

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



DESHIDRATACION DE ZANAHORIA Y PAPA  
POR EL METODO DE AIRE FORZADO  
EN UN SECADOR DE GABINETE

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERIA

POR

EDGAR ESTUARDO MAAZ OCH

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO

Guatemala, agosto de 1,995

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central


08  
T(3578)  
co H

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

DESHIDRATACION DE ZANAHORIA Y PAPA POR EL METODO DE AIRE FORZADO EN UN SECADOR DE GABINETE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química

  
EDGAR ESTUARDO MAAZ OCH

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



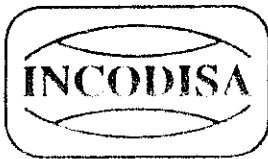
**MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Angel Sánchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o.	Ing. Juan Adolfo Echeverría Méndez
VOCAL 4o.	Br. Freddy Estuardo Rodríguez Quezada
VOCAL 5o.	Br. Mario Nephtalí Morales Soliz
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN**

**GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Julio Chávez Montúfar
EXAMINADOR	Ing. César A. García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Williams G. Alvarez Mejía
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González López



Guatemala, 15 de mayo de 1995

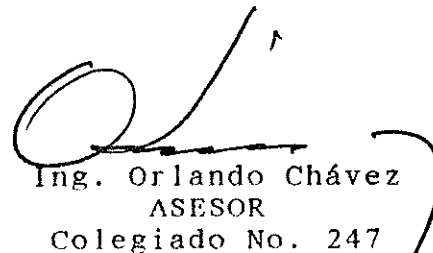
Doctor:  
Adolfo Gramajo  
Director de la Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Doctor Gramajo:

Por medio de la presente, hago de su conocimiento que habiendo asesorado el trabajo de tesis del estudiante Edgar Estuardo Maaz Och, denominado DESHIDRATACION DE ZANAHORIA Y PAPA POR EL METODO DE AIRE FORZADO EN UN SECADOR DE GABINETE, considero procedente someterlo a la revisión y autorización por parte de las autoridades facultativas.

Agradeciendo la atención que le otorgue a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Orlando Chávez  
ASESOR  
Colegiado No. 247

ORLANDO CHAVEZ ES  
INGENIERO QUIMICO  
COLEGIADO NO. 247



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 16 de junio de 1,995

Doctor  
Adolfo Gramajo  
Director Escuela Ingeniería Química  
Universidad de San Carlos  
Guatemala.

Doctor Gramajo.

Por este medio me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el informe final de Tesis del estudiante Edgar Estuardo Maaz Och, titulado: DESHIDRATACION DE ZANAHORIA Y PAPA POR EL METODO DE AIRE FORZADO EN UN SECADOR DE GABINETE. Considero satisfactoria la realización de dicho trabajo de investigación y lo envío a usted para su trámite y aprobación.

Agradeciendo la atención a la presente, le saluda.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio Chávez Montúfar  
REVISOR





**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química; Dr. Adolfo Gramajo, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de tesis del estudiante EDGAR ESTUARDO MAAZ OCH titulado: DESHIDRATACION DE ZANAHORIA Y PAPA POR EL METODO DE AIRE FORZADO EN UN SECADOR DE GABINETE, procede a la autorización del mismo.

  
Dr. Adolfo Gramajo  
DIRECTOR  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  


Guatemala, 7 de agosto de 1,995.



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de tesis titulado: **DESHIDRATACION DE ZANAHORIA Y PARA POR EL METODO DE AIRE FORZADO EN UN SECADOR DE GABINETE** del estudiante **EDGAR ESTUARDO MAAZ OCH**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

**IMPRIMASE:**

Ing. Julio Ismael González Podszueck  
DECANO



Guatemala, 7 de agosto de 1,995

## ACTO Y TESIS QUE DEDICO

- A DIOS Y A LA VIRGEN MARIA      POR SU INFINITO AMOR
- A MIS PADRES      ROSALIA OCH DE MAAZ  
ROBERTO MAAZ BOL  
Por su amor, comprensión y apoyo en todo momento, como agradecimiento a sus múltiples esfuerzos, sacrificios y consejos.
- A MIS HERMANOS      OLGA MARINA, GUILLERMO ROBERTO  
THELMA ROSSANA, ALEX LEONEL,  
NELSON GIOVANNI, JAMES  
REINALDO, MARCO VINICIO,  
CESAR HUMBERTO (QEPD), EDGAR  
ATADULFO (QEPD) Y OMAR DONALDO  
(QEPD).  
Gracias por su cariño y entusiasmo.
- A MIS SOBRINOS      MARCIA, HECTOR, ROBERTO,  
FELIX, TIZIANA, ALEX, NELSON,  
GIOVANNA, PAMELA, MARIA  
FERNANDA Y MELANNIE.  
Para estimularlos a alcanzar las metas propuestas en su vida.
- A LA FAMILIA CHAVEZ PARDO      En especial con mucho cariño para ANY, por su entusiasmo e incondicional apoyo.
- A MIS CUÑADOS Y FAMILIA EN GENERAL      Con cariño.
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS      Forjadora de profesionales
- A LA FACULTAD DE INGENIERIA
- A LA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
- A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE PROMOCION



## AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODOPODEROSO

CREADOR DEL UNIVERSO Y LA  
VIDA. Por permitirme alcanzar  
una meta más en mi vida.

- Ing. Orlando Chávez, por su asesoría, colaboración y orientación brindada en la realización del presente trabajo
- Ing. Julio Chávez Montúfar, por su valiosa ayuda en la revisión final del presente trabajo.
- A la fabrica INCODISA, por la utilización de sus instalaciones y equipo, para la realización de la parte experimental.
- Ing. Telma Cano Morales e Ing. César García, por su orientación y colaboración en la estructuración del protocolo.
- A todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la realización del presente trabajo de investigación.

## INDICE

Contenido	página
SUMARIO	1
INTRODUCCION	3
I. ANTECEDENTES	4
II. JUSTIFICACIONES	14
III. OBJETIVOS	15
IV. HIPOTESIS	16
IV.1 Hipótesis estadística	17
V. METODOLOGIA	18
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	25
CONCLUSIONES	32
RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS	34
APENDICE	36

## SUMARIO

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con la finalidad de determinar cuáles son las condiciones óptimas de operación para un secador de gabinete (de bandejas) que opera mediante aire forzado: temperatura y tipo de corte del vegetal, para así determinar el tiempo más adecuado en la deshidratación (en relación con el contenido de humedad) de papa y zanahoria, y estudiar el comportamiento de estos vegetales cuando son sometidos a estas condiciones. Las temperaturas a las cuales se operó el secador son de: T1= 50 °C, T2= 60 °C y T3= 70 °C. Los tipos de corte para la papa y zanahoria fueron: C1= cubo (10 mm por lado), C2=trozo rectangular (20 mm \* 10 mm \* 5 mm) y C3= rodaja (20 mm diametro y 5 mm grosor). La velocidad del aire fue constante de 2.5 m/seg y las temperaturas de bulbo húmedo del aire se encontraron en un rango de 14.4 a 18.0 °C; la carga de las bandejas en el secador fue de 4 kg/m<sup>2</sup>.

En la investigación se utilizaron, como tratamientos, cada una de las combinaciones de las dos variables estudiadas, y se tuvo como modelo estadístico un diseño experimental con un arreglo combinatorio y una distribución completamente al azar con 9 tratamientos y 2 repeticiones. La variable respuesta es el contenido de humedad para un tiempo de secado de papa y zanahoria de acuerdo con las diferentes condiciones establecidas. El tiempo de secado se determinó de acuerdo con los datos tabulados y la relación del contenido de humedad dada en kg H<sub>2</sub>O/kg seco del producto. A los contenidos de

humedad para cada tiempo de secado, se le aplicó un análisis de varianza, y se comprobó que las F de fisher observadas fueron mayores que las F de tabla, por lo cual se concluye que sí existen variaciones significativas en el tiempo de secado debido a las temperaturas de operación y al tipo de corte.

Se concluye que el mejor tratamiento es el corte rectangular (20mm \* 10mm \* 5mm) y a una temperatura de 70 oC, en el que se obtuvo un tiempo de 7 hrs para un contenido final de humedad de 0.057 kg H<sub>2</sub>O/kg seco para papa, y para zanahoria el tiempo es de 6 hrs para un contenido final de humedad de 0.059 kg H<sub>2</sub>O/kg seco.

## INTRODUCCION

Existen diferentes frutas y vegetales que debido a su tiempo relativamente corto de maduración y de disponibilidad en el mercado, son difíciles de mantener en condiciones óptimas para el consumo humano. Los avances en la tecnología han dado diversas opciones para la conservación de los alimentos.

Una solución práctica para la conservación de frutas y vegetales consiste en deshidratarlos. De esa manera, se disminuye la degradación por microorganismos y acciones enzimáticas, con lo que se aumenta el tiempo disponible como producto de consumo alimenticio y también hace factible la comercialización de productos no tradicionales a nivel nacional e internacional.

Para el secado de vegetales, generalmente se utilizan secadores de túnel, de cabina o de banda. En el presente trabajo, se logró la deshidratación de zanahoria y papa, usando aire con flujo forzado en un secador de gabinete (cabina o de bandejas). Se estudiaron las curvas de secado para cada vegetal a distintas temperaturas y formas de corte, para investigar el efecto que producen estas condiciones sobre el contenido de humedad a diferentes tiempos de secado: se evaluaron características físicas finales como apariencia, textura, color y sabor, así como el índice de rehidratación y pH de estos vegetales.

## I. ANTECEDENTES

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los alimentos. A través de este método se elimina parcialmente el agua contenida en las células del alimento, conservando a su vez sus características propias. Los alimentos secos y deshidratados son más concentrados que cualquier otra forma de productos alimenticios preservados. Ellos son menos costosos de producir; el trabajo requerido es mínimo, el equipo de proceso es de fácil adquisición, los requerimientos de almacenamiento del alimento seco son mínimos y los costos de distribución son reducidos (1).

Existen varios métodos de secado, entre los cuales se puede mencionar: secado en tambor, secado por aspersion, secado al vacío en bandejas, secado al vacío en una banda, liofilización, secado en lecho fluido, secado por rotación, secado en gabinetes ó cabina, secado en estufa y secado en túnel, principalmente (4,6). En una clasificación práctica, los tipos de secadores se dividen en: los que secan por convección del aire, los de tambor o rodillo y los que secan al vacío. En los *secadores por convección del aire* se establece un contacto estrecho entre el alimento y el aire caliente, que es una fuente principal del calor requerido para la evaporación. El uso de los *secadores de tambor o rodillo* se limita a los purés y a los alimentos líquidos que pueden ser aplicados a éstos en forma de películas delgadas.

Los *secadores al vacío* pueden emplear cualquier grado de vacío para bajar el punto de ebullición del agua (6). Los que se emplean en la liofilización son secadores al vacío de un tipo especial que funciona generalmente con una presión inferior a 5 mm Hg, a fin de sublimar el vapor de agua directamente del hielo sin pasar por la fase líquida (4).

La deshidratación mediante aire forzado (secadores por convección del aire), es el método más utilizado para deshidratar hortalizas. Entre algunos secadores que funcionan por aire forzado, se encuentran los secadores de gabinete o cabina (de bandejas, ver figura 1). Estos secadores funcionan de la manera siguiente: el aire fresco entra al armario, es atraído por el ventilador a través de los serpentines de calentamiento o bien empleando vapor proveniente directamente de una caldera; este aire caliente es impulsado a través de las bandejas que contienen el material que se va a secar; en el secado, casi siempre se elimina el agua en forma de vapor con aire.

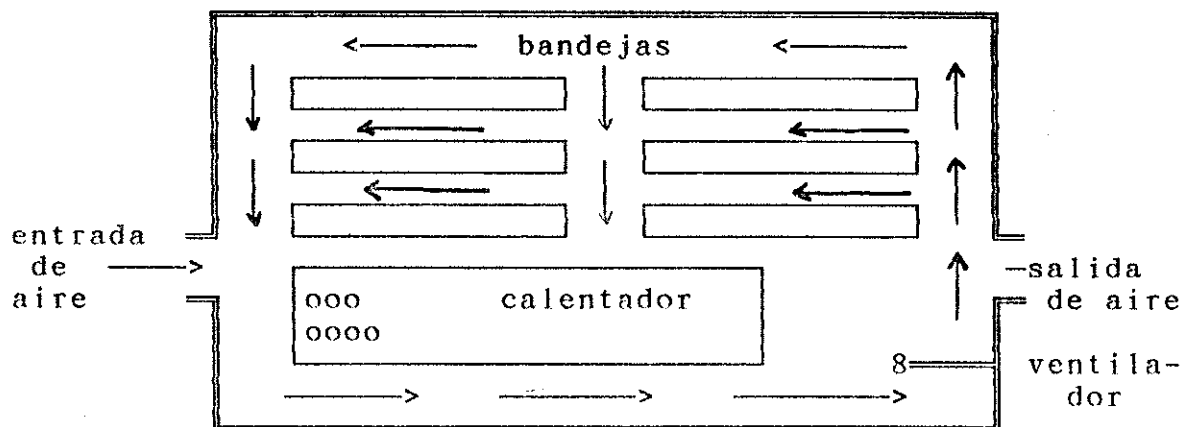


FIGURA 1. Secador de bandejas.

Los secadores como éste, en forma de gabinete con bandejas,

se emplean sobre todo en las operaciones de pequeña escala. Su costo es relativamente bajo y se pueden adaptar fácilmente a las condiciones de secado escogidas. Estos secadores se usan comúnmente para trozos de frutas y hortalizas, y permiten variar condiciones de acuerdo con el alimento y porcentaje de humedad final que se desea alcanzar (6).

Cualquiera que sea el método de secado empleado, la deshidratación de un alimento consta de dos etapas: (1) la aplicación de calor al producto, y (2) la extracción de humedad del producto. Al deshidratar alimentos, se procura obtener la velocidad máxima en el secado, de manera que se hace todos los esfuerzos posibles a fin de acelerar las velocidades de transmisión de calor y transferencia de masa. Las siguientes consideraciones son importantes al respecto:

*Area de superficie:* generalmente se divide el alimento que se va a deshidratar en piezas pequeñas o en capas delgadas, a fin de acelerar la transmisión de calor y la transferencia de masa. Esto se debe a que una mayor área de superficie proporciona mayor contacto con el medio de calentamiento y por la cual puede escapar la humedad. También, porque las partículas más pequeñas o capas más delgadas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer hasta el centro del alimento, y reducen la distancia que la humedad en el centro del alimento tiene que recorrer a fin de llegar a la superficie y escaparse (6).

Es evidente que una pequeña diferencia en el grosor de las piezas de vegetales pueden causar un cambio total



desproporcionado en el tiempo de secado; una diferencia es evidente en todas las estaciones del secado, pero es mucho más marcado en el rango de baja humedad que cerca del comienzo. En las fases últimas del secado, el grosor del sólido a través del cual el agua debe difundirse llegará a ser el factor controlante, y la velocidad varía inversamente con el cuadrado del grosor (8).

*Temperatura:* cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre el medio de calentamiento y el alimento, mayor será la velocidad de transmisión de calor al alimento, la cual proporciona la fuerza impulsora para la eliminación de humedad. Cuando el medio de calentamiento es aire, la temperatura desempeña un segundo papel importante. Cuanto más caliente está el aire, más humedad podrá absorber antes de saturarse. De este modo, el aire de temperatura elevada que se encuentra en contacto con el alimento en proceso de deshidratación recogerá la humedad expulsada de éste en mayor grado que un aire más fresco (14).

La redistribución interna de humedad, que es un factor importante en la velocidad de secado en el rango de baja humedad, es acelerada por el aumento en la temperatura del aire que entra al secador.

*Velocidad del aire:* el aire en movimiento, es decir el aire a alta velocidad, además de recoger humedad, barre la superficie del alimento, previniendo la creación de una atmósfera saturada que disminuiría la velocidad de la eliminación subsiguiente de humedad (13).

Un cambio en la velocidad del aire provoca un efecto más apreciable cuando se trabaja con carga de bandejas pesadas, por lo cual un aumento en la turbulencia del chorro del aire y un mayor flujo del mismo ayudan a que se de una gran circulación de aire entre las capas más pesadas (3).

*Humedad del aire:* el aire seco tiene el poder de absorber y retener la humedad. El aire húmedo está más cerca del punto de saturación y, por lo tanto, puede absorber y retener menos humedad adicional que si estuviera seco. Pero la humedad del aire también determina hasta qué punto se puede bajar el contenido de humedad del alimento mediante la deshidratación. Cada alimento tiene su propia humedad relativa de equilibrio. Esta es la que contiene a una temperatura determinada en que ni entrega humedad a la atmósfera ni recoge humedad de ella, es decir que se establece un equilibrio termodinámico. Debajo de este nivel de humedad atmosférica, el alimento puede secarse aún más. Arriba de éste, no puede secarse más, sino al contrario, recoge humedad de la atmósfera. El nivel en que el producto ni pierde ni absorbe más humedad es la humedad relativa de equilibrio (6).

**Naturaleza del material a ser secado:** de todos los factores que influyen en la velocidad del secado, la naturaleza individual del material crudo (comprendiendo aquí su constitución química y su estructura física) es por mucho lo más importante. No es fácil realizar comparaciones directas de las velocidades de secado de diferentes materiales, en parte por las diferentes formas y tamaños en las cuales se

trabajan y en parte por sus muy diferentes contenidos de humedad. Por otro lado, el material escaldado seca más rápido que uno no blanqueado, en el rango de alta humedad; posiblemente porque el escaldado mata el tejido y hace la membrana celular más libremente permeable al agua (8).

**Determinación experimental de la velocidad de secado:** para determinar experimentalmente la velocidad de secado de un material, se procede colocando una muestra en una bandeja. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado.

**Conversión de los datos a curva de velocidad de secado:** los datos que se obtienen de un experimento de secado, generalmente se expresan como peso total  $W$  del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de  $t$  horas en el período de secado. Para calcular la velocidad de secado, primero se recalculan los datos: si  $W$  es el peso del sólido húmedo en kg totales de agua + sólido seco, y  $W_s$  es el peso del sólido seco en kg;

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{kg totales de agua}}{\text{kg sólido seco}} \quad (1)$$

Habiendo establecido las condiciones de secado constante, se determinan el contenido de humedad de equilibrio  $X^*$  kg de humedad de equilibrio/kg de sólido seco. Con esto, se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre  $X$  en kg de

agua libre/kg de sólido seco para cada valor de  $X_t$ .

$$X = X_t - X^* \quad (2)$$

Luego utilizando los datos calculados, se traza una gráfica del contenido de humedad libre  $X$  en función del tiempo  $t$  en horas.

**Secado durante el período de velocidad constante:** el secado de diversos sólidos bajo diferentes condiciones de secado casi siempre produce curvas de formas variables en el período de velocidad decreciente, pero en general siempre están presentes las dos zonas principales de la curva de velocidad de secado: el período de velocidad constante y el período de velocidad decreciente.

Durante el primer período, la superficie del sólido está al inicio muy mojada, con una película de agua continua. Esta capa está siempre sin combinar, actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación es igual a la que tendría una superficie líquida pura. Las ondulaciones y hendiduras sobre la superficie del sólido aumentan la velocidad respecto a sólidos de superficie plana.

Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el período de velocidad constante proviene del interior del sólido.

**Secado durante el período de velocidad decreciente:** el período de velocidad decreciente empieza cuando la superficie está seca en su totalidad, el plano de evaporación comienza a desplazarse por debajo de la superficie con lentitud. El calor para la evaporación se transfiere a través del sólido

hasta la zona de vaporización. El agua vaporizada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire.

Es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante el período de velocidad decreciente sea bastante pequeña; no obstante, el tiempo requerido puede ser bastante largo.

La mayoría de las hortalizas y frutas tienen un alto contenido de agua y son bajas en proteínas y grasa. El contenido de agua es por lo general mayor de 70% y frecuentemente mayor del 85%. En la deshidratación de hortalizas, deben ser inactivados los sistemas enzimáticos. Esto se logra generalmente calentando en agua hirviendo o en vapor. Muchas hortalizas son más estables si se les da un tratamiento con dióxido de azufre o un sulfito. La combinación de sulfito y baja humedad, retarda grandemente los cambios que ocurren en las hortalizas secadas cuando son mantenidas a una temperatura de 38 °C. El contenido de humedad de las hortalizas debe ser menor del 4%, si se desea una vida de almacenamiento y una retención de la calidad satisfactoria (1).

Las hortalizas, generalmente son secadas en secadores de túnel, de cabina o de banda. La cantidad de hortalizas secas en el mundo es relativamente pequeña y limitada en variedad. Las papas son las que se encuentran en mayor cantidad (9). La mayoría de los otros productos en el mercado son cebolla, apio, perejil y sus polvos, que pueden ser usados como ingredientes para dar sabor. Algunas de las hortalizas deshidratadas son vendidas mezcladas en sopas y algunas son

usadas en la manufactura de productos enlatados (10).

Los cubos de papa deshidratados se comercializan en mezclas de vegetales y sopas; también se utilizan en panadería e industria de la carne. Generalmente se encuentran en dimensiones de cubitos de  $3/8$  pulg. por cada lado, o de  $3/8$  pulg. \*  $3/8$  pulg. \*  $3/16$  pulg., o bien de  $3/8$  pulg. \*  $3/8$  pulg. \*  $1/8$  pulg.(3).

Después de las papas y arbejas, las zanahorias tienen una gran importancia en los programas de deshidratación. Tienen un amplio mercado en la manufactura institucional y en sopas deshidratadas. Las zanahorias se cortan en cubos, medios cubos, anillos y tiras. Para sopas se usa un tamaño de  $3/8$  pulg. \*  $3/8$  pulg. \* 2mm porque se reconstituye rápidamente.

Las zanahorias se secan por un procedimiento similar al de las papas, y se recomienda además rociarlas con una solución caliente de almidón de maíz al 2% inmediatamente antes del secado. Esto inhibe la oxidación y extiende la vida útil del producto seco, y permite empacarlo sin necesidad de agregarle nitrógeno (3).

