

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA

ENSAYOS DE ALMACENAJE Y ESTUDIO DE UN MECANISMO DE SECADO  
A TEMPERATURAS BAJAS EN PATATAS (*Solanum tuberosum*)

Tesis elaborada por

**JUAN DE DIOS ALVARADO**

Previo a optar el grado de

**MAESTRO**

(Magister Scientifcae)

Centro de Estudios Superiores en Nutrición y Ciencias  
de Alimentos (CESNA)

Curso de Postgrado en Ciencias y

Tecnología de Alimentos

Guatemala, Marzo de 1979

INCAP T-268

I

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central  
Sección de Tesis

DL  
06  
12719

### COMITE INTERINSTITUCIONAL DEL CESNA

Director del CESNA	Dr. Luis Cctavio Angel
Decano de la Facultad de Ciencias Médicas	Dr. Rolando Castillo M.
Decano de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia	Lic. Leonel Carrillo M.
Decano de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia	Dr. Max Ernesto Figueroa
Directora de la Escuela de Nutrición	Dra. Susana Icaza
Director del Curso de Postgrado en Salud Pública con Enfoque en Nutrición Maternoinfantil	Dr. Luis Octavio Angel
Director del Curso de Postgrado en Bioquímica y Nutrición Humana	Dr. Oscar Pineda
Director del Curso de Postgrado en Ciencias de Alimentos y Nutrición Animal	Dr. J. Edgar Braham

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

<b>Decano</b>	<b>Lic. Leonel Carrillo R.</b>
<b>Vocal Primero</b>	<b>Lic. José Héctor Aguilar</b>
<b>Vocal Segundo</b>	<b>Lic. Adolfo León Gross</b>
<b>Vocal Tercero</b>	<b>Lic. Justo Comas Fuxet</b>
<b>Vocal Cuarto</b>	<b>Prof. Iván Cabrera</b>
<b>Vocal Quinto</b>	<b>Prof. Jorge Matute</b>
<b>Secretario</b>	<b>Lic. Eduardo Robles</b>

**COMITE ASESOR DE TESIS**

**Dr. Mario Roberto Molina.**

**Dr. Luis G. Elías.**

**Dr. Ricardo Bressani**

**Dr. Roberto Gómez Brenes.**

## **DEDICATORIA**

**Por:**

**Gladys, Sylvia y Paúl**

**a quienes me formaron:**

**Emilia de Mailly**

**Mamá**

**Sylvia**

**Oswaldo**

**Familia Andrade-Espín**

**Clementina Romo**

**Armando Moreno**

## **AGRADECIMIENTO**

A GUATEMALA Y SUS PERSONAS.

AL INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA.

AL VALIOSO EQUIPO QUE CONFORMAN LA DIVISION DE CIENCIAS AGRICOLAS  
Y DE ALIMENTOS DEL INCAP.

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

A LA FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA.

## RECONOCIMIENTO

A MI PATRIA ECUADOR QUIEN A TRAVES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO ME DIO LAS BASES Y EL APOYO MORAL Y ECONOMICO PARA CULMINAR ESTA NUEVA ETAPA DE FORMACION.

AL DR. MARIO ROBERTO MOLINA POR SU ORIENTACION Y AYUDA.

A LA SRTA. CORINA MARROQUIN ORELLANA POR SU TRABAJO EN LA PARTE MICROBIOLÓGICA.

AL UNITED KINGDOM OVERSEAS MINISTRY DEL REINO UNIDO DE LA GRAN BRETAÑA POR CUBRIR LOS FONDOS DE LA BECA.

A MIS COMPAÑEROS POR TODO CUANTO RECIBI DE ELLOS.

## CONTENIDO

	Pág. No.
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
2.1.- Patatas	3
2.1.1.- Aspectos generales, decoloración.	3
2.1.2.- Composición química.	4
2.1.3.- Microbiología.	7
2.1.4.- Valor nutritivo.	9
2.2.- Almacenaje de patatas.	10
2.2.1.- Condiciones.	10
2.2.2.- Proceso de calentamiento y enfriamiento.	11
2.2.3.- Proceso de congelación y descongelación.	12
2.2.4.- Cambios durante el almacenaje a temperaturas bajas.	17
2.3.- Secado de patatas en cámaras.	20
2.3.1.- Preparación de la materia prima.	20
2.3.2.- Secado por aire a temperaturas bajas.	21
2.3.3.- Liofilización atmosférica.	24
2.3.4.- Rehidratación.	27
<b>III. OBJETIVOS.</b>	<b>29</b>
<b>IV. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>31</b>
4.1.- Almacenaje.	31
4.1.1.- Materiales.	31
4.1.2.- Métodos.	32
4.2.- Secado.	33
4.2.1.- Materiales.	33
4.2.2.- Métodos.	34
<b>V. RESULTADOS</b>	<b>37</b>
5.1.- Almacenaje.	37



	Pág. No.
5.1.1.- Cambios de temperatura.	37
5.1.2.- Características físicas.	38
5.1.3.- Propiedades químicas.	38
5.1.4.- Control microbiológico.	39
5.2.- Secado.	39
5.2.1.- Curvas de secado.	39
5.2.2.- Características físicas.	40
5.2.3.- Propiedades químicas.	41
5.2.4.- Control microbiológico.	41
5.2.5.- Pruebas de rehidratación.	42
5.2.6.- Evaluación biológica.	42
5.2.7.- Características organolépticas.	42
<b>VI. DISCUSION.</b>	<b>43</b>
6.1.- Almacenaje.	43
6.2.- Secado.	46
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	<b>53</b>
<b>VIII. SUMARIO.</b>	<b>55</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFIA.</b>	<b>59</b>
<b>X. APENDICES.</b>	<b>69</b>

## LISTA DE CUADROS

- CUADRO 1 COMPOSICION PORCENTUAL DE LAS DIETAS UTILIZADAS EN LA DETERMINACION DE RAZON PROTEINICA NETA (RPN) DE PATATAS DESHIDRATADAS.
- CUADRO 2 PERDIDA EN PESO DE PATATAS ENTERAS ALMACENADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS Y CAMBIO EN HUMEDAD RELATIVA POR ACCION DE COMPUESTOS QUIMICOS.
- CUADRO 3 COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL (o/o MATERIA SECA) Y CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO EN PATATAS ENTERAS FRESCAS Y ALMACENADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS EN RECIPIENTES CON DIVERSOS COMPUESTOS QUIMICOS.
- CUADRO 4 CONTENIDO DE ALMIDON Y AZUCARES (o/o MATERIA SECA) DE PATATAS ENTERAS FRESCAS Y ALMACENADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS EN RECIPIENTES CON DIVERSOS COMPUESTOS QUIMICOS.
- CUADRO 5 CONTAJE DE MICROORGANISMOS EN PATATAS FRESCAS Y ALMACENADAS POR SEIS MESES A DIFERENTES TEMPERATURAS EN RECIPIENTES CON DIVERSOS COMPUESTOS QUIMICOS.
- CUADRO 6 CARACTERISTICAS FISICAS DE RODAJAS DE PATATAS FRESCAS, LIOFILIZADAS Y SECADAS POR AIRE EN CAMARAS CON DIFERENTES COMPUESTOS QUIMICOS Y TEMPERATURAS.
- CUADRO 7 COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL (o/o MATERIA SECA) Y CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO EN PATATAS FRESCAS, RODAJAS LIOFILIZADAS Y RODAJAS SECADAS POR AIRE EN CAMARAS CON DIFERENTES COMPUESTOS QUIMICOS Y TEMPERATURAS.
- CUADRO 8 CONTENIDO DE ALMIDON Y AZUCARES (o/o MATERIA SECA) EN PATATAS FRESCAS, RODAJAS LIOFILIZADAS Y RODAJAS SECADAS POR AIRE EN CAMARAS CON DIFERENTES COMPUESTOS QUIMICOS Y TEMPERATURAS.
- CUADRO 9 PRINCIPALES ACIDOS GRASOS DE PATATAS EN RODAJAS DESHIDRATADAS Y ALMACENADAS POR CINCO MESES A 5°C EN ENVASE PLASTICO.

- CUADRO 10      CONTAJE DE MICROORGANISMOS EN PATATAS EN RODAJAS SECADAS POR AIRE EN CAMARAS CON DIFERENTES COMPUESTOS QUIMICOS Y TEMPERATURAS.
- CUADRO 11      AUMENTO EN PESO CORPORAL, INGESTA DE PROTEINA Y RAZON PROTEINICA NETA (RPN) DE RATAS ALIMENTADAS CON PATATAS DESHIDRATADAS, COCIDAS Y FRITAS A UN NIVEL DE 5o/o DE PROTEINA.
- CUADRO 12      GRADO DE ACEPTACION DE PURE DE PATATAS Y PATATAS FRITAS ELABORADAS A PARTIR DE RODAJAS DESHIDRATADAS.

#### LISTA DE GRAFICOS

- DIAGRAMA 1    DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PROCESO SEGUIDO EN EL SECADO DE PATATAS Y LA ELABORACION DE PURE Y PATATAS FRITAS A PARTIR DEL PRODUCTO DESHIDRATADO.
- GRAFICO 1     CAMARA DE SECADO, VISTAS EN CORTE LATERAL Y FRONTAL.
- GRAFICO 2     CURVAS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DE PATATAS ENTERAS.
- GRAFICO 3     CURVAS EXPERIMENTALES DE CONGELACION DE PATATAS ENTERAS.
- GRAFICO 4     CURVAS DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS A DIFERENTES TEMPERATURAS E HIDROXIDO DE SODIO COMO COMPUESTO SECANTE.
- GRAFICO 5     CURVAS DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS A DIFERENTES TEMPERATURAS UTILIZANDO CLORURO DE CALCIO COMO COMPUESTO SECANTE.
- GRAFICO 6     CURVAS DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS A DIFERENTES TEMPERATURAS CON CLORURO DE SODIO COMO COMPUESTO SECANTE.
- GRAFICO 7     EFECTO DEL AMBIENTE EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS CON NaOH COMO COMPUESTO SECANTE.

- GRAFICO 8 EFECTO DE LA FORMA DE CORTE EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN CAMARAS CON NaOH COMO COMPUESTO SECANTE.
- GRAFICO 9 EFECTO DE LA CARGA TOTAL EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS CON NaCl COMO COMPUESTO SECANTE.
- GRAFICO 10 EFECTO DE LA DENSIDAD DE CARGA EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN CUBOS (1 cm/lado) USANDO CAMARAS CON NaOH COMO COMPUESTO SECANTE.
- GRAFICO 11 EFECTO DE LA AGITACION INTERNA EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS CON  $\text{CaCl}_2$  COMO COMPUESTO SECANTE.
- GRAFICO 12 VALORES EXPERIMENTALES Y CALCULADOS PARA SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS A TEMPERATURAS SOBRE EL PUNTO DE CONGELACION DEL AGUA.
- GRAFICO 13 VALORES EXPERIMENTALES Y CALCULADOS PARA SECADO DE CUBOS (1 cm/lado) DE PATATAS SECADAS EN CAMARAS BAJO EL PUNTO DE CONGELACION DEL AGUA Y CON NaOH COMO AGENTE SECANTE.
- GRAFICO 14 EFECTO DE CONDICIONES DE SECADO SOBRE EL TIPO DE CURVAS DE REHIDRATACION DE PATATAS EN RODAJAS.

# ENSAYOS DE ALMACENAJE Y ESTUDIO DE UN MECANISMO DE SECADO A TEMPERATURAS BAJAS EN PATATAS (Solanum tuberosum)

## I INTRODUCCION

Actualmente se reconoce que son múltiples las causas involucradas en el problema nutricional. Una de ellas es la poca disponibilidad de alimentos de alto valor nutritivo y bajo costo, debida principalmente a una baja producción y elevadas pérdidas después de la cosecha.

La producción agrícola constituye la base de la economía en la mayor parte de los países latinoamericanos; sin embargo, se ha estimado mediante proyecciones que en la presente década la tasa de incremento en producción no superará la tasa de crecimiento demográfico, agravándose el problema de falta de alimentos, en especial de aquellos ricos en proteína (66).

La pérdida de alimentos después de la cosecha es difícil de cuantificar; cálculos aproximados indican que en América Latina el desperdicio llega al 40o/o de la producción total. En muchos países las pérdidas debidas a roedores, insectos y hongos son el doble o el triple de sus déficits alimenticios (7).

Por ello se recalca la necesidad de estudiar y mejorar las condiciones de manejo, transporte, almacenaje y procesamiento de alimentos, con el objeto de extender su vida útil o preservar los productos disponibles (25).

El frío fue utilizado desde épocas remotas en la conservación de productos vegetales y animales. Los Incas 200 años D.C. desarrollaron un proceso de secado que consistía en la congelación y descongelación alternada, con remoción de agua en patatas para la fabricación del chuño (106).

En los países andinos existen inmensas masas de nieves perpetuas, las cuales podrían ser mejor utilizadas para almacenar o procesar una gran cantidad de productos, evitándose las pérdidas y escasez tan comunes en determinadas épocas del año.

Actualmente muchas de las materias primas alimenticias se someten a más de un proceso con el objeto de alcanzar varios propósitos tales como: preservarlas; aislar partes específicas de mayor interés nutricional o comercial; mejorar la palatabilidad e incrementar el consumo, disminuir el tamaño de las partículas; mejorar la digestibilidad y remover nutrientes ligados o eliminar compuestos tóxicos (33). Ello ha traído como consecuencia el desarrollo de tecnologías más complejas y costosas, difíciles de ser aplicadas en el medio.

Se ha sugerido que el uso de tecnologías intermedias como el salado de pescados, deshidratación osmótica, fermentación y uso de ácidos en pickles, sería más aconsejable en los países en vías de desarrollo (113). A la deshidratación se le asigna un papel prioritario por cuanto los productos más extensamente cultivados se caracterizan por su elevado contenido de agua (25).

De todo ello se desprende la conveniencia de realizar trabajos que persigan la utilización adecuada de recursos naturales, con aplicación de tecnologías de bajo costo acordes al medio, como una forma de colaborar en el esfuerzo por disminuir el problema de desnutrición proteínico-calórica, detectado en los países latinoamericanos (48, 105).

El presente estudio busca utilizar bajas temperaturas prevalentes en las áreas montañosas y diferentes humedades relativas, para la preservación de alimentos.

Paralelamente se analizó un mecanismo de secado por aire en cámaras cerradas provistas de agitación interna, a temperaturas superiores e inferiores al punto de congelación del agua para establecer condiciones que causen un daño mínimo al producto y sean de bajo costo.

Se trabajó con patatas por ser un alimento característico de la región andina y bastante consumido; al mismo tiempo, su alto contenido de agua favorece los estudios de secado.

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Patatas.

#### 2.1.1. Aspectos generales, decoloración.

Las patatas pertenecen al género *Solanum* y son originarias de América del Sur. Existen varias especies entre ellas la *S. tuberosum* y muchas variedades; algunas de las cultivadas en Latino América son diferentes variedades de la *S. andigenum* pero se encuentran también híbridos (95).

La producción mundial en 1,975 fue de 291.32 millones de toneladas métricas, de las cuales 8.96 millones se produjeron en América Latina; los principales productores fueron el Perú, el Brasil y la Argentina (22).

El tubérculo es un tallo subterráneo feculento muy semejante al aéreo. La piel exterior denominada peridermo es corchosa y retarda las pérdidas de humedad y evita el ataque de hongos. Luego aparece el cortex que es una capa delgada de tejido parenquimal. Inmediatamente debajo se encuentra el parénquima vascular de almacenamiento rico en carbohidratos, en donde puede observarse una capa delgada semejante a hilo que une las yemas superficiales y que es conocida como cerco vascular. En la parte central está el meollo o casco de agua constituido por células largas con menor cantidad de almidón. Exteriormente se aprecian los ojos; en condiciones normales en el ojo ubicado en el extremo opuesto a la unión con el tallo se desarrolla primero la germinación (107).

Existen variedades que no son aptas para procesarlas y en la mayoría de los casos se utilizan aquellas que poseen una alta gravedad específica y bajo contenido de azúcares. El tiempo de cosecha debe ser lo bastante extenso para que las patatas alcancen una madurez total con mayor cantidad de materia seca (98).

Los cambios de color observados en las patatas y sus productos dependen de diversos factores relacionados con las condiciones de cultivo y el medio ambiente, los cuales influyen en las características fisiológicas y subsecuentes reacciones químicas (55).

La decoloración que sufren las patatas crudas cuando se las pela o corta, es el resultado de reacciones enzimáticas de oxidación. La intensidad del cambio depende de la concentración de tirosina-tirosinasa, la cual da origen a la formación de un pigmento rojo, el dopacromo, y posteriormente el pigmento café melanina (59). El uso de sulfitos es una de las formas más utilizada para retardar este empardeamiento enzimático (97).

