.16	0.18	532.50	3.04	0.015
555	5.38	0.12	0.14	547.50	4.55	0.010
570	5.25	0.09	0.11	562.50	3.04	0.007

t (min)	w (g)	n exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	cm/dtA x 10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* H
585	5.21	0.08	0.09	577.50	3.04	0.006
600	5.16	0.07	0.08	592.50	3.04	0.005
615	5.08	0.06	0.07	607.50	3.04	0.003
630	5.04	0.05	0.05	622.50	3.04	0.002
645	4.99	0.04	0.04	637.50	3.04	0.001
660	4.95	0.03	0.03	652.50	3.04	0.00
675	4.95	0.03	0.03	667.50	0.00	

Producto: Malanga

T de trabajo : 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.70 cm

espesor final: 0.20 cm

área inicial: 65.88 cm²

área final: 35.98 cm²

Tbs : 23.33 °C

Tbh : 14.48 °C

h : 1.301×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 63.60 cm/min

Tabla E₂₂

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^{-5}$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	31.72	1.73				1.00
15	29.23	1.51	1.62	7.50	89.83	0.87
30	27.13	1.33	1.42	22.50	14.06	0.77
45	25.22	1.17	1.25	37.50	12.49	0.67
60	23.52	1.02	1.10	52.50	11.72	0.58
75	21.93	0.88	0.96	67.50	10.15	0.50
90	20.52	0.76	0.83	82.50	9.37	0.43
105	19.33	0.66	0.71	97.50	8.59	0.37
120	18.22	0.57	0.62	112.50	7.03	0.31
135	17.32	0.49	0.53	127.50	6.25	0.27
150	16.42	0.41	0.45	142.50	4.69	0.22
165	15.73	0.35	0.38	157.50	4.69	0.18
180	15.02	0.29	0.32	172.50	3.91	0.15
195	14.41	0.24	0.27	187.50	3.12	0.12
210	13.91	0.20	0.22	202.50	3.12	0.10
225	13.53	0.16	0.18	217.50	2.34	0.08
240	13.11	0.13	0.15	232.50	3.12	0.06
255	12.71	0.09	0.11	247.50	0.78	0.03
270	12.53	0.08	0.09	262.50	1.56	0.025
285	12.32	0.06	0.07	277.50	1.56	0.015
300	12.11	0.04	0.05	292.50	0.23	0.004
315	12.07	0.037	0.04	307.50	0.08	0.002
330	12.05	0.036	0.04	322.50	0.16	0.001
345	12.03	0.034	0.04	337.50	0.06	0.00
360	12.03	0.034	0.03	352.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 80 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.40 cm

espesor final: 0.33 cm

área inicial : 85.35 cm²

área final: 42.68 cm²

T_{bs} : 21.13 °C

T_{bh}: 15.02 °C

h : 6.24×10^{-3} cal/min cm² °C

Kc: 33.84 cm/min

Tabla E₂₃

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	$\frac{d}{dt}$ *
0	22.99	1.95				1.00
15	20.69	1.66	1.81	7.50	31.44	0.85
30	18.84	1.42	1.54	22.50	26.02	0.72
45	17.16	1.20	1.31	37.50	23.85	0.61
60	15.81	1.03	1.12	52.50	18.43	0.52
75	14.47	0.86	0.99	67.50	18.43	0.43
90	13.43	0.73	0.80	82.50	14.09	0.36
105	12.49	0.60	0.67	97.50	14.09	0.29
120	11.66	0.50	0.55	112.50	10.84	0.24
135	10.96	0.41	0.46	127.50	9.76	0.19
150	10.34	0.33	0.36	142.50	8.67	0.15
165	9.82	0.26	0.30	157.50	7.59	0.11
180	9.40	0.21	0.24	172.50	5.42	0.09
195	9.05	0.16	0.19	187.50	5.42	0.06
210	8.82	0.13	0.15	202.50	3.25	0.05
225	8.63	0.11	0.12	217.50	2.17	0.03
240	8.43	0.08	0.10	232.50	3.25	0.02
255	8.34	0.07	0.08	247.50	0.98	0.01
270	8.25	0.06	0.07	262.50	1.19	0.008
285	8.18	0.05	0.06	277.50	1.08	0.003
300	8.15	0.047	0.05	292.50	0.33	0.002
315	8.13	0.044	0.05	307.50	0.00	0.001
330	8.13	0.044	0.04	322.50		0.00

Producto: Yuca

T de trabajo: 80 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.38 cm

espesor final: 0.32 cm

área inicial : 61.50 cm²

área final: 45.85 cm²

T_{bs} : 20.78 °C

T_{bh} : 14.52 °C

h : 1.17×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 63.66 cm/min

Tabla E₂₄

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	m calc. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	$\frac{w}{w}$	T (°C)
0	31.00	1.82	1.82				1.00	
15	28.66	1.61		1.72	7.50	18.67	0.68	
30	26.63	1.42		1.52	21.50	16.01	0.77	
45	24.86	1.26		1.34	37.50	14.67	0.68	
60	23.33	1.12		1.19	52.50	12.01	0.60	
75	21.98	1.00		1.06	67.50	10.67	0.53	
90	20.77	0.89	0.58	0.95	82.50	9.34	0.47	40.63
105	19.68	0.79		0.84	97.50	9.34	0.41	
120	18.71	0.70	0.47	0.75	112.50	8.01	0.36	52.38
135	17.81	0.62		0.66	127.50	8.01	0.31	
150	16.97	0.54	0.35	0.58	142.50	6.67	0.27	59.07
165	16.22	0.48		0.51	157.50	6.67	0.23	
180	15.55	0.42	0.30	0.45	172.50	5.34	0.19	62.87
195	14.88	0.35		0.39	187.50	5.34	0.16	
210	14.34	0.31	0.26	0.33	202.50	4.00	0.13	65.03
225	13.87	0.26		0.28	217.50	4.00	0.11	
240	13.47	0.23	0.23	0.24	232.50	2.67	0.09	66.26
255	13.14	0.20		0.21	247.50	2.67	0.07	
270	12.87	0.17	0.17	0.18	262.50	2.67	0.06	66.97
285	12.65	0.15		0.16	277.50	1.33	0.04	
300	12.43	0.13	0.13	0.14	292.50	1.33	0.03	67.35
315	12.27	0.12		0.12	307.50	1.33	0.02	
330	12.11	0.10	0.11	0.11	322.50	1.33	0.01	67.59
345	11.98	0.09		0.10	337.50	1.33	0.008	
360	11.88	0.08	0.09	0.09	352.50	1.33	0.003	67.72
375	11.84	0.077		0.08	367.50	0.40	0.001	
390	11.83	0.076	0.08	0.077	382.50	0.27	0.001	67.89
405	11.82	0.075		0.076	397.50	0.15	0.00	
420	11.82	0.075	0.08	0.076	412.50	0.00		67.89

Producto: Yuca.