**Pérdida de habilidad para rehidratarse completamente:** la principal razón por la que la liofilización es corrientemente un desarrollo importante es que los productos liofilizados se rehidratan rápidamente y asumen algunas veces su contenido inicial de humedad y sus propiedades físicas. La razón de rehidratación es definida simplemente como la razón del peso escurrido después de su tratamiento en agua (un largo remojo

o hervido) entre el peso de la muestra tomada en condiciones frescas. Se define un "coeficiente de restauración del peso" como la relación del peso de la muestra rehidratada entre el peso antes del secado; por otro lado, el coeficiente puede ser estimado del contenido de humedad de la muestra rehidratada y el promedio o contenido usual de la humedad a las condiciones de material fresco (8).

$$\text{Coeficiente de restauración} = Mr/Mo = \frac{Wr + 1}{Wo + 1} \quad (3)$$

Donde:  $Wr$  = humedad de la muestra rehidratada

$Wo$  = humedad de la muestra original

**Encafecimiento o "daño por calor":** lo más obvio, y en algunas ocasiones los mayores problemas de los cambios irreversibles que pueden acompañar la deshidratación de un producto alimenticio, es el cambio de color variadamente llamado "encafecimiento", "quemado", "daño por calor". Si el grado de encafecimiento no es grande, el color puede ser sólo el efecto notable, pero si el cambio procede futuro, el sabor y la capacidad de rehidratación pueden también ser adversamente afectados. Cambios similares ocurren más despacio en largos tiempos de almacenamiento de alimentos deshidratados a temperaturas ordinarias. Se acostumbra el uso de dióxido de sulfuro o una solución de sulfito para inhibir el encafecimiento, el cual puede tomar lugar durante el secado y el subsecuente almacenamiento final (8).

## II. JUSTIFICACIONES

Es de importancia minimizar los desperdicios de zanahoria y papa que suceden por descomposición bacteriana y enzimática, ya que al trabajar con cantidades grandes, el riesgo de putrefacción es alto si no se toman en cuenta posibilidades de almacenar estas verduras. Asimismo, para el consumidor de zanahoria y papa, es beneficioso encontrar estos vegetales en condiciones aptas para su uso en cualquier época del año, pues al rehidratarse recuperarían la mayoría de sus características naturales.

En la actualidad, los alimentos que se deshidratan se procesan así basándose en métodos como el secado en bandejas o el secado en túnel, pero no se cuenta con algún estudio que indique curvas de deshidratación para zanahoria y papa utilizando un secador de gabinete por aire forzado. Con este estudio, podrán determinarse con mayor precisión las condiciones óptimas de secado (temperatura y tipo de corte) para estos dos vegetales, de manera que se conserven mejor sus características naturales como apariencia, textura, color y sabor.



### III. OBJETIVOS

1. Elaborar las isotermas de deshidratación para zanahoria y papa, a tres temperaturas diferentes de operación utilizando un secador de cabina por aire forzado.
  
2. Determinar para tres tipos de corte de zanahoria y papa:
  - 2.1 El tiempo óptimo para alcanzar la humedad de equilibrio.
  - 2.2 La temperatura óptima para alcanzar la humedad de equilibrio.
  - 2.3 El corte óptimo para alcanzar la humedad de equilibrio.

#### IV. HIPOTESIS

Es posible la optimización de las condiciones de operación (temperatura y tipo de corte) para deshidratar zanahoria (*Daucus carota*) y papa (*Solanum tuberosum*), en un secador tipo gabinete (cabina o de bandejas) que opera por aire forzado calentado por vapor.

#### IV.1 HIPOTESIS ESTADISTICA

H1 : Sí existen variaciones significativas en el tiempo de secado para deshidratar zanahoria y papa a diferentes temperaturas y diferentes tipos de corte.

H2 : No existen variaciones significativas.

## V. METODOLOGIA

### 5.1 Localización

La parte experimental del presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de la planta piloto de la fábrica INCODISA (San Miguel Petapa, Guatemala).

### 5.2 Materiales empleados

- Zanahoria (*Daucus carota*)
- Papa (*Solanum tuberosum*)
- Hipoclorito de sodio (Solución al 10%)
- Bisulfito de sodio (Solución al 2%)

### 5.3 Metodología experimental

#### 5.3.1 Diseño de tratamientos

Para evaluar el efecto que producen las variables seleccionadas: temperatura y tipo de corte (cubos, rodajas y trozos rectangulares), sobre el tiempo de secado de zanahoria y papa, se procedió a fijar cada temperatura y tipo de corte para cada uno de los tratamientos; se fueron tomando pesos de las muestras cada veinte minutos para los dos tipos de vegetal, hasta alcanzar la humedad de equilibrio (peso constante de las muestras). Se realizarón 9 tratamientos con dos repeticiones para cada vegetal.

Los tratamientos realizados se presentan en la tabla No. 1 del apéndice.

#### 5.3.2 Diseño experimental

Se realizó un experimento factorial para cada vegetal,

con un arreglo combinatorio para 1 VEGETAL \* 3 TEMPERATURAS \* 3 CORTES DIFERENTES = 9 TRATAMIENTOS, con dos repeticiones y una distribución completamente al azar; la descripción se presenta en la tabla No.2 del apéndice.

#### 5.3.3 Unidad experimental y equipo que se utilizó

La unidad experimental consiste en un secador de bandejas marca Hass, con un ventilador para permitir la entrada de aire y vapor procedente de la caldera para calentar el aire, con una capacidad para 8 bandejas de aluminio (0.20 m por lado y 1 pulg. de grosor, con fondo metálico de malla mesh No.12), provisto de un control automático para regular la temperatura de operación.

Equipo que se utilizó:

- 1) Balanza analítica monoplato marca Mettler.
- 2) Cronómetro.
- 3) Cuchillos.
- 4) Guantes de asbesto.
- 5) Cristalería y equipo de laboratorio.
- 6) Caldera de vapor "Power Master"
- 7) Balanza de humedad
- 8) Potenciometro

#### 5.3.4 Manejo del experimento

##### 5.3.4.1 Selección y preparación de los vegetales

Se procedió a seleccionar zanahorias y papas con base en color y textura que corresponden al vegetal maduro y

macizo (todas las papas y zanahorias son de un mismo tipo de variedad). Se lavaron con una solución diluida de hipoclorito de sodio (solución al 10%), luego se pelarán para posteriormente cortarlas en tres formas con las medidas siguientes:

- a) Cubos: de 10 mm por lado
- b) Rodajas: con un diámetro de 20 mm y espesor de 5 mm
- c) Trozo rectangular: largo 20 mm, ancho 10 mm y espesor 5 mm

#### 5.3.4.2 Blanqueado

Se sumergieron los trozos de papa en una solución de bisulfito de sodio al 2% durante tres minutos, para luego dejarse escurrir.

Para el caso de las zanahorias, se pasaron por una corriente de vapor durante tres minutos.

#### 5.3.4.3 Deshidratación

Para cada tratamiento se pesaron 160 gramos del material y se colocaron en bandejas de aluminio, bajo la acción de un flujo constante de aire caliente. Las bandejas cargadas se introdujeron a la cámara de secado para así iniciar la operación.

##### - Temperatura

Para cada tipo de corte se realizaron dos corridas a tres temperaturas del secador: 50, 60 y 70 °C.

##### - Humedad del aire

La temperatura de bulbo húmedo del aire estuvo en un rango de (14.4 - 18.0) °C.

- Velocidad del aire

Fue controlada por un d mper y se fijo constante en 2.5 metros por segundo.

#### 5.3.4.4 Curvas de deshidratación

Durante el proceso de secado, se tomaron muestras con el fin de determinar la humedad a intervalos de 20 minutos, para cada tipo de corte, temperatura y vegetal, pesando las bandejas, y así obtener datos de la pérdida de agua en un período de tiempo. De esta forma, se construyeron las curvas de deshidratación estimándose el tiempo de secado, hasta alcanzar la humedad de equilibrio para cada vegetal.

Posteriormente se empacó convenientemente en bolsas plásticas selladas de 5 libras de capacidad.

#### 5.3.4.5 Determinación del contenido de humedad y la velocidad de Secado.

Para determinar el contenido de humedad a cada intervalo de 20 minutos, se utilizó la siguiente fórmula:

$$x = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{kg totales de agua}}{\text{kg sólido seco}}$$

Donde: x= contenido de humedad en kg H<sub>2</sub>O/kg seco

W= peso del sólido humedo

W<sub>s</sub>= peso del sólido seco

Para determinar la velocidad de secado, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Vel = \frac{dw}{dt * area} \quad \frac{\text{agua acumulada en g}}{\text{minutos * metro}^2}$$

Donde: Vel= velocidad de secado en g H<sub>2</sub>O/minutos

dw= peso sólido húmedo 1 - peso sólido húmedo 2

dt= tiempo (20 minutos)

Area= 0.04 metro<sup>2</sup>

#### 5.3.4.6 Evaluación del producto obtenido

Una vez deshidratados los vegetales, se evaluó apariencia, textura, color y sabor de cada vegetal, para cada uno de los tres tipos de corte y cada una de las tres temperaturas mencionadas anteriormente.

Así también, se determinó el índice de rehidratación y el pH (Tablas No.21 a 24 del Apéndice).

Para calcular el índice de rehidratación, se calculó con base en la fórmula (3) descrita en los antecedentes:

$$\text{Índice de rehidratación: } \frac{W_r + 1}{W_o + 1}$$

Donde:

W<sub>r</sub>= humedad vegetal rehidratado

W<sub>o</sub>= humedad vegetal fresco

Para los ensayos de rehidratación, se procedió a sumergir los vegetales en agua a una temperatura de 25°C durante un período de 7 horas. al final del cual se determinó la humedad del vegetal y se calculó el índice de rehidratación.

Se determinó el pH de acuerdo con los métodos de análisis descritos en "AOAC".



#### 5.4 Análisis estadístico

El contenido de humedad obtenido a distintos tiempos en la deshidratación de papa y zanahoria, para los diferentes tratamientos fué sometido a un análisis de varianza.

El proceso estadístico utilizado fué el siguiente:

FV	GL	SC	CM	Fo	Ft
TEMP.	2	SC(temp)	$\frac{SC(temp)}{2}$	$\frac{CM(temp)}{CM(Error)}$	FISHERtab
CORTE	2	SC(corte)	$\frac{SC(corte)}{2}$	$\frac{CM(corte)}{CM(Error)}$	FISHERtab
TC	4	SC(T*C)	$\frac{SC(T*C)}{4}$	$\frac{CM(T*C)}{CM(Error)}$	FISHERtab
Error	9	SC(Error)	$\frac{SC(Error)}{9}$		
TOTAL	17	SC(Total)			

Donde:

FV= fuentes de variación  
 GL= grados de libertad  
 SC= suma de cuadrados  
 CM= cuadrados medios  
 Fo= F observada  
 Ft= F de tabla

Para el trabajo realizado se plantean las siguientes hipótesis de comparación:

- Para la temperatura:

$H_0: T_1=T_2=T_3$  vrs.  $H_1: \text{al menos una } T_i \text{ es diferente de las demás}$

Si  $F_o > F_t$  entonces:  $H_1$  es válida

- Para tipo de corte:

$H_0: C_1=C_2=C_3$  vrs.  $H_1$ : al menos un  $C_i$  es diferente a los otros

Si  $F_o > F_t$  entonces:  $H_1$  es válida

En el presente trabajo, se hicieron los cálculos tanto para papa y zanahoria a los intervalos de 20 minutos, y se comprobó que para cada uno de estos intervalos siempre favoreció la hipótesis  $H_1$ ; de que la temperatura y el tipo de corte sí producen variaciones significativas en el proceso de secado, ya que la  $F_o$  (F observada) siempre fue mayor que la F de tabla (valores de F bibliográficos). El mejor tratamiento se deduce del comportamiento de las curvas de deshidratación en las gráficas de contenido de humedad vrs. tiempo.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

Con base en la hipótesis y a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, se obtuvieron los siguientes resultados: en las tablas 3 a 11 del apéndice, se presentan los resultados obtenidos del contenido de humedad, el tiempo y la velocidad de secado para papa trabajada a tres diferentes temperaturas (50, 60 y 70)°C; y tres diferentes tipos de corte (cubos, trozos rectangulares y rodajas), y se mantuvo la velocidad del aire que ingresa al secador constante en 2.5 metros/seg. y la carga de las bandejas también constante en 4 kg/m<sup>2</sup>. Se observa en primer lugar respecto a la variación de temperatura que: al aumentar la temperatura de operación, disminuye el tiempo necesario para la deshidratación de las piezas de papa, ya que, por ejemplo, al trabajar a una temperatura de operación de 70°C, para alcanzar un contenido de humedad de 0.10 kg H<sub>2</sub>O/kg seco que es donde aproximadamente empieza el período de secado decreciente, se requiere de un tiempo de 4 a 4 hrs y 40 minutos; mientras que a una temperatura de 60°C el tiempo necesario va de 4 hrs y 20 minutos a 5 horas y a la temperatura de 50°C, el tiempo oscila entre 5 hrs. a 5 hrs. con 30 minutos.

Este comportamiento se observa claramente en las gráficas 1 a 3, donde se puede apreciar con facilidad que a una temperatura superior se obtiene un determinado contenido de humedad a menos tiempo en relación con otras temperaturas inferiores trabajando en iguales condiciones; el efecto que

produce la variación de la temperatura se puede apreciar en mejor forma con base en las gráficas 1.1 a 3.1 que describen el comportamiento del contenido de humedad en el período de secado decreciente, en el cual para eliminar un pequeño contenido de humedad, se necesita de más tiempo (rango de humedad baja); lo anterior se confirma con lo esperado teóricamente ya que Van Arsdel (13) señala que "la velocidad inicial de secado a bajos contenidos de humedad aumenta a altas temperaturas" y según Ede and Hales (13) "en rangos de contenido de humedad baja, la temperatura del aire tiene un efecto apreciable en la velocidad de secado, ya que la redistribución interna de humedad se acelera por el aumento de la temperatura del material".

Este comportamiento obtenido cuando se varía la temperatura de operación produce los mismos efectos al trabajar con zanahoria, ya que al aumentar la temperatura disminuye el tiempo de deshidratación; esto se observa en las tablas 12 a 20 del apéndice; trabajando siempre a una velocidad del aire constante en 2.5 m/seg. y la carga de bandejas constante en 4 kg/m<sup>2</sup>. Lo anterior se puede visualizar en forma clara con base en las gráficas 7 a 9 y las gráficas 7.1 a 9.1 para el rango de humedad baja; pero las curvas de secado son más pronunciadas que las obtenidas para las piezas de papa, debido a la naturaleza propia del material y al contenido inicial de humedad.

Según Van Arsdel (13), "la naturaleza individual del material crudo (constitución química y estructura física)

influye bastante en la velocidad de secado". lo anterior concuerda con los resultados obtenidos, ya que la zanahoria alcanza en aproximadamente 3 hrs. un contenido de humedad de 0.10 kg H<sub>2</sub>O/kg seco, y tiene un contenido inicial de humedad de 6.14 kg H<sub>2</sub>O/kg seco, mientras que para la papa se necesita de aproximadamente entre 4 a 5 hrs. comenzando con un contenido inicial de 4 kg H<sub>2</sub>O/kg seco. Greensmith (12) menciona "materiales como papa blanqueadas consisten principalmente de almidón gelatinizado y la adsorción en niveles de humedad baja es difícil, y cerca de la finalización del secado las piezas de papa se encuentran más gruesas que las piezas de zanahoria"; por lo cual, la transferencia de humedad de el interior hacia la superficie es lenta. Comparando en forma general las gráficas de contenido de humedad vrs. tiempo para los dos vegetales, se observa que el contenido de humedad disminuye más rápidamente en zanahorias que para la papa, y la gran velocidad inicial de secado de las piezas de la zanahoria es probablemente un reflejo directo de su gran contenido de humedad.

En general, tanto para papa como para zanahoria, a medida que se aumenta la temperatura de operación, disminuye el tiempo de deshidratación haciéndolo más efectivo el proceso de secado, pero el comportamiento observado en las curvas de deshidratación elaboradas se ve afectado por la naturaleza propia de cada material.

Los resultados obtenidos con relación al tipo de corte

se presentan en las tablas 3 a 11 para Papa, y en las tablas 12 a 20 para zanahoria; los tipos de corte trabajados fueron cubos (10 mm por lado), trozos rectangulares (20 x 10 x 5 mm) y rodajas (20 mm de diámetro y 5 mm de grosor). Se puede observar que al mantener una temperatura constante y variar los tipos de corte, el comportamiento en los tiempos de secado con relación al contenido de humedad, se ve afectado por la forma en que están cortadas las piezas. Del trabajo realizado, los resultados nos indican que al trabajar con piezas rectangulares, se obtiene un tiempo menor de secado y siguiendo en este orden de precedencia se encuentra el corte de rodajas y por último los cubos. Esta secuencia del tipo de corte fue el mismo para las tres temperaturas trabajadas.

De los resultados obtenidos, se ve que una pequeña diferencia en el grosor de las piezas de vegetales provoca un cambio significativo en el tiempo de secado. Esto se interpreta con base en que es más fácil la difusión de agua desde el centro a la superficie del sólido a una menor distancia que comparada con distancias más grandes. Lo anterior puede visualizarse en forma más clara en las gráficas 4 a 6 y 4.1 a 6.1 para el rango de baja humedad (período de secado decreciente) en el caso de papa.

Para la zanahoria, en las gráficas 10 a 12 y sus correspondientes 10.1 a 12.1, para la condición de baja humedad, se observa fácilmente que al igual que para la papa las piezas cortadas en trozos rectangulares son las que se obtiene menos tiempo de secado y por consiguiente aumenta la

velocidad de secado en los períodos constantes y decrecientes; siguiendo este orden, se tienen las piezas cortadas en rodajas y luego en cubos. Esto se debe en parte a que trabajando con capas más delgadas se reduce la distancia que el calor tiene que recorrer hasta el centro del alimento y de igual forma la distancia que la humedad debe recorrer desde el centro a la superficie para poder escaparse. También se favorece la transmisión de calor haciendo que ésta sea más pareja en el período de velocidad decreciente del secado, en el que para elevar un pequeño contenido de humedad, se necesita igual o mayor tiempo que en el período constante de secado.

En la industria de deshidratación de vegetales, se debe trabajar con pequeños trozos ya que piezas enteras o en cuarterones no son prácticos comercialmente por el largo tiempo de secado, aunque un buen producto final se obtuviera. El éxito comercial del secado reside en que el tamaño de las piezas sea pequeño.

A lo largo del trabajo realizado, se observó que es necesaria la aplicación de un blanqueador (se utilizó bisulfito de sodio al 2 por ciento) para papas sobre todo, ya que sin este blanqueador las piezas de papa muestran un oscurecimiento, que es un daño permanente y un defecto en la calidad del producto. La solución de bisulfito de sodio sirve para inhibir este oscurecimiento. Para el caso de la zanahoria, no se observó cambio brusco en el color del producto secado por lo que es poco útil el uso de un

blanqueador.

En el presente trabajo, se observó el encogimiento de las piezas de papa y de zanahoria, principalmente en los cubos en las que las orillas se vuelven hacia el centro a medida que ocurre la eliminación del agua, hasta que finalmente se reducen tendiendo hacia el centro, para trozos rectangulares y rodajas sus dimensiones iniciales se pierden al final del secado; esto se relaciona con el grado de elasticidad y la forma uniforme de eliminar la humedad que posee cada material.

Del análisis organoléptico y físico, se establece que los vegetales deshidratados sufren un cambio en sus características de color, sabor y textura a lo largo del proceso de secado.

De los resultados obtenidos, se logró determinar que las condiciones óptimas de operación para una carga constante de bandejas de  $4 \text{ kg/m}^2$  y velocidad del aire también constante de  $2.5 \text{ m/seg}$ , son: una temperatura de operación de  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  y cortar las piezas en forma de trozos rectangulares ( $20 \times 10 \times 5 \text{ mm}$ ) tanto para papa como para zanahoria; se observó que existió uniformidad a lo largo del proceso de secado (las piezas de papa y zanahoria perdieron humedad en forma pareja)

Para cada intervalo de 20 minutos se realizó un análisis de varianza que permite comprobar si las temperaturas y el tipo de corte provocan variaciones significativas en el tiempo de secado; se observó del análisis realizado que para todos los tiempos la  $F_o$  (observada) fue mayor que la  $F_t$



(tabla), y se comprobó que al modificar las temperaturas y los tipos de corte, se afectan las curvas de secado de papa y zanahoria.

Por último, es conveniente mencionar que las curvas de deshidratación varían con los diversos materiales alimenticios, las diferentes temperaturas de operación, los distintos tipos de corte, el flujo de aire, la carga de las bandejas, etc.; por esa razón las curvas de secado se comportan de modo particular de acuerdo con las condiciones establecidas para cada proceso específico de secado.

### CONCLUSIONES

1. Al aumentar la temperatura de operación, disminuye el tiempo necesario para la deshidratación de piezas de papa y zanahoria.
2. La velocidad de secado varía inversamente con el grosor de las piezas cortadas.
3. Los valores óptimos de las variables de operación para un secador de gabinete (o de bandejas), para una velocidad constante de aire de 2.5 m/seg y carga de bandejas de 4 kg/m<sup>2</sup> son: T= 70°C y Corte= trozos rectangulares (20\*10\*5)mm por lado, ya que con ellos se minimizó el tiempo de secado.
4. La gran velocidad inicial del secado en las piezas de zanahoria es posiblemente una consecuencia directa de su más alto contenido de humedad, en comparación con las piezas de papa.
5. La capacidad de rehidratación es mejor en piezas de zanahoria que de papa, cuando son mantenidas en remojo por un intervalo de 7 horas en agua a temperatura de 25°C.