El problema de ennegrecimiento de patatas luego de cocidas, es atribuido a las reacciones de ciertos tipos de o-difenoles como ácido clorogénico y ácido cafeico con ciertas formas de hierro; los compuestos formados expuestos al aire presentan colores más intensos. Este fenómeno se ha estudiado extensamente en lo que respecta a la influencia de las condiciones de cultivo, concentración y distribución del hierro en el tubérculo, o-difenoles presentes, efecto de ácidos orgánicos, disminución de pH y sus interacciones (43, 44, 45). Para evitarlo se ha sugerido utilizar variedades con menor tendencia a oscurecerse, uso de fertilizantes, empleo de agentes quelantes de hierro, uso de sulfitos y pirofosfato ácido de sodio; sin embargo, no son efectivos en todos los procesos (97).

En la preparación de patatas deshidratadas y patatas fritas es común observar decoloraciones de tipo no enzimático causadas principalmente por la reacción de Maillard, en la que están involucrados carbohidratos, proteínas, pH, humedad, temperatura y tiempo (17, 39, 77, 90). Contribuyen también reacciones de caramelización de carbohidratos y la oxidación del ácido ascórbico (55). Varios tratamientos son utilizados para mejorar el color de estos productos, entre ellos se mencionan el control de humedad en niveles inferiores al 2o/o, control de temperatura, lavado en caliente con soluciones alcalinas, uso de sulfitos, uso de enzimas como glucosa-oxidasa y el uso de microondas en patatas parcialmente fritas para remover la humedad de 5.4o/o a 2.3o/o (100).

### 2.1.2. Composición química.

La composición química difiere según la variedad, características del suelo, forma de cultivo, estado de madurez, condiciones climáticas y ambientales.

INCAP reportó los siguientes valores de Composición Proximal por 100 gramos de patatas enteras y sin cáscara respectivamente: Humedad, 77.9-79.2o/o, Proteína (N x 6.25), 2.8-1.8o/o; Grasa, 0.2-0.1o/o; Hidratos de carbono totales, 18.2-17.9o/o; Fibra, 0.6-0.4o/o; Cenizas, 0.9-1.0o/o; Calcio, 10-6 mg; Fósforo, 50-40 mg; Hierro, 1.0-0.8 mg; Tiamina, 0.11-0.09 mg; Riboflavina, 0.04-0.03 mg; Niacina, 1.5 mg; Acido ascórbico reducido, 20-16 mg (47).

El mayor componente de la fracción sólida lo conforman los hidratos de carbono, almidón, azúcares y polisacáridos.

El almidón es el principal constituyente calórico; está localizado en gránulos y es el determinante principal de las características de textura de productos frescos y elaborados. Está formado en un 20o/o por amilosa bastante soluble en agua, siendo el resto cadenas de amilopectina algo menos soluble (60). Con algunas moléculas de glucosa en la sección recta de



la cadena de amilopectina se encuentra fósforo esterificado como ortofosfato; la cantidad presente es mínima, sin embargo, influye en la viscosidad del gel que se forma y, por consiguiente, en el tiempo necesario para calentar o secar el producto (76).

El contenido de azúcares puede variar desde trazas hasta un 10o/o en base seca; constituyen de la mitad a un tercio de los sólidos excepto almidón. Los principales componentes de la fracción son glucosa, fructosa y sacarosa. También se encuentran en menor cantidad maltosa, xilosa, azúcares fosforilados, rafinosa, meliobiosa, heptulosa e inositol (88, 89). Son causantes del sabor dulce y cambios de color de productos frescos y elaborados. Las variedades con un contenido natural superior al 2o/o de azúcares reductores expresado en base seca no son consideradas aptas para procesos industriales (107).

Otros polisacáridos se hallan ubicados principalmente en las paredes celulares y tejidos de soporte. Se han identificado a los componentes de fibra cruda: lignina, suberina, celulosa y hemicelulosa; sustancias pécticas, divididas en tres categorías, protopectina, pectina soluble y ácido péctico; diversos polisacáridos, entre ellos arabinosa, galactosa y ramnosa (40).

La combinación de iones de calcio y magnesio con los grupos carboxilo libres del ácido péctico, se ha encontrado como una de las principales causas de la firmeza que adquieren las patatas calentadas o cocidas en agua con sales de calcio, para favorecer la acción de la pectinmetilesterasa (6).

La fracción nitrogenada es baja y oscila alrededor de un 2o/o. Del estudio hecho en algunas variedades de patatas se encontró que entre un 37.0 a 63.7o/o del nitrógeno total está presente en forma de proteínas, de las cuales un 60-70o/o son globulinas como la tuberina y de 20-40o/o son glutelinas; una alta proporción del nitrógeno no protéico se encuentra como aminoácidos, computándose con respecto al nitrógeno total entre un 11.8 a 27.0o/o de asparagina, de 7.6 a 19.7o/o de glutamina y de 6.4 a 12.8o/o de alfa aminoácidos; el restante 20.4-27.7o/o del nitrógeno total se halla constituyendo bases nitrogenadas (70).

En contraste con la composición de aminoácidos de las proteínas que permanece constante, el patrón de aminoácidos libres es afectado por el almacenaje, nutrición de la planta y tratamientos químicos. El contenido de aminoácidos es diferente en patatas cocidas o fritas, patatas cocidas luego secadas por rodillos y patatas crudas liofilizadas, presentaron composición similar de aminoácidos (18).

Se ha informado la presencia de varios sistemas enzimáticos tales como amilasa, tirosinasa, fosforilasa, catalasa, aldehidaasa, polifenoloxidasa, fosfatasa, peroxidasa, glioxalasa, deshidrogenasa y zimohexasa. Algunos de ellos intervienen en la formación de azúcares y en las formas de decoloración enzimática (96).

El contenido de lípidos es apenas alrededor de 0.1o/o en base fresca; la concentración es mayor en el peridermo que en el parénquima vascular de almacenamiento; sin embargo, intervienen en ciertos tipos de decoloración y su presencia ayuda a mantener la integridad celular (65).

Se ha informado la composición de ácidos grasos destacándose el alto contenido de insaturados, linoleico, 41.3o/o; linolénico, 19.4o/o; oleico, 6.6o/o; palmítico, 24.9o/o; mirístico, 0.6o/o. El patrón de ácidos grasos es diferente según la variedad y cambia durante el almacenaje (64).

Otros ácidos orgánicos han sido identificados en la patata, entre ellos cítrico, isocítrico, láctico, málico, tartárico, succínico, oxálico, hidroximalónico, aconítico, fítico, alfacetoglutárico, quínico, cafeico, clorogénico y ascórbico (87).

El tubérculo es considerado como buena fuente de vitamina C; su contenido disminuye considerablemente en los 2 primeros meses de almacenaje a temperaturas inferiores a 10°C, luego permanece constante hasta por 6 meses y se incrementa en la germinación. La cantidad de ácido ascórbico en patatas irradiadas y almacenadas a 20°C fue superior al de patatas almacenadas a 5°C (73).

Desde el punto de vista químico ha sido posible establecer en la patata varios tipos de compuestos fenólicos: lignina, cumarinas, antocianinas, flavonas, taninos, monofenoles y polifenoles (107).

El efecto de la luz en la síntesis de mayor cantidad de clorofila con el enverdecimiento de la superficie de las patatas, así como el efecto independiente de síntesis de glicoalcaloides, especialmente solanina, ha merecido especial atención por los problemas de toxicidad asociados (49).

Se ha detectado la presencia de pequeñas cantidades de carotenos, los cuales contribuyen a la coloración blanco-amarillenta interior de algunas variedades de patatas.

A partir de 1,950 con la ayuda de la cromatografía de gases se ha logrado identificar muchos compuestos volátiles que presentes en mínima cantidad contribuyen significativamente a conformar el aroma de patatas cocidas, entre ellos se citan: 3-metil butanal, dimetil sulfuro, metil mercaptano, geranial, hexanal, furfural y piridina. Se ha intentado establecer su contribución al sabor (10, 29).

La cantidad de minerales presente en las patatas está afectada por la nutrición de la planta, características del suelo y otras causas, existiendo mucha variabilidad en los valores publicados. Además de los elementos ya indicados, se mencionará que el contenido de magnesio

varía de 46 a 216 mg/100 g de materia seca y el de sodio de 0 a 332 mg/100 g de materia seca (96).

### 2.1.3. Microbiología.

El número de microorganismos que atacan a las patatas es elevado; se ha listado por lo menos 90 bacterias más hongos y 30 virus.

Entre las enfermedades más comunes encontradas en variedades norteamericanas (41, 78), pueden resumirse las siguientes. Descomposición Blanda, es una de las enfermedades más comunes en todo el mundo. El agente causal es el bacilo Erwinia carotovora (L.R. Jones), gram negativo, flagelado, anaerobio facultativo. En la primera etapa de infección del tubérculo, el tejido atacado se vuelve blanco o crema, suave y acuoso, posteriormente llega a tener consistencia viscosa. Los tubérculos lastimados o muy jóvenes son atacados con preferencia; pueden desarrollarse malos olores en especial si ha existido daño por frío. Después de deshidratada, la zona enferma aparece oscura (82). Se ha propuesto un período de 4-5 días a 13°-15.5°C previo al enfriamiento para permitir la recuperación de heridas y disminuir pérdidas (101).

La enfermedad conocida como Descomposición Parda es provocada por el Pseudomonas solanacearum (E.F. Smith), bacilo gram negativo que posee de uno a tres flagelos polares. Es muy común en áreas tropicales y subtropicales y afecta a un amplio número de solanáceas. El tejido vascular atacado se vuelve pardo; cuando la enfermedad avanza puede manar exudación por los ojos y ser visible exteriormente, con la inmediata infección del suelo o de otras patatas si están almacenadas (78).

El bacilo gram positivo Corynebacterium sepedonicum (Spiek y Kott), incita la enfermedad Descomposición del Cerco, la cual es muy contagiosa, pues el bacilo puede vivir por algunos meses en desperdicios secos adheridos a recipientes o equipos. En el tubérculo infectado inicialmente se nota una desintegración del tejido vascular, luego se observa el rompimiento del cerco vascular y resquebrajamiento exterior del peridermo con muerte de tejido que se torna negro; esto puede ocurrir durante el almacenaje (30).

La Costra Común es un daño cuyos síntomas varían considerablemente; en general existe un levantamiento de la superficie y la aparición de áreas corchosas y secas, de tamaño variable y de color pardo. El principal agente causal es el Streptomyces scabies (Thaxt), habitante del suelo que se desarrolla mejor a pH 6.0-7.5, por lo que se controla la enfermedad por rotación de cultivos, acidificación del suelo o uso de variedades resistentes (12).

El Tizón Tardío es causado por el hongo Phytophthora infestans (Mont.) de Bary, es de color blanco, se desarrolla en condiciones frías y húmedas, produce hifas aéreas ramificadas

con esporangios ovalados. Ataca a las hojas y al tubérculo; en la fase inicial de infección aparecen en la superficie zonas secas rojo-pardas. En el almacenaje en seco éstas zonas pueden permanecer iguales; si existe humedad, sin embargo, se desarrollan y facilitan el ataque de otros microorganismos con la descomposición del producto. Varios métodos se han recomendado para su control tales como el uso de fungicidas adecuados y el desarrollo de variedades más resistentes (46).

Se ha informado de una enfermedad similar a la anterior causada por el hongo Alternaria solani (Ell. y G. Martin) Sor., conocida como Tizón Temprano; con relación al tubérculo el daño es de menor importancia (34).

Varias enfermedades son causadas por hongos Fusarium. Se caracterizan por destruir el tejido y producir cambios de color, entre ellas se mencionan: Descomposición Negra, causada por Fusarium caeruleum (Lib.) Sacc. y por Fusarium sambucinum Fckl.f.6 Wr. Descomposición Seca, causada por Fusarium trichothecioides Wr. Algunas otras enfermedades son causadas por otras especies (78).

El Verticillium albo-atrum Reike y Berthold, provoca la putrefacción que lleva su nombre. Ataca también a la planta la cual muere prematuramente con pérdida de rendimiento, provoca decoloración interna del tubérculo disminuyendo su calidad para el mercado. Para su control se recomienda varias prácticas, entre ellas uso de variedades resistentes y tratamiento previo de la semilla (79).

Los virus son responsables de enfermedades que causan desórdenes en la planta, entre ellas las llamadas mosaicos. Son considerados de menor importancia, sin embargo, disminuyen la cosecha y pueden interferir con la calidad de patatas almacenadas (41).

La contaminación durante el proceso de elaboración y almacenaje, constituye una de las principales causas de pérdidas en productos de patatas. En vegetales deshidratados los microorganismos se derivan en su gran mayoría del suelo y del agua. La población predominante son bacterias de los géneros Bacillus, Pseudomonas, Escherichia, Aerobacter, Achromobacter, Micrococcus y Streptococcus. Bacterias causantes de infecciones o envenamiento como Salmonella, Clostridium botulinum y Micrococcus pyogenes var. aureus, presentan poca probabilidad de encontrarse en vegetales deshidratados. En patatas la especie predominante fue el Aerobacter aerogenes (112).

Se han identificado en menor cantidad hongos de las especies Aspergillus, Mucor, Penicillium, Spicaria, Sporotrichum, Trichoderma, Herpocliadiella, Alternaria, Fusarium, Monila y Thamnidium. En patatas se ha encontrado además Actinomyces (112).

La contaminación registrada en patatas frescas de diferentes plantas procesadoras varió de  $15 \times 10^3$  a  $28 \times 10^6$  colonias por gramo seco; luego del blanqueado se redujo a valores menores de 100 y en pocos casos hasta  $30 \times 10^3$  y  $2.5 \times 10^6$  colonias por gramo seco. En productos comerciales de patatas deshidratadas en el año de 1,945 se registraron conteos de 100 a  $22.8 \times 10^6$  contajes totales por gramo (112).

#### 2.1.4. Valor nutritivo.

La patata es uno de los pocos alimentos básicos capaz de mantener un estado nutricional aceptable en grandes sectores de población. Es buena fuente de energía, proporciona proteína de alta calidad, vitaminas esenciales como ácido ascórbico, tiamina, riboflavina, niacina, minerales como hierro, magnesio, fósforo, calcio, potasio y sodio. Todos en cantidades variables que dependen del origen, forma de cultivo y condiciones de almacenaje (4).

De estudios de composición de aminoácidos, se determinó como limitante la metionina. En la variedad Russet Burbank el promedio de los Puntajes Proteínicos de 6 muestras fue 69 con respecto a la proteína de huevo entero en base a los aminoácidos azufrados (51), valor muy próximo al publicado por FAO/WHO que fue 70 (21). El segundo aminoácido limitante fue la isoleucina con un valor de 85 (51).

Con respecto a los otros aminoácidos esenciales, su contenido es superior al de trigo entero excepto la histidina, explicándose en parte su alto valor nutritivo.

El contenido natural de lisina es alto, varía de 5.0 a 6.2 g/16 g de nitrógeno total, semejante al encontrado en proteínas de origen animal. La proteína de patata es, en consecuencia, valioso complemento para proteínas de cereales (51).

En estudios biológicos hechos en ratas se encontró que el almacenaje provoca cambios en los constituyentes nitrogenados que se reflejan en el desarrollo de los animales. Con patatas frescas presentaron un valor promedio de 12.4 g de aumento en peso/g de nitrógeno consumido luego de 4 semanas de ser alimentadas con dietas que contenían 1.78o/o de nitrógeno en base seca y 10o/o de humedad. Patatas almacenadas por 5 meses a 5°C de la misma variedad King Edward, con un contenido de nitrógeno en la dieta de 1.80o/o en base seca y 10o/o de humedad, produjeron un aumento de 9.5 g/g de nitrógeno consumido (16).

El aumento en peso expresado en las mismas unidades, con dietas a base de patatas enteras cocidas con vapor, patatas peladas cocidas con vapor y patatas cocidas con vapor y posteriormente peladas, dieron valores de 9.5, 10.2 y 11.4 respectivamente. Los contenidos de nitrógeno en las dietas fueron de 1.53, 1.55 y 1.58o/o en base seca y se alimentaron por un período de 4 semanas (16).

En un experimento conducido por 12 semanas en ratas alimentadas con dietas a base de patatas cocidas y arroz, con la adición de gluten de trigo hasta un nivel de 10o/o de proteína, se obtuvieron valores de Razón de Eficiencia Proteínica (PER) de 1.52 para patatas y 1.31 para arroz. Se indica que la patata puede ser un buen sustituto del arroz (14).

La calidad proteínica de harina de patata entera, determinada microbiológicamente con S. zymogenes, comparable a la obtenida en ratas, presentó con respecto al control caseína un valor de 76o/o para Razón de Eficiencia Proteínica (PER) y 68o/o para ganancia en peso (74).

Durante el proceso de fabricación debido a la temperatura hay pérdidas de aminoácidos. Se ha establecido que en productos enlatados y hojuelas fritas la pérdida total llega hasta un 40o/o, mientras que en patatas secadas por rodillos llega hasta un 20o/o (50).

Al elaborar hojuelas fritas la lisina bajó desde un valor de 5.7 a 2.4 mg/g, la metionina de 1.2 a 0.9 mg/g y la isoleucina de 3.9 a 3.1 mg/g (50).