T de trabajo : 70 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.40 cm

espesor final: 0.20 cm

área inicial: 74.95 cm²

área final: 50.52 cm²

Tbs : 23.12 °C

Tbh : 15.91 °C

h : 1.44×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 76.20 cm/min

Tabla E₂₅

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	m calc. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* N	T (°C)
0	20.53	2.18	2.18					
15	18.44	1.86		2.02	7.50	43.24	1.00	
30	16.57	1.57		1.71	22.50	43.24	0.85	
45	15.02	1.33		1.45	37.50	31.45	0.72	
60	13.70	1.12	1.04	1.23	52.50	27.52	0.61	30.51
75	12.58	0.95		1.04	67.50	23.59	0.52	
90	11.63	0.80	0.86	0.88	82.50	23.59	0.44	47.86
105	10.83	0.68		0.74	97.50	15.72	0.37	
120	10.13	0.57	0.61	0.63	112.50	13.76	0.28	57.16
135	9.54	0.48		0.53	127.50	11.79	0.23	
150	9.04	0.40	0.50	0.44	142.50	9.83	0.18	62.14
165	8.62	0.34		0.37	157.50	7.86	0.15	
180	8.25	0.28	0.44	0.31	172.50	7.86	0.13	64.81
195	7.93	0.23		0.25	187.50	5.90	0.11	
210	7.63	0.18	0.18	0.21	202.50	5.90	0.08	66.24
225	7.39	0.15		0.17	217.50	5.90	0.07	
240	7.19	0.12	0.12	0.13	232.50	3.93	0.05	67.00
255	7.01	0.09		0.10	247.50	3.93	0.04	
270	6.82	0.06	0.07	0.07	262.50	3.93	0.03	67.42
285	6.72	0.04		0.05	277.50	1.97	0.02	
300	6.65	0.03	0.03	0.04	292.50	1.97	0.014	67.64
315	6.59	0.02		0.03	307.50	1.97	0.010	
330	6.54	0.01	0.02	0.02	322.50	1.97	0.006	67.75
345	6.50	0.008		0.01	337.50	0.78	0.004	
360	6.47	0.003	0.01	0.006	352.50	0.59	0.001	67.89
375	6.45	0.001		0.002	367.50	0.39	0.00	
390	6.45	0.001	0.005	0.001	382.50	0.00		67.89

Producto: Yuca

T de trabajo: 70 °C

vel. del aire : 1.069 X 10⁻³ m/seg

espesor inicial : 0.42 cm

espesor final: 0.32 cm

área inicial : 50.88 cm²

área final: 27.42 cm²

T_{bs} : 22.46 °C

T_{bh} : 15.06 °C

h : 0.99 X 10⁻² cal/min cm² °C

Kc : 52.74 cm/min

Tabla E₂₆

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA x 10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	27.21	1.75				1.00
15	25.06	1.54	1.65	7.50	17.75	0.68
30	23.14	1.35	1.45	22.50	17.87	0.77
45	21.49	1.17	1.26	37.50	16.92	0.67
60	19.97	1.02	1.16	52.50	14.10	0.58
75	18.59	0.88	0.95	67.50	13.16	0.50
90	17.37	0.76	0.82	82.50	12.22	0.43
105	16.29	0.65	0.70	97.50	9.40	0.36
120	15.35	0.55	0.60	112.50	9.40	0.31
135	14.54	0.47	0.51	127.50	7.52	0.26
150	13.84	0.40	0.44	142.50	6.58	0.22
165	13.24	0.34	0.37	157.50	5.64	0.18
180	12.64	0.28	0.31	172.50	5.56	0.15
195	12.31	0.25	0.27	187.50	2.78	0.13
210	12.00	0.21	0.23	202.50	3.71	0.11
225	11.72	0.19	0.20	217.50	1.85	0.09
240	11.39	0.15	0.17	232.50	3.71	0.08
255	11.15	0.13	0.14	247.50	1.85	0.06
270	10.96	0.11	0.12	262.50	1.85	0.05
295	10.77	0.09	0.10	277.50	1.85	0.04
300	10.62	0.07	0.08	292.50	1.48	0.03
315	10.50	0.06	0.07	307.50	1.11	0.023
330	10.41	0.05	0.06	322.50	0.83	0.018
345	10.34	0.046	0.05	337.50	0.65	0.014
360	10.27	0.039	0.04	352.50	0.65	0.010
375	10.22	0.034	0.037	367.50	0.46	0.007
390	10.19	0.031	0.033	382.50	0.46	0.005
405	10.17	0.029	0.030	397.50	0.18	0.004
420	10.15	0.027	0.028	412.50	0.18	0.003
435	10.10	0.022	0.025	427.50	0.46	0.00
450	10.10	0.022	0.022	442.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 65 °C

vel. del aire : 1.069 X 10⁻³ m/seg

espesor inicial : 0.40 cm

espesor final: 0.29 cm

área inicial : 70.89 cm²

área final: 52.89 cm²

T_{bs} : 22.84 °C

T_{bh} : 15.07 °C

h : 1.13 X 10⁻² cal/min cm² °C

Kc : 59.10 cm²/min

Tabla E₂₇

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA $\times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* i
0	19.12	2.05				1.00
15	17.34	1.77	1.91	7.50	43.29	0.85
30	15.93	1.54	1.66	22.50	34.18	0.75
45	14.76	1.36	1.45	37.50	27.34	0.66
60	13.78	1.20	1.28	52.50	22.79	0.58
75	12.93	1.07	1.13	67.50	20.51	0.51
90	12.21	0.95	1.01	82.50	18.23	0.45
105	11.57	0.85	0.90	97.50	15.95	0.40
120	11.02	0.76	0.80	112.50	13.67	0.36
135	10.54	0.68	0.72	127.50	11.39	0.32
150	10.10	0.61	0.65	142.50	11.39	0.29
165	9.72	0.55	0.58	157.50	9.11	0.26
180	9.36	0.50	0.52	172.50	9.11	0.23
195	9.04	0.44	0.47	187.50	6.84	0.20
210	8.72	0.39	0.42	202.50	6.84	0.18
225	8.44	0.35	0.37	217.50	6.84	0.16
240	8.18	0.31	0.33	232.50	6.84	0.14
255	7.94	0.27	0.29	247.50	6.84	0.12
270	7.73	0.24	0.25	262.50	4.55	0.10
285	7.53	0.20	0.22	277.50	4.55	0.08
300	7.36	0.18	0.19	292.50	4.55	0.07
315	7.19	0.15	0.16	307.50	4.55	0.06
330	7.06	0.13	0.14	322.50	2.28	0.05
345	6.95	0.11	0.12	337.50	2.28	0.04
360	6.87	0.10	0.10	352.50	2.28	0.031
375	6.79	0.09	0.09	367.50	2.28	0.025
390	6.72	0.07	0.08	382.50	2.28	0.019
405	6.67	0.065	0.07	397.50	2.28	0.015
420	6.62	0.057	0.06	412.50	2.28	0.011
435	6.58	0.051	0.054	427.50	0.91	0.008
450	6.55	0.046	0.049	442.50	0.68	0.005
465	6.51	0.040	0.043	457.50	0.91	0.002
480	6.50	0.038	0.039	472.50	0.23	0.001
495	6.48	0.035	0.037	487.50	0.46	0.00
510	6.48	0.035	0.035	502.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.40 cm

espesor final: 0.24 cm

área inicial: 43.88 cm²

área final: 33.67 cm²

Tbs : 23.56 °C

Tbh : 15.77 °C

h : 1.55×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 80.40 cm/min

Tabla E₂₈

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA X 10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	22.86	1.08				1.00
15	21.19	1.86	1.97	7.50	27.29	0.89
30	19.71	1.66	1.76	22.50	23.65	0.79
45	18.45	1.49	1.57	37.50	20.01	0.71
60	17.35	1.34	1.41	52.50	18.20	0.63
75	16.36	1.20	1.27	67.50	18.20	0.57
90	15.47	1.09	1.15	82.50	14.56	0.51
105	14.62	0.97	1.03	97.50	14.56	0.45
120	13.86	0.87	0.92	112.50	12.74	0.40
135	13.15	0.77	0.82	127.50	10.91	0.35
150	12.51	0.69	0.73	142.50	10.91	0.31
165	11.90	0.60	0.65	157.50	10.91	0.27
180	11.34	0.53	0.57	172.50	9.10	0.23
195	10.82	0.46	0.49	187.50	9.10	0.20
210	10.33	0.39	0.43	202.50	7.28	0.16
225	9.90	0.34	0.36	217.50	7.28	0.13
240	9.50	0.28	0.31	232.50	7.28	0.11
255	9.20	0.24	0.26	247.50	5.46	0.09
270	8.89	0.20	0.22	262.50	5.46	0.07
285	8.68	0.17	0.18	277.50	3.64	0.05
300	8.49	0.14	0.16	292.50	3.64	0.04
315	8.35	0.13	0.14	307.50	1.82	0.03
330	8.23	0.11	0.12	322.50	1.82	0.022
345	8.14	0.10	0.10	337.50	1.82	0.016
360	8.03	0.082	0.09	352.50	1.82	0.008
375	7.98	0.076	0.08	367.50	0.73	0.005
390	7.93	0.069	0.073	382.50	0.91	0.002
405	7.90	0.055	0.067	397.50	0.55	0.00
420	7.90	0.055	0.065	412.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo : 60 °C
 vel. del aire : 1.059 X 10⁻³ m/seg
 espesor inicial: 0.39 cm²
 área inicial: 54.95 cm²
 Tbs : 23.28 °C
 h : 1.40 X 10⁻² cal/min cm² °C

espesor final: 0.19 cm²
 área final: 36.33 cm²
 Tbh : 15.88 °C
 Kc : 72.60 cm/min