## RECOMENDACIONES

1. Aplicar este proceso a escala industrial, para fomentar el desarrollo de la deshidratación de vegetales y abrir nuevas fuentes de empleo, y así contribuir a la exportación de productos no tradicionales en nuestro país, tomando en cuenta los resultados obtenidos en el presente trabajo y ver si es factible su implementación.
2. En el presente trabajo de investigación, se trabajó con una carga constante en las bandejas ( $4 \text{ kg/m}^2$ ); se recomienda evaluar el proceso de secado cuando la carga de las bandejas se modifica, para determinar si maximiza o minimiza el tiempo de secado.
3. Llevar a cabo estudios de este tipo, que sean aplicables para otros vegetales tales como: cebollas, arbejas, chiles pimiento, tomate y otros, y así evaluar su comportamiento cuando son sometidos a un proceso de secado.
4. Modificar la velocidad del aire que ingresa a la cámara de secado, para observar el comportamiento de las curvas de deshidratación de piezas de papa y zanahoria.
5. Las piezas deshidratadas de papa y zanahoria pueden ser trituradas por un molino pasadas por mallas de determinado número de mesh, para obtener harinas, y se podría determinar si es factible la comercialización en esta forma.

## REFERENCIAS

1. DESROSIER, Norman W. Conservación de alimentos. México: Compañía Editorial Continental, 1987. 468pp.
2. GEANKOPLIS, Christie J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. México: CECSA, 1989. 759pp.
3. GREENSMITH, Maurice. Practical dehydration. London: Trade Press Ltd., 1971.
4. LACHMAN, Leon. The teory and practice of Industrial Pharmacy. Philadelphia: Lea & Febiger, 1986. 902pp.
5. PERRY, R. Manual del Ingeniero Químico. 5ta. Edición. México: McGraw Hill, 1979.
6. POTTER, Norman N. La ciencia de los alimentos. México: Edutex S.A., 1973. 749pp.
7. REYES CASTAÑEDA, Pedro. Diseño de experimentos aplicados. México: Trillas, 1981.
8. VAN ARSDEL, Wallace B. Food dehydration. Volumen 1. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company, Inc., 1963.
9. BARROW, G. The process of dehydration. Journal of chemical education. Vol.67. No.2. U.S.A.: 1990. p. 53-55
10. BATTINO, R. Drying. Journal of chemical education. Vol. 65. No. 11. U.S.A.: noviembre 1988. p. 998-1003
11. GIESE, J. Packaging, storage and delivery of ingredients. Food Technology. U.S.A.: agosto 1993. p. 53-62
12. HUMPHREYS, D. The challenge of drying raw materials. Chemical Abstract. Vol. 638. No. 26. P. 145
13. FANNING, S. Drying and storing. Journal of chemical education. Vol. 70. No. 7. U.S.A.: julio 1993. p. 563-564
14. PAPAGIANNES, G. Select the right dryer. Chemical engineering progress. Vol. 88. No. 12. U.S.A.: diciembre 1992. p. 20-27

15. ESPINOSA, Carlos. Deshidratación de papa. (tesis: Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos). Guatemala, 1972.

**APENDICE**

## 1. GUIA DEL CALCULO

### 1.1. Cálculo del contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad a cada intervalo de 20 minutos, se procedió a pesar las bandejas y se obtuvieron de las diferencias cada 20 minutos el agua que eliminaban las piezas conforme se produjo el proceso de secado; aquí se utiliza la ecuación:

$$x = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg sólido seco}}$$

Donde:

x= contenido de humedad en kg H<sub>2</sub>O/kg seco  
W= peso del sólido húmedo  
W<sub>s</sub>= peso del sólido seco

Se determinó que el peso del sólido seco para las piezas de papa fue de 32 gramos, que corresponde al 80% de humedad inicial. De igual forma, se determinó que para la zanahoria el peso de sólido seco fue de 22.4 gramos correspondientes al 86% de humedad inicial.

Ejemplo:

- **Papa**

Corrida No.1 Temperatura: 50°C

Corte: cubos de 10 mm por lado

Para el tiempo de 20 minutos

Peso de las bandejas: 138 gramos

$$x = \frac{138 - 32}{32}$$

$$x = 3.3125 \text{ kg H}_2\text{O/kg seco}$$

- **Zanahoria**

Corrida No.1 Temperatura: 50 °C

Corte: cubos de 10 mm por lado

Para el tiempo de 20 minutos

Peso de las bandejas: 122 gramos

$$x = \frac{122 - 22.4}{22.4}$$

$$x = 4.4464 \text{ kg H}_2\text{O / kg seco}$$

### 1.2 Cálculo de la velocidad de secado

Por medio de la diferencia de los pesos obtenidos a cada 20 minutos (agua acumulada) y con base en la ecuación siguiente:

$$\text{Vel} = dw/dt * \text{área}$$

Donde:

Vel= velocidad de secado en gramos H<sub>2</sub>O/min\*m<sup>2</sup>

dw= peso sólido húmedo1 - peso sólido húmedo2  
dt= intervalo de 20 minutos  
área= bandejas de (0.20\*0.20)

Ejemplo:

- Papa

Corrida No. 1      Temperatura= 50 grados C

Corte: cubos de 10 mm por lado

Area= 0.04 metros cuadrados

Peso sólido húmedo1= 138 gramos (a 20 minutos)

Peso sólido húmedo2= 124 gramos (a 40 minutos)

$$Vel = \frac{138-124}{20*0.04}$$

$$Vel = 17.5 \text{ g H}_2\text{O}/\text{minutos}*\text{m}^2$$

- Zanahoria

Corrida No. 1      Temperatura: 50 grados C

Corte: cubos de 10 mm por lado

Area: 0.04 metros cuadrados

Peso sólido húmedo1= 122 gramos (a 20 minutos)

Peso sólido húmedo2= 98.90 gramos (a 40 minutos)

$$Vel = \frac{122-98.90}{20*0.04}$$

$$Vel = 28.8750 \text{ g H}_2\text{O}/\text{minutos}*\text{m}^2$$

### 1.3 Cálculo del índice de rehidratación

Este índice se determinó, dejando en reposo por 7 horas las piezas deshidratadas en agua a temperatura de 25 grados centígrados, y luego se obtuvo su humedad; de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$\text{Rehidratación} = (W_r+1)/(W_o+1)$$

Donde:

W<sub>r</sub>= humedad vegetal rehidratado

W<sub>o</sub>= humedad vegetal fresco

Ejemplo:

- Papa

Corte: cubos de 10 mm por lado

$$\text{Rehidratación} = \frac{60+1}{80+1}$$
$$\text{Rehidratación} = 0.753$$

- Zanahoria

Corte: cubos de 10 mm por lado



$$\text{Rehidratación} = (75+1)/(86+1)$$

$$\text{Rehidratación} = 0.873$$

#### 1.4 Cálculo del análisis estadístico

Se presenta como ejemplo, el análisis realizado para los primeros 20 minutos de secado, en las piezas de papa cortadas en cubos de 10 mm por lado, y a una temperatura de 50 grados centígrados.

##### 1) Suma de cuadrados (SC)

##### a) Cálculo de la suma de cuadrados (SC<sub>total</sub>):

Suma de los contenidos de humedad, para las dos corridas sin importar corte o temperatura.

$$\begin{aligned} \text{SC}_{\text{total}} = & \{(3.3125)^2 + (3.2839)^2 + (3.125)^2 + (3.1562)^2 \\ & + (3.2434)^2 + (3.2383)^2 + (3.0874)^2 + (3.0939)^2 \\ & + (2.9688)^2 + (2.9688)^2 + (3.0313)^2 + (3.0313)^2 \\ & + (2.9063)^2 + (2.9063)^2 + (2.5938)^2 + (2.5969)^2 \\ & + (2.8281)^2 + (2.8125)^2\} - \text{FC} \end{aligned}$$

$$\text{FC}(\text{factor de correccion}) = \frac{(\text{suma de humedades})^2}{\text{No. de tratamientos}}$$

$$\text{FC} = \frac{(54.1847)^2}{18} = 163.110$$

$$\text{SC}_{\text{total}} = 163.872 - 163.110 = 0.7626$$

##### b) Cálculo de la suma de cuadrados para temperatura:

$$\begin{aligned} \text{SC}(\text{Temp}) &= \{(T_{50})^2 + (T_{60})^2 + (T_{70})^2\} / 6 - \text{FC} \\ \text{SC}(\text{Temp}) &= \{(3.3125+3.2839+3.125+3.1562+3.2434+3.2383)^2 \\ &+ (3.0874+3.0939+2.9688+2.9688+3.0313+3.031)^2 \\ &+ (2.9063+2.906+2.5938+2.5969+2.8281+2.8125)^2\} / 6 \\ &- \text{FC} \end{aligned}$$

$$\text{SC}(\text{Temp}) = \{(19.359)^2 + (18.1815)^2 + (16.6439)^2\} / 6 - 163.110$$

$$\text{SC}(\text{Temp}) = (982.368) / 6 - 163.110$$

$$\text{SC}(\text{Temp}) = 0.618$$

##### c) Cálculo de la suma de cuadrados para el corte:

$$\begin{aligned} \text{SC}(\text{Corte}) &= \{(\text{cubos})^2 + (\text{Rect.})^2 + (\text{Rodajas})^2\} / 6 - \text{FC} \\ \text{SC}(\text{Corte}) &= \{(18.590)^2 + (17.409)^2 + (18.1849)^2\} / 6 - 163.110 \\ \text{SC}(\text{Corte}) &= (979.38) / 6 - 163.110 \\ \text{SC}(\text{Corte}) &= 0.120 \end{aligned}$$

##### d) Cálculo de suma de cuadrados Temp.\*corte:

$$\begin{aligned} \text{SC}(\text{Temp} * \text{Corte}) &= \text{S}(\text{temp} * \text{corte}) - \text{SC}(\text{Temp.}) - \text{SC}(\text{corte}) - \text{FC} \\ \text{S}(\text{temp} * \text{corte}) &= \{(6.596)^2 + (6.281)^2 + (6.481)^2 + (6.181)^2 \\ &+ (5.937)^2 + (6.062)^2 + (5.812)^2 + (5.190)^2 \\ &+ (5.640)^2\} / 2 \end{aligned}$$

$$\text{S}(\text{temp} * \text{corte}) = 327.743 / 2 = 163.871$$

$$\begin{aligned}SC(\text{Temp}*\text{Corte}) &= 163.871 - 0.618 - 0.120 - 163.110 \\SC(\text{Temp}*\text{Corte}) &= 0.0235\end{aligned}$$

e) Cálculo de la suma de cuadrados del error:

$$\begin{aligned}SC(\text{Error}) &= SC(\text{Total}) - SC(\text{Temp}) - SC(\text{corte}) - SC(\text{Temp}*\text{corte}) \\SC(\text{Error}) &= 0.7626 - 0.618 - 0.120 - 0.0235 \\SC(\text{Error}) &= 0.0011\end{aligned}$$

2) Cuadrados Medios (CM)

a) Cálculo del cuadrado medio de la temperatura:

$$\begin{aligned}CM(\text{Temp}) &= SC(\text{Temperatura})/2 \\CM(\text{Temp}) &= 0.618/2 \\CM(\text{Temp}) &= 0.309\end{aligned}$$

b) Cálculo del cuadrado medio del corte:

$$\begin{aligned}CM(\text{Corte}) &= SC(\text{Corte})/2 \\CM(\text{Corte}) &= 0.120/2 \\CM(\text{Corte}) &= 0.06\end{aligned}$$

c) Cálculo del cuadrado medio Temp\*Corte:

$$\begin{aligned}CM(\text{Temp}*\text{corte}) &= SC(\text{Temp}*\text{corte})/2 \\CM(\text{Temp}*\text{corte}) &= 0.0235/2 = 0.01175\end{aligned}$$

d) Cálculo del cuadrado medio del error:

$$\begin{aligned}CM(\text{Error}) &= SC(\text{Error})/9 \\CM(\text{Error}) &= 0.0011/9 = 0.000122\end{aligned}$$

3) F observadas

a) Cálculo de la F obs. para temperatura:

$$\begin{aligned}F(\text{Temp}) &= CM(\text{Temp})/CM(\text{Error}) \\F(\text{Temp}) &= 0.309/0.000122 \\F(\text{Temp}) &= 2532.787\end{aligned}$$

b) Cálculo de la F obs. para corte:

$$\begin{aligned}F(\text{Corte}) &= CM(\text{Corte})/CM(\text{Error}) \\F(\text{Corte}) &= 0.06/0.000122 \\F(\text{Corte}) &= 491.803\end{aligned}$$

c) Cálculo de la F obs. para temp\*corte:

$$\begin{aligned}F(\text{Temp}*\text{corte}) &= CM(\text{Temp}*\text{corte})/CM(\text{Error}) \\F(\text{Temp}*\text{corte}) &= 0.01175/0.000122 \\F(\text{Temp}*\text{corte}) &= 96.3114\end{aligned}$$

2. TABLAS

TABLA No. 1

DESCRIPCION DE LOS TRATAMIENTOS

FACTOR		TIPO DE CORTE		
Temp. y corte		C1	C2	C3
T1	50	Cubos	Rectangular	Rodajas
T2	60	Cubos	Rectangular	Rodajas
T3	70	Cubos	Rectangular	Rodajas

TABLA No. 2

DISTRIBUCION DE LOS TRATAMIENTOS

No. ORDEN	CODIGO DE TRATAMIENTOS	T	CORTE
1	T1C1V1	50	Cubos
2	T1C2V1	50	Rectangular
3	T1C3V1	50	Rodajas
4	T2C1V1	60	Cubos
5	T2C2V1	60	Rectangular
6	T2C3V1	60	Rodajas
7	T3C1V1	70	Cubos
8	T3C2V1	70	Rectangular
9	T3C3V1	70	Rodajas
10	T1C1V2	50	Cubos
11	T1C2V2	50	Rectangular
12	T1C3V2	50	Rodajas
13	T2C1V2	60	Cubos
14	T2C2V2	60	Rectangular
15	T2C3V2	60	Rodajas
16	T3C1V2	70	Cubos
17	T3C2V2	70	Rectangular
18	T3C3V2	70	Rodajas

DONDE:

T: Temperatura, en grados centígrados  
 C: Tipo de corte  
 V: Vegetal; V1= Papa, V2= Zanahoria

TABLA No. 3 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 50 grados centígrados  
 Corte: cubos de 10 mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 80.00% (32.00 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	4.0015	0
20	138.00	137.00	3.2982	28.1250
40	124.00	123.15	2.8629	17.4062
60	112.00	112.00	2.5010	14.4687
80	102.00	101.80	2.1854	12.6250
100	93.00	93.20	1.9103	11.0000
120	84.70	85.00	1.6524	10.3125
140	76.70	76.95	1.4015	10.0312
160	69.50	69.21	1.1680	9.3675
180	63.00	62.85	0.9670	8.0375
200	56.80	56.85	0.7763	7.6250
220	51.00	51.20	0.5974	7.1562
240	45.70	45.85	0.4309	6.6562
260	41.70	42.10	0.3098	4.8937
280	38.70	39.05	0.2152	3.7812
300	36.70	37.00	0.1519	2.5312
320	35.40	35.55	0.1089	2.7187
340	34.80	34.93	0.0899	0.7625
360	34.60	34.74	0.0838	0.2437
380	34.50	34.58	0.0797	0.1625
400	34.40	34.48	0.0766	0.1250
420	34.34	34.41	0.0745	0.0812
440	34.30	34.35	0.0729	0.0625
460	34.27	34.31	0.0719	0.0437
480	34.24	34.28	0.0709	0.0375
500	34.22	34.26	0.0703	0.0250

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No. 4 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 50 grados centígrados  
 Corte: rectángulos de (20\*10\*5)mm de lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 80.00% (32.00 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	4.0000	0
20	132.00	133.00	3.1406	34.3750
40	115.00	116.50	2.6172	20.9375
60	101.50	103.20	2.1984	16.7500
80	90.30	92.10	1.8500	13.9375
100	81.00	82.20	1.5500	12.0000
120	72.50	73.30	1.2782	10.8750
140	64.80	65.90	1.0422	9.4375
160	58.30	58.70	0.8281	8.5625
180	52.50	52.90	0.6469	7.2500
200	47.40	47.80	0.4875	6.3750
220	43.40	44.10	0.3672	4.8125
240	40.20	41.00	0.2687	3.9375
260	37.90	38.30	0.1906	3.1250
280	35.90	36.20	0.1265	2.5625
300	34.90	35.10	0.0937	1.3125
320	34.50	34.75	0.0820	0.4687
340	34.40	34.50	0.0766	0.2187
360	34.31	34.38	0.0733	0.1312
380	34.23	34.28	0.0705	0.1125
400	34.17	34.21	0.0684	0.0812
420	34.13	34.16	0.0670	0.0562
440	34.10	34.11	0.0658	0.0500
460	34.07	34.08	0.0648	0.0375
480	34.04	34.05	0.0639	0.0375
500	34.02	34.03	0.0633	0.0250

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No. 5 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 50 grados centígrados  
 Corte: rodajas de 20 mm diámetro y 5 mm grosor  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 79.99% (32.01 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	3.9984	0
20	136.00	135.50	3.2409	30.3125
40	121.00	121.30	2.7848	18.2500
60	107.80	107.50	2.3630	16.8750
80	96.80	97.00	2.0272	13.4375
100	87.80	88.20	1.7492	11.1250
120	79.40	79.95	1.4891	10.4062
140	71.70	72.00	1.2446	8.7812
160	64.70	64.95	1.0252	8.7812
180	58.40	58.70	0.8291	7.8437
200	52.60	53.15	0.6518	7.0937
220	47.50	48.05	0.4925	6.3750
240	46.80	43.75	0.3582	5.3750
260	39.80	40.00	0.2465	4.4687
280	37.10	37.42	0.1640	3.3000
300	35.30	35.55	0.1067	2.2937
320	34.60	34.85	0.0848	0.8750
340	34.50	34.62	0.0797	0.2062
360	34.41	34.45	0.0756	0.1625
380	34.34	34.37	0.0733	0.0937
400	34.29	34.30	0.0714	0.0750
420	34.25	34.26	0.0701	0.0500
440	34.22	34.23	0.0692	0.0375
460	34.19	34.20	0.0683	0.0375
480	34.17	34.17	0.0675	0.0312
500	34.15	34.15	0.0661	0.0250

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No. 6 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 60 grados centígrados  
 Corte: cubos de 10 mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 80.00% (32.00 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	4.0000	0
20	131.00	130.80	3.0906	36.3750
40	116.50	116.30	2.6375	18.1250
60	104.40	104.20	2.2594	15.1250
80	94.20	94.00	1.9406	12.7500
100	85.30	85.00	1.6609	11.1875
120	78.00	77.75	1.4336	9.0937
140	71.00	70.85	1.2464	8.6875
160	64.42	64.30	1.0113	8.2062
180	58.32	58.20	0.8206	7.6250
200	52.62	52.50	0.6425	7.1250
220	47.20	47.00	0.4706	6.8750
240	42.41	42.35	0.3245	5.8437
260	38.22	38.10	0.1925	5.2812
280	36.17	36.05	0.1284	2.5625
300	35.25	35.20	0.1008	1.1062
320	34.85	34.80	0.0883	0.5000
340	34.65	34.62	0.0823	0.2375
360	34.48	34.45	0.0770	0.2125
380	34.37	34.35	0.0738	0.1312
400	34.28	34.26	0.0709	0.1125
420	34.20	34.18	0.0684	0.1000
440	34.16	34.14	0.0672	0.0500
460	34.13	34.11	0.0663	0.0375
480	34.11	34.09	0.0656	0.0250
500	34.09	34.07	0.0650	0.0250

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No. 7 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 60 grados centígrados  
 Corte: rectángulos de (20\*10\*5)mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 80.00% (32.00 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	4.0000	0
20	127.00	127.00	2.9688	41.2500
40	109.00	109.50	2.4141	22.1875
60	95.00	95.30	1.9734	17.6250
80	85.00	85.50	1.6641	12.3750
100	76.40	76.30	1.3859	11.1250
120	68.90	68.95	1.1539	9.2812
140	61.80	62.00	0.9344	8.7813
160	55.10	55.40	0.7266	8.3125
180	49.20	49.50	0.5422	7.3750
200	44.20	44.55	0.3867	6.2188
220	40.00	40.25	0.2539	5.3125
240	36.50	36.75	0.1445	4.3750
260	35.15	35.25	0.1000	1.7813
280	34.50	34.60	0.0797	0.8125
300	34.28	34.32	0.0719	0.3125
320	34.18	34.20	0.0684	0.1375
340	34.09	34.11	0.0656	0.1125
360	34.01	34.03	0.0631	0.1000
380	33.96	33.98	0.0616	0.0625
400	33.93	33.95	0.0606	0.0375
420	33.90	33.92	0.0597	0.0375
440	33.88	33.89	0.0589	0.0312
460	33.86	33.87	0.0583	0.0250

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.