La pérdida de ácido ascórbico al deshidratar patatas es marcada por lo que se ha sugerido que deben ser fortificadas para su venta. Los rangos encontrados en productos comerciales varían de 3.12 a 15.58 mg/100 g de patatas deshidratadas en hojuelas (68).

Los sulfitos son ampliamente utilizados para prevenir cambios de color en productos elaborados, ayudar a la preservación de ácido ascórbico e impedir el desarrollo microbiano, sin embargo, tienen un efecto adverso sobre la tiamina. Patatas tratadas con una solución de metabisulfito de sodio llegaron a perder durante el almacenaje por 3 días a 5°C un 24o/o del contenido inicial de tiamina; si se cocinaban luego de sulfitadas la pérdida llegó a un 30o/o; si se sulfitaban y se freían las pérdidas fueron de 35 a 45o/o, si adicionalmente se calentaban por 30 minutos las pérdidas de la vitamina se elevaron hasta un 75o/o (58).

## **2.2. Almacenaje de patatas.**

### **2.2.1. Condiciones.**

Para almacenar patatas es necesario considerar los efectos e interacción de factores como daños del producto, luz, temperatura, humedad, aireación y tiempo. Las patatas infectadas con enfermedades no deben ser almacenadas y se las debe separar. Para permitir la recuperación de heridas y golpes inmediatamente despues de la cosecha se recomienda mantenerlas a una temperatura de 10.0° a 15.5°C que estimule la formación de una capa de peridermo en el tejido dañado (20). A 12.8°C con 70-85o/o de humedad relativa, la suberización ocurre en un período de 5 a 7 días (99). La luz solar o artificial debe ser evitada por los problemas de

enverdecimiento e incremento de alcaloides (49).

Las temperaturas bajas son favorables para extender el tiempo de almacenaje, en especial si no se usan compuestos o tratamientos que inhiban la germinación. Se recomienda temperaturas del orden de  $4.4^{\circ}\text{C}$ , en cuyo caso el período de adormecimiento puede prolongarse por 4 o 5 meses. Temperaturas de  $0^{\circ}\text{C}$  o menores no son necesarias y resultan contradictorias (99).

Altas humedades relativas, superiores al 85o/o, son aconsejadas. Debe considerarse el efecto asociado de temperatura para evitar la saturación del ambiente y que condense agua en la superficie del producto (20).

La circulación de corrientes de aire es necesaria pues permite la distribución uniforme de temperaturas, remueve el agua perdida por el producto controlando la humedad del ambiente, provee de oxígeno suficiente a las patatas para su respiración y evita calores excesivos generados en los procesos metabólicos (99).

Antes de freir patatas almacenadas por varios meses a bajas temperaturas se requiere un período de reacondicionamiento, que consiste en elevar la temperatura hasta el rango de  $15.5^{\circ}$  a  $26.7^{\circ}\text{C}$  con humedades relativas de 75-90o/o, con el objeto de disminuir el contenido de azúcares reductores (99).

## 2.2.2. Proceso de enfriamiento y calentamiento.

Los procesos más utilizados en plantas procesadoras de alimentos, son aquéllos que tienen relación con transmisión de calor, por ello son bastante estudiados.

La transferencia de calor es definida como la transmisión de energía de una región a otra por medio de un gradiente de temperaturas que existe entre las dos regiones (37). Los modos de transmisión de calor son: conducción, convección y radiación. En muchas condiciones prácticas el fenómeno ocurre por más de un modo (15).

Una de las principales limitaciones en el diseño de procesos para productos alimenticios es la poca, variable o ninguna información disponible sobre las propiedades térmicas (37).

El calor específico puede ser calculado considerando la composición del producto, un valor experimental reportado para patatas frescas es  $3.26 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  (23). De igual manera se han sugerido ecuaciones para estimar la conductibilidad térmica; para patatas en un rango de temperaturas de  $1.7^{\circ}$  a  $32.2^{\circ}\text{C}$  se ha encontrado un valor que corresponde a  $0.553 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  (37).

Se distinguen dos condiciones de enfriamiento y calentamiento: estado constante y estado variable. El estado variable se presenta al calentar o enfriar patatas en cámaras. En el estado no estacionario o variable se presentan diferentes comportamientos que son consecuencia de las características del producto y de su forma (15). En uno de ellos se considera una baja resistencia interna a la transferencia de calor con respecto a la resistencia superficial, en cuyo caso, aplicando balances de energía, se ha integrado la siguiente ecuación (37):

$$\frac{T - T_M}{T_O - T_M} = \exp(-h_c A_s / C_p \delta V)t \quad (E1)$$

Siendo:

T	=	temperatura a un tiempo considerado	°C
T <sub>M</sub>	=	temperatura del medio	°C
T <sub>O</sub>	=	temperatura inicial del producto	°C
h <sub>c</sub>	=	coeficiente por convección	W/m <sup>2</sup> °C
A <sub>s</sub>	=	área superficial expuesta al medio	m <sup>2</sup>
C <sub>p</sub>	=	calor específico	J/g°C
δ	=	densidad	g/m <sup>3</sup>
V	=	volumen considerando forma esférica	m <sup>3</sup>
t	=	tiempo	seg

En el caso, muy común, que sea necesario considerar la resistencia interna y la resistencia superficial por balances de energía y desarrollando ecuaciones diferenciales, se han graficado cartas que permiten el cálculo de temperaturas con respecto a la posición y al tiempo para diferentes formas, en condiciones especificadas. Entre ellas se encuentran los Gráficos de Foust (26).

### 2.2.3. Proceso de congelación y descongelación.

Las patatas contienen alrededor de 80o/o de agua, en consecuencia es el componente de mayor interés en la congelación. Además del agua libre, el agua ligada es absorbida fuertemente por otros constituyentes como proteínas y polisacáridos, contribuyendo a la estructura natural y apariencia del producto, alterada si cambia la relación líquidos-sólidos (24).

Por debajo del punto de congelación las moléculas de agua se asocian más ordenadamente formando una estructura rígida abierta y menos densa. La expansión asociada con el cambio



líquido-sólido a 0°C es aproximadamente de 90/o (24).

Las propiedades del agua, densidad, calor específico, conductibilidad térmica y difusibilidad térmica, difieren entre el agua y el hielo a la misma temperatura. La densidad y calor específico son mayores en el agua líquida, en cambio la conductibilidad y difusibilidad térmica son mayores en el hielo, por esto los cambios de temperatura son más rápidos en el estado sólido (24).

Cambios similares sufren las propiedades de productos alimenticios conforme descende la temperatura. Los valores obtenidos mediante cálculos para diferentes propiedades de alimentos, son utilizados en la predicción de curvas de congelamiento temperatura-tiempo y en el estudio de la manera como influyen los diferentes parámetros. El efecto combinado de imprecisiones en la medida o estimación de las propiedades tiene gran influencia en errores de cálculo para tiempos de congelación (42).

La formación de cristales de hielo en alimentos ocurre en dos etapas, nucleación de tipo heterogéneo y crecimiento. El tamaño y número de cristales depende de la cantidad de núcleos presentes, los que se forman extensivamente a temperaturas más bajas que aquéllas a las que crecen los cristales. En alimentos bruscamente congelados a bajas temperaturas se originan cristales pequeños y numerosos, localizados en el interior y exterior de las células; si la congelación es lenta a mayor temperatura los cristales son pocos y grandes, están ubicados fuera de las células y causan mayor daño al producto. La morfología de cristales depende de fenómenos de transferencia de masa y energía (53).

Los cristales durante el almacenaje a temperaturas comunes de congelación tienden a aumentar de tamaño, fenómeno conocido como recrystalización. Uno de los mecanismos de mayor importancia es la recrystalización migratoria en la que se forman cristales grandes a expensas de los pequeños, es marcada a temperaturas próximas al punto de fusión y disminuye a temperaturas menores (61).

Las curvas de congelación de alimentos temperatura contra tiempo presentan tres etapas. La primera de preenfriamiento está caracterizada por un rápido descenso de temperatura con remoción del calor sensible y depende del gradiente de temperaturas, las propiedades térmicas del producto no congelado y del coeficiente superficial de transmisión de calor. La segunda, en la cual la temperatura se mantiene aproximadamente constante con una ligera disminución debida a concentración de solutos, está caracterizada por la remoción del calor latente de congelación y el cambio de estado. La tercera en que la formación de hielo es casi completa, se caracteriza por un nuevo descenso de temperatura pues la contribución del calor latente es insignificante en comparación con el calor sensible (5).

Las curvas de descongelación siguen patrones similares a las de congelación, sin embargo la

fase de cambio de estado es más larga debido a la mayor difusibilidad y conductibilidad térmica del hielo, lo que hace que el proceso de descongelación requiera más tiempo (24).

El cambio de fase que se opera en congelación y descongelación de alimentos ocurre en un rango de temperaturas, pues por ser sistemas complejos no presentan un punto de congelación definido, aspecto que debe considerarse en el cálculo de tiempos totales de congelación o descongelación (5).

Varias soluciones se han propuesto para el cálculo del tiempo total de congelación, entre ellas puede citarse la solución analítica de Plank que presenta las ventajas de ser de simple aplicación y no necesitar muchos datos. En patatas considerando forma plana, rango de coeficientes superficiales de transmisión de calor de 10 a 500 W/m<sup>2</sup>°C, grosor hasta 0.12 m, temperatura inicial hasta 40°C, temperatura ambiente en el rango de -15° a -45°C, el cálculo del tiempo de congelación hasta que el centro alcance los -10°C utilizando la ecuación de Plank modificada, fue tan exacto o mejor que el obtenido por el método de diferencias numéricas finitas, mucho más confiable y versátil pero complejo (11).

La solución de Plank asume que existe un estado estacionario de transferencia de calor en la capa congelada y que la temperatura inicial del material es la del punto de congelación. Su fórmula general es:

$$t = \frac{\Delta H}{(T_f - T_a)} \cdot (P D/h + R D^2/k_s) \quad (E2)$$

siendo:

t	=	tiempo	seg
Δ H	=	cambio en entalpía entre la temperatura inicial de congelación y la temperatura final del centro del producto	J/m <sup>3</sup>
T <sub>f</sub>	=	temperatura de inicio de congelación	°C
T <sub>a</sub>	=	temperatura ambiente	°C
P	=	factor de forma, en esferas 0.167	
D	=	diámetro de la esfera	m
h	=	coeficiente superficial de transmisión de calor	W/m <sup>2</sup> °C
R	=	factor de forma, en esferas 0.042	
k <sub>s</sub>	=	conductibilidad térmica de la fase congelada	W/m°C

Bakal (5), informa en su trabajo de gráficos obtenidos mediante la solución de ecuaciones de Fourier para conducción de calor por L. C. Tao (108). Las condiciones asumidas son: forma geométrica de plano infinito, cilindro infinito o esfera; muestra expuesta a una temperatura ambiente constante; al inicio la muestra está en su punto de congelación pero no congelada. Es preciso calcular valores adimensionales y luego encontrar el tiempo de congelación utilizando las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \beta &= k_1/h a \\ \gamma &= c_1 (T_f - T_a)/L \\ t_f^* &= t_f k_1 (T_f - T_a)/a^2 \delta L \end{aligned} \quad (E3)$$

siendo:

$\beta$	=	número adimensional	
$k_1$	=	conductibilidad térmica de la fase congelada	W/m°C
$h$	=	coeficiente superficial de transmisión de calor	W/m <sup>2</sup> °C
$a$	=	radio de la esfera	m
$\gamma$	=	número adimensional	
$c_1$	=	calor específico de la fase congelada	J/g°C
$T_f$	=	temperatura de inicio de congelación	°C
$T_a$	=	temperatura ambiente	°C
$L$	=	calor latente de congelación	J/g
$t_f^*$	=	tiempo adimensional según gráficos	
$t_f$	=	tiempo de congelación	seg
$\delta$	=	densidad	g/m <sup>3</sup>

El desarrollo de fórmulas semiteóricas obtenidas por la combinación matemática de datos experimentales y fórmulas teóricas se ha sugerido como la mejor posibilidad para la solución de problemas prácticos en alimentos (5), entre ellas se citan la solución propuesta por Nagaoka y el procedimiento de Mott.

Nagaoka y colaboradores (69), trabajando con pescado desarrollaron una versión modificada de la ecuación de Plank, que considera las temperaturas inicial y final. Para su

resolución se aplica las siguientes ecuaciones:

$$Q = c_2 (T_o - T_f) + L + c_1 (T_f - T_b)$$

$$t_f = \left[ 1 + 0.00445(T_o - T_f) 1.8 \right] \left( \frac{Q \delta_1}{T_f - T_a} \right) \left( \frac{PD}{h} + \frac{RD^2}{k_1} \right) \quad (E4)$$

siendo:

Q	=	calor que debe ser removido para congelación	J/g
c <sub>2</sub>	=	calor específico de la zona no congelada	J/g°C
T <sub>o</sub>	=	temperatura inicial del alimento	°C
T <sub>f</sub>	=	temperatura de fusión	°C
L	=	calor latente de congelación	J/g
c <sub>1</sub>	=	calor específico de la zona congelada	J/g°C
T <sub>b</sub>	=	temperatura final de congelación	°C
t <sub>f</sub>	=	tiempo de congelación	seg
δ <sub>1</sub>	=	densidad de la zona congelada	g/m <sup>3</sup>
T <sub>a</sub>	=	temperatura del medio	°C
P	=	factor de forma, en esferas 0.167	
D	=	diámetro de la esfera	m
h	=	coeficiente superficial de transmisión de calor	W/m <sup>2</sup> °C
R	=	factor de forma, en esferas 0.042	
k <sub>1</sub>	=	conductibilidad térmica de la zona congelada	W/m°C

Mott (67), desarrolló un procedimiento mediante un análisis dimensional de datos experimentales en congelación, en el cual se utiliza una relación funcional entre 3 grupos adimensionales para el cálculo del tiempo de congelación, su aplicación está limitada a un rango de valores. La ecuación general es:

$$t_f = \frac{G \delta_1 Q_t w}{h(T_A - T_a)} \quad (E5)$$

siendo:

$t_f$	=	tiempo de congelación	seg
$G$	=	número adimensional obtenido mediante tablas	
$\delta_1$	=	densidad de la fase congelada	$g/m^3$
$Q_t$	=	calor total que debe ser removido para congelar la muestra	$J/g$
$w$	=	grosor congelado medido desde la superficie	m
$h$	=	coeficiente superficial de transmisión de calor	$W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$
$T_A$	=	temperatura a la cual el 60o/o de agua está congelada	$^\circ\text{C}$
$T_a$	=	temperatura ambiente	$^\circ\text{C}$

#### 2.2.4. Cambios durante el almacenaje a temperaturas bajas.

Si existe poca cantidad de oxígeno durante el transporte o almacenaje se desarrolla el daño llamado Corazón Negro. Los síntomas son ennegrecimiento de la parte central por metabolismo anormal y mala respiración, ocurre sobre los  $32.2^\circ\text{C}$  y se lo previene con ventilación y mantenimiento la temperatura bajo  $26.7^\circ\text{C}$  (99).

Las temperaturas bajas producen una variedad de síntomas. Cuando las patatas son almacenadas a temperaturas cercanas a su punto de congelación desarrollan un sabor dulce, algunas variedades adquieren un color pardo-rojizo conocido como empardeamiento caoba, otras se decoloran internamente. Si son almacenadas a temperaturas inferiores a su rango de congelación que está entre  $-1.39^\circ\text{C}$  a  $-3.00^\circ\text{C}$ , sufren un daño total; al descongelarse se tornan blandas, exudan líquidos y son atacadas por microorganismos llegando a producir olores desagradables. Si son enfriadas pero no congeladas en forma total, pueden desarrollarse diferentes formas de necrosis internas que afectan al cerco interno o aparecen manchas de células quebrantadas semejantes a las de necrosis externa (41,78).

Las patatas pierden peso y se encogen durante el almacenaje debido a pérdidas de agua por evaporación en un 90o/o y a pérdida de carbohidratos por respiración en un 10o/o (20).

Patatas de la variedad Kennebec almacenadas a 4-5°C por 9 meses con 85-90o/o de humedad relativa perdieron un 3o/o de su peso, a 90-100o/o de humedad relativa la pérdida fue de 4o/o. En la variedad Katahdin las pérdidas fueron de 0o/o y 1o/o y en la variedad Sebago de 22 y 17o/o respectivamente. Se recomienda en un rango de temperaturas de 4° a 8°C utilizar de 98 a 100o/o de humedad relativa como óptima (111).

En general la velocidad de respiración aumenta con la temperatura; sin embargo, a temperaturas bajas se ha visto que la mínima velocidad ocurre a 3.0°C, es mayor a 4.4°C y mucho mayor a 0°C. Algunas variedades presentan igual velocidad de respiración a 1.1° y 10.6°C (99).

Tubérculos de la variedad White Rose luego de un período de acondicionamiento a 12.8°C, al mantenerse constante la velocidad de respiración, luego de un brusco descenso a temperaturas inferiores y un brusco ascenso a temperaturas superiores, presentaron los siguientes valores: 1.3 mg CO<sub>2</sub>/Kg/h a 1.1° y 4.4°C; 2.3 mg CO<sub>2</sub>/Kg/h a 12.8° y 21.1°C. Se indica que la máxima contribución de la actividad respiratoria en los cambios del contenido de azúcares es de 1 a 13o/o, dependiendo de las condiciones de almacenaje (72).