Tabla E₂₉

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* H
0	18.82	1.85				1.00
15	17.52	1.65	1.75	7.50	32.31	0.88
30	16.44	1.50	1.58	22.50	24.85	0.78
45	15.52	1.35	1.42	37.50	24.85	0.69
60	14.70	1.23	1.29	52.50	22.37	0.62
75	14.01	1.12	1.17	67.50	17.39	0.55
90	13.40	1.03	1.08	82.50	14.91	0.49
105	12.86	0.95	1.00	97.50	14.91	0.44
120	12.40	0.88	0.91	112.50	12.43	0.40
135	11.98	0.81	0.85	127.50	9.94	0.36
150	11.61	0.76	0.79	142.50	9.94	0.33
165	11.29	0.71	0.73	157.50	7.46	0.30
180	10.97	0.66	0.69	172.50	7.46	0.27
195	10.71	0.62	0.64	187.50	7.46	0.24
210	10.45	0.58	0.60	202.50	7.46	0.22
225	10.22	0.55	0.57	217.50	4.97	0.20
245	9.93	0.50	0.53	235.00	7.46	0.17
260	9.73	0.47	0.49	252.50	4.97	0.15
275	9.53	0.44	0.46	267.50	4.97	0.13
290	9.32	0.41	0.43	282.50	4.97	0.11
305	9.18	0.39	0.40	297.50	2.49	0.10
320	9.03	0.37	0.38	312.50	4.97	0.09
335	8.90	0.35	0.36	327.50	2.49	0.07
350	8.79	0.33	0.34	342.50	2.49	0.06
365	8.68	0.31	0.32	357.50	2.49	0.05
380	8.59	0.30	0.31	372.50	2.49	0.044
395	8.51	0.29	0.30	387.50	2.49	0.036
410	8.45	0.28	0.29	402.50	2.49	0.031
425	8.38	0.27	0.28	417.50	2.49	0.024
440	8.32	0.26	0.27	432.50	2.49	0.019
455	8.26	0.251	0.26	447.50	2.49	0.013
470	8.24	0.248	0.25	462.50	0.50	0.011
485	8.21	0.243	0.246	477.50	0.75	0.008
500	8.18	0.239	0.241	492.50	0.50	0.006
515	8.16	0.236	0.238	507.50	0.50	0.004
530	8.12	0.230	0.233	522.50	1.00	0.00
545	8.12	0.230	0.230	537.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 55 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.41 cm

espesor final: 0.26 cm

área inicial: 40.24 cm²

área final: 30.57 cm²

Tbs : 21.87 °C

Tbh : 14.58 °C

h : 1.60×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 81.60 cm/min

Tabla E₃₀

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* w
0	20.60	2.49				1.00
15	19.10	2.24	2.37	7.50	34.29	0.89
30	17.90	2.03	2.14	22.50	28.24	0.80
45	16.85	1.86	1.95	37.50	24.21	0.72
60	15.85	1.69	1.77	52.50	22.19	0.64
75	14.95	1.53	1.61	67.50	20.17	0.57
90	14.16	1.40	1.47	82.50	18.16	0.51
105	13.42	1.28	1.34	97.50	16.14	0.46
120	12.80	1.17	1.22	112.50	14.12	0.41
135	12.22	1.07	1.12	127.50	14.12	0.36
150	11.70	0.98	1.03	142.50	12.10	0.33
165	11.21	0.90	0.94	157.50	12.10	0.29
180	10.79	0.83	0.87	172.50	10.09	0.26
195	10.42	0.77	0.80	187.50	8.07	0.23
210	10.08	0.71	0.74	202.50	8.07	0.20
225	9.75	0.65	0.68	217.50	8.07	0.18
240	9.45	0.60	0.63	232.50	6.05	0.15
255	9.16	0.55	0.58	247.50	6.05	0.13
270	8.91	0.51	0.53	262.50	6.05	0.11
285	8.65	0.47	0.49	277.50	6.05	0.09
300	8.45	0.43	0.45	292.50	4.03	0.08
315	8.25	0.40	0.42	307.50	4.03	0.06
330	8.10	0.37	0.39	322.50	4.03	0.05
345	7.97	0.35	0.36	337.50	4.03	0.04
360	7.86	0.33	0.34	352.50	2.02	0.033
375	7.77	0.32	0.33	367.50	2.02	0.026
390	7.69	0.304	0.31	382.50	2.02	0.021
405	7.63	0.293	0.30	397.50	2.02	0.016
420	7.57	0.283	0.29	412.50	2.02	0.011
435	7.53	0.276	0.28	427.50	2.02	0.008
450	7.50	0.271	0.274	442.50	0.61	0.006
465	7.47	0.266	0.269	457.50	0.61	0.004
480	7.45	0.263	0.265	472.50	0.40	0.002
495	7.42	0.258	0.261	487.50	0.61	0.00
510	7.42	0.258	0.258	502.50	0.00	

Producto: Yuca
T de trabajo: 50 °C
vel. del aire: 1.069×10^{-3} m/seg
espesor inicial : 0.39 cm espesor final: 0.24 cm
área inicial : 48.56 cm² área final: 36.23 cm²
Tbs : 23.58 °C Tbh : 16.04 °C
h : 1.50×10^{-2} cal/min cm² °C Kc : 75.60 cm/min

Tabla E₃₁

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	21.23	1.43				1.00
15	19.24	1.27	1.35	7.50	22.65	0.88
30	18.70	1.13	1.20	22.50	20.59	0.78
45	18.00	1.05	1.09	37.50	10.29	0.72
60	17.21	0.96	1.00	52.50	12.35	0.65
75	16.50	0.88	0.92	67.50	10.29	0.59
90	15.88	0.81	0.84	82.50	10.29	0.54
105	15.26	0.74	0.77	97.50	10.29	0.48
120	14.78	0.68	0.71	112.50	8.24	0.44
135	14.26	0.62	0.65	127.50	8.24	0.40
150	13.89	0.58	0.60	142.50	6.18	0.37
165	13.55	0.54	0.56	157.50	6.18	0.34
180	13.23	0.51	0.52	172.50	4.12	0.31
195	12.94	0.47	0.49	187.50	4.12	0.29
210	12.66	0.44	0.46	202.50	4.12	0.26
225	12.42	0.41	0.43	217.50	4.12	0.24
240	12.17	0.38	0.40	232.50	4.12	0.22
255	11.94	0.36	0.37	247.50	4.12	0.20
270	11.71	0.33	0.35	262.50	4.12	0.18
285	11.48	0.31	0.32	277.50	4.12	0.16
300	11.26	0.28	0.29	292.50	4.12	0.14
315	11.05	0.26	0.27	307.50	4.12	0.12
330	10.87	0.24	0.25	322.50	2.06	0.11
345	10.72	0.22	0.23	337.50	2.06	0.10
360	10.58	0.20	0.21	352.50	2.06	0.08
375	10.43	0.19	0.20	367.50	2.06	0.07
390	10.31	0.17	0.18	382.50	2.06	0.06
405	10.20	0.16	0.17	397.50	2.06	0.05
420	10.10	0.15	0.16	412.50	2.06	0.04
435	10.00	0.14	0.14	427.50	2.06	0.034
450	9.91	0.13	0.13	442.50	2.06	0.027
465	9.85	0.12	0.124	457.50	1.03	0.022
480	9.78	0.112	0.116	472.50	1.03	0.016
495	9.72	0.106	0.109	487.50	0.82	0.011
510	9.67	0.100	0.103	502.50	0.82	0.007
525	9.63	0.095	0.098	517.50	0.62	0.003
540	9.61	0.093	0.094	532.50	0.21	0.001
555	9.59	0.091	0.092	547.50	1.85	0.00
570	9.59	0.091	0.091	562.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 55 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.41 cm