TABLA No. 8 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 60 grados centígrados  
 Corte: rodajas de 20 mm diámetro y 5 mm grosor  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 80.00% (32.00 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	4.0000	0
20	129.00	129.00	3.0313	38.7500
40	113.00	114.00	2.5469	19.3750
60	100.50	101.20	2.1516	15.8125
80	90.50	91.00	1.8359	12.6250
100	82.10	82.65	1.5742	10.4688
120	74.80	75.15	1.3430	9.2500
140	67.80	68.20	1.1250	8.7188
160	61.30	61.50	0.9188	8.2500
180	55.30	55.60	0.7328	7.4375
200	49.40	50.00	0.5531	7.1875
220	44.40	44.85	0.3945	6.3437
240	40.20	40.50	0.2609	5.3437
260	37.70	38.05	0.1836	3.0938
280	35.90	36.11	0.1252	2.3375
300	34.95	35.00	0.0930	1.2875
320	34.43	34.65	0.0794	0.5438
340	34.33	34.40	0.0739	0.2188
360	34.25	34.30	0.0711	0.1125
380	34.18	34.22	0.0687	0.0937
400	34.14	34.17	0.0673	0.0562
420	34.11	34.14	0.0664	0.0375
440	34.08	34.11	0.0655	0.0375
460	34.05	34.09	0.0647	0.0312

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No. 9 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 70 grados centígrados  
 Corte: cubos de 10 mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 80.00% (32.00 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	4.0000	0
20	125.00	125.00	2.9063	43.7500
40	110.00	110.00	2.4375	18.7500
60	98.00	98.20	2.0656	14.8750
80	88.00	88.30	1.7547	12.4375
100	79.00	79.20	1.4719	11.3125
120	71.10	71.25	1.2242	9.9063
140	63.50	63.70	0.9875	9.4687
160	56.50	57.00	0.7734	8.5625
180	50.65	50.80	0.5852	7.5313
200	45.25	45.58	0.4192	6.6375
220	41.20	41.35	0.2898	5.1750
240	37.90	38.00	0.1859	4.1563
260	36.45	36.65	0.1422	1.7500
280	35.40	35.50	0.1078	1.3750
300	34.91	34.99	0.0922	0.6250
320	34.62	34.65	0.0823	0.3938
340	34.40	34.45	0.0758	0.2625
360	34.24	34.28	0.0706	0.2062
380	34.15	34.18	0.0677	0.1188
400	34.07	34.09	0.0650	0.1062
420	34.00	34.02	0.0628	0.0875
440	33.97	33.99	0.0619	0.0375

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.10 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 70 grados centígrados  
 Corte: rectángulos de (20\*10\*5)mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 80.00% (32.00 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	4.0000	0
20	115.00	115.10	2.5953	56.1875
40	95.00	95.00	1.9688	25.0625
60	81.00	81.20	1.5344	17.3750
80	71.00	71.05	1.2195	12.5938
100	62.00	62.50	0.9453	10.9687
120	55.00	55.20	0.7219	8.9375
140	49.00	49.15	0.5336	7.5313
160	44.50	44.55	0.3914	5.6875
180	41.50	41.60	0.2984	3.7187
200	39.05	39.00	0.2195	3.1563
220	36.90	36.85	0.1523	2.6875
240	35.10	35.00	0.0953	2.2812
260	34.40	34.50	0.0766	0.7500
280	34.20	34.28	0.0700	0.2625
300	34.05	34.10	0.0648	0.2063
320	33.97	34.02	0.0623	0.1000
340	33.92	33.95	0.0605	0.0750
360	33.89	33.91	0.0594	0.0438
380	33.86	33.88	0.0584	0.0375
400	33.84	33.86	0.0578	0.0250
420	33.83	33.84	0.0573	0.0188
440	33.82	33.83	0.0570	0.0125

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.11 Resultados obtenidos del secado para papa:  
 Temperatura: 70 grados centígrados  
 Corte: rodajas de 20 mm diámetro y 5 mm grosor  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 80.00% (32.00 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	4.0000	0
20	122.50	122.00	2.8203	47.1875
40	105.20	105.00	2.2844	21.4375
60	92.00	92.50	1.8828	16.0625
80	82.30	82.50	1.5750	12.3125
100	73.50	73.40	1.2953	11.1875
120	66.20	66.10	1.0672	9.1250
140	59.10	59.00	0.8453	8.8750
160	53.05	53.00	0.6570	7.5313
180	47.80	47.85	0.4945	6.5000
200	43.51	43.50	0.3595	5.4000
220	39.85	39.81	0.2447	4.5937
240	37.35	37.30	0.1664	3.1313
260	35.80	35.75	0.1180	1.9375
280	34.90	34.82	0.0894	1.1437
300	34.42	34.40	0.0753	0.5625
320	34.22	34.20	0.0691	0.2500
340	34.10	34.09	0.0655	0.1437
360	34.02	34.01	0.0630	0.1000
380	33.95	33.97	0.0613	0.0687
400	33.90	33.93	0.0598	0.0563
420	33.87	33.89	0.0587	0.0438
440	33.85	33.86	0.0580	0.0312

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.12 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 50 grados centígrados  
 Corte: cubos de 10 mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.00	160.00	6.1429	0
20	122.00	121.80	4.4420	47.6250
40	98.90	99.05	3.4185	28.6562
60	80.40	80.20	2.5848	23.3437
80	67.65	67.50	2.0167	15.9063
100	57.60	58.00	1.5804	12.2188
120	49.57	49.40	1.2092	10.3938
140	42.62	42.70	0.9045	8.5313
160	36.77	36.85	0.6433	7.3125
180	31.85	31.90	0.4230	6.1688
200	28.08	28.15	0.2551	4.7000
220	26.23	26.30	0.1725	2.3125
240	25.35	25.38	0.1324	1.1250
260	24.76	24.80	0.1063	0.7312
280	24.51	24.55	0.0951	0.3125
300	24.34	24.35	0.0868	0.2313
320	24.23	24.25	0.0821	0.1313
340	24.15	24.16	0.0783	0.1063
360	24.08	24.08	0.0750	0.0938
380	24.02	24.02	0.0723	0.0750
400	23.97	23.97	0.0701	0.0625

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas: el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.13 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 50 grados centígrados  
 Corte: rectángulos de (20\*10\*5)mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.0	160.0	6.1429	0
20	120.2	120.20	4.3661	49.7500
40	93.00	93.10	3.1540	33.9375
60	76.60	76.55	2.4185	20.5938
80	63.30	63.35	1.8270	16.5625
100	53.29	53.35	1.3804	12.5063
120	45.04	45.07	1.0114	10.3313
140	37.89	37.92	0.6922	8.9375
160	31.94	31.90	0.4250	7.4813
180	27.79	27.90	0.2431	5.0938
200	25.84	25.90	0.1549	2.4687
220	24.89	24.85	0.1103	1.2500
240	24.57	24.60	0.0975	0.3563
260	24.34	24.38	0.0875	0.2813
280	24.22	24.25	0.0819	0.1563
300	24.14	24.15	0.0779	0.1125
320	24.06	24.08	0.0746	0.0938
340	23.99	24.02	0.0717	0.0812
360	23.92	23.96	0.0688	0.0812
380	23.86	23.91	0.0663	0.0688
400	23.80	23.86	0.0638	0.0688

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas: el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.14 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 50 grados centígrados  
 Corte: rodajas de 20mm diámetro y 5 mm grosor  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.0	160.0	6.1429	0
20	121.3	121.00	4.4085	48.5625
40	94.50	94.30	3.2143	33.4375
60	78.25	78.30	2.4944	20.1563
80	65.45	65.50	1.9230	16.0000
100	55.70	55.75	1.4877	12.1875
120	47.50	47.60	1.1228	10.2188
140	40.49	40.55	0.8089	8.7875
160	34.61	34.70	0.5471	7.3312
180	30.60	30.70	0.3683	5.0063
200	27.46	27.50	0.2268	3.9625
220	25.74	25.80	0.1504	2.1375
240	24.85	24.90	0.1105	1.1187
260	24.54	24.58	0.0964	0.3938
280	24.35	24.38	0.0877	0.2437
300	24.24	24.28	0.0830	0.1313
320	24.15	24.18	0.0788	0.1188
340	24.07	24.10	0.0752	0.1000
360	24.02	24.03	0.0725	0.0750
380	23.98	23.97	0.0703	0.0625
400	23.95	23.93	0.0688	0.0438

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.15 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 60 grados centígrados  
 Corte: cubos de 10 mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.0	160.0	6.1429	0
20	118.7	118.50	4.2946	51.7500
40	90.80	90.40	3.0446	35.0000
60	73.00	73.00	2.2589	22.0000
80	57.10	57.00	1.5469	19.9375
100	46.90	46.75	1.0904	12.7813
120	40.10	40.05	0.7891	8.4375
140	34.90	34.80	0.5558	6.5313
160	30.70	30.65	0.3694	5.2187
180	26.90	26.85	0.1998	4.7500
200	25.41	25.40	0.1342	1.8375
220	24.86	24.80	0.1085	0.7187
240	24.68	24.65	0.1011	0.2063
260	24.56	24.52	0.0950	0.1500
280	24.45	24.42	0.0908	0.1375
300	24.35	24.32	0.0864	0.1250
320	24.25	24.22	0.0819	0.1250
340	24.16	24.13	0.0778	0.1125
360	24.08	24.05	0.0740	0.1000
380	24.02	23.97	0.0712	0.0812
400	23.98	23.91	0.0694	0.0500

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.



TABLA No.16 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 60 grados centígrados  
 Corte: rectángulos de (20\*10\*5)mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.0	160.0	6.1429	0
20	116.2	116.00	4.1830	54.8750
40	86.15	86.18	2.8467	37.4188
60	65.65	65.70	1.9319	25.6125
80	47.24	47.28	1.1098	23.0188
100	36.95	37.01	0.6509	12.8500
120	31.18	31.20	0.3924	7.2375
140	28.69	28.65	0.2799	3.1500
160	26.80	26.82	0.1969	2.3250
180	25.82	25.85	0.1533	1.2187
200	24.92	24.95	0.1132	1.1250
220	24.55	24.58	0.0965	0.4625
240	24.37	24.40	0.0886	0.2250
260	24.25	24.28	0.0831	0.1500
280	24.15	24.17	0.0786	0.1313
300	24.06	24.07	0.0743	0.1188
320	23.99	23.98	0.0708	0.1000
340	23.92	23.90	0.0674	0.0937
360	23.86	23.83	0.0644	0.0813
380	23.80	23.78	0.0620	0.0625

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.17 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 60 grados centígrados  
 Corte: rodajas de 20 mm diámetro y 5 mm grosor  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.0	160.0	6.1429	0
20	118.2	118.00	4.2723	52.3750
40	89.70	89.60	3.0022	35.5625
60	70.80	70.55	2.1551	23.7188
80	54.30	54.25	1.4230	20.5000
100	43.80	43.82	0.9558	13.0813
120	36.50	36.55	0.6306	9.1063
140	30.60	30.62	0.3665	7.3937
160	27.50	27.45	0.2266	3.9188
180	26.15	26.16	0.1676	1.6500
200	25.10	25.12	0.1210	1.3062
220	24.69	24.70	0.1025	0.5188
240	24.54	24.50	0.0946	0.2188
260	24.42	24.40	0.0897	0.1375
280	24.32	24.31	0.0855	0.1188
300	24.23	24.23	0.0817	0.1062
320	24.15	24.16	0.0783	0.0938
340	24.07	24.09	0.0750	0.0938
360	24.00	24.03	0.0721	0.0812
380	23.93	23.97	0.0690	0.0750

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.18 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 70 grados centígrados  
 Corte: cubos de 10 mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.0	160.0	6.1429	0
20	115.0	115.20	4.1384	56.1250
40	83.00	83.00	2.7054	40.1250
60	65.00	65.00	1.9018	22.5000
80	51.00	51.00	1.2768	17.5000
100	41.20	41.10	0.8371	12.3125
120	35.50	35.55	0.5859	7.0313
140	31.70	31.72	0.4156	4.7688
160	28.50	28.50	0.2723	4.0125
180	26.10	26.10	0.1652	3.0000
200	25.00	25.05	0.1172	1.3438
220	24.29	24.30	0.0846	0.9125
240	24.14	24.15	0.0779	0.1875
260	24.03	24.05	0.0732	0.1312
280	23.93	23.96	0.0690	0.1188
300	23.85	23.89	0.0656	0.0937
320	23.80	23.84	0.0634	0.0625
340	23.77	23.81	0.0621	0.0375
360	23.76	23.79	0.0611	0.0187

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.19 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 70 grados centígrados  
 Corte: rectángulos de (20\*10\*5)mm por lado  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.0	160.0	6.1429	0
20	110.0	110.20	3.9152	62.3750
40	78.50	78.40	2.5022	39.5625
60	58.90	59.00	1.6317	24.3750
80	42.80	42.62	0.9067	20.3000
100	32.10	32.12	0.4335	13.2500
120	27.90	27.90	0.2455	5.2625
140	26.10	26.15	0.1663	2.2187
160	25.20	25.25	0.1261	1.1250
180	24.65	24.65	0.1004	0.7188
200	24.42	24.40	0.0897	0.3000
220	24.25	24.25	0.0826	0.2000
240	24.11	24.12	0.0766	0.1687
260	24.00	24.03	0.0721	0.1250
280	23.90	23.95	0.0681	0.1125
300	23.83	23.88	0.0650	0.0875
320	23.77	23.82	0.0625	0.0687
340	23.74	23.77	0.0605	0.0438
360	23.71	23.74	0.0591	0.0375

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.20 Resultados obtenidos del secado para zanahoria:  
 Temperatura: 70 grados centígrados  
 Corte: rodajas de 20 mm diámetro y 5 mm grosor  
 Carga: 4 kg/m<sup>2</sup>  
 Velocidad del aire: 2.5 m/seg  
 Humedad inicial: 86.00% (22.40 g sólido seco)

Tiempo (minutos)	Peso 1 (gramos)	Peso 2 (gramos)	Humedad kg H <sub>2</sub> O/kg seco	Vel. secado gH <sub>2</sub> O/-min*m <sup>2</sup>
0	160.0	160.0	6.1429	0
20	112.8	112.90	4.0379	58.9375
40	81.10	81.00	2.6183	39.7500
60	63.00	63.00	1.8125	22.5625
80	48.70	48.80	1.1763	17.8125
100	38.70	38.70	0.7277	12.5625
120	31.50	31.55	0.4074	8.9688
140	28.20	28.25	0.2600	4.1250
160	26.40	26.42	0.1790	2.2687
180	25.30	25.30	0.1295	1.3875
200	24.60	24.65	0.0993	0.8438
220	24.28	24.30	0.0844	0.4187
240	24.14	24.15	0.0777	0.1875
260	24.02	24.04	0.0728	0.1375
280	23.92	23.95	0.0684	0.1250
300	23.85	23.88	0.0653	0.1000
320	23.79	23.83	0.0628	0.0625
340	23.77	23.79	0.0616	0.0250
360	23.75	23.77	0.0607	0.0250

Los pesos 1 y 2 corresponden a las dos corridas realizadas; el contenido de humedad y la velocidad de secado es el dato promedio de las dos corridas.

TABLA No.21

INDICE DE REHIDRATACION

Las cantidades tabuladas son promedio de los datos obtenidos. Las piezas deshidratadas de papa y de zanahoria se remojaron en agua por 7 horas a temperatura de 25 grados centígrados.

CORTE	CUBOS			RECTANGULOS			RODAJAS		
	50	60	70	50	60	70	50	60	70
Material y temperatura									
PAPA	.74	.75	.75	.76	.76	.77	.68	.69	.70
ZANAHORIA	.87	.87	.88	.83	.84	.85	.88	.89	.89

TABLA No.22

PH

Datos promedio para papa y zanahoria, en condiciones frescas y deshidratadas.

MUESTRA	FRESCA	CUBOS	RECTANGULOS	RODAJAS
PAPA	5.93	5.60	5.62	5.60
ZANAHORIA	6.07	5.18	5.21	5.12

TABLA No.23

PAPA

Características físicas de las piezas deshidratadas y en condiciones frescas.

MUESTRA	COLOR	SABOR	TEXTURA
Papa fresca	Amarrillo pálido	Insabora	Blanda
Papa secada	Blanco amarillento	Ligeramente salado	Rígida lisa

TABLA NO.24

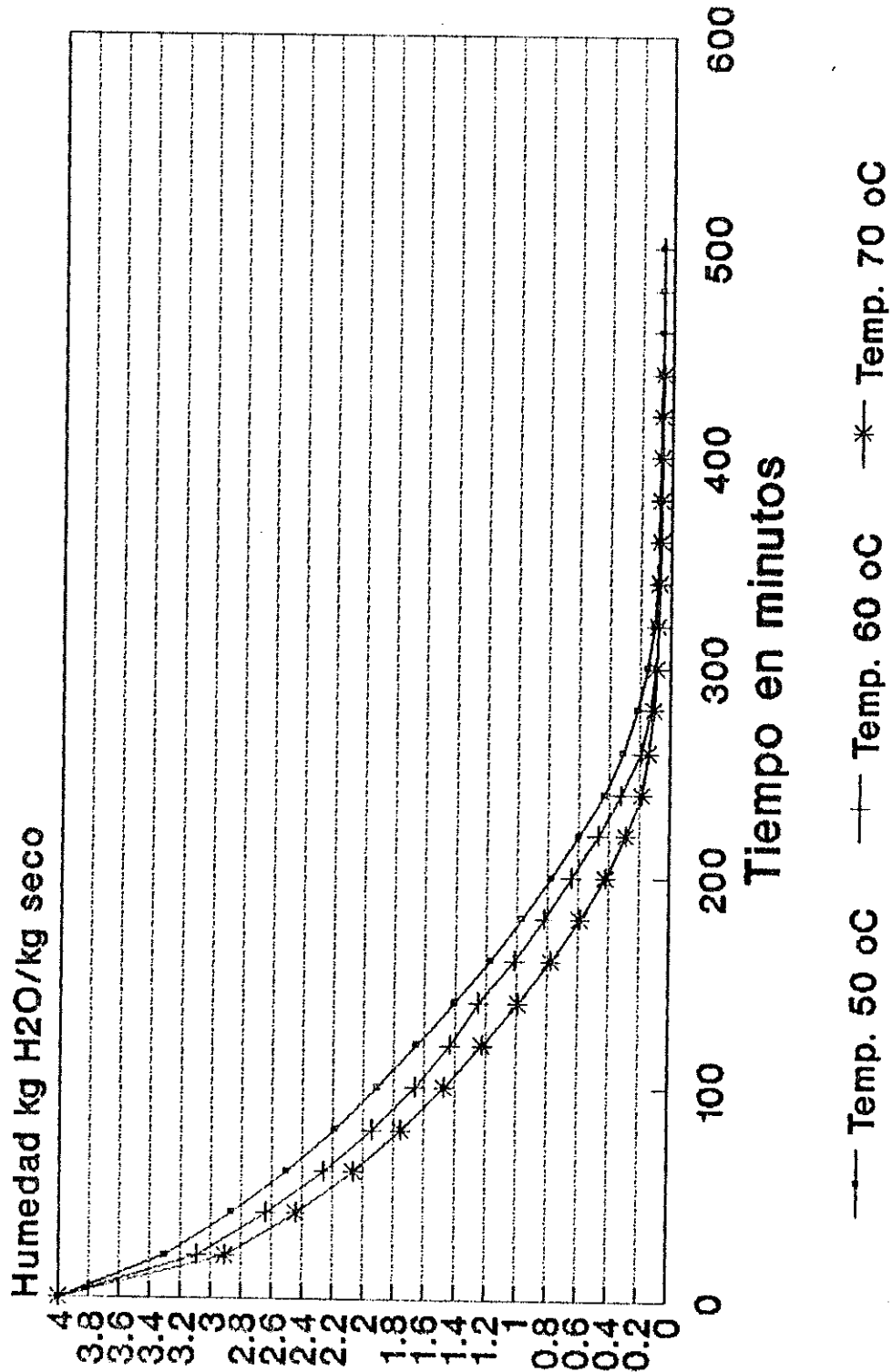
ZANAHORIA

Características físicas de las piezas deshidratadas y en condiciones frescas.

MUESTRA	COLOR	SABOR	TEXTURA
Zanahoria fresca	Anaranjado	Dulce	Crujiente
Zanahoria secada	Anaranjado oscuro	Ligeramente dulce	Rígida rugosa