El contenido total de carbohidratos en base seca cambia muy poco al almacenar patatas en el rango de 1.1° a 15.6°C (109).

La cantidad de almidón disminuye a bajas temperaturas a través del proceso de conversión de almidón a azúcares por enzimas amilolíticas. A temperaturas de 1.1°, 2.2° y 3.3°C las pérdidas luego de 2-3 meses alcanzan 30o/o. Luego de 7 a 37 semanas de almacenaje a bajas temperaturas y 2 semanas a temperatura ambiente, el contenido de almidón es semejante al existente en el momento de la cosecha (99).

En la variedad White Rose el contenido inicial de almidón en base seca fue de 78.9o/o, luego de 18 semanas a 4.4°C disminuyó a 73.8o/o. En la variedad Russet Burbank el cambio fue de 74.4o/o a 71.9o/o en las mismas condiciones (88).

Se ha reconocido que uno de los principales factores que influyen en la disminución de almidón, es la mayor actividad de la fosforilasa a 4.4° que a 21.1°C. La actividad aumenta desde la superficie hasta el centro conforme avanza el tiempo de almacenaje. Por el contrario, la actividad de la amilasa es muy baja, in vitro a 0°C es prácticamente inactiva (2).

A temperaturas bajas el contenido de azúcares aumenta y el almidón disminuye con respecto al original; con temperaturas altas los azúcares disminuyen por la respiración y síntesis de almidón. Patatas de las variedades White Rose y Russet Burbank de bajo contenido de azúcares, almacenadas a 4.4°, 10.0° y 21.1°C presentaron en los 2 casos una mayor acumulación de azúcares a 4.4°C. La variedad White Rose la presentó en mayor cantidad llegando a 9.30o/o

en base seca a las 5 semanas, luego disminuyen manteniéndose en niveles altos de 4.9o/o después de 18 semanas. En la variedad Russet Burbank , a las 5 semanas el contenido de azúcares totales fue 3.6o/o y luego de 18 semanas 2.2o/o, siempre expresado en base seca (88).

La acumulación de azúcares reductores glucosa y fructosa es mayor que sacarosa en almacenaje a bajas temperaturas. En algunas variedades la razón glucosa-fructosa es aproximadamente 1, en la variedad White Rose la razón fue 0.5. La fructosa presentó los mayores cambios siendo el principal componente de la fracción en la variedad White Rose; la sacarosa fue el principal componente en la variedad Russet Burbank (88).

En patatas inmaduras White Rose y Kennebec almacenadas a 0°C por 6 semanas, el principal azúcar acumulado fue la fructosa con valores de 3.94 y 3.81o/o en base seca, respectivamente. En patatas maduras almacenadas a la misma temperatura por igual tiempo la acumulación de sacarosa fue predominante, alcanzando valores de 2.09 y 1.99o/o. Por los valores disminuidos y bajos de glucosa parece que este carbohidrato es el compuesto preferentemente utilizado en la respiración (83).

La acumulación de azúcares reductores se cree proviene de la acción hidrolítica de la invertasa; el contenido de la enzima fue considerable en tubérculos almacenados por 1 año a 3.9°C mantenidos luego 18 días a temperatura ambiente (88).

Las condiciones de almacenaje, en especial la temperatura tiene efecto en la proporción de las fracciones nitrogenadas del tubérculo. Patatas almacenadas a 4.4°C de 2 a 8 meses mostraron un mayor contenido de aminoácidos y bases nitrogenadas que las almacenadas a 10.0°C; la cantidad se incrementa con el tiempo. Los aminoácidos cambian ligeramente a 4.4°C; el reacondicionamiento a 23.8°C provoca la desaparición de varios de ellos, en especial los básicos lisina, histidina y arginina (32).

El nitrógeno de aminos libres no cambia durante el almacenaje a 4.4°C; luego de algunas semanas de reacondicionamiento a 23.8°C disminuyó notablemente (31).

El contenido de lípidos extraído de patatas Pontiac y Ontario no cambia durante el almacenaje a 4.4°C. Sin embargo, a 0° y 4°C el contenido total de ácidos grasos se incrementa acompañado de un aumento en el grado de insaturación y rancidez de productos deshidratados. En 23 variedades estudiadas el contenido de ácido linoleico representó del 51 al 60o/o del total de ácidos grasos y el ácido linolénico del 13 al 24o/o; la cantidad total de ácidos poliinsaturados presentó una proporción muy similar que varió de 70 a 76o/o (27).

En gránulos de patatas Idaho Russet Burbank, durante el almacenaje a 23.9°C se encontró que la oxidación de los ácidos linoleico y linolénico ocurría a la misma velocidad. Expresado en

porcentaje del total luego de 140 días, la variación fue de 53.6 a 42.7 para linoleico y de 20.5 a 12.6 para linolénico. La pérdida fue mayor cuando se almacenó en atmósfera de oxígeno (9).

Dos enzimas están directamente relacionadas con cambios en lípidos, la lipolítica acil-hidrolasa que libera ácidos grasos de glicolípidos presentes en mayor cantidad así como de fosfolípidos, y la lipoxigenasa que convierte los ácidos linoleico y linolénico a sus derivados 9-hidroperóxidos. En la variedad Majestic la cantidad encontrada de las 2 enzimas fue alta, provocando la degradación total de las membranas celulares en tejidos rotos, cuando se almacenó patatas a 0°C (28)

Los cambios en ácidos orgánicos son mayores en patatas almacenadas a 21.1°C que a 12.8°C. Se ha establecido un incremento de ácido cítrico y una disminución de ácido málico (104).

El ácido ascórbico disminuye en patatas maduras o inmaduras si se almacenan a 10.0° o 15.0°C; a temperaturas menores la pérdida continúa siendo considerable. Existe discrepancia en lo informado para diferentes variedades; algunos trabajos indican que la pérdida es más rápida a 0° que a 10°C, en cambio otros trabajos indican menor velocidad de pérdida a 0° y -0.6°C que a 10.0°C (99).

## **2.3 Secado de patatas en camaras.**

### **2.3.1. Preparación de la materia prima.**

La remoción de agua en alimentos busca obtener estabilidad microbiológica y disminuir costos en transporte y almacenaje. Cuando la humedad es reducida a menos de 10o/o los microorganismos pierden actividad permitiendo la preservación del producto. Para mantener el sabor y las características nutricionales la humedad debe ser menor de 5o/o (15).

El secado de patatas es un proceso industrial bastante utilizado, se lo realiza por diferentes mecanismos, formas y condiciones. La presentación del producto final es variada y las posibilidades de aplicación de tecnologías y mercadeo son múltiples (13).

Para deshidratar patatas en cubos o en trozos pequeños se recomienda considerar varios factores al escoger la materia prima para obtener buen color, sabor, olor y textura. Los 3 primeros dependen en una gran parte de la composición y cambios químicos; la textura está íntimamente relacionada con la gravedad específica, las variedades con un alto contenido de sólidos y mayor gravedad específica presentan las mejores características luego de cocidas (54).

Para el secado de patatas se requiere preparar el producto mediante las siguientes



operaciones.

Lavado y selección para eliminar el material dañado.

Pelado, puede ser manual, mecánico, mediante hidróxidos, con vapor o uso combinado de hidróxido y vapor (100). El pelado cáustico combina el efecto del ataque químico y el choque térmico, consiste en tratar las patatas con soluciones de hidróxido de sodio en caliente, seguido de un lavado con agua a presión para remover la cáscara. La concentración de hidróxido varía de 5 a 20o/o y la temperatura del baño de 76.7° a 98.9°C, con tiempos de inmersión de 1 a 6 minutos. Cuando la penetración de calor es demasiado rápida con respecto a la penetración de hidróxido se producen quemaduras exteriores llamadas Cerco Caliente. Las pérdidas reportadas por pelado cáustico alcanzan 22.4o/o. Un método que utiliza un remojo en hidróxido seguido de tratamiento con vapor provoca menos pérdidas y disminuye costos (1).

El tamaño y la forma de corte en vegetales tiene un efecto considerable en la velocidad de deshidratación. El tratamiento con cloruro de calcio permitió trabajar con rodajas de hasta 3.2 mm de espesor y obtener resultados satisfactorios, evitándose pérdidas excesivas (91).

El blanqueado, que consiste en tratar a las patatas cortadas con vapor o agua a temperaturas de 93.3° a 100.0°C, por un período de tiempo de pocos minutos, para inactivar el sistema enzimático de peroxidasa; elimina además los microorganismos (112).

El sulfitado puede hacerse luego del blanqueado por aspersión con soluciones de sulfito de sodio, bisulfito de sodio, metabisulfito de sodio o combinaciones; mediante gas durante el secado o por inmersión en soluciones. Presenta muchas ventajas pues evita el empardeamiento no enzimático, favorece la rehidratación, aumenta el tiempo de almacenaje, disminuye la población microbiológica y permite trabajar con temperaturas más altas (81). El uso por aspersión de soluciones diluidas en un rango de 200 a 500 ppm de SO<sub>2</sub> y secado hasta humedades de 7 a 4o/o, produjo los mejores resultados, al sulfitar patatas por diferentes métodos y secarlas (38).

El uso de sales de calcio, como cloruro de calcio, permite lograr firmeza y previene el rompimiento de tejidos. Su empleo conjunto con bisulfito de sodio aumenta la resistencia al empardeamiento. Sin sacrificar el sabor puede trabajarse con soluciones de concentración de 0.5 al 4.0o/o de cloruro de calcio, para rociar el producto (92).

### **2.3.2. Secado por aire a temperaturas bajas.**

Existen diferentes formas de deshidratación en consecuencia varios tipos de secadores. Una primera gran clasificación considera equipos de funcionamiento continuo y

estacionario. Según el mecanismo de operación en base al fenómeno de transmisión de calor se los divide en equipos basados en conducción, convección, infrarrojo y dieléctricos; la liofilización se considera un caso especial. De acuerdo a las características del equipo existen secadores de bandejas, túneles, cilindros rotatorios, lechos fluidizados, neumáticos y de pulverización. En los equipos basados principalmente en conducción es posible trabajar a presión atmosférica o con vacío (71, 110).

Los parámetros involucrados en el secado han sido clasificados en 4 grupos: relacionados con transmisión de calor, características de la atmósfera secante, propiedades físicas generales del sistema sólido-líquido y propiedades de los sólidos (71).

Las aproximaciones teóricas del secado de sólidos dependen básicamente del mecanismo de transmisión de calor. Las curvas de velocidad de secado por convección manteniendo constantes las condiciones externas, presentan 2 etapas características. Una etapa de secado a velocidad constante, en la cual la superficie del sólido está humedecida con el líquido; está gobernada por la velocidad de remoción de humedad, temperatura y humedad del agente secante. La segunda caracterizada por una disminución o caída de la velocidad por cuanto la migración del líquido a la superficie es tan pequeña que llega a controlar el proceso. La humedad a la cual la velocidad de secado disminuye se conoce como rango crítico de humedad (8).

Trabajando con patatas en túneles de secado por aire, se estableció que el tiempo de secado es proporcional al cuadrado del espesor de las rodajas y que un incremento en la velocidad del aire acelera ligeramente el proceso en el período de secado constante, pero prácticamente no tiene ningún efecto en el período decayente. La transferencia de humedad en el período decayente parece ser por difusión molecular y depende de la temperatura, de valores reportados (84), es posible establecer que a 17°C la difusibilidad corresponde a  $0.035 \times 10^{-6}$  y a 13°C  $0.020 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/seg. El contenido crítico de humedad encontrado para patatas es de 3.5 g agua/g materia seca (84).

Charm (15), para el caso de secado por aire en bandejas utiliza las siguientes ecuaciones en el cálculo de secado a velocidad constante:

$$\frac{dW}{d\theta} = k_g A (H_s - H_a) = \frac{h_t A (T_a - T_s)}{\Delta H_v} \quad (E6)$$

siendo:

W = cantidad de agua  
 $\theta$  = tiempo

- $k_g$  = coeficiente de transferencia de masa
- $A$  = área de secado
- $H_s$  = humedad de saturación del aire a temperatura de superficie
- $H_a$  = humedad del aire
- $h_t$  = coeficiente total de transmisión de calor
- $T_a$  = temperatura de bulbo seco del aire
- $T_s$  = temperatura de bulbo húmedo del aire
- $\Delta H_v$  = calor de vaporización a la temperatura de bulbo húmedo.

Para el cálculo del coeficiente total de transmisión de calor en el caso de no existir pérdidas por radiación aplica:

$$h_t = h_c \left( 1 + \frac{A_u}{L h_c} \right) \frac{1}{k}$$

siendo.

- $h_c$  = coeficiente de transmisión de calor por convección
- $A_u$  = razón entre superficie en contacto con aire secador y área superficial no expuesta
- $L$  = espesor del material
- $k$  = conductibilidad térmica del material

Para aire que fluye en forma perpendicular a la superficie, el coeficiente de transmisión de calor por convección es evaluado por:

$$h_c = 0.37 G^{0.37}$$

siendo:

- $G$  = velocidad másica del aire lb/h pie<sup>2</sup>

El coeficiente de transferencia de masa puede ser evaluado por:

$$k_g = h_t/C_s$$

siendo:

$$C_s = \text{calor húmedo del aire}$$

Para el período de secado decayente es necesario calcular la difusibilidad líquida por el método de ensayo y error, como en el período constante, pero con el empleo de las cartas de Gurnie-Lurie. Luego, es posible aplicar la ecuación de velocidad de secado en planos desarrollada por Marshall y Friedman (75):

$$\frac{dW}{d\theta} = \frac{\pi^2 D}{4 X_L^2} (H_c - H_e) \quad (E7)$$

siendo:

- D = coeficiente de difusibilidad asumido constante durante todo el período decayente
- $X_L$  = espesor del sólido
- $H_c$  = humedad crítica
- $H_e$  = humedad de equilibrio

### 2.3.3. Liofilización atmosférica.

El uso de aire frío con baja presión de vapor de agua para causar la sublimación de humedad en alimentos congelados a presiones próximas a la atmosférica, se ha llamado liofilización atmosférica. La principal limitante económica del proceso es la lenta velocidad de secado, controlada por la difusión molecular de vapor de agua en la estructura seca del producto (36)

Esta posibilidad de secado fue demostrada en productos congelados cuando se observó que el gradiente de presiones de vapor, no tanto como la presión total del sistema, es el que determina el paso de agua a través de la zona seca del producto al medio secante (62).

En ensayos de deshidratación de productos alimenticios a temperaturas bajas, presión atmosférica, con corrientes de aire seco, se obtuvieron resultados satisfactorios en zanahorias,

guisantes y carne de pollo. La duración del secado varió entre 1 y 3 días hasta alcanzar del 10 al 30o/o del peso original (56).

El secado completo en las condiciones indicadas parece ser impráctico debido a lo extenso del ciclo de secado. Manzanas en cubos, con aire a -3.9°C, se mantuvieron estables en un 16o/o de humedad luego de 48 horas (94).

Mediante un análisis matemático y pruebas experimentales se estableció que la reducción del tamaño y el incremento del coeficiente superficial de transferencia de masa ofrecen las mejores oportunidades para acelerar el secado en liofilización atmosférica (36).

Aplicando balances de masa y energía, considerando un frente uniforme de hielo que se desplaza en el sólido se han integrado ecuaciones que permiten calcular el tiempo de liofilización, considerando diferentes formas (52).

Schmidt y colaboradores (86), desarrollaron un modelo matemático para el cálculo de la velocidad de secado a temperaturas bajas. Se consideró la disminución en volumen observada al secar zanahorias en cubos y se asumió flujo de calor y masa unidimensional, frente de secado agudo, proceso de transferencia en estado no estacionario, propiedades térmicas constantes, distribución uniforme de temperatura en la zona congelada y efectos secundarios pequeños. Las fórmulas generales son:

$$T_g - T_i = - \frac{r_o \Delta H_s}{3 V_w} \left( \frac{dX}{d\theta} \right) \left[ \frac{1}{h} + \frac{r_o}{k} \left( \frac{1}{X^{1/3}} - 1 \right) \right]$$

$$P_{wg} - P_{wi} = \frac{r_o}{3 M_w V_w} \left( \frac{dX}{d\theta} \right) \left[ \frac{P_T}{h_g} + \frac{r_o RT}{D} \left( \frac{1}{X^{1/3}} - 1 \right) \right] \quad (E8)$$

siendo:

$T_g$	=	temperatura del aire	°K
$T_i$	=	temperatura de interfase de sublimación	°K
$r_o$	=	radio de la esfera	cm
$\Delta H_s$	=	calor de sublimación del hielo	cal/g

$V_w$	=	volumen específico del agua inicialmente presente en el material congelado	$\text{cm}^3/\text{g H}_2\text{O}$
$X$	=	fracción remanente del agua inicial	$\text{g H}_2\text{O}/\text{g H}_2\text{O}$
$\theta$	=	tiempo	seg
$h$	=	coeficiente externo de transmisión de calor	$\text{cal}/\text{seg cm}^2\text{°K}$
$k$	=	conductibilidad térmica efectiva	$\text{cal}/\text{seg cm}^0\text{K}$
$P_{wg}$	=	presión parcial de vapor de agua en el aire	mmHg
$P_{wi}$	=	presión parcial de vapor de agua en la interfase de sublimación	mmHg
$M_w$	=	peso molecular del agua	$\text{g}/\text{g mol}$
$P_T$	=	presión atmosférica	mmHg
$h_g$	=	coeficiente externo de transferencia de masa	$\text{g mol}/\text{seg cm}^2$
$R$	=	constante de los gases	$\text{mmHg cm}^3/\text{g mol}^0\text{K}$
$T$	=	temperatura	$^0\text{K}$
$D$	=	difusibilidad efectiva	$\text{cm}^2/\text{seg}$

La ecuación de Clausius Clapeyron es usada para relacionar la temperatura de interfase de sublimación y la presión parcial de vapor de agua en la interfase, ésta es:

$$\ln P_{wi} = - 6152.91 \left( \frac{1}{T_i + 273.2} \right) + 24.0458$$

En base a resultados experimentales se determinó relaciones entre resistencias internas a la transferencia de calor y masa con la humedad del producto y relaciones para considerar los factores geométricos (86).