espesor final: 0.23 cm

área inicial : 49.57 cm²

área final: 33.47 cm²

Tbs : 23.56 °C

Tbh : 16.57 °C

h : 1.49×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 75.60 cm/min

Tabla E₃₂

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* w
0	33.26	1.96				1.00
15	31.56	1.81	1.89	7.50	12.33	0.92
30	30.12	1.68	1.75	22.50	11.14	0.85
45	28.74	1.56	1.62	37.50	9.90	0.78
60	27.46	1.44	1.50	52.50	9.90	0.72
75	26.23	1.34	1.39	67.50	8.66	0.66
90	25.17	1.24	1.29	82.50	7.43	0.61
105	24.19	1.15	1.20	97.50	7.43	0.56
120	23.29	1.07	1.11	112.50	6.19	0.52
135	22.45	0.99	1.04	127.50	6.19	0.48
150	21.68	0.93	0.96	142.50	6.19	0.44
165	20.98	0.87	0.90	157.50	4.95	0.40
180	20.32	0.81	0.84	172.50	4.95	0.37
195	19.70	0.75	0.78	187.50	4.95	0.34
210	19.13	0.70	0.73	202.50	3.71	0.32
225	18.59	0.66	0.68	217.50	3.71	0.29
240	18.10	0.61	0.63	232.50	3.71	0.27
255	17.67	0.57	0.59	247.50	3.71	0.24
270	17.26	0.54	0.56	262.50	2.48	0.22
285	16.84	0.50	0.52	277.50	2.48	0.20
300	16.47	0.47	0.48	292.50	2.48	0.19
315	16.10	0.43	0.45	307.50	2.48	0.17
330	15.79	0.41	0.42	322.50	2.48	0.15
345	15.47	0.38	0.39	337.50	2.48	0.14
360	15.17	0.35	0.36	352.50	2.48	0.12
375	14.89	0.33	0.34	367.50	2.48	0.11
390	14.59	0.30	0.31	382.50	2.48	0.095
405	14.35	0.28	0.29	397.50	1.24	0.083
420	14.12	0.26	0.27	412.50	1.24	0.072
435	13.90	0.24	0.25	427.50	1.24	0.061
450	13.69	0.22	0.23	442.50	1.24	0.051
465	13.51	0.20	0.21	457.50	1.24	0.043
480	13.34	0.19	0.20	472.50	1.24	0.034
495	13.17	0.17	0.18	487.50	1.24	0.026
510	13.03	0.16	0.17	502.50	0.99	0.019
525	12.93	0.15	0.16	517.50	0.74	0.014
540	12.85	0.14	0.15	532.50	0.62	0.010
555	12.79	0.138	0.14	547.50	0.62	0.007
570	12.73	0.133	0.136	562.50	0.37	0.004

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O g s.s.)	\bar{t} (i)	dm/dtA x 10 ⁵ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* #
585	12.69	0.130	0.132	577.50	0.25	0.003
600	12.66	0.127	0.129	592.50	0.25	0.001
615	12.64	0.125	0.126	607.50	0.12	0.00
630	12.64	0.125	0.125	622.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 50 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.41 cm

espesor final: 0.22 cm

área inicial : 80.79 cm²

área final: 61.78 cm²

Tbs : 23.23 °C

Tbh : 16.69 °C

h : 1.11×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 55.22 cm/min

Tabla E₃₃

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	$\frac{w}{w^*}$
0	15.70	1.45				1.00
15	14.03	1.19	1.32	7.50	30.62	0.82
30	12.53	0.95	1.07	22.50	28.82	0.66
45	11.32	0.76	0.86	37.50	23.42	0.53
60	10.33	0.61	0.69	52.50	18.02	0.42
75	9.54	0.49	0.55	67.50	16.21	0.34
90	8.89	0.39	0.44	82.50	12.61	0.27
105	8.32	0.30	0.34	97.50	10.81	0.20
120	7.86	0.23	0.26	112.50	9.01	0.15
135	7.49	0.17	0.20	127.50	7.21	0.11
150	7.19	0.12	0.14	142.50	5.40	0.08
165	6.98	0.09	0.11	157.50	3.60	0.06
180	6.81	0.06	0.08	172.50	3.60	0.04
195	6.70	0.04	0.05	187.50	1.80	0.03
210	6.62	0.03	0.04	202.50	1.44	0.02
225	6.55	0.02	0.03	217.50	1.26	0.013
240	6.51	0.013	0.02	232.50	0.72	0.009
255	6.47	0.008	0.012	247.50	0.90	0.004
270	6.43	0.002	0.005	262.50	0.72	0.00
285	6.43	0.002	0.002	277.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.21 cm

espesor final: 0.15 cm

área inicial : 55.51 cm²

área final: 37.34 cm²

T_{bs} : 22.18 °C

T_{bh} : 15.79 °C

h : 1.38×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 70.80 cm/min

Tabla E₃₄

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^4$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	*
0	7.86	3.11				1.00
15	6.34	2.31	2.71	7.50	14.21	0.74
30	5.26	1.75	2.03	22.50	11.37	0.56
45	4.39	1.29	1.52	37.50	8.52	0.41
60	3.76	0.96	1.13	52.50	5.68	0.30
75	3.29	0.72	0.84	67.50	5.66	0.22
90	2.92	0.53	0.62	82.50	2.84	0.16
105	2.62	0.37	0.45	97.50	2.84	0.11
120	2.39	0.25	0.31	112.50	2.27	0.07
135	2.21	0.15	0.20	127.50	1.70	0.04
150	2.10	0.10	0.13	142.50	1.13	0.02
165	2.03	0.06	0.08	157.50	0.57	0.01
180	1.98	0.034	0.05	172.50	0.57	0.00
195	1.98	0.034	0.034	187.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.20 cm

espesor final: 0.13 cm

área inicial : 35.19 cm²

área final: 23.25 cm²

T_{bs} : 23.03 °C

T_{bh} : 14.00 °C

h : 1.53×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 78.00 cm/min

Tabla E₃₅

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	$\frac{w}{A}$
0	22.61	2.45				1.00
15	20.71	2.16	2.31	7.50	33.64	0.87
30	19.26	1.94	2.05	22.50	25.23	0.78
45	17.93	1.74	1.84	37.50	23.55	0.69
60	16.71	1.55	1.64	52.50	20.19	0.61
75	15.61	1.38	1.47	67.50	18.50	0.54
90	14.59	1.23	1.31	82.50	16.82	0.47
105	13.67	1.09	1.16	97.50	15.14	0.41
120	12.83	0.96	1.02	112.50	15.14	0.35
135	12.05	0.84	0.90	127.50	13.46	0.30
150	11.34	0.73	0.79	142.50	11.77	0.26
165	10.69	0.63	0.68	157.50	11.77	0.21
180	10.11	0.54	0.59	172.50	10.09	0.17
195	9.58	0.46	0.50	187.50	8.41	0.14
210	9.10	0.39	0.43	202.50	8.41	0.11
225	8.69	0.33	0.36	217.50	6.73	0.08
240	8.54	0.30	0.32	232.50	3.36	0.07
255	8.21	0.25	0.28	247.50	5.05	0.05
270	7.97	0.22	0.24	262.50	5.05	0.03
285	7.83	0.20	0.21	277.50	1.68	0.023
300	7.72	0.18	0.19	292.50	1.68	0.016
315	7.67	0.17	0.18	307.50	0.84	0.013
330	7.60	0.16	0.17	322.50	1.18	0.008
345	7.55	0.152	0.16	337.50	0.84	0.004
360	7.53	0.149	0.151	352.50	0.34	0.003
375	7.50	0.145	0.147	367.50	0.51	0.002
390	7.48	0.142	0.144	382.50	0.34	0.00
405	7.48	0.142	0.142	397.50	0.00	