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO

## CORTE: CUBOS DE 10 mm POR LADO



GRAFICA No. 1.0 MATERIAL:PAPA

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO

## CORTE: CUBOS DE 10 mm POR LADO

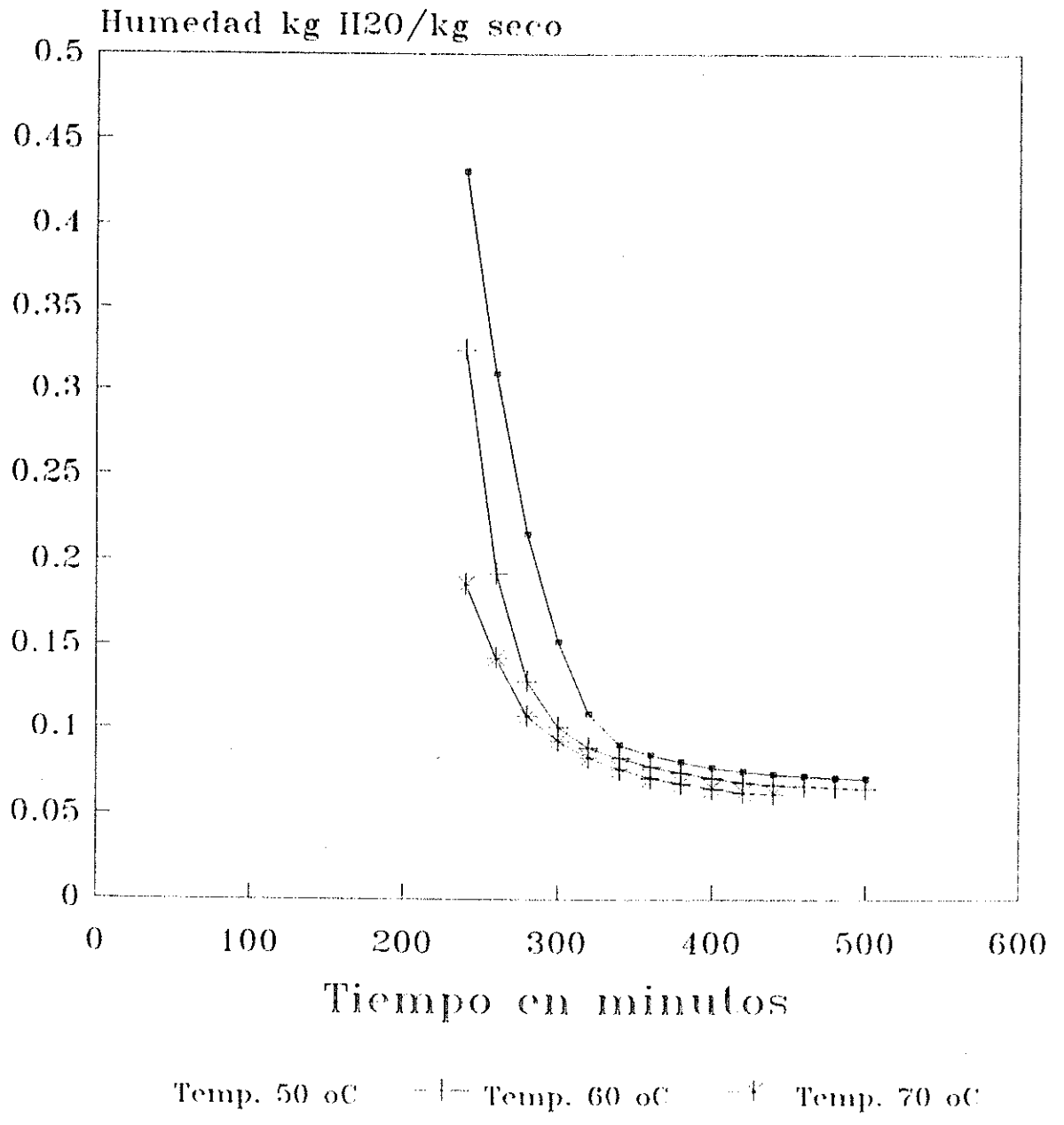


FIGURA 1.1 MATERIAL: PAPA  
RANGO DE BAJA HUMEDAD



# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO

## CORTE: RECTANGULOS DE (20\*10\*5)mm

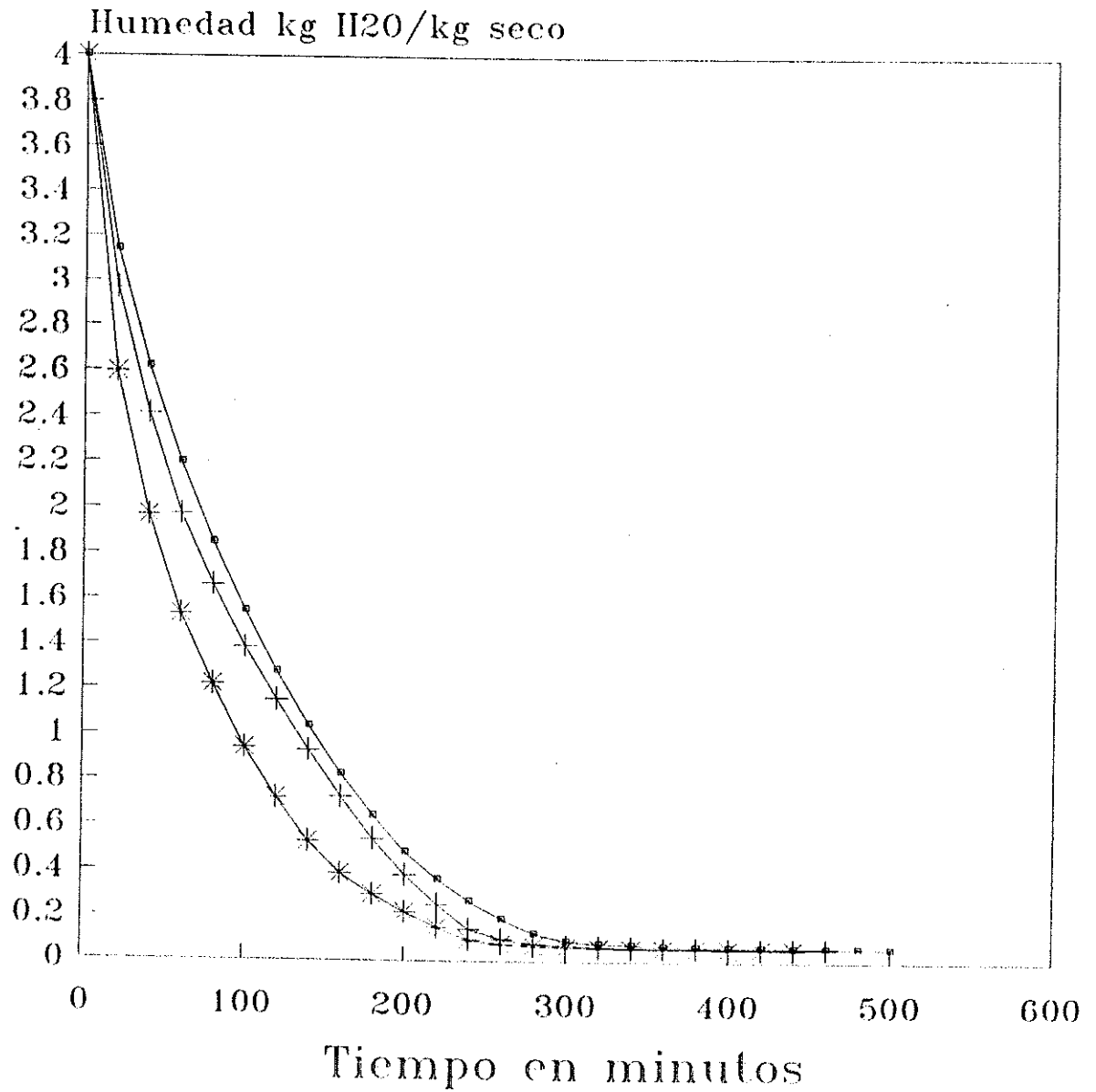


FIGURA 2.0 MATERIAL:PAPA

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO

## CORTE: RECTANGULOS DE (20\*10\*5)mm

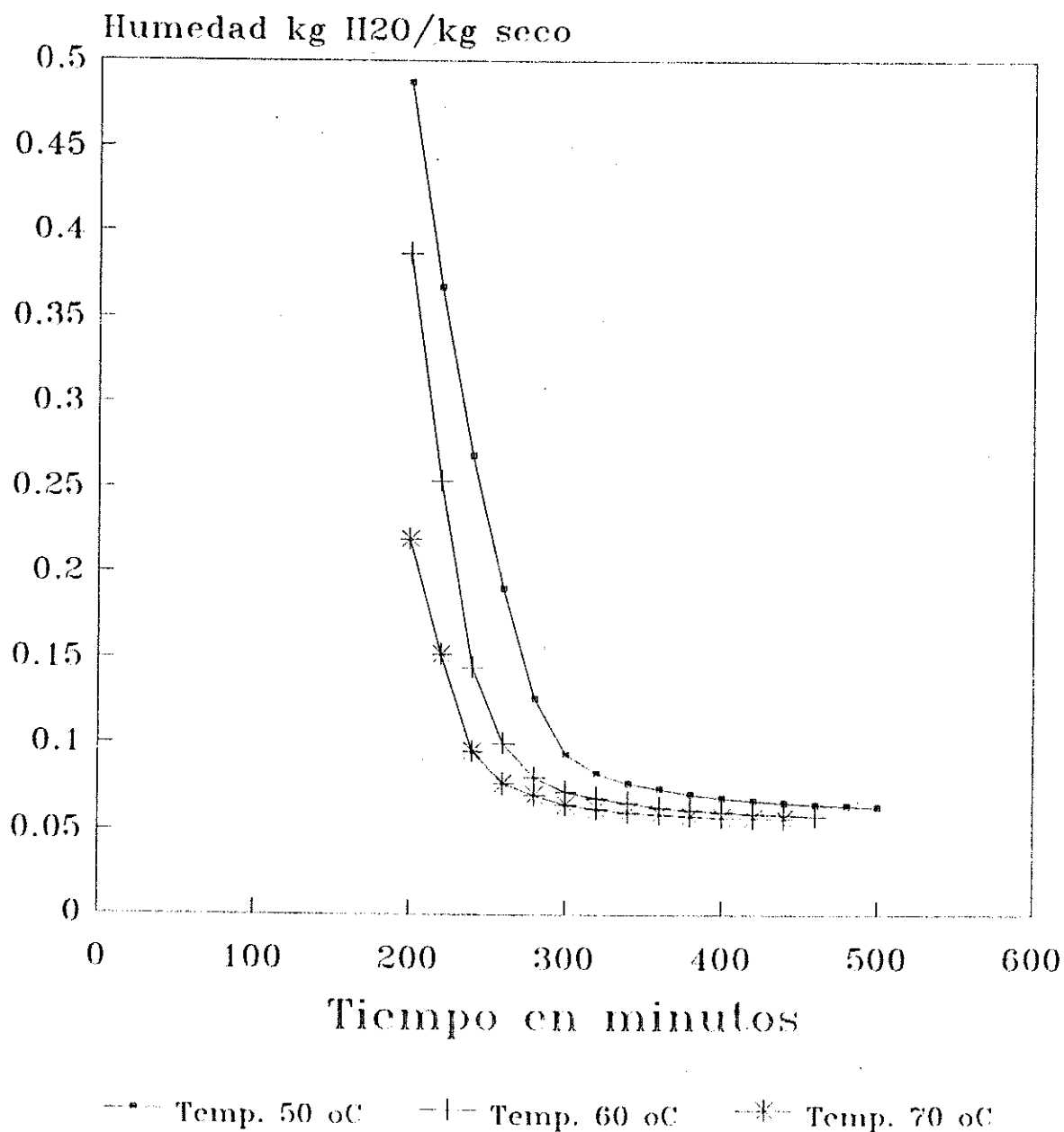


FIGURA 2.1 MATERIAL:PAPA  
RANGO DE BAJA HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO  
CORTE: RODAJAS DE 20mm DIAMETRO  
Y 5 mm GROSOR

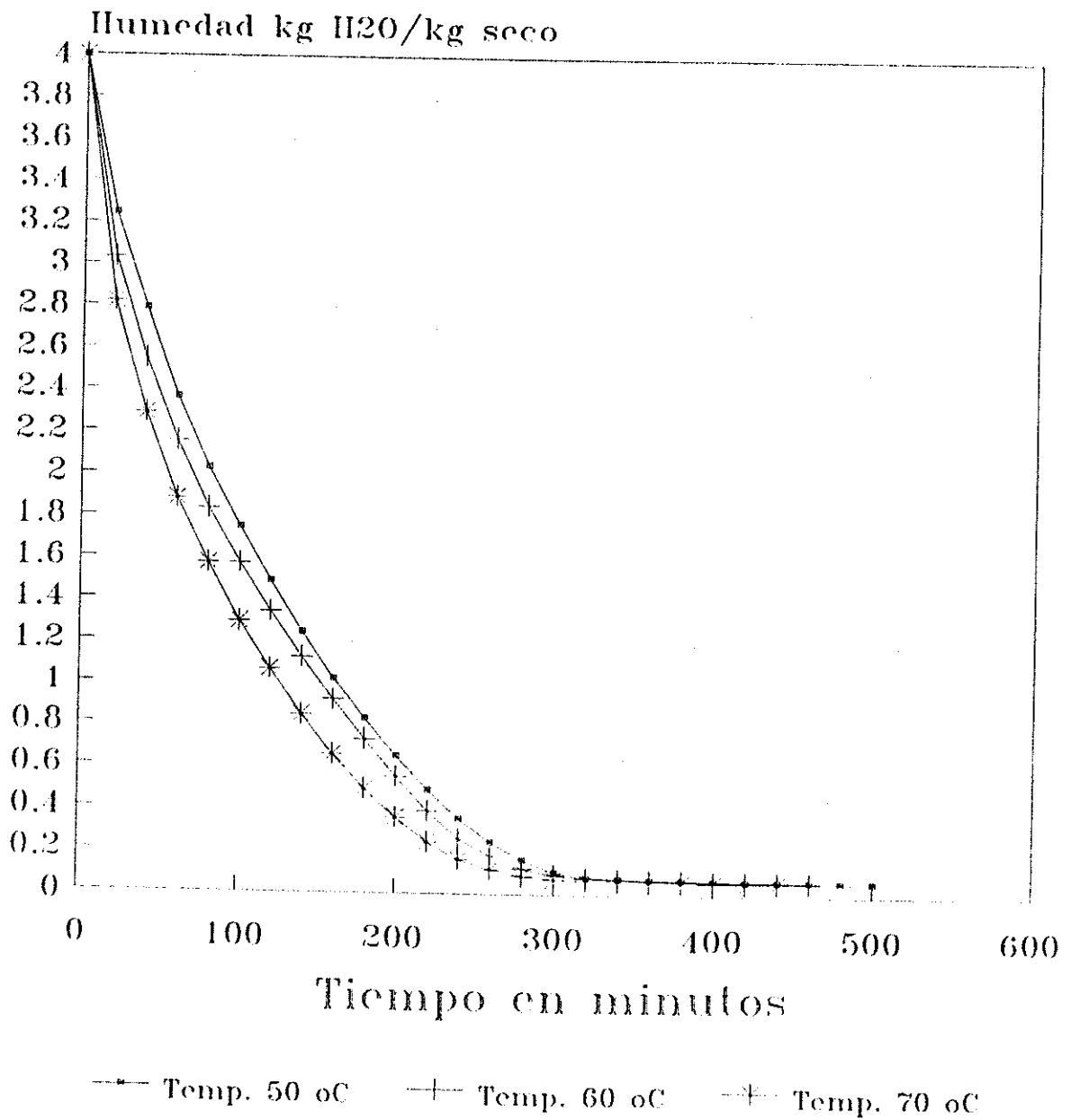


FIGURA 3.0 MATERIAL:PAPA

CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO  
CORTE: RODAJAS DE 20mm DIAMETRO  
Y 5 mm GROSOR

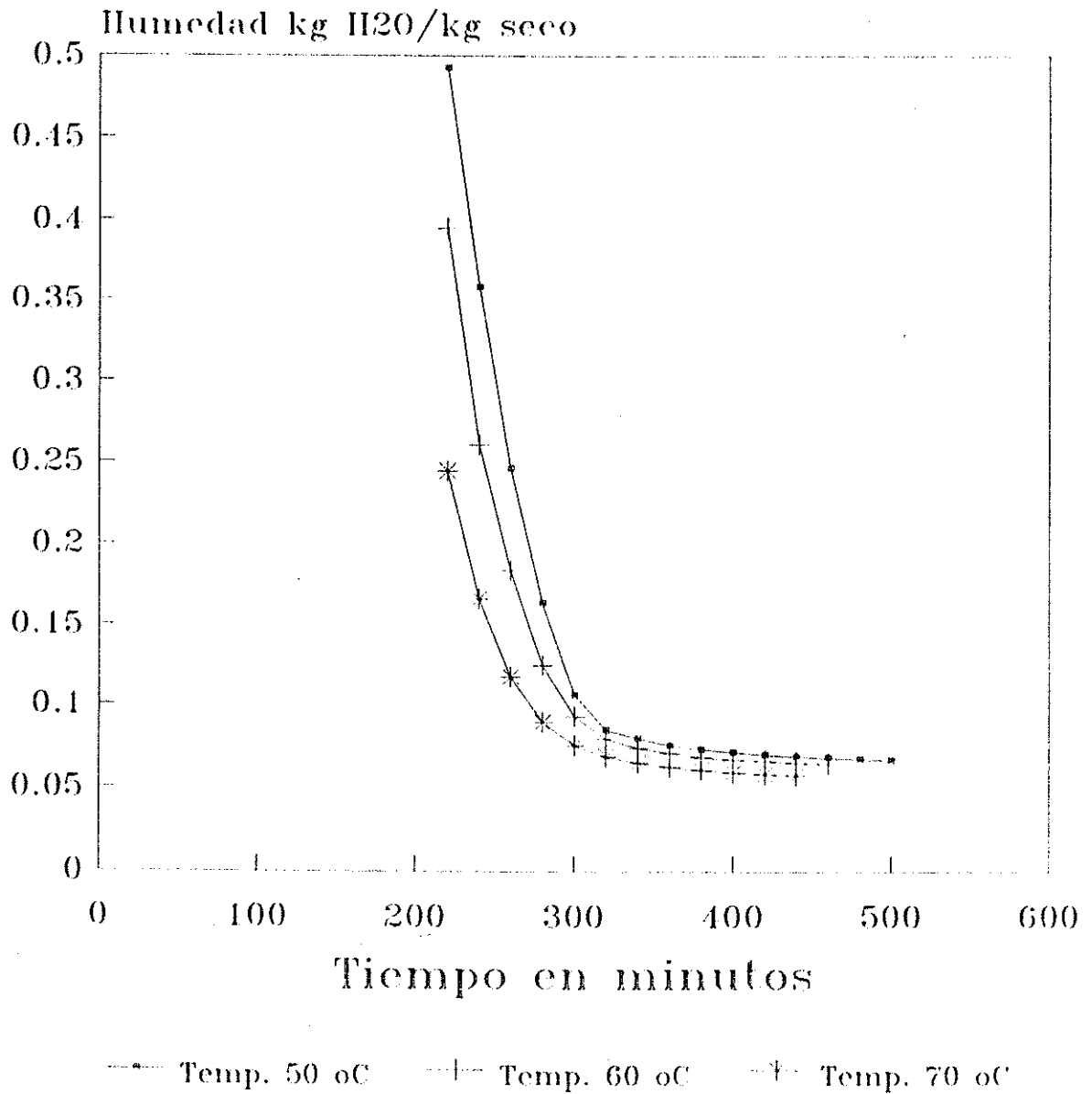
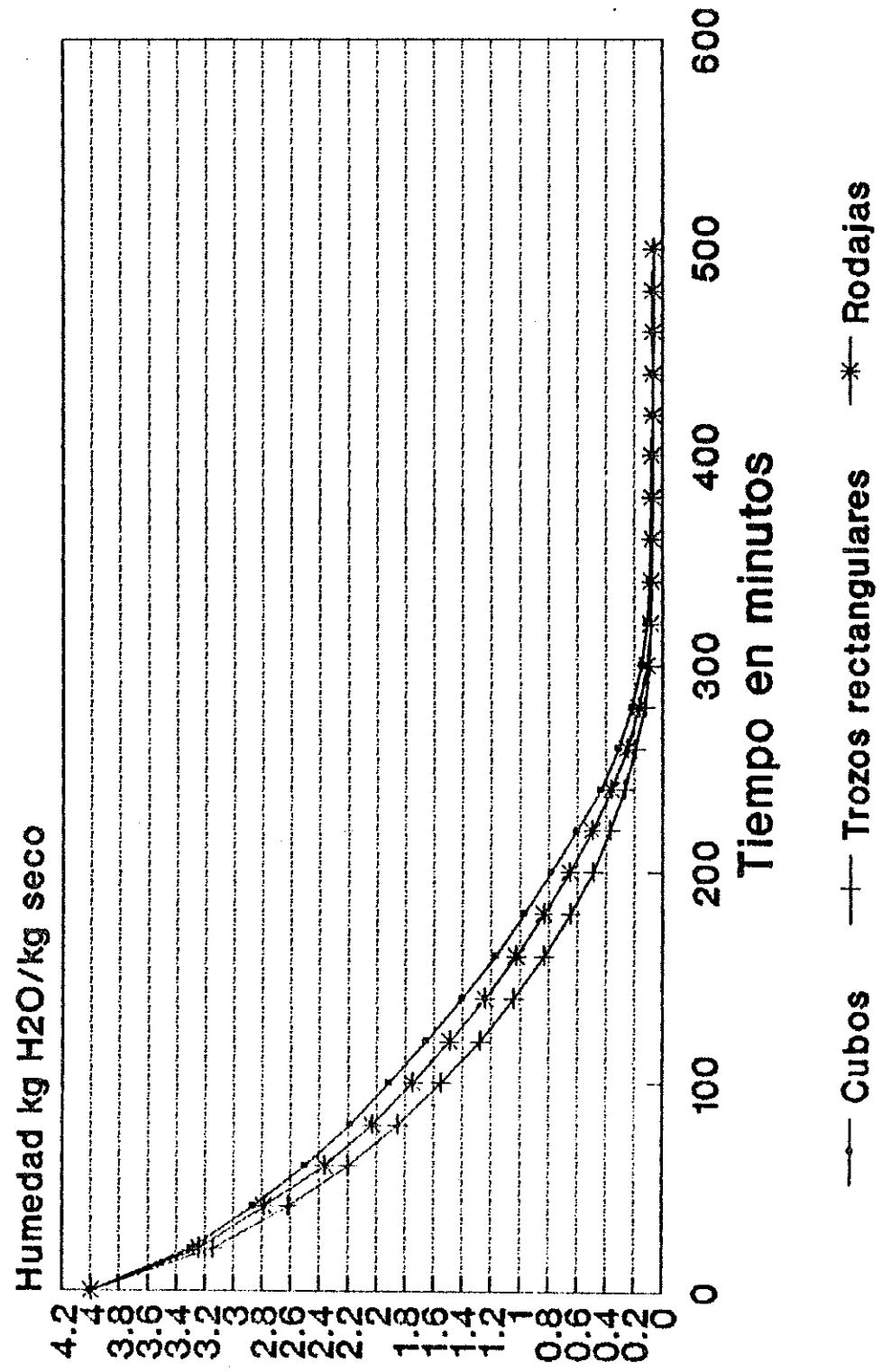