Charm (15), informa que las bases que gobiernan la liofilización atmosférica son similares a las que gobiernan el secado convencional por aire, pudiendo aplicarse las mismas consideraciones matemáticas para el cálculo del tiempo de secado.

Si se trabaja con soluciones saturadas de sales iónicas, por el descenso de la presión de vapor de agua, es posible obtener ambientes con humedades relativas bajas y llegar a un equilibrio con respecto a muestras en contacto que pierden humedad. La humedad de equilibrio depende

de la temperatura, siempre que exista una cantidad suficiente de soluto que mantenga saturada la solución a pesar del agua ganada. El tiempo en que se alcanza el equilibrio es largo; es posible disminuirlo con la agitación de la atmósfera en la cámara (85).

Se han informado valores de humedad relativa obtenidos con diferentes soluciones sobresaturadas en función de temperatura. A 25°C, soluciones al 47.97o/o de hidróxido de sodio permiten alcanzar una humedad relativa de 10o/o; soluciones de cloruro de calcio al 44.36o/o una humedad relativa de 30o/o; soluciones saturadas de cloruro de sodio una humedad relativa de 75o/o (103).

#### **2.3.4. Rehidratación.**

La capacidad de absorber agua de productos deshidratados es una prueba funcional que permite establecer en cierta medida el daño físico. Cubos de patatas deshidratadas colocados en un volumen 10 veces mayor de agua a 100°C, luego de 50 minutos absorbieron un 320o/o de agua, expresado en gramos de agua ganada/100 gramos de materia seca (93).

### III OBJETIVOS

Los objetivos que persigue el presente trabajo pueden resumirse en los siguientes puntos:

- 1.- Aplicar conocimientos que permitan utilizar el frío natural existente en las zonas montañosas de Latinoamérica, en la conservación y procesamiento de alimentos.
- 2.- Conocer los principales cambios que ocurren en patatas, variedad Loman, cuando son almacenadas a temperaturas de  $5^{\circ}$  a  $-15^{\circ}\text{C}$ , desde el punto de vista físico, químico, microbiológico y de ingeniería con miras a su posterior utilización en el campo industrial.
- 3.- Estudiar un mecanismo de secado por aire en cámaras cerradas utilizando compuestos higroscópicos a presión atmosférica, en un rango de temperaturas de  $20^{\circ}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$  y agitación constante del aire interior, para establecer condiciones adecuadas de trabajo.
- 4.- Evaluar las características de las patatas deshidratadas y de productos elaborados de acuerdo a procesos establecidos, considerando aspectos físicos, químicos, microbiológicos y nutricionales.



## IV MATERIALES Y METODOS

### 4.1. Almacenaje.

#### 4.1.1. Materiales.

Se trabajó con una variedad de patatas (Solanum tuberosum), Loman, producidas y cosechadas maduras en los primeros días de Abril en la zona de Chimaltenango y adquiridas en el comercio de la ciudad de Guatemala.

Para la recuperación y acondicionamiento de las patatas se utilizó un cuarto oscuro con control de temperatura y humedad relativa.

Para el almacenaje se utilizaron 3 cuartos frigoríficos, en los que se mantuvo temperaturas a 5°, -5° y -15°C. En cada uno de los cuartos se distribuyó 3 muestras que duplicado con diferentes compuestos químicos de tipo industrial, previamente humedecidos para lograr diferentes humedades relativas. Una muestra contenía 1 Kg de hidróxido de sodio; la segunda, 1 Kg de cloruro de calcio y la tercera 1 Kg de cloruro de sodio.

Los compuestos fueron depositados en el fondo de recipientes cúbicos de asbesto-cemento de 30 cm de lado, provistos de una plataforma metálica interior para evitar el contacto directo del compuesto químico con el producto y tapa sobrepuesta de vidrio. Cada uno de los recipientes contenía 1.81 Kg de patatas lavadas.

Una muestra por duplicado, con la misma cantidad de patatas y sin ningún compuesto químico, fue mantenida en condiciones ambiente a 26°C para control.

Una patata de cada muestra fue colocada en una red de hilo comunicada al exterior a través de un tapón de caucho ubicado en la tapa, lo que permitía pesarla sin abrir el recipiente.

En todos los casos se utilizaron medidores de humedad relativa marca Auirguide Mod. 605, previamente calibrados. El peso se registró semanalmente con una balanza de 0.1 g de precisión. El almacenaje se prolongó por 6 meses a partir de la cosecha.

Para la determinación de temperaturas se utilizó un equipo electrónico Honeywell 15, provisto de 6 termopares y registrador automático.

#### 4.1.2. Métodos.

Previo el almacenaje, las patatas fueron sometidas a un período de recuperación de 10 días a 15°C y 85o/o de humedad relativa, seguido de un período de acondicionamiento de 10 días a 21°C y 90o/o de humedad relativa. Luego fueron lavadas y seleccionadas.

Los análisis químicos realizados en las patatas frescas y después del almacenaje fueron, humedad, nitrógeno, extracto etéreo y cenizas por los métodos de la A.O.A.C. (3). Para determinar proteína se multiplicó el porcentaje de nitrógeno x 6.25. La materia seca e hidratos de carbono totales se establecieron por diferencia. El ácido ascórbico reducido se determinó según el método de la dinitrofenilhidrazina (80). El almidón según el método volumétrico de Lane-Eynon (3); azúcares solubles totales por el método de fenol-sulfúrico de Dubois (19); azúcares reductores por el método de Somogyi (102) y azúcares no reductores por diferencia entre azúcares solubles totales y azúcares reductores.

Para la determinación del color se siguieron las normas establecidas para el uso del tintómetro Lovibond Tipo D en muestras sólidas; se informan los valores de los 3 colores básicos y un valor corregido resultado de la suma de los productos parciales: azul por 1, amarillo por 2 y rojo por 3.

Se realizaron las siguientes pruebas microbiológicas: conteo total de bacterias aeróbicas, conteo de mohos y levaduras, conteo de bacterias coliformes y conteo de esporas bacterianas viables. En todas las determinaciones, una muestra exactamente pesada fue homogenizada y diluida en diferentes proporciones según el grado de contaminación, obteniéndose la dilución de trabajo. En el caso del conteo total de bacterias aeróbicas, 1 ml de la dilución se colocó en una caja de Petri con 10 a 15 ml de medio agar de conteo en placa a 42° -45°C; luego de solidificarse se incubó por 48 horas a 35°C. El conteo se realizó en un Quebec Counter seleccionando las cajas que contenían de 30 a 300 colonias. Se informa como número de colonias/g (UFC/g).

La determinación de mohos y levaduras se realizó agregando 1 ml de la dilución correspondiente a cada caja de Petri y de 10 a 15 ml de agar malta a 42° -45°C; luego de solidificarse se incubó por 3 a 7 días a 25°C. El recuento se realizó previa tinción con azul de algodón, informándose como número de mohos y levaduras/g.

Para el conteo de bacterias coliformes en caja de Petri se agregó 1 ml de la dilución y de 10 a 15 ml de agar rojo violeta con bilis (VRBA) a 45°C; luego de solidificarse se agregó de 3 a 4 ml adicionales de VRBA, se incubó por 18-24 horas a 35°C, contándose las colonias de coloración rojo-púrpura de las cajas que contenían de 30 a 150 colonias. Para confirmación, colonias típicas fueron transferidas a tubos de caldo verde brillante con bilis (BCG), incubadas a

35°C, observándose la producción de gas a las 24 y 48 horas.

La determinación de esporas bacterianas viables anaeróbicas, enfocada hacia el aislamiento de Clostridium, se realizó añadiendo a cada caja de Petri 1 ml de cada dilución de la muestra previamente sometida al calor por 10 minutos en baño de maría con agua hirviendo y de 10 a 15 ml de agar sulfito polimixina sulfadiazina (SPS). Luego de homogenizar y enfriar se adicionó de 4 a 5 ml de SPS, las cajas se mantuvieron en jarra anaeróbica y se incubaron por 24 horas a 35°C, contándose las colonias negras formadas.

Para cada ensayo de enfriamiento o calentamiento de patatas enteras, se seleccionaron 6 muestras de igual tamaño, cuyos diámetros en la parte central alcanzaban 5.1 cm; la parte terminal de los termopares fue introducida hasta el centro de las patatas desde uno de los extremos del tubérculo. Las pruebas fueron realizadas en diferentes ambientes y se presenta en gráficos el promedio de las lecturas de ensayos considerados representativos.

## 4.2. Secado.

### 4.2.1. Materiales

En todas las pruebas se utilizó patatas de la variedad Loman. En 3 cuartos frigoríficos se reguló ambientes con temperaturas de 5°, -5° y -15°C.

El secado se realizó en cámaras de madera de doble pared, con aislamiento intermedio de Duroport y provistas de 4 llaves de 1 1/2 pulgada para posibilitar el trabajo con corrientes de aire. En su parte interior se instalaron motores eléctricos de 1/25 H.P., con aletas para ventilación de 12 cm de diámetro y de funcionamiento continuo a 800 rpm. Para los estudios del efecto de la agitación interna en la velocidad de secado, se instaló exteriormente motores de 1/8 H.P., con aletas para ventilación de 18 cm de diámetro y velocidad regulable en el rango de 1,100 a 1,400 rpm.

Se trabajó con 9 cámaras, 3 por cuarto frigorífico, las cuales contenían diferentes compuestos químicos en recipientes de asbesto-cemento localizados en la parte inferior; estos fueron, hidróxido de sodio comercial, cloruro de calcio comercial y cloruro de sodio comercial. En cada cámara se utilizó 10 Kg de compuesto químico humedecido con 1 Kg de agua, distribuido en 2 bandejas.

Una armazón metálica con 3 plataformas de malla se empleó para distribuir el producto a secarse.

En el Gráfico 1 pueden apreciarse las dimensiones y detalles de construcción. La humedad

relativa fue registrada con medidores de humedad Airguide Mod. 605 previamente calibrados. Para el registro interior de temperaturas se empleó termómetros de aguja tipo reloj.

La muestra utilizada para comparación fue obtenida en un liofilizador marca Virtis Mod. 10-MR-TR, el cual permite regular las temperaturas de la cámara y del condensador, así como el vacío.

En los ensayos biológicos se emplearon ratas blancas de la raza Wistar, recién destetadas a los 21 días de nacidas, provenientes de la colonia del INCAP. Las ratas fueron colocadas en jaulas individuales suministrándoles comida y agua a voluntad por 10 días.

En la preparación de las dietas se utilizó caseína; patata en polvo, obtenida de muestras secadas por aire a diferentes temperaturas, almacenadas a 5°C en recipientes plásticos por 5 meses y molidas a través de malla 60; rodajas de patatas secadas a -2°C, almacenadas, cocidas con vapor por 3 horas, secadas a temperatura ambiente y molidas; rodajas de patatas secadas a -2° y 13°C, almacenadas fritas y molidas; aceite de soya, aceite de bacalao, solución de vitaminas (57) y mezcla de minerales Hegsted (35).

#### 4.2.2. Métodos.

Los análisis químicos y microbiológicos, realizados en la materia prima (Control I) y luego del secado (Control II), fueron iguales a los indicados para almacenaje.

El proceso de preparación de la materia prima para el secado y la elaboración de patatas fritas y puré está indicado en el Diagrama 1, según las siguientes especificaciones.

Recuperación, en cuarto oscuro a 15°C y 85o/o de humedad relativa por 10 días, realizado para favorecer la suberización en heridas, recuperación de golpes y evitar el ataque de microorganismos (20, 49, 101).

Acondicionamiento por 10 días en cuarto oscuro a 21°C y 90o/o de humedad relativa, para favorecer la síntesis de almidón, aumentar la respiración y disminuir el contenido de azúcares reductores (88). Se trabajó en cuartos oscuros para evitar la síntesis de clorofila y alcaloides (49).

El lavado se realizó en recipientes de acero inoxidable, para eliminar la tierra e impurezas y reducir el contenido de microorganismos (112).

La selección fue manual, permitió separar patatas atacadas por enfermedades como Descomposición Blanda (82) y Descomposición Negra (78), claramente identificadas.

El pelado cáustico se efectuó en un equipo compuesto por 2 tanques y 1 canastilla móvil. Se calentó 48 litros de solución de hidróxido de sodio al 15o/o, con vapor hasta 96°C, introduciéndose la canastilla con porciones de 33 libras de patatas por aproximadamente 4 minutos y agitándolas hasta la pérdida de la cáscara, que fue finalmente removida con agua a presión y lavadas. Las pérdidas se estimaron en un 25o/o.

El cortado, se realizó en forma manual para obtener rodajas de aproximadamente 3 mm de espesor (91); las patatas se mantuvieron sumergidas en agua durante la operación para evitar el empardeamiento enzimático (59). Para los estudios del efecto de la forma en la velocidad de secado, se procedió a cortar cubos de 1 cm de lado.

Para el blanqueado se utilizó un autoclave saturado de vapor a fin de someter la porción de patatas a vapor vivo a 100°C por 3 minutos, para inactivar enzimas (99) y destruir microorganismos (112).

El sulfitado se realizó con el producto caliente, sumergiéndolo por 10 minutos en 20 litros de solución al 0.5o/o de disulfito de sodio y 0.5o/o de cloruro de calcio, con el objeto de prevenir el empardeamiento no enzimático, evitar el ataque de microorganismos y mejorar la textura (81, 92).

Luego de escurrida el agua, el producto se distribuyó en las 3 bandejas de la armazón metálica a razón de 2.95 Kg por bandeja, con una densidad de carga de 7.34 Kg/m<sup>2</sup> y una carga total por cámara de 8.85 Kg. Estudios posteriores se realizaron con la mitad de la carga total.

El secado de las cámaras se efectuó a diferentes temperaturas en el rango de 17° a -7°C, durante el cual se registró diariamente la pérdida de peso de una muestra de 212.0 g colocada en una canastilla que permitía mantener la densidad de carga. Igualmente se registró la humedad relativa y la temperatura del ambiente.

Para la elaboración del puré, las rodajas secas fueron molidas hasta 60 mallas y esta harina fue cocida con agua a ebullición en proporción 7:1 por 45 minutos. Antes de las evaluaciones organolépticas se añadió cloruro de sodio.

En el caso de patatas fritas, las rodajas secas fueron sumergidas en aceite a 180°C por menos de 1 minuto, para evitar un excesivo empardeamiento de tipo no enzimático (90, 100).

El secado de patatas por liofilización para control, se realizó en las siguientes condiciones: carga total, 2.7 Kg.; densidad de carga, 7.34 Kg/m<sup>2</sup>; temperatura de congelación, -40°C en 2 horas; temperatura en el condensador, -55°C; temperatura de liofilización en la cámara de secado, 40°C; vacío, 25 militorr (25 x 10<sup>-3</sup> mmHg); tiempo de permanencia, 24 horas. Las

patatas fueron procesadas de igual manera que las secadas en cámaras.

La composición de ácidos grasos se determinó por cromatografía gas-líquido, previa esterificación de la muestra seca molida (63). Se utilizó un cromatógrafo de gas Tracor 222 con detector de ionización de llama, columna de cristal de 6 pies por 1/4 de pulgada de diámetro empacada con GP 10o/o SP-2300 en 800/100 supelcopoct, temperatura programada de 150° a 210°C con un incremento de temperatura de 5°C/minuto y flujo constante de gas nitrógeno como acarreador. La identificación se hizo comparando tiempos de retención con patrones conocidos. El porcentaje de área fue establecido mediante un integrador acoplado al equipo.

Las pruebas de rehidratación se realizaron por duplicado con 100 g de patatas en rodajas, a las que se sumergió en un litro de agua a 96°C; cada 5 minutos se retiraba el recipiente que las contenía, se escurría el agua y se pesaba el producto. El proceso se repitió por 12 tiempos diferentes hasta un máximo de 1 hora. El volumen de agua de hidratación fue mantenido constante durante la experiencia.