Producto: Yuca
 T de trabajo: 60 °C
 vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg
 espesor inicial : 0.32 cm espesor final: 0.21 cm
 área inicial : 59.45 cm² área final: 38.68 cm²
 Tbs : 22.80 °C Tbh : 15.87 °C
 h : 1.35×10^{-2} cal/min cm² °C Kc : 69.12 cm/min

Tabla E₃₆

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* H
0	13.57	2.16				1.00
15	12.05	1.81	1.99	7.50	57.93	0.83
30	11.20	1.61	1.71	22.50	31.38	0.74
45	10.37	1.42	1.52	37.50	31.38	0.64
60	9.58	1.23	1.33	52.50	28.96	0.56
75	8.77	1.05	1.14	67.50	31.38	0.47
90	8.09	0.89	0.97	82.50	26.55	0.39
105	7.49	0.75	0.82	97.50	21.72	0.32
120	6.98	0.63	0.69	112.50	19.31	0.27
135	6.52	0.52	0.57	127.50	16.90	0.22
140	6.10	0.42	0.47	142.50	16.90	0.17
165	5.74	0.34	0.38	157.50	14.48	0.13
180	5.43	0.27	0.30	172.50	12.07	0.10
195	5.19	0.21	0.24	187.50	9.66	0.07
210	5.02	0.17	0.19	202.50	9.66	0.05
225	4.87	0.14	0.15	217.50	4.83	0.03
240	4.75	0.11	0.12	232.50	4.83	0.02
255	4.67	0.09	0.10	247.50	2.41	0.01
270	4.61	0.08	0.08	262.50	2.41	0.004
285	4.59	0.070	0.073	277.50	0.72	0.002
300	4.58	0.068	0.069	292.50	0.24	0.001
315	4.57	0.066	0.067	307.50	0.24	0.00
330	4.57	0.066	0.066	322.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.32 cm

espesor final: 0.16 cm

área inicial : 41.42 cm²

área final: 27.33 cm²

Tbs : 22.61 °C

Tbh : 16.35 °C

h : 1.48×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 75.90 cm/min

Tabla E₃₇

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dw}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	28.64	1.86				1.00
15	26.53	1.65	1.76	7.50	24.99	0.88
30	25.05	1.50	1.58	22.50	17.85	0.80
45	23.82	1.38	1.44	37.50	17.85	0.73
60	22.71	1.27	1.33	52.50	17.85	0.66
75	21.72	1.17	1.22	67.50	17.85	0.61
90	20.90	1.09	1.13	82.50	17.85	0.56
105	20.11	1.01	1.05	97.50	7.14	0.52
120	19.42	0.94	0.98	112.50	7.14	0.48
135	18.74	0.87	0.91	127.50	7.14	0.44
150	18.11	0.81	0.84	142.50	7.14	0.40
165	17.54	0.75	0.78	157.50	7.14	0.37
180	17.00	0.70	0.73	172.50	7.14	0.34
195	16.48	0.65	0.67	187.50	7.14	0.31
210	15.93	0.59	0.62	202.50	7.14	0.28
225	15.48	0.55	0.57	217.50	5.36	0.25
240	15.05	0.50	0.53	232.50	5.36	0.23
255	14.58	0.46	0.48	247.50	5.36	0.20
270	14.20	0.42	0.44	262.50	5.36	0.18
285	13.82	0.38	0.40	277.50	5.36	0.16
300	13.44	0.34	0.36	292.50	5.36	0.14
315	13.09	0.31	0.33	307.50	3.57	0.12
330	12.78	0.28	0.29	322.50	3.57	0.10
345	12.46	0.25	0.26	337.50	3.57	0.08
360	12.23	0.22	0.23	352.50	3.57	0.07
375	11.99	0.20	0.21	367.50	3.57	0.06
390	11.78	0.18	0.19	382.50	1.79	0.05
405	11.64	0.16	0.17	397.50	1.79	0.04
420	11.48	0.15	0.16	412.50	1.79	0.03
435	11.37	0.14	0.14	427.50	1.79	0.02
450	11.24	0.123	0.13	442.50	1.79	0.01
465	11.16	0.115	0.12	457.50	1.79	0.007
480	11.10	0.109	0.112	472.50	0.71	0.004
495	11.06	0.105	0.107	487.50	0.53	0.002
510	11.04	0.103	0.104	502.50	0.19	0.001
525	11.03	0.102	0.103	517.50	0.19	0.00
540	11.03	0.102	0.102	532.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.50 cm

espesor final: 0.27 cm

área inicial : 56.02 cm²

área final: 45.86 cm²

Tbs : 23.95 °C

Tbh : 16.60 °C

h : 1.38×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 70.20 cm/min

Tabla E₃₈

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	* W
0	22.03	1.56				1.00
15	20.35	1.37	1.47	7.50	32.96	0.86
30	19.21	1.24	1.30	22.50	22.86	0.77
45	18.28	1.13	1.18	37.50	17.75	0.69
60	17.50	1.04	1.08	52.50	15.21	0.63
75	16.79	0.96	1.00	67.50	15.21	0.57
90	16.17	0.88	0.92	82.50	12.68	0.52
105	15.63	0.82	0.85	97.50	10.14	0.47
120	15.14	0.76	0.79	112.50	10.14	0.43
135	14.69	0.71	0.74	127.50	10.14	0.40
150	14.27	0.66	0.69	142.50	10.14	0.36
165	13.89	0.62	0.64	157.50	7.01	0.33
180	13.55	0.58	0.60	172.50	7.01	0.30
195	13.18	0.54	0.56	187.50	7.01	0.27
210	12.89	0.50	0.52	202.50	7.01	0.25
225	12.59	0.47	0.48	217.50	5.07	0.22
240	12.33	0.44	0.45	232.50	5.07	0.20
255	12.07	0.41	0.42	247.50	5.07	0.18
270	11.82	0.38	0.39	262.50	5.07	0.16
285	11.59	0.35	0.36	277.50	5.07	0.14
300	11.36	0.32	0.34	292.50	5.07	0.12
315	11.15	0.30	0.31	307.50	5.07	0.10
330	10.98	0.28	0.29	322.50	5.07	0.09
345	10.80	0.26	0.27	337.50	3.54	0.07
360	10.63	0.24	0.25	352.50	3.54	0.06
375	10.47	0.22	0.23	367.50	2.54	0.05
390	10.33	0.20	0.21	382.50	2.54	0.04
405	10.21	0.19	0.20	397.50	2.54	0.03
420	10.11	0.18	0.18	412.50	2.54	0.02
435	10.03	0.17	0.17	427.50	2.54	0.01
450	9.97	0.161	0.155	442.50	2.54	0.006
465	9.93	0.156	0.159	457.50	1.27	0.002
480	9.92	0.155	0.156	472.50	0.77	0.001
495	9.91	0.154	0.155	487.50	0.17	0.001
510	9.90	0.153	0.154	502.50	0.17	0.00
525	9.90	0.153	0.153	517.50	0.17	