FIGURA 3.1 MATERIAL:PAPA  
RANGO DE BAJA HUMEDAD

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO TEMPERATURA: 50 °C



GRAFICA No. 4.0 MATERIAL:PAPA

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO TEMPERATURA: 50 °C

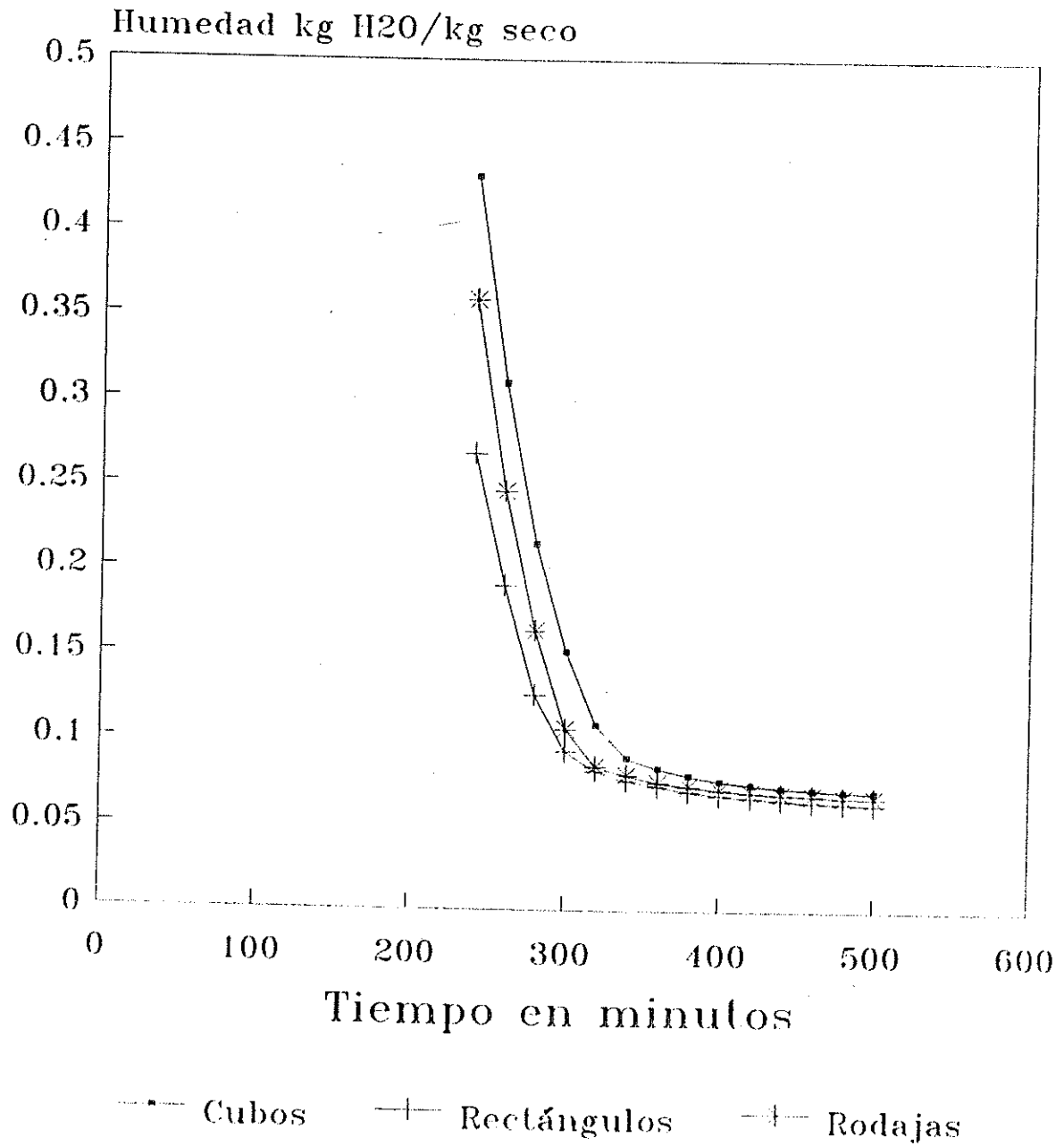


FIGURA 4.1 MATERIAL:PAPA  
RANGO DE BAJA HUMEDAD

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO

## TEMPERATURA: 60 oc

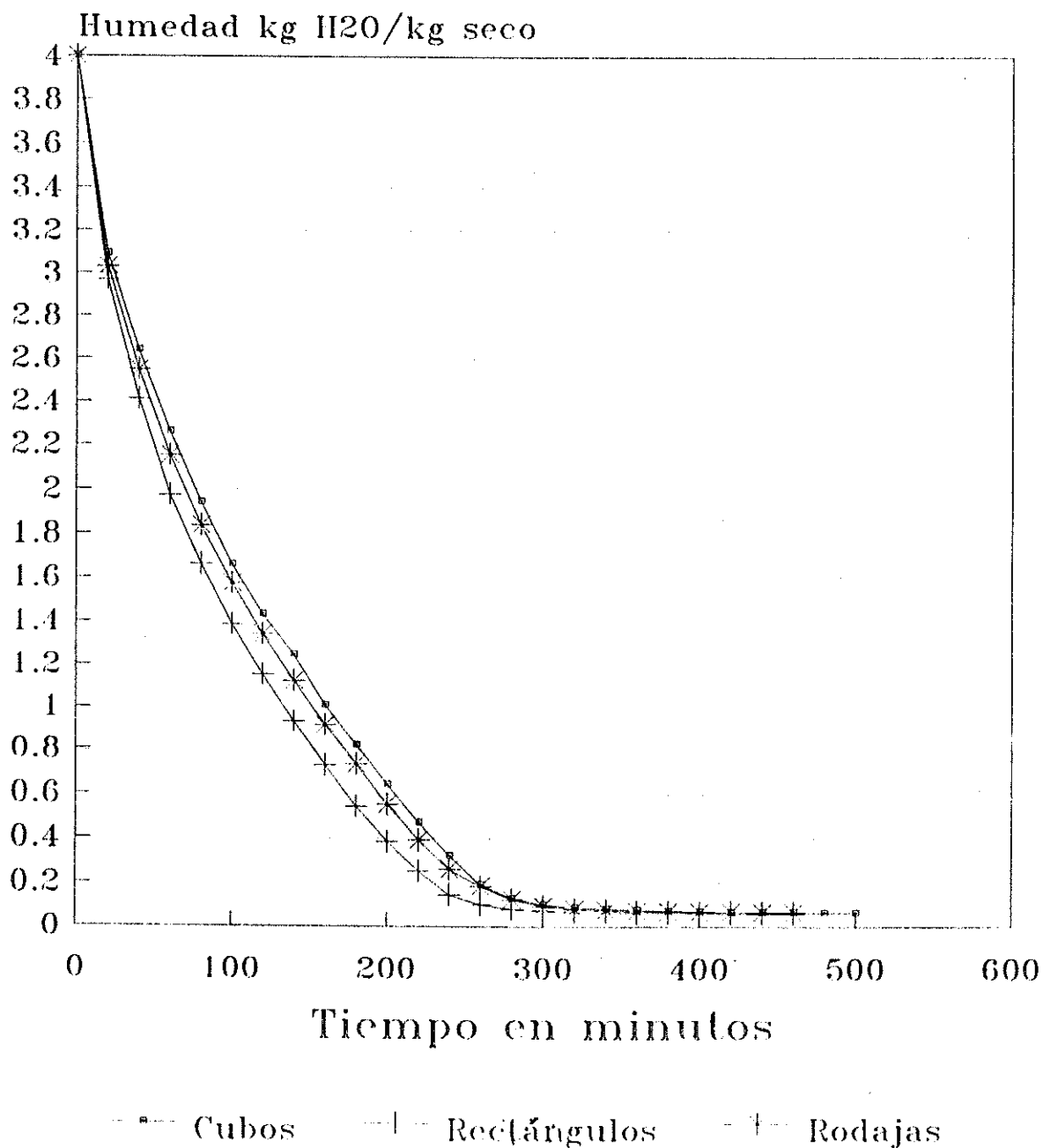


FIGURA 5.0 MATERIAL:PAPA

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO

## TEMPERATURA: 60 °C

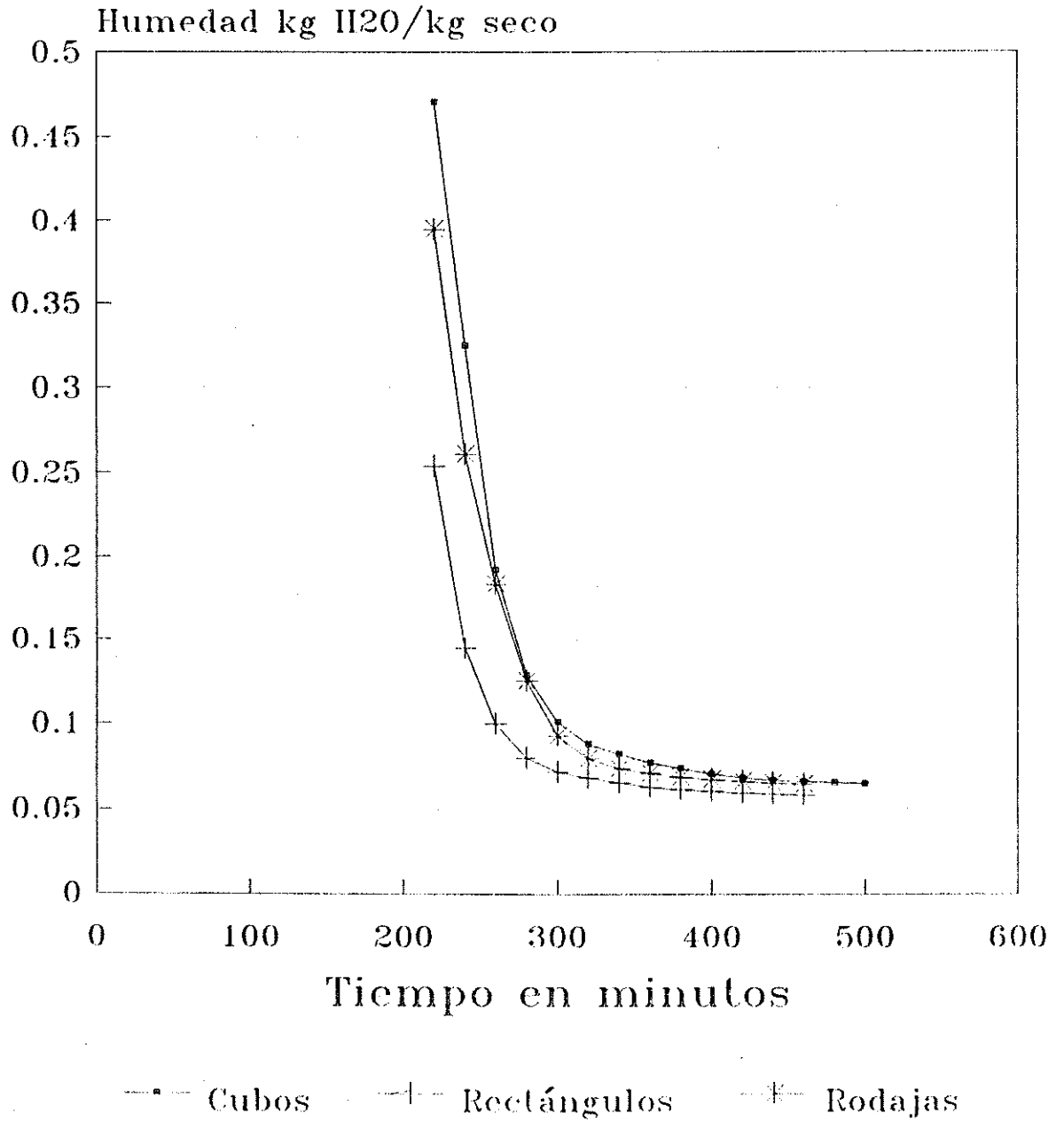


FIGURA 5.1 MATERIAL:PAPA  
RANGO DE BAJA HUMEDAD



# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO

TEMPERATURA: 70 °C

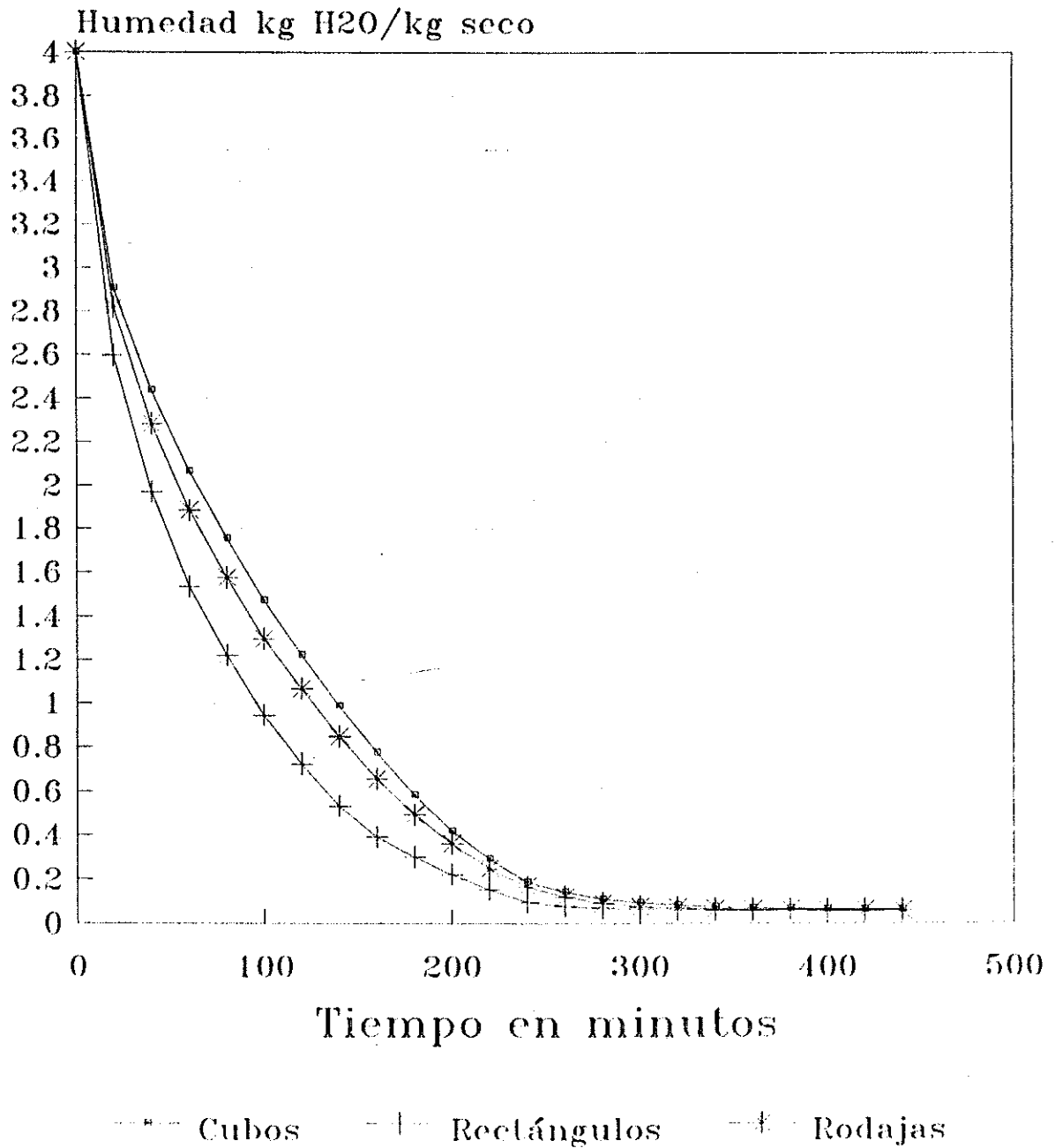


FIGURA 6.0 MATERIAL:PAPA

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS TIEMPO TEMPERATURA: 70 °C

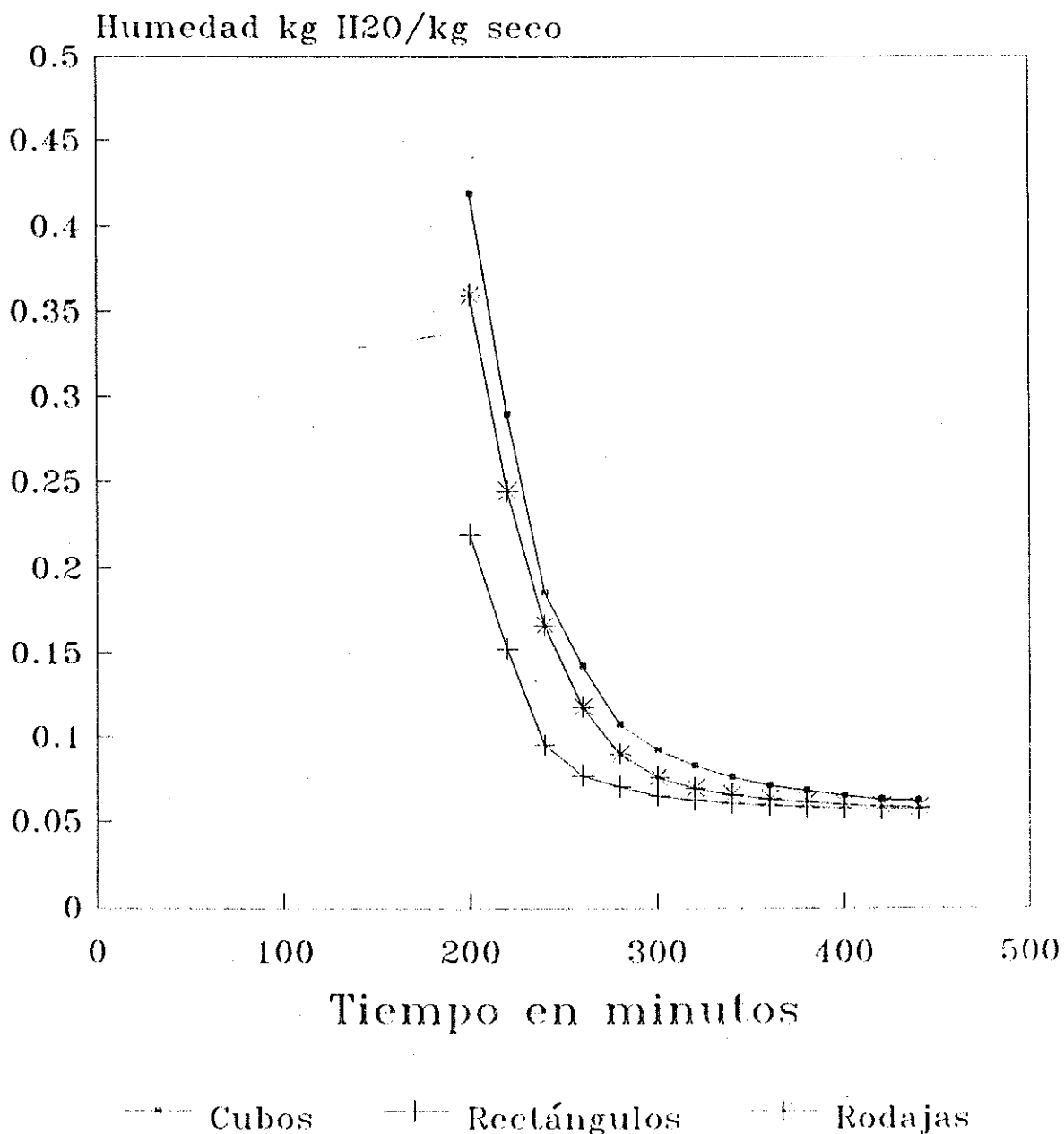
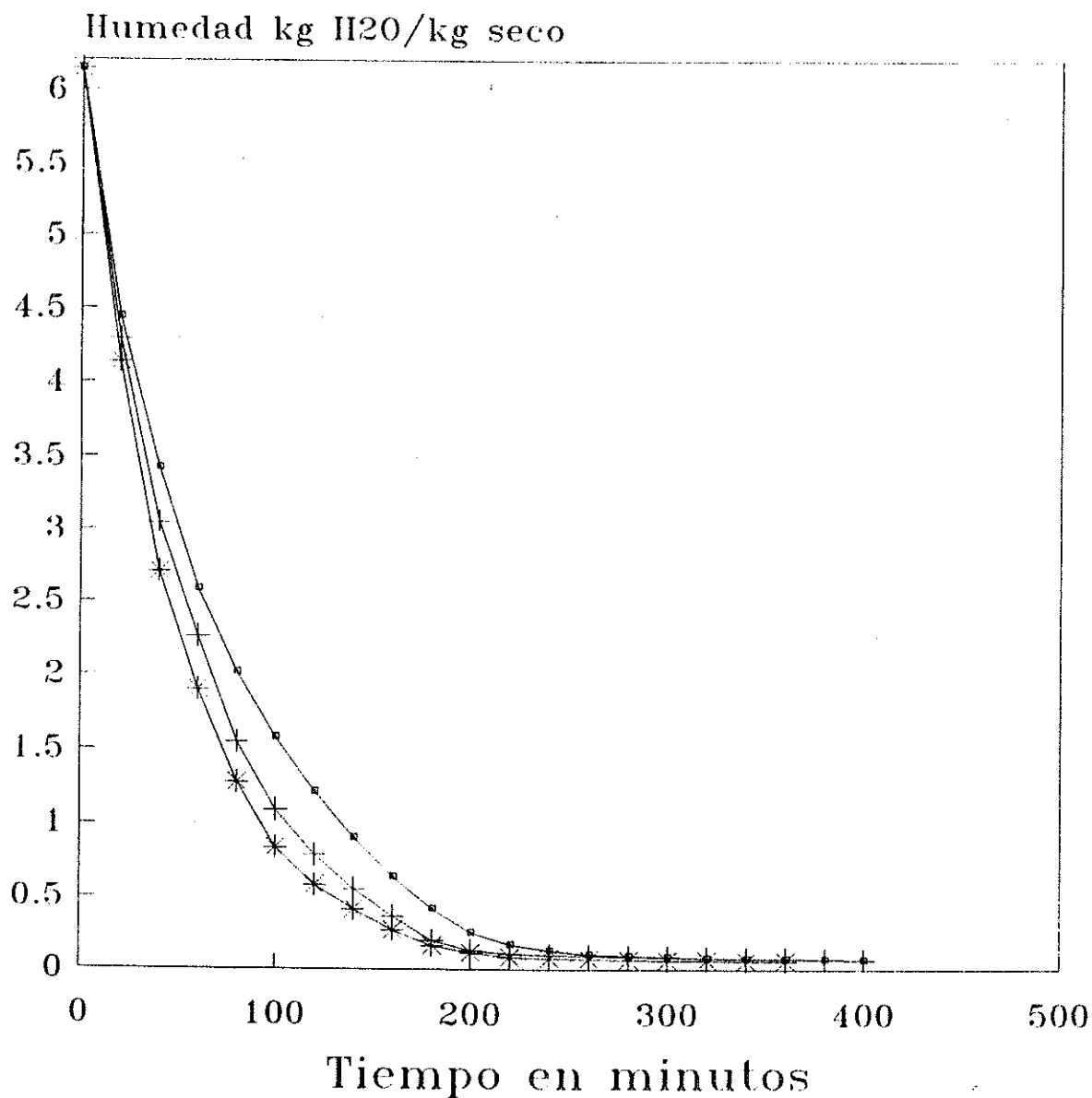