Para la determinación de la Razón Proteínica Neta (RPN), se utilizó 8 ratas por grupo, 4 machos y 4 hembras; las dietas fueron preparadas a un nivel de 5o/o de proteína; una dieta de caseína se preparó a un nivel de 10o/o de proteína y otra a un nivel de 5o/o para control, también se preparó una dieta libre de nitrógeno. En todos los casos se ajustó el contenido calórico a un nivel de 4.17 Kcal/g de dieta. En el Cuadro 1, se indica la composición porcentual de los ingredientes de las diferentes dietas.

El experimento se mantuvo por 10 días, registrándose al inicio y al final el peso de los animales y la ingesta de alimento.

Los valores de RPN fueron obtenidos mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$RPN = \frac{\Delta P_e - \Delta P_1}{I_p}$$

siendo:

- $\Delta P_e$  = cambio en peso de ratas de grupo experimental
- $\Delta P_1$  = cambio en peso de las ratas del grupo con dieta libre de nitrógeno.
- $I_p$  = ingesta real de proteína del grupo experimental.

Una prueba organoléptica por diferencia se realizó entre 16 personas adultas de diferente sexo, edad y ocupación, quienes calificaron, mediante escala hedónica de 1 a 9, las muestras de patatas fritas y en puré, preparadas a partir de rodajas liofilizadas a presión atmosférica.

## V RESULTADOS

### 5.1. Almacenaje.

#### 5.1.1. Cambios de temperatura.

En el Gráfico 2 se indican las curvas obtenidas en enfriamiento y calentamiento de patatas enteras; la línea de puntos corresponde a datos experimentales, las líneas continua y de trazos corresponden a datos calculados según la ecuación (E1) (37) y utilizando los gráficos de Foust (26), respectivamente.

Los valores utilizados en los cálculos fueron: Temperatura del medio de enfriamiento  $3.0^{\circ}\text{C}$ , en calentamiento  $26.0^{\circ}\text{C}$ ; temperatura inicial del producto de enfriamiento  $26.0^{\circ}\text{C}$ , en calentamiento  $3.0^{\circ}\text{C}$ ; radio de la esfera,  $0.0254\text{ m}$ ; área,  $0.0081\text{ m}^2$ ; volumen,  $6.86 \times 10^{-5}\text{ m}^3$ ; densidad,  $1.075 \times 10^6\text{ g/m}^3$ ; calor específico,  $3.26\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$  (23); conductibilidad térmica,  $0.553\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  (37); coeficientes de transmisión de calor por convección: 8.51, 16.45, 19.85 y  $7.37\text{ W/m}^2\text{C}$  para las curvas 1, 2, 3 y 4 respectivamente (5), las que a su vez corresponden a enfriamiento de producto en recipiente, calentamiento de producto sin protección, enfriamiento de producto sin protección y calentamiento de producto en recipiente.

En el Gráfico 3 se indican 3 curvas de congelación de patatas enteras, obtenidas con diferentes coeficientes de transmisión de calor por convección. Además se tabulan los valores calculados según la ecuación de Plank modificada (E2) (11), según los gráficos y fórmula de Tao (E3) (108), según la solución de Nagaoka y colaboradores (E4) (69) y según el procedimiento de Mott (E5) (67).

Los valores utilizados en los cálculos fueron: temperatura inicial del producto,  $5.0^{\circ}\text{C}$ ; temperatura de fusión,  $-1.39^{\circ}\text{C}$ ; temperatura final considerada en el centro de la patata,  $-5.0^{\circ}\text{C}$ ; temperatura ambiente,  $-10.0^{\circ}\text{C}$ ; temperatura a la cual el 60o/o de agua contenida en el producto está congelada,  $-2.78^{\circ}\text{C}$ ; diámetro de la esfera,  $0.0508\text{ m}$ ; cambio en entalpía,  $2.21 \times 10^8\text{ J/m}^3$ ; conductibilidad térmica de la fase congelada,  $1.08\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  (15); calor específico de la fase congelada,  $3.09\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ ; calor específico del producto no congelado,  $3.26\text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ ; calor latente de congelación,  $176\text{ J/g}$ ; densidad,  $1.075 \times 10^6\text{ g/m}^3$ ; densidad del producto congelado,  $0.977 \times 10^6\text{ g/m}^3$ ; calor total que debe ser removido en el rango de temperaturas considerado,  $231\text{ J/g}$ ; coeficientes de transmisión de calor por convección: 19.85, 16.45 y  $8.51\text{ W/m}^2\text{C}$  para las curvas 1, 2 y 3 respectivamente.

### 5.1.2 Características físicas.

Por el efecto de los compuestos químicos, al final del almacenaje se logró humedades relativas en el rango de 100 a 57o/o, lo que cubre las condiciones naturales existentes en las zonas montañosas. El efecto secante en la atmósfera del recipiente fue más pronunciado con hidróxido de sodio que con cloruro de calcio y con cloruro de sodio, sin llegar a obtenerse valores de humedad relativa comparables a los encontrados en la literatura (103), por la permeabilidad de los recipientes de asbesto-cemento y la influencia de la humedad del ambiente.

Las patatas almacenadas a 5°C, independientemente de la humedad relativa, conservaron sus características naturales exteriores durante todo el almacenaje, lo que está de acuerdo con lo ya informado considerando la temperatura (99). A los 60 días se notó un ligero oscurecimiento exterior debido posiblemente a empardeamiento caoba (78).

Las muestras almacenadas a -5°C, fueron las que mayor daño sufrieron; a partir de los 15 días presentaron rompimiento en la corteza y exudación de líquidos con decoloración en la zona de los ojos informada como empardeamiento caoba, seguido de necrosis. A los 30 días el ennegrecimiento y deformación fue total, con ablandamiento de los tubérculos al que contribuyen las enzimas lipolíticas (28). Luego de 6 meses, al finalizar la experiencia, pudo apreciarse descomposición y malos olores signo de ataque microbiano (41, 78).

Las muestras almacenadas a -15°C, presentaron a los 2 días rajaduras en la corteza por rompimiento crioscópico, debido a la formación y crecimiento de cristales de agua (24, 61). A los 7 días se observó un ligero arrugamiento; a los 30 días un leve oscurecimiento, debido posiblemente a necrosis (41,78). En lo posterior se mantuvieron en un estado rígido; sin embargo, al descongelarse perdieron gran cantidad de agua y se arrugaron totalmente.

Las muestras de control, mantenidas al ambiente a 26°C y 60o/o de humedad relativa, germinaron en su totalidad a los 60 días de almacenadas.

En el Cuadro 2 se presenta la variación de humedad relativa en el interior de los recipientes y la pérdida en peso de las muestras de patatas, expresado en gramos y como porcentaje del peso inicial. Puede observarse la relación que guarda la pérdida de peso con respecto a la temperatura de almacenaje y a la higroscopicidad del compuesto químico introducido en el recipiente.

### 5.1.3. Propiedades químicas.

En el Cuadro 3 se indican los resultados del análisis proximal y el contenido de ácido ascórbico, expresado en base seca, de patatas frescas con cáscara y luego del almacenaje.



El Cuadro 4 detalla el contenido de almidón, azúcares solubles totales, azúcares reductores y azúcares no reductores expresado como porcentaje de materia seca para patatas frescas y almacenadas. Además, se presentan los datos del color expresados en unidades Lovibond.

#### 5.1.4. Control microbiológico.

Los resultados de los recuentos de microorganismos y esporas viables se suman en el Cuadro 5.

Entre los géneros identificados en patatas frescas se encontró en forma predominante Bacillus y Estafilococcus; además, bacterias coliformes y esporas de Clostridium; hongos Penicillium, Mucor y Fusarium; levaduras, como Torula. En las patatas almacenadas se determinó Bacillus, Penicillium, Mucor y Torula; en muy pocos casos bacterias coliformes.

## 5.2. Secado.

### 5.2.1. Curvas de secado.

En los Gráficos 4, 5 y 6 se indican las curvas de secado y el cambio en humedad relativa, obtenidas a diferentes temperaturas, velocidad de agitación 800 rpm y utilizando hidróxido de sodio, cloruro de calcio y cloruro de sodio como agente secante, respectivamente.

Con el objeto de favorecer la eliminación del agua libre y el descenso de humedad relativa en el interior de las cámaras, se procedió a realizar una prueba con 2 cámaras en las mismas condiciones, con la diferencia que 1 cámara tuvo las llaves laterales abiertas durante todo el secado y la otra cerradas. Los resultados están indicados en el Gráfico 7.

El cambio en la velocidad de secado de patatas debido a la forma de corte, en rodajas o cubos pequeños, se indica en el Gráfico 8.

El efecto de la carga total de rodajas de patatas en el tiempo de secado se indica en el Gráfico 9, y el de la densidad de carga en cubos pequeños de patatas, en el Gráfico 10.

En el Gráfico 11 se presentan 2 curvas obtenidas con motores de velocidad regulable provistos de aletas de 18 cm. y considerando un trabajo continuo a 1,100 y 1,400 rpm, con el objeto de establecer el efecto en el coeficiente de transferencia de masa, durante el secado de rodajas de patatas.

En el Gráfico 12 se muestran los valores experimentales y calculados de 2 curvas de secado

de rodajas de patatas con hidróxido de sodio y cloruro de calcio, que permiten establecer la influencia del compuesto secante en la velocidad de remoción de agua.

Los valores utilizados en el cálculo fueron: carga total, 8.85 Kg.; materia seca, 1.66 Kg.; humedad crítica, 3.5 Kg agua /Kg de materia seca; humedad final, 0.3 Kg agua/Kg de materia seca; coeficiente de transmisión de calor por convección calculado a partir de la velocidad interior del aire 1 m/seg, 24.6 W/m<sup>2</sup>°C; coeficiente total calculado de transmisión de calor, 209.7 W/m<sup>2</sup>°C; conductibilidad térmica del material, 0.553 W/m°C; calor húmedo, 962 J/°C por kilogramo de aire seco; espesor del material, 0.003 m; difusibilidad establecida para secado con hidróxido de sodio a 13°C, 3.613 x 10<sup>-7</sup> cm<sup>2</sup>/seg; difusibilidad establecida para secado con cloruro de calcio a 17°C, 2.436 x 10<sup>-7</sup> cm<sup>2</sup>/seg. Las propiedades del aire secante fueron establecidas mediante carta psicrométrica elaborada para 640 mmHg de presión. La sección de secado constante fue calculada con la ecuación (E6) y la difusibilidad mediante la ecuación (E7).

Una de las curvas obtenida bajo los 0°C, fue utilizada para establecer la aplicación de cálculos teóricos según el proceso de Schmidt y colaboradores (86) y el propuesto por Charm aplicando balances de masa y energía por el método de ensayo y error (15). Los resultados aparecen en el Gráfico 13.

Para el cálculo de la curva 1 se aplicaron los siguientes valores: coeficiente calculado de transferencia de masa, 2.19 x 10<sup>-5</sup> Kg/cm<sup>2</sup>seg; las humedades del ambiente y de saturación a la temperatura de superficie, fueron establecidas de la carta psicrométrica para bajas temperaturas, 0.00300 y 0.00312 Kg agua/Kg aire seco (15); temperatura del aire, -1.67°C; carga total, 4.42 Kg; humedad del producto, 81.2o/o.

En las curvas 2 y 3 se utilizó: radio estimado, 0.55 cm; razón presión total-coeficiente externo de transferencia de masa, 0.3732 x 10<sup>7</sup> cm<sup>2</sup>seg mmHg/g mol; peso molecular del agua, 18 g/g mol; volumen específico, 1.09 cm<sup>3</sup>/g agua; constante universal de los gases, 62370 mmHg cm<sup>3</sup>/g mol °K; temperatura, 273.2°K; presión atmosférica, 640 mmHg. Para la curva 2 se asumió como constante la difusibilidad en 7.82 x 10<sup>-3</sup> cm<sup>2</sup>/seg valor obtenido del análisis de la sección central en la curva experimental. Para la curva 3 se trabajó con un valor constante de difusibilidad, siendo éste el promedio de los valores obtenidos del análisis de los datos de 3 secciones de la curva experimental, 1.07 x 10<sup>-2</sup> cm<sup>2</sup>/seg. Para encontrar los valores que permitieron graficar las curvas, se aplicó la ecuación (E8).

### 5.2.2. Características físicas.

Las principales características del producto fresco y del secado a través de los diferentes procesos evaluados -color, disminución de tamaño, forma de las rodajas y la

apreciación visual de la apariencia- se indican en el Cuadro 6.

Las patatas secadas entre  $-1^{\circ}$  y  $-2^{\circ}\text{C}$  presentaron las mejores características; luego, al ser almacenadas a  $5^{\circ}\text{C}$  en recipientes plásticos desarrollaron cambios de color atribuidos a reacciones de tipo no enzimático, como la reacción de Maillard (17) y reacciones de hierro con ortodifenoles (43, 44, 45). El cambio en color fue más pronunciado en las rodajas secadas con hidróxido de sodio, en comparación con las secadas con cloruro de calcio.

### 5.2.3. Propiedades químicas.

En el Cuadro 7 se indica la composición química proximal expresada en base seca y el contenido de ácido ascórbico expresado en mg/100 g de materia seca de patatas frescas sin cáscara, rodajas liofilizadas y rodajas secadas por aire en cámaras con diferentes compuestos químicos.

Una correlación negativa, estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ), se encontró tanto entre el contenido de ácido ascórbico y la sumatoria de la intensidad del color rojo y azul del producto ( $r = -0.78$ ), como entre este compuesto y el color total corregido del producto ( $r = -0.74$ ).

En el Cuadro 8 se muestra la cantidad de almidón y azúcares principales de los materiales indicados, expresado en porcentaje de materia seca.

La composición de ácidos grasos en los lípidos de patatas Loman, liofilizadas y secadas por aire a  $-1^{\circ}$  y  $5^{\circ}\text{C}$ , luego de almacenadas por 5 meses a  $5^{\circ}\text{C}$  en recipientes plásticos, se indica en el Cuadro 9.

Ninguna correlación se encontró entre el contenido de almidón, azúcares o algún ácido graso en particular del producto y alguna de sus características de calidad evaluadas.

### 5.2.4. Control microbiológico.

Durante el secado de patatas a temperaturas de  $5^{\circ}\text{C}$  o mayores, se observó la presencia de mohos y levaduras a partir del quinto día; a temperaturas menores la aparición de microorganismos tardó más tiempo, sin llegar a observarse en las patatas secadas bajo el punto de congelación del agua. Las cámaras con cloruro de sodio presentaron la mayor contaminación.

Mediante un control del ambiente en el sitio de trabajo, fue posible identificar hongos del

género Penicillium, Aspergillus, Rhizopus, Mucor y levaduras Torula. Muchos de ellos se encontraron en las patatas secas.

En el Cuadro 10 se presentan los resultados de los contajes de microorganismos realizados luego del secado de patatas en rodajas según el mecanismo estudiado.

#### **5.2.5. Pruebas de rehidratación.**

En el Gráfico 14 se indica la cantidad de agua absorbida por 100 g de rodajas de patatas secadas por aire, calculada como g agua ganada/g de materia seca.

#### **5.2.6. Evaluación biológica.**

En el Cuadro 11 se detalla el aumento en peso corporal, la ingesta de proteína y la Razón Proteínica Neta (RPN), obtenida en ratas utilizando dietas isoproteicas e isocalóricas, preparadas con patatas deshidratadas y productos elaborados a partir de ellas.

#### **5.2.7. Características organolépticas.**

Los resultados de la prueba organoléptica realizada en puré y patatas fritas, preparadas a partir de los productos obtenidos por liofilización atmosférica se indican en el Cuadro 11.

Las principales observaciones hechas en patatas fritas fueron su dureza y color oscuro; al puré, por su color oscuro.

## VI DISCUSION

### 6.1. Almacenaje.

De las curvas de enfriamiento y calentamiento indicadas en el Gráfico 2, es posible establecer que la aplicación de las ecuaciones que consideran la resistencia interna y la resistencia superficial a la transmisión de calor, como las desarrolladas en gráficos por Foust (26), ofrecen la mejor posibilidad para describir el fenómeno matemáticamente. Sin embargo, en el rango de condiciones considerado, las ecuaciones que consideran una baja resistencia interna a la transmisión de calor con respecto a la resistencia superficial (37), permiten predecir los cambios de temperatura con la suficiente exactitud como para poder utilizarlas en el diseño de instalaciones, presentando la ventaja de ser de fácil aplicación en el caso de no disponerse de gráficos o ecuaciones diferenciales desarrolladas.

En el Gráfico 3 puede observarse que las curvas de congelación de patatas enteras presentan claramente las 3 etapas definidas para el caso de alimentos y que la remoción del calor latente ocurre en un rango de  $-2.0$  a  $-3.5^{\circ}\text{C}$  (5). Considerando que durante la noche se alcanzan temperaturas menores en las zonas andinas, es necesario evitar la congelación que puede ocurrir rápidamente en productos almacenados, aproximadamente en 4 horas para patatas sin protección, debiendo preverse al almacenar patatas un buen aislamiento y sistemas de calefacción que permitan el control de temperatura para proteger el producto.