. Producto: Yuca

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.50 cm

espesor final: 0.30 cm

área inicial : 39.44 cm²

área final: 32.65 cm²

Tbs : 23.87 °C

Tbh : 15.02 °C

h : 1.50×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 76.80 cm/min

Tabla E₃₉

t (min)	W (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	dm/dtA $\times 10^{-5}$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	*
0	34.75	1.68				1.00
15	32.41	1.69	1.78	7.50	21.00	0.89
30	30.81	1.55	1.62	22.50	14.54	0.82
45	29.21	1.42	1.49	37.50	14.54	0.75
60	28.01	1.32	1.37	52.50	11.31	0.70
75	27.00	1.24	1.28	67.50	9.69	0.65
90	26.08	1.16	1.20	82.50	8.08	0.61
105	25.19	1.09	1.12	97.50	8.08	0.57
120	24.40	1.02	1.05	112.50	6.46	0.53
135	23.68	0.96	1.00	127.50	6.40	0.50
150	22.98	0.90	0.93	142.50	6.40	0.47
165	22.32	0.85	0.88	157.50	6.46	0.44
180	21.70	0.80	0.82	172.50	6.46	0.41
195	21.10	0.75	0.77	187.50	4.85	0.38
210	20.55	0.70	0.73	202.50	4.85	0.36
225	20.02	0.66	0.68	217.50	4.85	0.33
240	19.51	0.62	0.64	232.50	4.85	0.31
255	19.02	0.58	0.60	247.50	4.85	0.29
270	18.53	0.54	0.56	262.50	4.85	0.26
285	18.07	0.50	0.52	277.50	4.85	0.24
300	17.64	0.46	0.48	292.50	3.23	0.22
315	17.22	0.43	0.44	307.50	3.23	0.20
330	16.80	0.39	0.41	322.50	3.23	0.19
345	16.41	0.36	0.38	337.50	3.23	0.17
360	16.04	0.33	0.34	352.50	3.23	0.15
375	15.68	0.30	0.31	367.50	3.23	0.14
390	15.35	0.27	0.29	382.50	3.23	0.12
405	15.03	0.25	0.26	397.50	3.23	0.11
420	14.72	0.22	0.23	412.50	3.23	0.09
435	14.46	0.20	0.21	427.50	1.62	0.08
450	14.21	0.18	0.19	442.50	1.62	0.07
465	14.00	0.16	0.17	457.50	1.62	0.06
480	13.82	0.15	0.15	472.50	1.62	0.05
495	13.65	0.13	0.14	487.50	1.62	0.043
510	13.51	0.12	0.13	502.50	1.62	0.036
525	13.39	0.11	0.11	517.50	1.62	0.031
540	13.27	0.10	0.10	532.50	1.62	0.025
555	13.16	0.09	0.095	547.50	1.62	0.020
570	13.07	0.083	0.087	562.50	0.81	0.016

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$\frac{dm}{dtA} \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	*
585	12.99	0.076	0.08	577.50	0.81	0.013
500	12.89	0.068	0.072	592.50	1.62	0.008
515	12.83	0.063	0.066	607.50	0.48	0.005
630	12.78	0.059	0.061	622.50	0.48	0.003
645	12.74	0.055	0.057	637.50	0.48	0.001
660	12.72	0.054	0.055	652.50	0.11	0.001
675	12.71	0.053	0.054	667.50	0.11	0.00
690	12.71	0.053	0.053	682.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial : 0.58 cm

espesor final: 0.30 cm

área inicial : 61.90 cm²

área final: 48.76 cm²

Tbs : 23.32 °C

Tbh : 16.19 °C

h : 1.44×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 68.16 cm/min

Tabla E₄₀

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O/ g s.s.)	\bar{t} (min)	$dm/dt \times 10^5$ (g H ₂ O/ g s.s.min.cm ²)	*
0	20.35	2.07				1.00
15	18.68	1.82	1.95	7.50	51.65	0.87
30	17.66	1.66	1.74	21.50	33.05	0.79
45	16.77	1.53	1.60	37.50	25.86	0.72
60	16.04	1.42	1.48	52.50	22.72	0.67
75	15.35	1.32	1.37	67.50	20.66	0.62
90	14.75	1.23	1.28	82.50	18.59	0.57
105	14.16	1.14	1.19	97.50	18.59	0.52
120	13.69	1.07	1.11	112.50	14.46	0.48
135	13.24	1.00	1.04	127.50	14.46	0.45
150	12.82	0.93	0.97	142.50	14.46	0.42
165	12.44	0.86	0.91	157.50	10.33	0.39
180	12.09	0.82	0.85	172.50	12.39	0.36
195	11.76	0.77	0.80	187.50	10.33	0.33
210	11.46	0.73	0.75	202.50	8.26	0.31
225	11.18	0.67	0.70	217.50	12.39	0.29
240	10.90	0.64	0.66	232.50	6.20	0.27
255	10.63	0.60	0.62	247.50	8.26	0.25
270	10.38	0.57	0.59	262.50	6.20	0.23
285	10.13	0.53	0.55	277.50	8.26	0.21
300	9.90	0.49	0.51	292.50	8.26	0.19
315	9.70	0.46	0.48	307.50	6.19	0.17
330	9.46	0.43	0.45	322.50	6.19	0.15
345	9.26	0.40	0.42	337.50	6.19	0.14
360	9.08	0.37	0.39	352.50	6.19	0.13
375	8.91	0.34	0.36	367.50	6.19	0.11
390	8.74	0.32	0.33	382.50	4.13	0.10
405	8.58	0.29	0.31	397.50	6.19	0.09
420	8.41	0.27	0.28	412.50	4.13	0.073
435	8.31	0.25	0.26	427.50	4.13	0.065
450	8.18	0.23	0.24	442.50	4.13	0.055
465	8.08	0.22	0.23	457.50	2.06	0.047
480	7.96	0.20	0.21	487.50	4.13	0.038
495	7.86	0.19	0.20	502.50	2.06	0.030
510	7.78	0.17	0.18	517.50	4.13	0.024
525	7.70	0.16	0.17	532.50	2.06	0.018
540	7.64	0.15	0.16	547.50	2.06	0.013
555	7.59	0.145	0.15	562.50	1.23	0.009
570	7.55	0.139	0.143	577.50	0.62	0.006

t (min)	w (g)	m exp. (g H ₂ O, g s.s.)	\bar{m} (g H ₂ O, g s.s.)	\bar{t} (min)	emf/eta x 10 ⁵ (g H ₂ O, g s.s.min.cm ²)	v*
585	7.53	0.136	0.117	592.50	0.62	0.005
600	7.50	0.131	0.131	597.50	0.10	0.002
615	7.48	0.129	0.129	602.50	0.08	0.001
630	7.47	0.127	0.127	607.50	0.02	0.00
645	7.47	0.127	0.127	612.50	0.00	

Producto: Yuca

T de trabajo: 60 °C

vel. del aire : 1.069×10^{-3} m/seg

espesor inicial: 0.60 cm

espesor final: 0.39 cm

área inicial: 32.27 cm²

área final: 20.95 cm²

Tbs : 22.48 °C

Tbh : 15.91 °C

h : 1.55×10^{-2} cal/min cm² °C

Kc : 79.32 cm/min

APENDICE F .