FIGURA 6.1 MATERIAL:PAPA  
RANGO DE BAJA HUMEDAD

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO

## CORTE: CUBOS DE 10 mm POR LADO

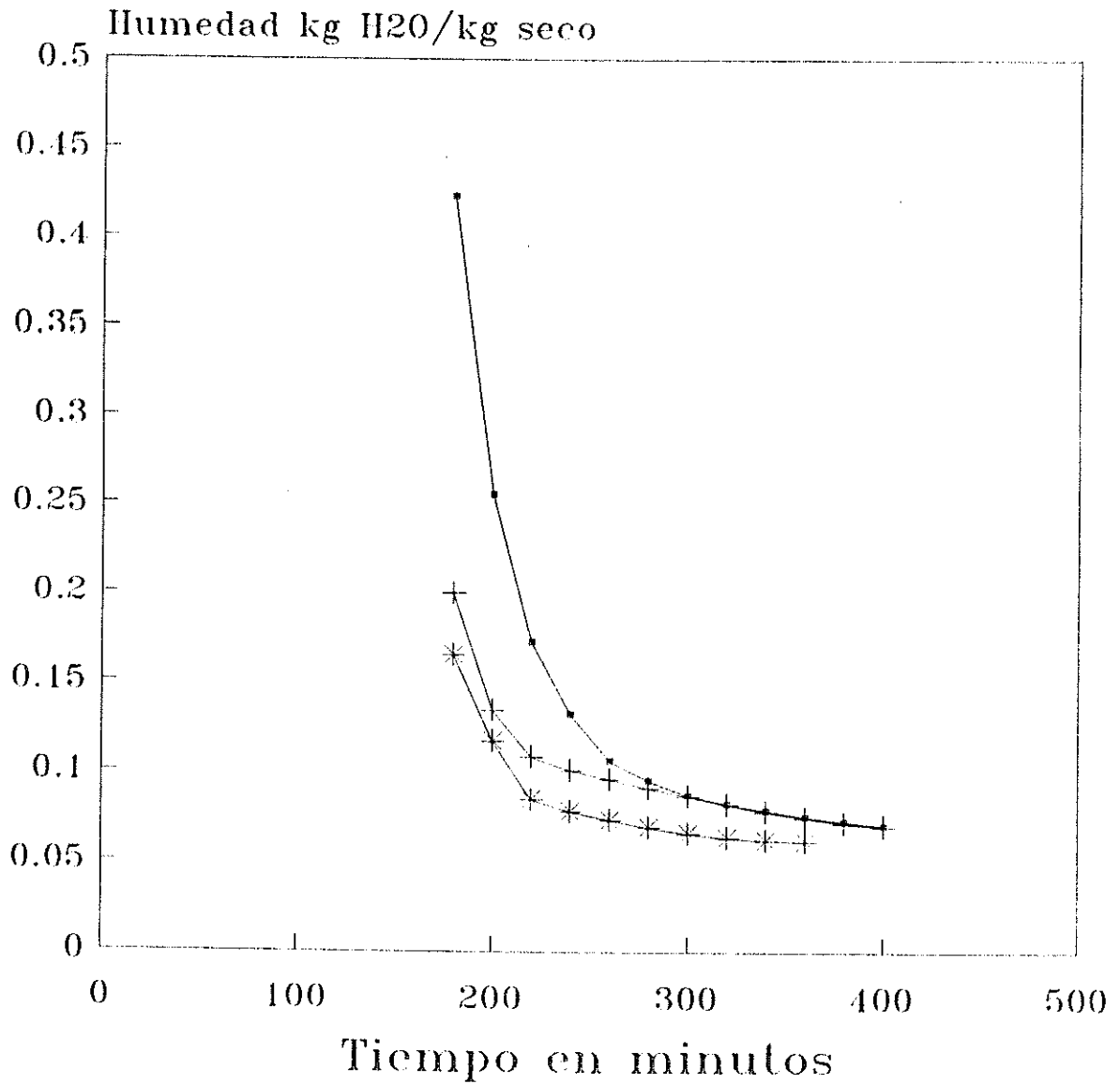


---\*--- Temp. 50 oC    ---+--- Temp. 60 oC    ---x--- Temp. 70 oC

GRAFICA No. 7.0 MATERIAL:ZANAHORIA

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO

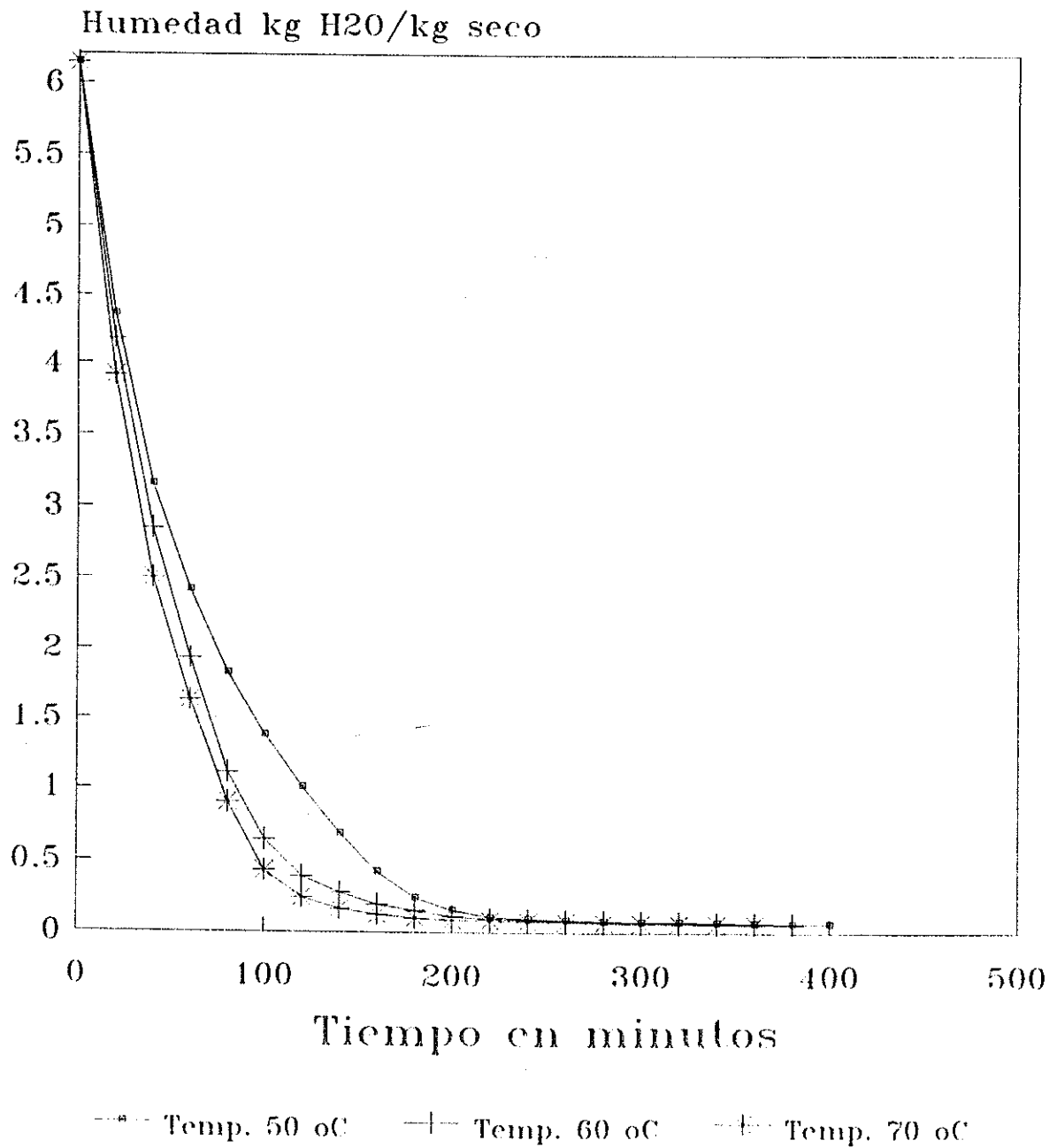
## CORTE: CUBOS DE 10 mm POR LADO



Temp. 50 °C      Temp. 60 °C      Temp. 70 °C

GRAFICA No. 7.1 MATERIAL: ZANAHORIA  
RANGO DE HUMEDAD BAJA

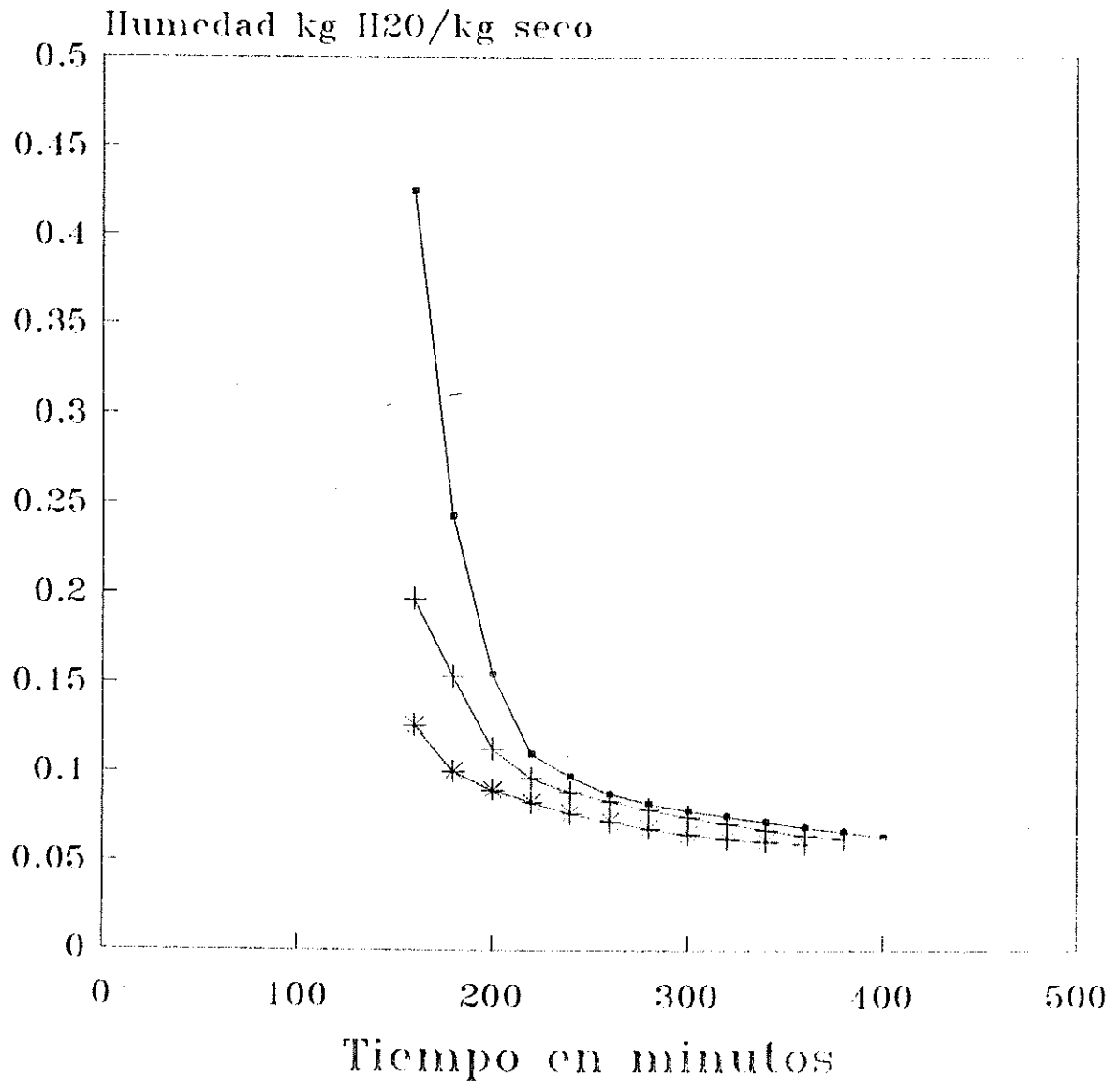
# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO CORTE: RECTANGULOS DE (20\*10\*5)mm



GRAFICA No. 8.0 MATERIAL:ZANAHORIA

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO

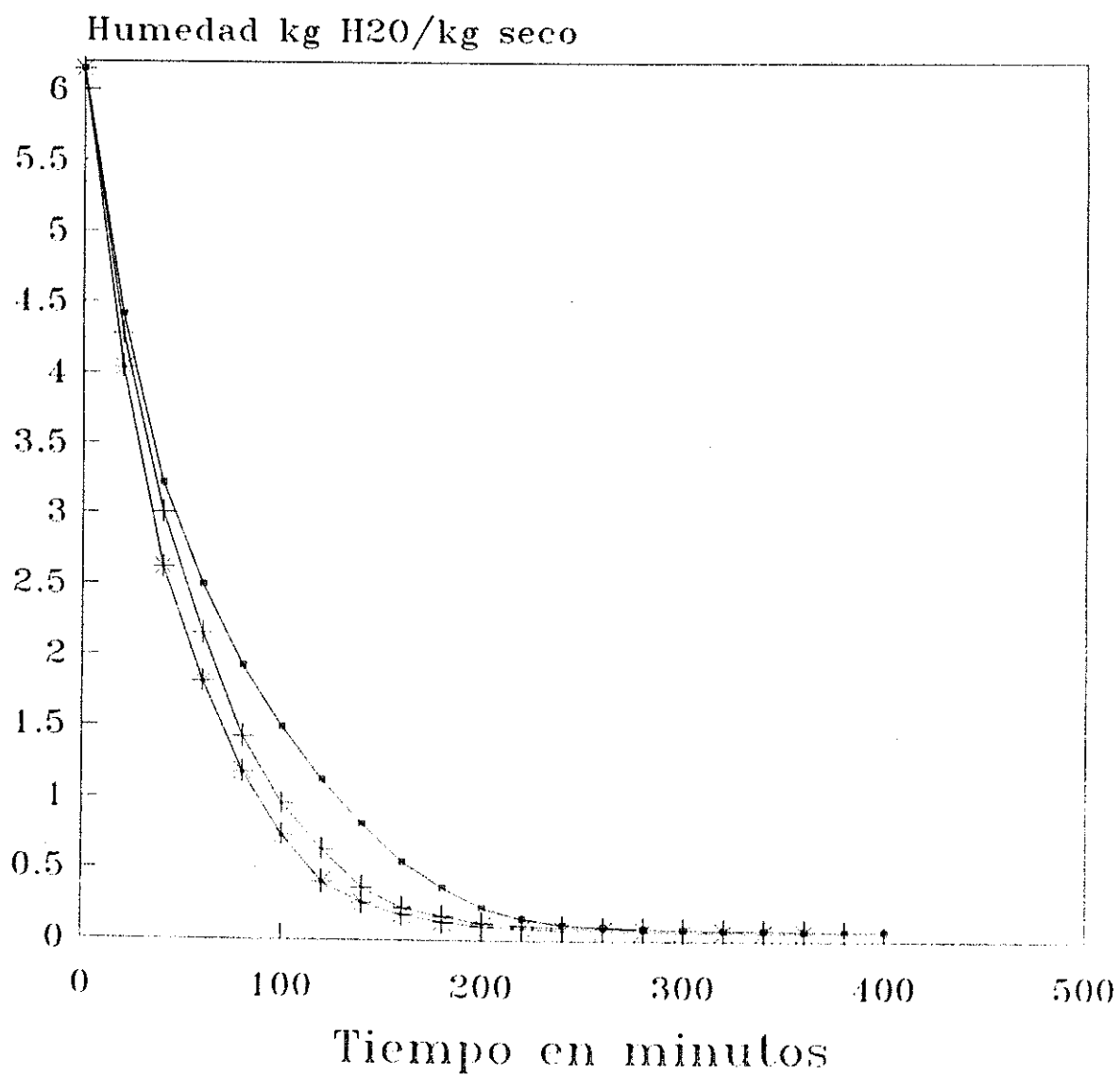
## CORTE: RECTANGULOS DE (20\*10\*5)mm



Temp. 50 °C    Temp. 60 °C    Temp. 70 °C

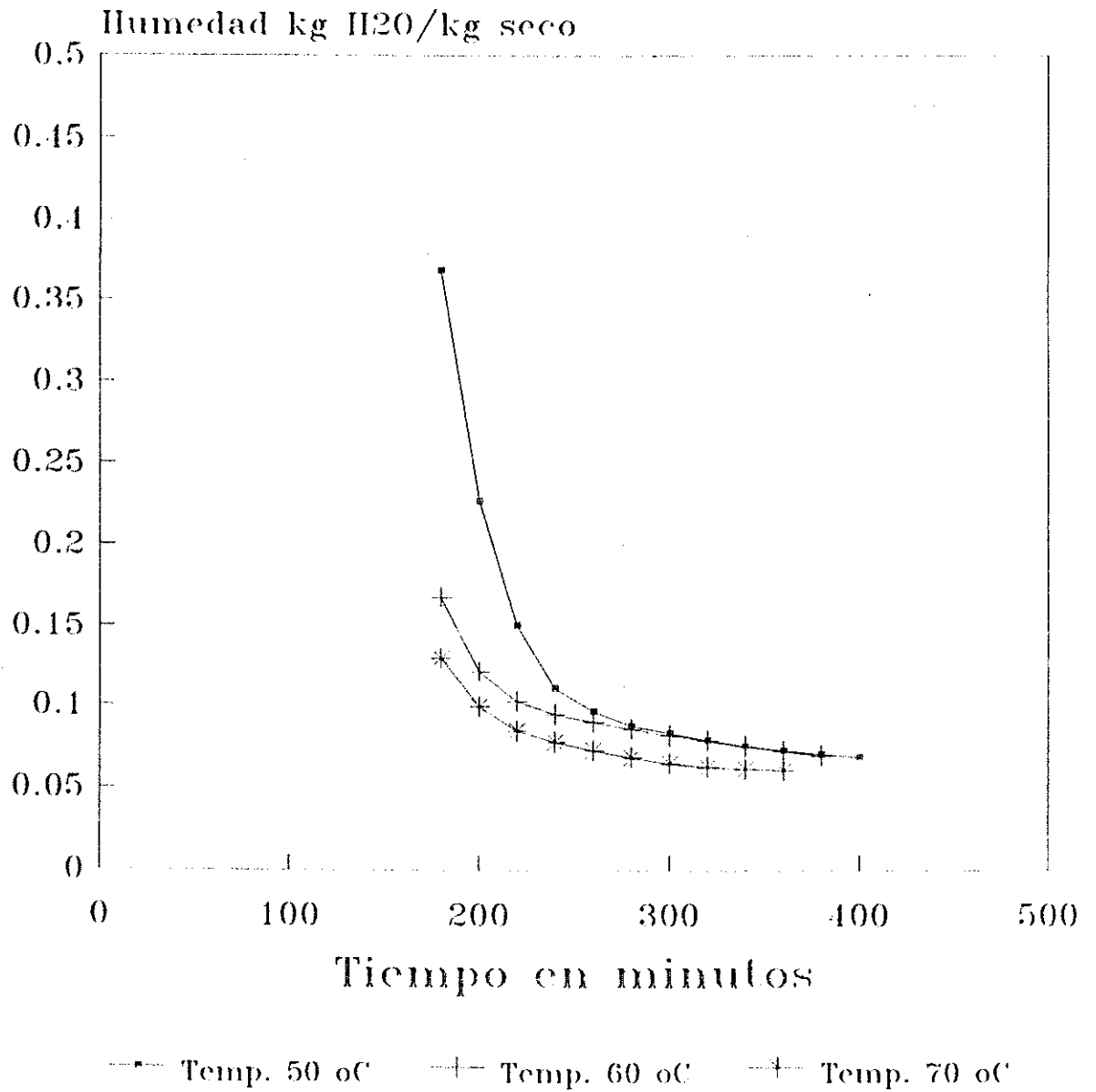
GRAFICA No. 8.1 MATERIAL: ZANAHORIA  
RANGO DE HUMEDAD BAJA

CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO  
CORTE: RODAJAS DE 20 mm DIAMETRO  
Y 5 mm GROSOR



GRAFICA No. 9.0 MATERIAL:ZANAHORIA

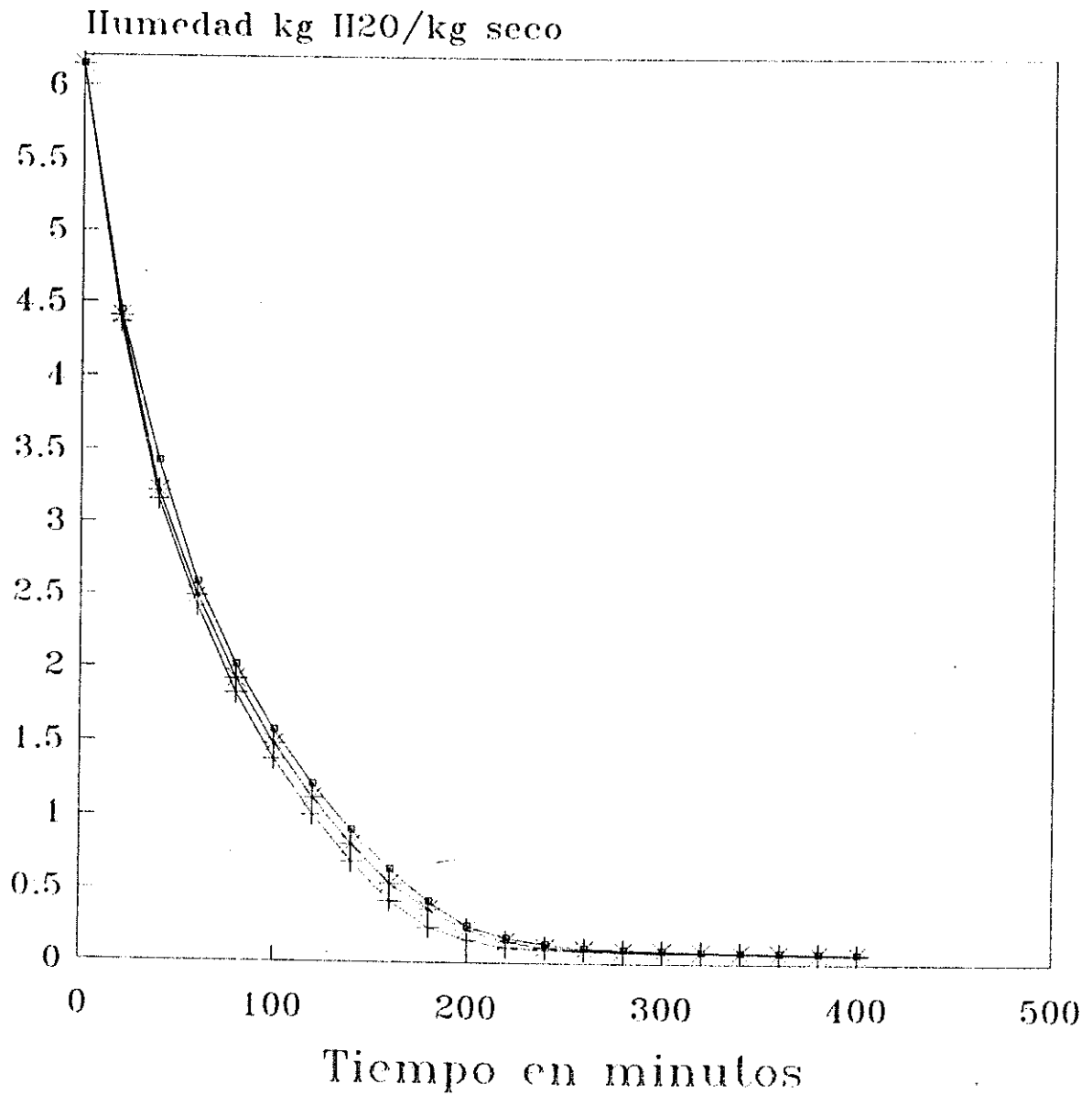
CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO  
CORTE: RODAJAS DE 20 mm DIAMETRO  
Y 5 mm GROSOR