En las condiciones de temperatura y coeficientes de transmisión de calor considerados, el cálculo del tiempo de congelación utilizando la ecuación de Plank modificada, no permitió obtener resultados satisfactorios con respecto a los valores experimentales. La diferencia encontrada con lo indicado por Cleland y Earle (11), se explica por cuanto la temperatura final de congelación considerada en el presente caso es  $-5^{\circ}\text{C}$  y no  $-10^{\circ}\text{C}$  como señalan que debe hacerse; necesitándose, entonces, trabajar con ambientes a menor temperatura, los cuales se presentan en pocas oportunidades en las zonas montañosas, cuyas condiciones se intentó reproducir en el presente trabajo.

Las mejores estimaciones se lograron con la aplicación de fórmulas semiempíricas, lo que está de acuerdo con lo sugerido por Bakal y Hayakawa (5); de ellas, el procedimiento desarrollado por Mott (67) permite obtener datos para diseño con cierta exactitud. Los resultados obtenidos con la ecuación de Nagaoka y colaboradores (69) y con la ecuación de Tao (108), son semejantes a los obtenidos con la ecuación de Plank. Se anota la conveniencia de utilizar el método de diferencias numéricas finitas, como la mejor opción para predecir la historia de la curva y los tiempos de congelación (11).

De las características físicas de patatas almacenadas se desprende que temperaturas de 0°C o menores causan daños irreversibles en el producto, tornándolo inaceptable para procesos industriales, lo que está de acuerdo con lo informado por Smith (99). Temperaturas superiores a 20°C no permiten almacenajes prolongados por el desarrollo de germinación.

En el Cuadro 2 puede observarse que el efecto de los compuestos químicos en la humedad relativa del ambiente es mayor a 5° que a -15° y -5°C; sin embargo, la pérdida en peso es menor a 5°C que a las otras temperaturas consideradas. Esto puede explicarse por el rompimiento crioscópico del peridermo indicado en patatas congeladas, lo cual facilita la pérdida de agua del interior del producto y que constituye el 90o/o de la pérdida de peso total en patatas (20). En congelación, las temperaturas próximas a 0°C son las más perjudiciales al almacenar patatas; pues, además del daño físico y pérdida de humedad, hay actividad enzimática, pérdidas por respiración (99) y ataque microbiológico (82).

Los mejores resultados se obtuvieron con las muestras de patatas almacenadas a 5°C con cloruro de sodio y una variación de humedad relativa de 100 a 87o/o, la pérdida en peso fue de 2.41o/o, valor inferior al informado para la variedad Kennebec que fue de 3o/o (111); las pérdidas fueron un poco mayores en las almacenadas con cloruro de calcio e hidróxido de sodio, 2.52 y 4.22o/o respectivamente, debidas a la menor humedad relativa del ambiente, sin que se alteraran mayormente las características físicas.

En general, la menor pérdida en peso la presentaron las patatas almacenadas con cloruro de sodio, en donde se registró las mayores humedades relativas, lo que está de acuerdo con lo recomendado (111). Por esto, es posible pensar que si se almacenan patatas a temperaturas próximas a 5°C, no se requiere utilizar compuestos químicos para el control de la humedad relativa, pudiendo emplearse para ello y para otros fines una ventilación adecuada (99).

Los valores de composición química proximal de patatas frescas con cáscara, indicados en el Cuadro 3, son similares a los encontrados por INCAP (47). Debe indicarse que el contenido de sólidos es bajo; en consecuencia, el rendimiento que se obtenga al procesar patatas Loman, no será adecuado.

Luego del almacenaje el contenido de proteína cruda no cambió mayormente en ninguna de las condiciones experimentales. Los hidratos de carbono totales presentaron valores ligeramente mayores a los de patatas frescas, en las muestras almacenadas a -5° y -15°C por un efecto de concentración; a 5°C las pérdidas son mínimas, lo que está de acuerdo con lo encontrado por Treadway y colaboradores (109). El contenido de extracto etéreo no varió mayormente en ninguna de las condiciones estudiadas. El contenido de cenizas presentó valores altos en las patatas mantenidas a 26°C y condiciones ambiente, por efecto del polvo; y a 5°C, posiblemente por efecto de migración de moléculas del compuesto químico utilizado para control de humedad relativa.

La pérdida del ácido ascórbico fue mayor a 5°C, pudiendo estimarse en un 50o/o de la cantidad original y que es comparable con otros valores informados en la literatura (73); a temperaturas menores las pérdidas fueron menos pronunciadas, lo que está acorde con la tendencia indicada en trabajos que mencionan menores pérdidas a 0° y -0.6°C que a 10°C (99).

Con respecto a los principales componentes de la fracción hidrocarbonada, cuyos valores se presentan en el Cuadro 4, puede observarse que en las patatas frescas con cáscara el contenido de almidón es bajo, 68.3o/o, con respecto a la cantidad encontrada en patatas White Rose, 78.9o/o y Russet Burbank, 73.8o/o (88), lo que era de esperarse por el bajo contenido de sólidos y consecuente baja gravedad específica. El contenido de azúcares solubles totales se considera alto para fines industriales, 4.14o/o en base seca; sin embargo, la mayor cantidad lo constituyen los azúcares no reductores, predominantemente sacarosa.

Luego del almacenaje pudo apreciarse que las patatas almacenadas a 26° y 5°C perdieron almidón, alrededor de un 12o/o, valor inferior al encontrado por Smith (30o/o) en otras variedades y condiciones semejantes (99). A -5° y -15°C la variación no fue mayor, lo que se explica por la baja actividad de la amilasa y fosforilasa a temperaturas inferiores al punto de congelación del agua (2).

Según lo publicado por Schwimmer y colaboradores (88) y por otros autores como Ross (81), luego del almacenaje a 5°C se nota una acumulación de azúcares solubles totales y un notorio incremento de azúcares reductores, superior al límite de 2o/o en base seca considerado apto para procesos industriales (107). Esto último es debido a la acción de la invertasa, por la disminución observada en los azúcares no reductores, cuyo principal componente es la sacarosa. En las patatas almacenadas a -5° y -15°C, se observa una disminución general de azúcares solubles totales, azúcares reductores y azúcares no reductores, posible de explicarse por pérdidas en el agua exudada durante el almacenaje en algunos casos o al descongelarse el producto.

Las patatas Loman presentaron una coloración interior blanco-amarillenta y valores bajos expresados en unidades Lovibond; luego del almacenaje a 5°C pudo observarse ligeros cambios de color atribuido a reacciones de empardeamiento enzimático y no enzimático, lo que se refleja en un ligero incremento de los valores de color corregidos. En las patatas almacenadas a -5° y -15°C, los cambios de color fueron marcados y pueden ser atribuidos principalmente a daño y decoloración por frío y necrosis (41, 78).

En el Cuadro 5 puede observarse la elevada contaminación de las patatas frescas, con valores que alcanzan 20 millones de microorganismos/g; luego del lavado, disminuyó considerablemente, siendo recomendable su utilización antes del almacenaje. Luego del almacenaje, en las patatas almacenadas a 5°C los recuentos se mantuvieron bajos pues se mantuvo la integridad del producto; en las patatas que sufrieron congelación, los recuentos hechos al descongelarse

presentaron valores altos pues el daño físico y decaimiento sufrido por las patatas favorecen el desarrollo de los microorganismos presentes. La población predominante fue bacterias aeróbicas, las cuales constituyen alrededor de 97o/o de la población total, lo que está de acuerdo con lo encontrado en patatas por Vaughn (112).

## 6.2. Secado.

Para facilitar la discusión, en todas las curvas de secado se considerará como punto de referencia el tiempo necesario para que el producto alcance un contenido de humedad de 0.2 g agua/g materia seca, valor en el cual las curvas se vuelven asintóticas con respecto al tiempo, iniciándose un tercer período con velocidad decayente y caracterizado por la extremada lentitud en la pérdida de humedad.

El equipo utilizado puede ser considerado como un secador de bandejas de funcionamiento estacionario, basado en convección (71). En el caso de trabajar con el producto congelado a presión atmosférica, se presenta el caso de liofilización atmosférica (36).

Las curvas presentaron una corta etapa de secado a velocidad constante; una segunda etapa de velocidad variable, caracterizada por un aumento en la velocidad de secado debido a la acción del compuesto químico, que provoca una notoria disminución de la humedad relativa del ambiente; y una tercera, de velocidad decayente con muy lenta velocidad de secado. Las tres etapas han sido establecidas en alimentos ricos en almidón (15); sin embargo, la segunda etapa en el presente caso se caracterizó por un incremento en la velocidad de secado, en lugar en una disminución como se ha informado (8). En todos los casos el tiempo de secado es extenso.

Con todos los compuestos químicos pudo observarse que a mayor temperatura el tiempo de secado hasta el punto considerado es menor. En el caso en que se utilizó hidróxido de sodio (Gráfico 4) a 13°C el tiempo fue de 8.6 días, a 10°C de 12.4 días y a -1°C de 27.2 días. Con cloruro de calcio (Gráfico 5) a 17°C el tiempo de secado fue 9.8 días, a 5°C de 17.0 días y a -2°C fue de 23.2 días. Con cloruro de sodio cuyo efecto es mínimo en el secado (Gráfico 6) a 12°C el tiempo de secado fue de 25.0 días, a 7°C fue de 28 días y a 5°C superior a 30 días.

Se pudo notar que la humedad relativa del ambiente disminuye más rápidamente y alcanza valores bajos a mayor temperatura, según lo informado en la literatura (85), con todos los compuestos químicos utilizados se necesitó tiempos extensos para alcanzar en el ambiente valores de humedad relativa en equilibrio, próximos a los publicados por Stokes y Robinson (103).

El efecto del ambiente, por la apertura de llaves, en la velocidad de secado de rodajas de patatas y que se observa en el Gráfico 7, es marcado en la primera etapa del secado disminuyendo



el tiempo en 2 días; luego, las curvas corren paralelas hasta el punto considerado.

En el Gráfico 8 puede notarse que cuando se trabajó con patatas cortadas en cubos, la curva obtenida presentó las mismas características que las reportadas en la literatura, con una segunda etapa en la que disminuye la velocidad; sin embargo, el tiempo fue más extenso que cuando se trabajó en las mismas condiciones con patatas en rodajas. Lo anterior puede explicarse por la mayor distancia entre la superficie y el frente de secado, pues en el caso de los cubos la distancia de una de sus caras al centro fue de 0.5 cm y en rodajas la mitad del espesor fue de 0.15 cm; además, el área superficial en contacto con el aire fue de  $6 \text{ cm}^2$  en cubos y en rodajas de  $40 \text{ cm}^2$ .

Las patatas cortadas en cubos disminuyeron notoriamente de volumen durante la liofilización atmosférica; mientras que en el caso de rodajas se mantuvo la forma y el tamaño con muy poca variación. Dependiendo del uso que se desea dar al producto, puede pensarse en cubos más pequeños o en otras formas que permitan lograr una mayor área superficial, con el objeto de obtener menores tiempos de secado.

En el Gráfico 9 se observa que la disminución de la carga total redujo considerablemente el tiempo de secado de patatas en rodajas, prácticamente a la mitad, lo que se explica por la menor cantidad de agua removida. Se logra disminuir la humedad hasta el punto considerado en 12 días, a pesar de haberse trabajado con cloruro de sodio. La relación volumen de cámara-carga de patatas es un aspecto que debe ser considerado en el diseño de cámaras de secado.

Algo semejante puede observarse en el Gráfico 10, en donde la menor densidad de carga de patatas en cubos y en consecuencia la menor carga total disminuye el tiempo de secado. El efecto en el caso de cubos fue menor que en rodajas.

En el Gráfico 11 puede observarse el efecto de la mayor agitación de aire interior de las cámaras con motores de mayor potencia y de velocidad regulable; la disminución del tiempo de secado a mayor agitación fue más acentuada en la etapa de secado variable de la curva con patatas en rodajas, existiendo una diferencia de 6 días con respecto a la curva obtenida a 1,100 rpm, en el punto considerado. Debe indicarse que el incremento en la velocidad de agitación fue bajo, de 300 rpm y que se trabajó a  $-7^{\circ}\text{C}$ , temperatura en que se dificulta el proceso de liofilización (52). Puede pensarse, entonces, que se obtendrán mejores resultados con tiempos de secado menores, si se trabaja a temperaturas próximas al punto de congelación del agua en liofilización atmosférica o en el secado convencional por aire a temperaturas bajas, con mayor agitación interior en las cámaras.

Según lo indicado en el Gráfico 12, es posible aplicar el procedimiento indicado por Charm (15) y la ecuación de Marshall y Friedman (75), para predecir con bastante exactitud la pérdida de humedad con respecto al tiempo en el secado de hojuelas de patatas a temperaturas superiores al punto de congelación del agua, predominantes en las zonas montañosas. Del análisis

El cambio en el contenido de proteína cruda, extracto etéreo, cenizas e hidratos de carbono totales fue mínimo después del secado; en contraste, la pérdida de ácido ascórbico fue marcada en las rodajas secadas por aire. Las muestras liofilizadas sufrieron una menor pérdida de la vitamina presentando valores más altos que los encontrados en productos de patatas deshidratada (68). La correlación negativa establecida entre ácido ascórbico y color se explica por cuanto las reacciones de oxidación de la vitamina, es una de las causas que contribuyen al empardeamiento (55).

En el Cuadro 8 puede observarse la pérdida de almidón en las rodajas de patatas deshidratadas que llega a ser de 22o/o con respecto al contenido original, así como la disminución de azúcares solubles totales, azúcares reductores y azúcares no reductores, que puede ser atribuido a pérdidas durante el proceso de preparación de la materia prima, en especial durante el pelado (1), blanqueado y sulfitado. La disminución de azúcares puede considerarse como favorable, pues se reduce el riesgo de empardeamiento no enzimático (17, 39, 77, 90), en la elaboración de productos cocidos o fritos.

Con respecto al contenido de ácidos grasos en patatas Loman indicado en el Cuadro 9, en el caso de patatas liofilizadas es semejante al informado en la literatura para otras variedades, notándose un menor contenido de ácido linolénico y un mayor contenido de ácido linoleico, con respecto a los valores encontrados por Mondy y colaboradores (64). La cantidad de ácidos insaturados alcanzó 67.07o/o, valor muy próximo al rango informado de 70 a 76o/o (27). Después del almacenaje pudo observarse una disminución del contenido de ácidos insaturados; se notó además que la desaparición de ácidos linolénico, expresado como porcentaje de los ácidos grasos considerados, fue semejante a la pérdida de ácido linoleico, con la consiguiente disminución de la razón de insaturación, que se explica por reacciones de oxidación (9).

El principal problema observado durante el secado fue la contaminación microbiológica proveniente del medio ambiente, comprobado mediante pruebas en el lugar de trabajo. En el Cuadro 10 se indican los recuentos que se obtuvieron en las diferentes condiciones; las patatas secadas con cloruro de sodio presentaron los valores más altos, llegando a ser del orden de  $21 \times 10^6$  microorganismos/g; como era de esperarse, las patatas liofilizadas a presión atmosférica presentaron los recuentos más bajos, del orden de  $2 \times 10^3$  microorganismos/g, lo que está en el rango adecuado para productos deshidratados (112). Se desprende entonces la necesidad de un estricto control microbiológico del ambiente en el que se piense aplicar este mecanismo de secado, en especial si se trabaja a temperaturas superiores a 5°C.

En el Gráfico 14 puede observarse en las curvas de rehidratación que las rodajas de patatas secadas por liofilización atmosférica presentaron los valores más altos de absorción de agua, superiores a los de patatas secadas por otros métodos (93), los cuales son semejantes a los encontrados con las rodajas secadas con hidróxido de sodio y cloruro de calcio en el rango de 5°C.

a 10°C. Por el daño físico mencionado anteriormente y la extremada dureza que presentaron las rodajas de patatas secadas con cloruro de sodio, la capacidad de absorción de agua fue completamente baja. Debe mencionarse que las patatas liofilizadas pueden ser utilizadas en la preparación de patatas cocidas o enlatadas y no para patatas fritas, pues su elevada capacidad de absorción de aceite resulta contraproducente desde el punto de vista económico, pudiendo emplearse con mejores resultados patatas secadas por aire.

En el Cuadro 11 puede notarse que el aumento en peso de las ratas y la ingesta de proteína fue superior en el caso de la dieta de caseína con 10o/o de proteína, con respecto a las otras dietas con un nivel de 5o/o de proteína. El análisis de varianza de los valores de Razón Proteínica Neta (RPN) demostró que existían diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes dietas ( $F = 3.36$ ;  $P \leq 0.01$ ). Al efectuarse la prueba de rango múltiple entre promedios descrita por Duncan, pudo establecerse que existe una diferencia significativa entre las dietas control de caseína al 5 y 10o/o, con una mejor utilización de la proteína a una menor concentración, lo que está de acuerdo con lo encontrado por varios autores, pero que impide hacer comparaciones con valores indicados en la literatura obtenidos con dietas que contenían 10o/o de proteína.