Para calcular el contenido de humedad (m) correspondiente a diferentes tiempos, la velocidad de secado por unidad de área (dm/dtA) y la humedad reducida (W*) se emplean las siguientes expresiones:

$$m = \frac{w - w_f}{w_f} \quad (1)$$

donde: m = humedad, gH₂O/g s.s.
w = peso de la muestra a diferentes tiempos, g
w_f = peso seco de la muestra, g

$$\frac{dm}{dtA} = \frac{m}{tA} = \frac{w_2 - w_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

donde: dm/dtA = variación del contenido de humedad con respecto al tiempo por unidad de área, gH₂O/gs.s.min cm²
A = área inicial de la muestra, cm²
w₂ = peso de la muestra al tiempo t₂
w₁ = peso de la muestra al tiempo t₁

$$W^* = \frac{m - m_e}{m_0 - m_e} \quad (3)$$

donde: W* = humedad reducida
m_e = humedad en el equilibrio, g H₂O/g s.s.
m₀ = humedad inicial, g H₂O/g s.s.

$$\bar{m} = \frac{m_2 + m_1}{2} \quad (4)$$

donde: \bar{m} = contenido de humedad medio entre m₂ y m₁

$$\bar{t} = \frac{t_2 - t_1}{15} \quad (5)$$

donde: \bar{t} = tiempo medio entre t_2 y t_1

Ejemplo de Cálculo.-

Producto: malanga

temperatura: 70 °C

espesor inicial : 0.40 cm

área inicial : 104.45 cm²

peso seco de la muestra : 4.52 g

peso inicial de la muestra: 39.84 g

peso de la muestra al tiempo t_1 : 33.91 g

$$m_0 = 39.84 - 4.52 / 4.52 = 7.814 \text{ gH}_2\text{O/g s.s.}$$

$$m_1 = 33.91 - 4.52 / 4.52 = 6.502 \text{ gH}_2\text{O/g s.s.}$$

⋮

$$m_e = 4.53 - 4.52 / 4.52 = 0.002 \text{ gH}_2\text{O/g s.s.}$$

$$- dm/dtA = m_0 - m_1 / (t_0 - t_1) A = 7.814 - 6.502 / (0 - 15) 104.45 = 8.374 \times 10^{-4}$$

$$\vdots$$

$$- dm_n/dtA = m_{n-1} - m_n / (t_{n-1} - t_n) A = dm_n/dtA \text{ g H}_2\text{O/g s.s. min cm}^2$$

$$W^*_0 = 7.814 - 0.002 / 7.814 - 0.002 = 1$$

$$W^*_1 = 6.502 - 0.002 / 7.814 - 0.002 = 0.832$$

⋮

$$W^*_n = m_e - 0.002 / 7.814 - 0.002 = 0.00$$

APENDICE G .

Para la determinación del coeficiente externo de transferencia de calor --
(h), se emplea la siguiente expresión:

$$h = J_h (N_{Pr})^{-2/3} C_p G$$

donde: h = coeficiente externo de transferencia de calor, cal/min cm²°C

$$J_h = J_D = 0.664 N_{Re}^{-0.5}$$

$$N_{Re} = Deq v$$

Deq = diámetro equivalente de la muestra, cm

v = velocidad del aire, cm/seg

ρ = densidad del aire, g/cm³

μ = viscosidad del aire, g/cm seg

NPr = número adimensional, tablas

NRe = número adimensional

Ejemplo de Cálculo.-

Producto: Malanga

temperatura: 70 °C

área inicial :104.45 cm²

$$Deq : 2 (\text{área inicial} /)^{1/2} = 11.53 \text{ cm}$$

$$v : 0.39 \text{ cm/seg}$$

$$\rho : 1.038 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$$

$$\mu : 2.03 \times 10^{-4} \text{ g/cm seg}$$

$$N_{Pr} : 0.6998$$

$$N_{Re} : 22.93$$

$$C_p : 0.239 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$$

$$J_h : 1.182$$

$$G : 4.048 \times 10^{-4} \text{ g/cm}^2 \text{ seg}$$

$$h = 1.182 (0.6998)^{-2/3} (0.2392) (4.048 \times 10^{-4}) = 1.451 \times 10^{-4} \text{ cal/seg cm}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

APENDICE H .

Determinación de la historia térmica del producto durante la deshidratación.

Suponiendo un calor sensible despreciable en comparación al calor involucrado en la evaporación de la humedad, el balance de energía entre el sólido y el aire de secado esta dado por:

$$A h (T_a - T) = - (\lambda + Q_s) dm_w / dt \quad (1)$$

donde: T_a = temperatura bulbo seco, °C

T = temperatura del alimento al tiempo t , °C

m_w = g H_2O

Q_s = calor de desorción, g/mol

A = área de transferencia, cm^2

h = coef. externo de transferencia de calor, $\frac{cal}{min\ cm^2\ ^\circ C}$

Vaccarezza et al. (1974) demostró que:

$$m_w = m_{w0} e^{-st} \quad (2)$$

donde: s = pendiente de la solución al modelo de Fick para - resistencia a la transferencia de masa externa - despreciable

m_{w0} = g H_2O inicial

Considerando que,

$$A = m_w + m_s \ell \quad (3)$$

donde: m_s = g de sólido seco (s.s.)

ℓ = densidad

λ = dos veces el espesor

El área de transferencia de las muestras cambia a medida que procede la deshidratación. Para efectos de esta estimación la densidad y el espesor considerados -- fueron los del producto seco.

Tenemos,

$$T = T_a - \frac{(Q_s + \lambda) \rho l m_0 s e^{-st}}{2 h (m_0 + 1)} \quad (4)$$

donde: m_0 = contenido de humedad inicial

El valor de $(\lambda + Q_s)$, para los niveles de contenido de humedad considerados, es practicamente igual a la entalpia de evaporación (λ) .

Ejemplo de cálculo.-

Producto: Malanga
 espesor inicial : 0.40 cm
 T_a : 67.89 °C
 $Q_s + \lambda$: 558.33 g/mol
 ρ : 0.3459 g/cm³
 l : 0.444 cm
 m_0 : 7.814 g H₂O/ g s.s.
 s : 2.71 X 10⁻²
 h : 8.705 X 10⁻³ cal/min cm² °C

A los 60 minutos,

$$T = 67.89 - \frac{(558.33) (0.3459) (0.444) (7.814) (2.71 \times 10^{-2}) e^{-2.71 \times 10^{-2} (60)}}{2 (8.705 \times 10^{-3}) (8.814)}$$

$$T = 44.61 \text{ °C}$$

APENDICE I .

Para calcular el coeficiente interno de transferencia de masa (D) se emplea la siguiente expresión:

$$D = \frac{S l^2}{\pi^2} \quad (1)$$

donde: D = coeficiente interno de transferencia de masa, cm^2 / min
S = pendiente de la gráfica $\ln W^*$ vs. t en el intervalo $0.1 W^* 0.01, \text{min}^{-1}$
 l = dos veces el espesor inicial de la muestra, cm^2

Ejemplo de Cálculo.-

Producto: Malanga

temperatura : 70 °C

espesor inicial : 0.398 cm

S : $2.71 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$

l^2 : 0.634 cm^2

$$D = \frac{(2.71 \times 10^{-2}) (0.634)}{3.1416}$$

$$D = 1.74 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{min}$$

APENDICE J .

Para modelar el contenido de humedad a lo largo de la deshidratación se emplean las siguientes expresiones:

$$\ln W^* = s t + b \quad (1)$$

donde: W^* = humedad reducida

s = pendiente de la gráfica $\ln W^*$ vs. t en el intervalo $0.1 \geq W^* \geq 0.01$, min^{-1}

t = tiempo, min

b = ordenada al origen de la gráfica $\ln W^*$ vs. t en el intervalo $0.1 \geq W^* \geq 0.01$

$$\ln D = s 1/T + b \quad (2)$$

donde: D = coeficiente de transferencia de masa interno, cm^2/min

s = pendiente de la gráfica $\ln D$ vs. $1/T$, $\text{cm}^2/^\circ\text{K}/\text{min}$