GRAFICA No. 9.1 MATERIAL:ZANAHORIA  
RANGO DE HUMEDAD BAJA



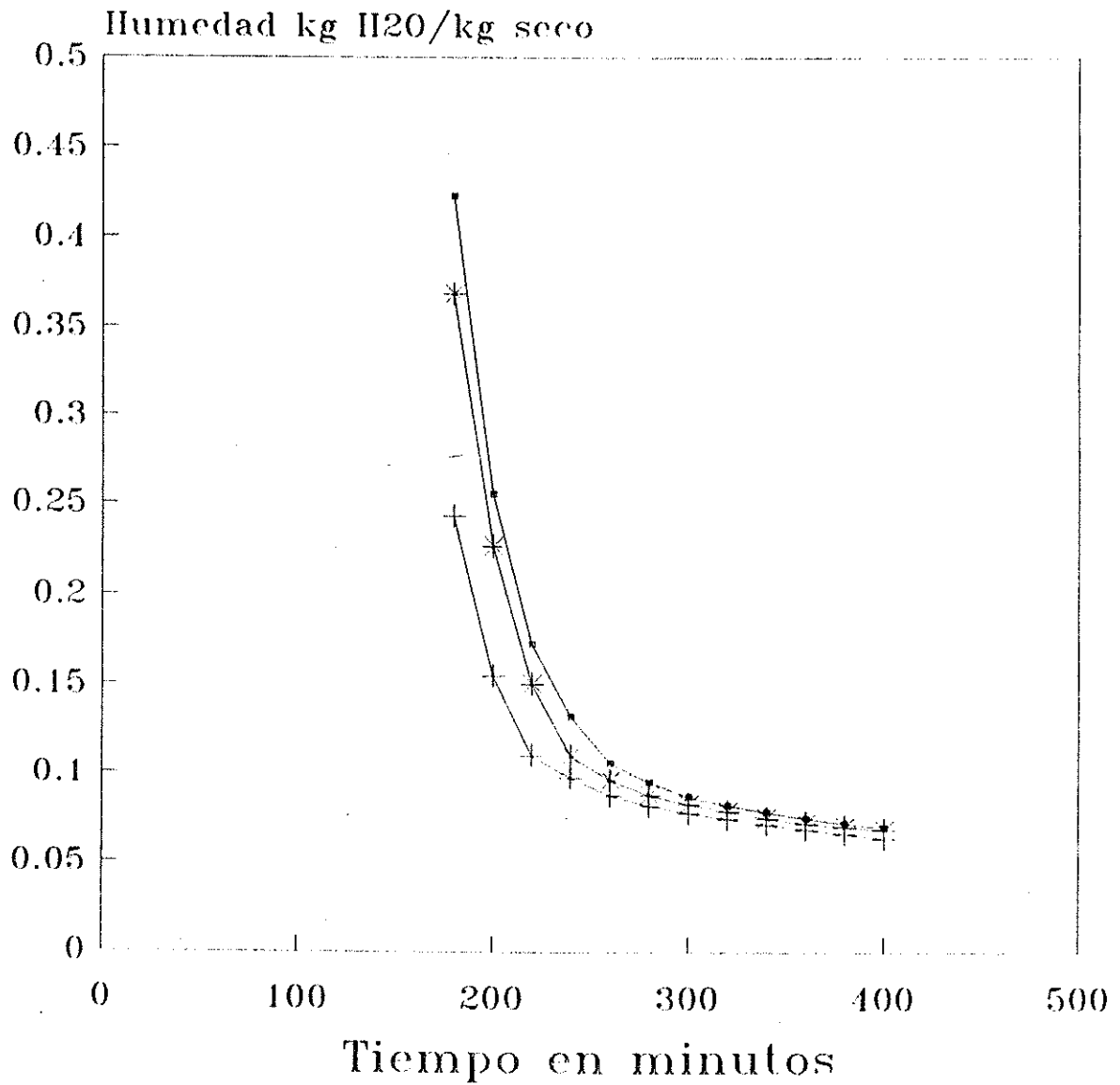
# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO TEMPERATURA: 50 °C



—■— Cubos    —+— Rectángulos    —\*— Rodajas

GRAFICA No.10.0 MATERIAL:ZANAHORIA

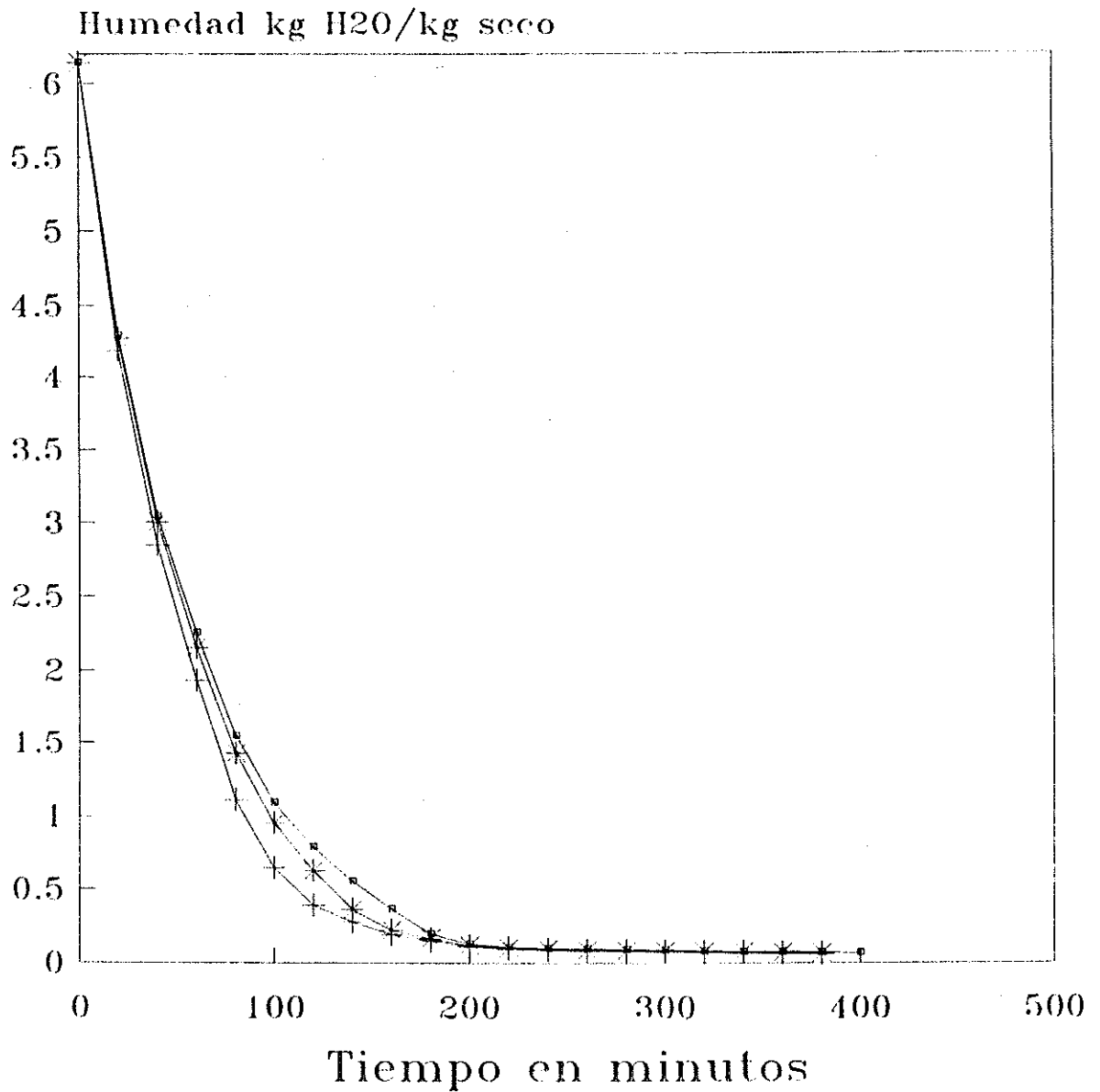
# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO TEMPERATURA: 50 °C



—■— Cubos    —▲— Rectángulos    —×— Rodajas

GRAFICA No.10.1 MATERIAL:ZANAHORIA  
RANGO DE HUMEDAD BAJA

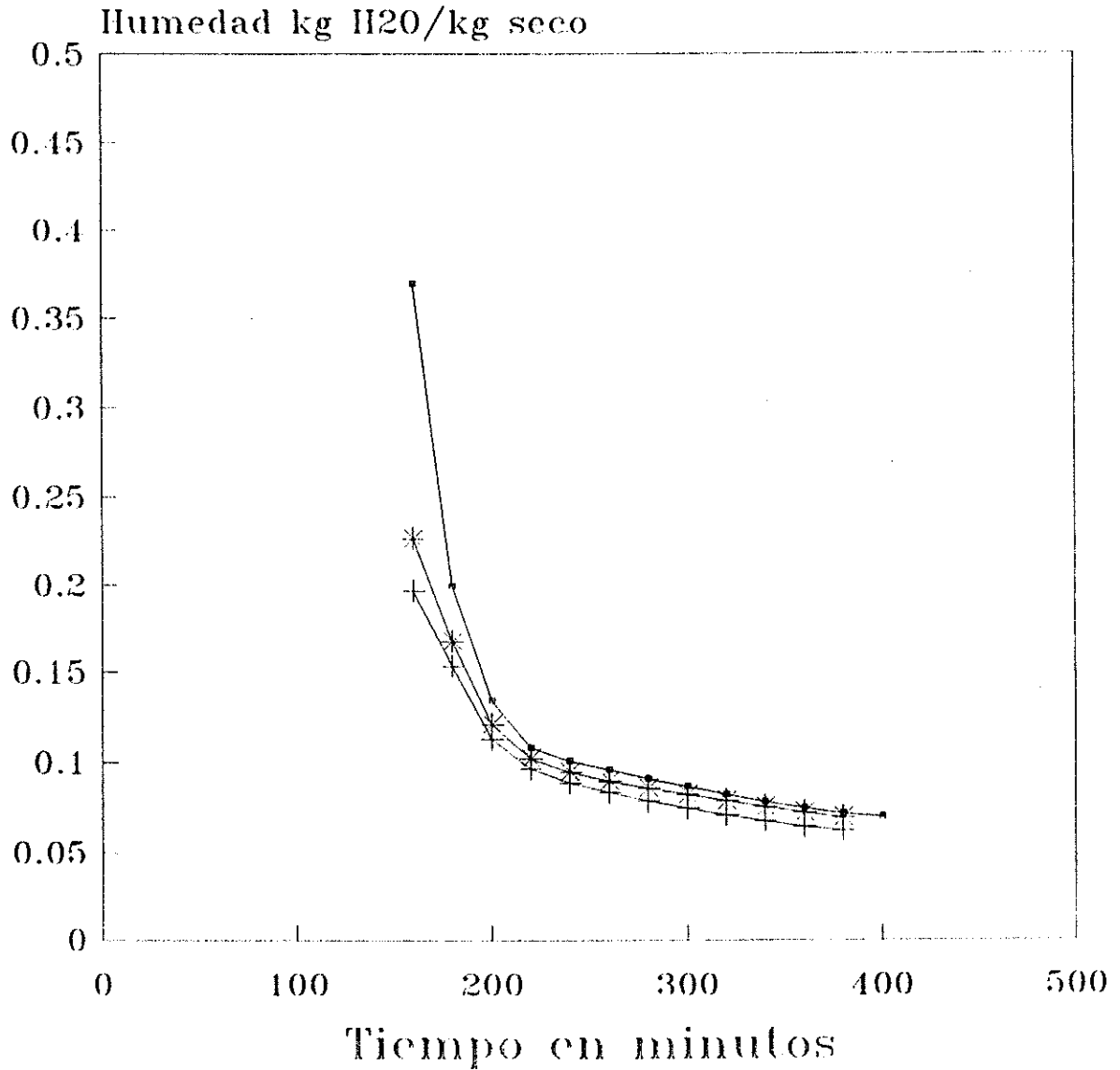
# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO TEMPERATURA: 60 °C



—■— Cubos    —+— Rectángulos    —\*— Rodajas

GRAFICA No.11.0 MATERIAL:ZANAHORIA

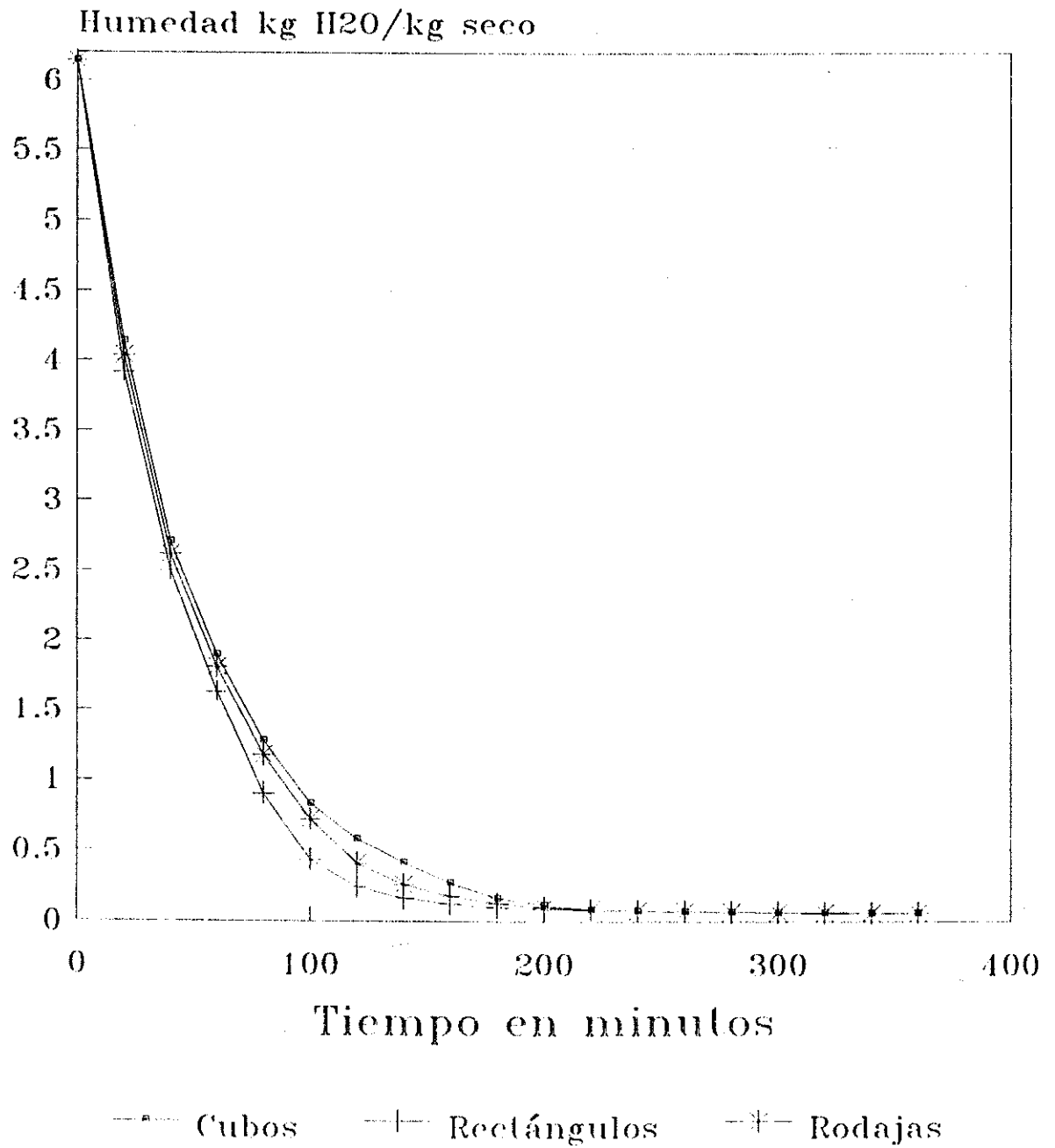
# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO TEMPERATURA: 60 °C



—\*— Cubos    —+— Rectángulos    —+— Rodajas

GRAFICA No.11.1 MATERIAL:ZANA HORIA  
RANGO DE HUMEDAD BAJA

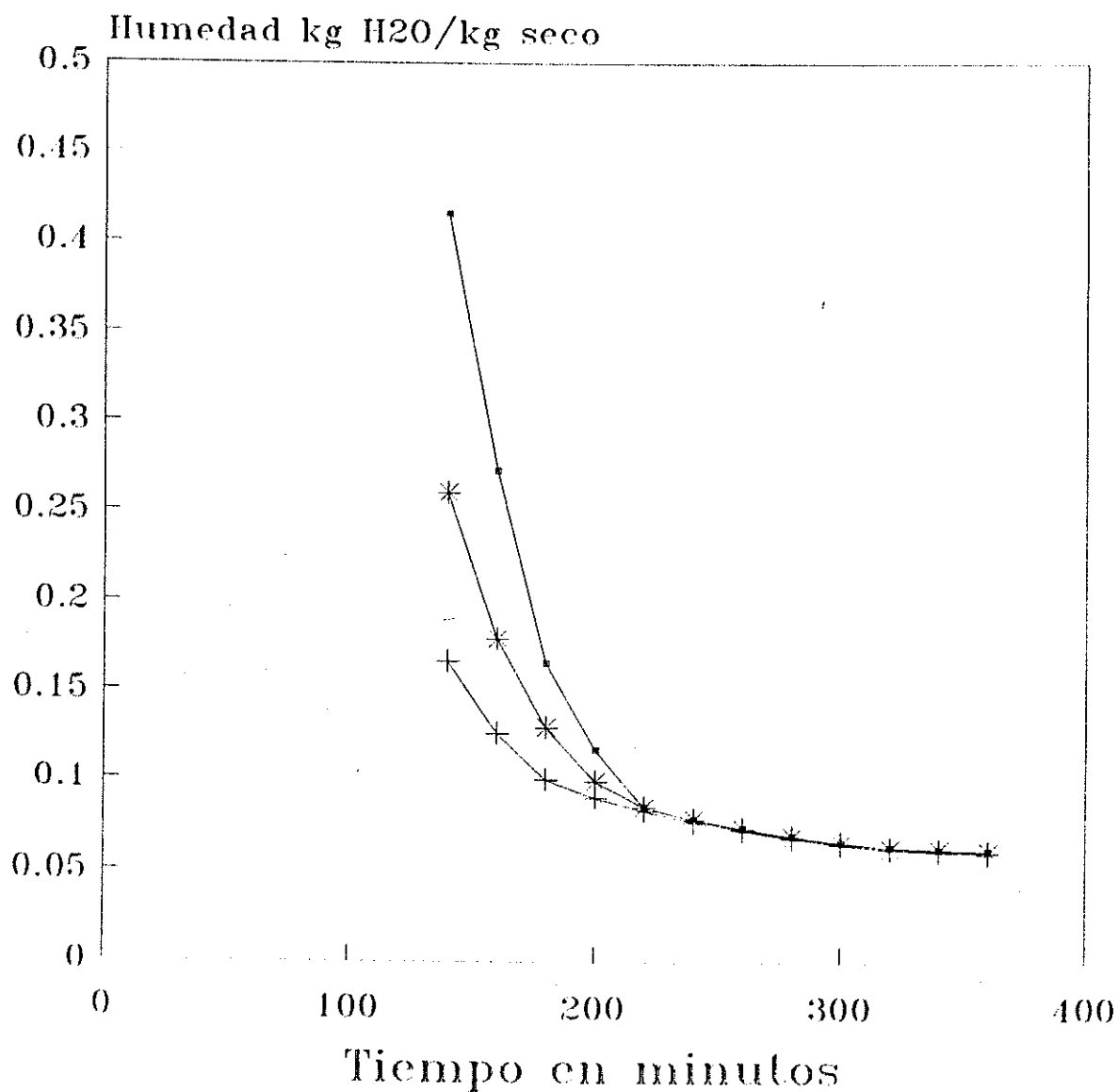
# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO TEMPERATURA: 70 °C



GRAFICA No.12.0 MATERIAL:ZANAHORIA

# CONTENIDO DE HUMEDAD VRS. TIEMPO

## TEMPERATURA: 70 °C



—■— Cubos
—\*— Rectángulos
—+— Rodajas

GRAFICA No.12.1 MATERIAL:ZANAHORIA  
RANGO DE HUMEDAD BAJA