T = temperatura absoluta, $^\circ\text{K}$

b = ordenada al origen de la gráfica $\ln D$ vs. $1/T$, cm^2/min

$$\ln W^* = \ln g^2 - s_1 t \quad (3)$$

donde: W^* = humedad reducida calculada

s_1 = pendiente (calculada) de la gráfica $\ln W^*$ vs. t

t = tiempo, min

$$s_1 = \frac{D a^2}{(2l)^2} \quad (4)$$

donde: l = espesor inicial de la muestra, cm

a = pendiente de la gráfica $\ln s$ vs. $\ln 2l$

a:	actividad del agua
A:	área de transferencia (cm^2)
$A_{\text{H}_2\text{O}}$:	área de una molécula de agua (Å^2)
b:	parámetro del modelo de Halsey
cp:	calor específico ($\text{cal/g } ^\circ\text{C}$)
D:	coeficiente de difusividad interna del líquido (cm^2/min)
Deq:	díametro equivalente (cm)
h:	coeficiente de transferencia de calor en la interfase -- sólido-gas ($\text{cal}/\text{min cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
J_H :	$= J_D = 0.664 N_{\text{Re}}$ (adimensional)
K:	constante del modelo de Henderson
K_g :	coeficiente de transferencia de masa en la interfase sólido-gas (cm/min)
m:	contenido de agua (g agua)
m:	contenido de humedad (g agua/g sólido seco)
N_{Re} :	número de Reynolds = $Deq \cdot \rho / \mu$ (adimensional)
N_{Fo} :	número de Fourier = Dt / ℓ^2 (adimensional)
N_{Pr} :	número de Prandtl (adimensional)
Q_s :	calor de desorción (g/mol)
T:	temperatura ($^\circ\text{C}$)
Ta:	temperatura de entrada del secador ($^\circ\text{C}$)
Tb:	temperatura de salida del secador ($^\circ\text{C}$)
T_{bh} :	temperatura de bulbo húmedo ($^\circ\text{C}$)
T_{bs} :	temperatura de bulbo seco ($^\circ\text{C}$)
t:	tiempo

a:	actividad del agua
A:	área de transferencia (cm^2)
$A_{\text{H}_2\text{O}}$:	área de una molécula de agua (Å^2)
b:	parámetro del modelo de Halsey
cp:	calor específico ($\text{cal/g } ^\circ\text{C}$)
D:	coeficiente de difusividad interna del líquido (cm^2/min)
Deq:	diámetro equivalente (cm)
h:	coeficiente de transferencia de calor en la interfase -- sólido-gas ($\text{cal}/\text{min cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)
J_H :	$= J_D = 0.564 N_{\text{Re}}$ (adimensional)
K:	constante del modelo de Henderson
K_g :	coeficiente de transferencia de masa en la interfase sólido-gas (cm/min)
m:	contenido de agua (g agua)
m:	contenido de humedad (g agua/g sólido seco)
N_{Re} :	número de Reynolds = $Deq \cdot \rho / \mu$ (adimensional)
N_{Fo} :	número de Fourier = Dt/l^2 (adimensional)
N_{Pr} :	número de Prandtl (adimensional)
Q_s :	calor de desorción (g/mol)
T:	temperatura ($^\circ\text{C}$)
Ta:	temperatura de entrada del secador ($^\circ\text{C}$)
Tb:	temperatura de salida del secador ($^\circ\text{C}$)
T_{bh} :	temperatura de bulbo húmedo ($^\circ\text{C}$)
T_{bs} :	temperatura de bulbo seco ($^\circ\text{C}$)
t:	tiempo

v:	velocidad del aire (cm/seg)
w:	peso de la muestra (g)
w_f :	peso seco de la muestra (g)
w^* :	humedad reducida (adimensional)
x:	distancia (cm)

Letras griegas

α :	coeficiente interno de transferencia de calor (cal/min cm ² °C)
β :	raíces positivas del número de Biot
ΔH_v :	calor de vaporización (cal/mol)
θ :	contenido de humedad/contenido de humedad en la monocapa
μ :	viscosidad del aire (g/cm min)
ρ_a :	densidad del aire (g/cm ³)
ρ_s :	densidad del sólido (g/cm ³)

8. BIBLIOGRAFIA

A.O.A.C., 1970. Métodos de Análisis. 11a. Ed. George Banta Co. Inc. Menasha, Wisconsin.

Brooker D.B., Bakker-Arnema F.W. y Hall C.W., 1974. Drying Cereal Grains. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.

Brunaver S., Emett P.H. y Teller, 1938. Absorption of Gases in Multimolecular Layer's. J. Amer. Chem. Soc. Vol. 60:60.

Chirife J. y Cachero R., 1970. Through-Circulation Drying of Tapioca Root. J. Food Sci. Vol. 36:327.

Charm S.E., 1978. Fundamentals of Food Engineering. 3a. Ed. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.

Crank J., 1976. The Mathematics of Diffusion. 2a. Ed. J.W. Arrowsmith LTD, Bristol, England.

Fish B.P., 1957. Diffusion and Equilibrium Properties of Water in Starch. Dept. Sci. Ind. Research, Food Investigations Tech. Paper 5.

Fish B.P. 1958. Diffusions and Thermodynamics of Water in Starch Gel. In: Fundamentals Aspects of the Dehydration of Food Stuffs. Soc. Chem. Ind. Lond, 143-157.

Galeazzi M.A.M., Syarbieri V.C. and Constantinides S.M., 1981. Isolation, Purification, Physicochemical Characterization of Polyphenol Oxidases (PPO) from Dwarf Variety Banana (musacavendishii L.) J. Food Sci., Vol. 46:150.

Geankoplis CH.J., 1978. Transports Processes and Unit Operations. 1a. Ed. Allyn and Bacon, Inc. Boston, Massachusetts.

Goering T.J., 1980. Los Tubérculos: Potencial Alimentario y Energético. Finanzas y Desarrollo. Junio.

Heldman D.R. y Singh P.R., 1981. Food Process Engineering. 2a. Ed. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.

Iglesias H.A. y Chirife J., 1976. A Model for Describing the Water Sorption Behavior of Foods. J. Food Sci. Vol. 41:984.

King C.J., 1968. Rates of Moisture Sorption and Desorption in Porous Dried Foodstuffs. Food Technol. (Abril) Vol. 22:509.

Kubota K., Suzuki K., Hozaka H., Hirota R. e Inra K., 1976. Studies of Drying-Rate Equation Based on Drying-Shell Models. J. Fac. Fish. Anim. Hurb Hiroshima Univ. Vol. 15:1.

Labuza T.P., 1968. Sorption Phenomena in Foods. Food Technol. (Marzo) Vol. 22:263.

Lescano C., 1981. Drying of Potatoes (Papa Seca) in Peru, in: Food Drying Proceedings of a Workshop Held at Edmonton, Alberta 6-9 Julio.

Nahlawi N., 1966. The Drying of Yams with Solar Energy. Technical Report No. T. 27 Julio. Brace Research Institute of McGill University.

Pluncknett D.L., 1979. Small-Scale Processing and Storage of Tropical Root Crops. Westview Press. Boulden, Colorado.

Purcel A.E., Walter W.M. Jr. y Francis G. Giesbrecht, 1978. Protein and Aminoacids of Sweet Potato Fraction. J. Agric. and Food Chem. Vol. 26:699 No. 3.

Rimbault M. y Alzà D., 1980. European J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 9, 199-209.

S.A.R.H., D.G.E.A., 1977. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos.

Segurajauregui A.J., 1982. Cuadernos de Posgrado Vol. II, No. 4, Abril. Departamento de Alimentos, División de Estudios de Posgrado Facultad de Química, UNAM.

Summer J.B., S.F. Howell A., 1935. Method for Determination of Saccharase Activity. J. Biol. Chem. Vol. 101:51.

Vaccarezza L.M., Lombardi J.L. and Chirife J., 1974. Heat Transfer Effects on Drying Rate of Food Dehydration. The Canadian J. Chem. Eng., Vol. 52:576 (Octubre).

Vaccarezza L.M. y Chirife J., 1978. On the Application of Fick's Law for the Kinetic Analysis of Air Drying of Foods. J. Food Sci. Vol. 43:236.

Van Arsdel W.B., Copley M.J. y Morgan A.I., 1973. Food Dehydration, Vol. I. AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.

Whitaker, J.R., 1972. Principles of Enzymology for the Food Science. Marcel Dekker Inc., New York.