No se establecieron diferencias significativas entre la dieta control de caseína al 5o/o, patatas liofilizadas y patatas secadas por aire, lo que permite comprobar el alto valor nutritivo de la proteína de patata (97); además, permite establecer que el mecanismo de secado estudiado no tiene un efecto adverso sobre la proteína de la patata. Cuando las patatas fueron cocidas o fritas, el valor de RPN disminuyó significativamente con respecto a las patatas deshidratadas, indicando que éstos procesos tienen un efecto detrimental sobre la proteína; las patatas fritas presentaron los valores más bajos, 4.10 y 3.01 con respecto a 4.59 de la dieta control de caseína; la disminución se explica por el efecto de la temperatura y pérdida de amino ácidos (50). La caída no es tan dramática posiblemente debido a que la lisina se encuentra en cantidades altas y es el principal amino ácido que se destruye, pero en todo caso se mantiene en niveles aceptables, mientras que los amino ácidos limitantes, metionina e isoleucina, son destruidos en menor proporción (50).

En el Cuadro 12 se puede observar que el puntaje promedio según el grado de aceptación en la escala hedónica, es ligeramente mayor en el puré de patatas que en las patatas fritas. En éstas la dureza fue la característica más perjudicial, problema que no se evidencia en el puré por la molienda realizada para obtener la harina de patata; la dureza puede ser atribuida a la acción del cloruro de calcio y puede ser evitada disminuyendo la concentración del compuesto en la solución de sulfitado o disminuyendo el grosor de las rodajas, en cuyo caso además se reduciría el tiempo de secado. El cambio de color debido a empardeamiento no enzimático puede disminuirse con un control más riguroso de la temperatura del aceite y el tiempo de fritura (100). En el puré de patatas, el oscurecimiento señalado por las personas que participaron en la prueba

se desarrolló durante el almacenaje de las rodajas de patatas deshidratadas y se atribuye a reacciones de empardeamiento de tipo no enzimático. Esto puede evitarse mediante un mejor control del sulfitado y el uso de pirofosfato ácido de sodio como una de las alternativas (97).

## VII CONCLUSIONES

Por lo expuesto anteriormente es posible llegar a las siguientes conclusiones:

- 1.- Conforme a lo establecido en otros países, es posible utilizar el frío natural de las zonas montañosas para el almacenaje de patatas y de otros alimentos, pues se dispone de materiales de construcción adecuados que permiten evitar la alta humedad prevalente y el ataque de insectos y roedores. Es necesario considerar la instalación de un mecanismo de intercambio de calor para prevenir la congelación. La humedad relativa puede ser controlada con sistemas adecuados de ventilación, sin necesidad de recurrir al uso de compuestos químicos.
- 2.- Las patatas de la variedad Loman no demostraron características óptimas para procesarlas, pues son atacadas por enfermedades, presentan una baja cantidad de materia seca y un alto contenido de azúcares. El almacenaje a 5°C previo lavado permitió conservarlas por 6 meses sin que se operaran mayores cambios en sus propiedades, exceptuándose la pérdida de ácido ascórbico. Antes de procesarlas o consumirlas luego del almacenaje, es conveniente un nuevo período de reacondicionamiento para regular el contenido de azúcares reductores acumulados.
- 3.- La principal limitante del mecanismo de secado estudiado es lo extenso del período de tiempo requerido para lograr niveles de humedad que aseguren una buena estabilidad del producto. Según las pruebas realizadas, la forma de rodajas parece ser la más adecuada. Para disminuir el tiempo de secado las mejores alternativas serían: disminuir el espesor de las rodajas, trabajar con compuestos químicos de elevada capacidad de absorción de agua que no sean perjudiciales para el humano, incrementar la agitación del aire en el interior de las cámaras y contemplar en el diseño una máxima superficie expuesta de compuesto secante que posibilite el trabajo sin mayor sacrificio de la carga total, reduciendo el espacio libre interior.
- 4.- Considerando el alto valor nutritivo, exceptuando la pérdida de ácido ascórbico, que conservan las patatas secadas por aire a temperaturas bajas, puede pensarse en su utilización a nivel casero en las zonas montañosas para la preservación de éste y otros alimentos, pues los materiales utilizados son comunes y de bajo costo. El compuesto químico puede ser regenerado y vuelto a utilizar repetidamente y la agitación puede ser suministrada mediante viento.
- 5.- La liofilización atmosférica se presenta como una buena posibilidad para deshidratar alimentos en las zonas montañosas; permite mantener prácticamente inalteradas las

características y propiedades del producto sin mayor costo, abriéndose la posibilidad de su implementación a nivel industrial, en especial si se utiliza corrientes de aire previamente secado o se optimiza el mecanismo estudiado.

## VIII SUMARIO

Se realizaron ensayos de almacenaje de patatas Loman a  $5^{\circ}$ ,  $-5^{\circ}$  y  $-15^{\circ}\text{C}$ , en recipientes cerrados de asbesto-cemento, utilizando hidróxido de sodio, cloruro de calcio y cloruro de sodio para el control de la humedad relativa.

Las patatas tuvieron un período de recuperación y otro de acondicionamiento, luego fueron lavadas, seleccionadas y almacenadas por 6 meses.

Las muestras almacenadas a temperaturas por debajo del punto de congelación del agua sufrieron daños físicos irreversibles, pérdida de peso y ataque de microorganismos, acentuados al descongelarse. Los mejores resultados se obtuvieron con las muestras almacenadas a  $5^{\circ}\text{C}$  con humedades relativas del orden de 94o/o, las cuales mantuvieron sus características naturales y no fueron atacadas por microorganismos. Sin embargo, se detectó una pérdida de ácido ascórbico y almidón y acumulación de azúcares solubles totales y azúcares reductores, por lo que se recomienda un nuevo período de reacondicionamiento antes de su uso.

De las pruebas de intercambio de calor en patatas enteras, pudo establecerse que las ecuaciones que consideran la resistencia interna y la resistencia superficial a la transmisión de calor, presentan la mejor posibilidad de describir el fenómeno. Puede también emplearse las ecuaciones que consideran una baja resistencia interna a la transmisión de calor con respecto a la resistencia superficial, sin introducir un mayor error, en el rango de condiciones establecido en base a las condiciones naturales prevalentes en las zonas montañosas. La congelación de patatas ocurrió en tiempos relativamente cortos; las mejores estimaciones del tiempo de congelación hasta  $-5^{\circ}\text{C}$ , se logró aplicando el procedimiento indicado por Mott.

También se estudió un mecanismo de secado por aire en cámaras cerradas, provistas de agitación interna y utilizando hidróxido de sodio, cloruro de calcio y cloruro de sodio para disminuir la humedad relativa del ambiente por la capacidad higroscópica de estas sales. Se trabajó a diversas temperaturas superiores al punto de congelación del agua en un rango de  $1^{\circ}$  a  $17^{\circ}\text{C}$ , en cuyo caso se obtuvo un secado por aire, y a temperaturas inferiores al punto de congelación del agua en un rango de  $-1^{\circ}$  a  $-7^{\circ}\text{C}$ , en cuyo caso se obtuvo un secado por liofilización atmosférica.

Previo al secado las patatas fueron acondicionadas a dos temperaturas, lavadas, seleccionadas, peladas con una solución concentrada de hidróxido de sodio caliente, cortadas, blanqueadas con vapor vivo a  $100^{\circ}\text{C}$  por 3 minutos y sulfitadas en una solución de disulfito de sodio y cloruro de calcio al 0.5o/o.

En la mayoría de las pruebas de secado se utilizó rodajas de 3 mm de espesor, una carga total de 8.85 Kg y una densidad de carga de 7.34 Kg/m<sup>2</sup>. Los motores para agitación del aire interior trabajaron en forma continua a 800 rpm. Otras pruebas se realizaron cambiando la forma de corte, la carga total, la densidad de carga y una mayor agitación interna.

Las curvas de secado presentaron tres etapas; una etapa de secado a velocidad constante, la segunda de secado a velocidad variable caracterizada por un incremento en la velocidad de secado y una tercera decayente con una muy lenta velocidad de remoción de humedad. El secado en las condiciones estudiadas parece ser practicable hasta el final de la segunda etapa sin mayor prolongación de tiempo. Cuando se trabajó a temperaturas mayores, el tiempo de secado fue menor en todos los casos; sin embargo, todavía era bastante extenso.

Trabajando con cubos de 1 cm de lado no fue posible disminuir el tiempo de secado con respecto al determinado trabajando con rodajas en las mismas condiciones; sin embargo, con pedazos más pequeños por el incremento del área total, parece posible lograr el secado en menor tiempo. Las patatas en cubos sufrieron deformación y pérdida de volumen a pesar de ser secadas por liofilización atmosférica, lo que no ocurre con patatas en rodajas.

La disminución de la carga total y la densidad de carga redujo considerablemente el tiempo de secado, sugiriendo la necesidad de mejorar el diseño de las cámaras de secado.

Se observó que una mayor agitación del aire interior favorece el secado, debido posiblemente al incremento del coeficiente de transferencia de masa.

Para el caso de secado por aire, la aplicación del procedimiento indicado por Charm en el período de secado constante y de la ecuación de Marshall y Friedman en el período de secado variable, permitió predecir con bastante exactitud el proceso de secado. Del análisis de los valores de difusibilidad se estableció que las características del compuesto químico y su capacidad de absorción de agua, influyen considerablemente en el mecanismo de secado.

Para el caso de liofilización atmosférica, el procedimiento de cálculo indicado por Charm, permitió la mejor predicción matemática del proceso de secado.

Los mayores daños físicos se produjeron en las patatas secadas con cloruro de sodio, el cual no debe ser utilizado como agente higroscópico; en el secado por aire con el uso de hidróxido de sodio y cloruro de calcio, pudo apreciarse cambios en color, tamaño y forma.

De las propiedades químicas analizadas en rodajas deshidratadas, merece destacarse la pérdida de ácido ascórbico, la pérdida de almidón y la disminución del contenido de azúcares observado en todos los casos estudiados. Se informa la composición de ácidos grasos en patatas



Loman y los cambios que sufren durante el almacenaje, en especial la disminución de los ácidos linolénico y linoleico por oxidación. Se estableció una correlación negativa, estadísticamente significativa, entre el contenido de ácido ascórbico y la intensidad del color.

El recuento e identificación de algunos géneros de microorganismos permitió establecer la necesidad de trabajos en ambientes de baja contaminación, pues lo extenso del secado posibilita el desarrollo de los mismos.

Las patatas secadas por liofilización atmosférica presentaron las mejores características de rehidratación confirmándose la bondad del método.

Se realizaron pruebas biológicas de Razón Proteínica Neta (RPN) en ratas, con dietas preparadas a un nivel del 50/o de proteína y 4.17 Kcal/g de dieta, a partir de patatas deshidratadas y productos elaborados a partir de ellas. Pudo comprobarse el alto valor nutritivo de la proteína de patata y que la cocción y la fritura tiene un efecto adverso sobre ella; además, el secado por aire en las condiciones estudiadas permite mantener el alto valor nutritivo.

Con las patatas deshidratadas se elaboró puré y patatas fritas, realizándose una prueba de diferencia que permitió establecer la aceptación de los productos; se indican posibles medidas a tomarse para evitar la dureza y el cambio de color observados en los productos elaborados.

## IX BIBLIOGRAFIA

- 1 Adams, H. W.; F. D. Hickey y M. J. Willard Jr. "Lye-pressure steam peeling of potatoes and other products". *Food Tech.*, 14: 1-3. 1960.
- 2 Arreguin-Lozano, B. y J. Bonner. "Experiments on sucrose formation by potato tubers as influenced by temperature". *Plant Physiol.*, 24:720-726. 1949.
- 3 Association of Official Analytical Chemist, Washington, D.C. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist*. 12th ed. Washington, D.C., 1975. 1004 p.
- 4 Augustin, J. "Variations in the nutritional composition of fresh potatoes". *J. Food Sci.*, 40:1295-1299. 1975.
- 5 Bakal, A. y K. I. Hayakawa. "Heat transfer during freezing and thawing of foods". *Adv. Food Res.*, 20:217-256. 1973.
- 6 Bartolomé, G. Linda y J. E. Hoff. "Firming of potatoes: Biochemical effects of preheating". *J. Agr. Food Chem.*, 20:266-270. 1972.
- 7 Berg, A. *The nutrition factor*. Washington, D.C., The Brookings Institution, 1973. p. 70.
8. Brooker, D. B.; F. W. Bakker-Arkema y C. W. Hall. *Drying cereal grains*. 2nd ed. Westport, Conn.; The Avi Publishing Co., 1975. pp. 185-221.
- 9 Buttery, R. G.; C. E. Hendel y M. M. Boggs. "Autoxidation in potato granules. Part I. Changes in fatty acids". *J. Agr. Food Chem.*, 9:245-248. 1961.
- 10 \_\_\_\_\_; R. M. Siefert y L. C. Ling. "Characterization of some volatile potato componentes". *J. Agr. Food Chem.*, 18:538-539. 1970.
- 11 Cleland, A. C. y R. L. Earle. "A comparison of analytical and numerical methods of predicting the freezing times of foods". *J. Food Sci.*, 42:1390-1395. 1977.
- 12 Cooper, D. C.; G. W. Stokes y G. H. Rieman. "Periderm development of the potato tuber and its relation to scab resistance". *Am. Potato J.*, 31:58-66. 1954.
- 13 Copley, J. M. y W. B. Van Arsdel. *Food dehydration: Products and technology*. Westport,

Conn., The Avi Publishing Co., 1964. v. 2. pp. 303-398.

- 14 Chang, Y. y E. E. Avery. "Nutritive value of potato vs. rice protein". *J. Am. Dietetic Ass., Assoc.*, 68:501-500. 1969.
- 15 Charm, S. W. *The fundamentals of food engineering*. 2nd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1971. 629 p.
- 16 Chick, H. y E. B. Slack. "Distribution and nutritive value of the nitrogenous substances in the potato". *Biochemical J.*, 45:211-221. 1949.
- 17 Danehy, J. P. y W. W. Pigman. "Reactions between sugars and nitrogenous compounds and their relationship to certain food problems". *Adv. Food Res.*, 3:241-290. 1951.
- 18 D'Mello, J. P. F.; C. T. Whittemore y F. W. H. Elsley. "The influence of processing upon the nutritive value of the potato". *J. Sci. Food Agr.*, 24:533-537. 1973.
- 19 Dubois, M.; K. A. Guilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers y F. Smith. "Colorimetric method for determination of sugars and related substances". *Analytical Chem.*, 28:350-356. 1956.
- 20 Edgar, A. D. "Storage of potatoes". En: Smith, O. ed. *Potatoes: Production, storing, processing*. 2nd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp 344-358.
- 21 Food and Agriculture Organization of the United Nations y World Health Organization. *Protein requeriments*. Geneva, 1957. 52 p. (FAO, Nutritional studies No. 16).
- 22 ———. *Production yearbook*. Rome, 1975. p. 80.
- 23 Farrall, A. W. *Food engineering systems*. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1976. v. 1. p. 403.
- 24 Fennema, O. y W. D. Powrie. "Fundamentals of low temperature food preservation". *Adv. Food Res.*, 13:219-347. 1964.
- 25 Fonseca, H. A. "Need for improved technology in processing feeds in Latin America". En: *Effect of processing on the nutritional value of feeds*. Proceedings of a Symposium in Gainesville, Florida, 1972. Washington, D. C., National Academy of Sciences, 1973. pp. 478-491.

- 26 Foust, A. S.; L. A. Wenzel, C. W. Clump, L. Mans y L. B. Anderson. *Principles of unit operations*. New York, John Wiley & Sons, 1960.
- 27 Galliard, T. "Lipids of potato tubers. I. Lipid and fatty acid composition of tubers from different varieties of potato". *J. Sci. Food Agr.*, 24:617-622. 1973.
- 28 \_\_\_\_\_ y J. A. Matthew. "Lipids of potato tubers. II. Lipid-degrading enzymes in different varieties of potato tubers". *J. Sci. Food Agr.*, 24:623-627. 1973.
- 29 Guadagni, D.; R. Buttery y S. Okano. "Odour thresholds of some organic compounds associated with food flavours". *J. Sci. Food Agr.*, 14:761-765. 1963.
- 30 Guthrie, J. W. "The early, dwarf symptoms of bacterial ring rot of potato in Idaho". *Phytopathology*, 49:453-454. 1959.
- 31 Habib, A. T. y H. D. Brown. "Factors influencing the color of potato chips". *Food Tech.*, 10:332-335. 1956.
- 32 \_\_\_\_\_ "Role of reducing sugars and amino acids in the browning of potato chips". *Food Tech.*, 11:85-89. 1957.
- 33 Harris, L. E. y E. W. Crampton. "NRC names for feed processes and their use in evaluating the nutrient content of feeds". En: *Effect of processing on the nutritional value of feeds*. Proceedings of a Symposium in Gainesville, Florida, 1972. Washington, D. C., National Academy of Sciences, 1973. pp. 1-22.
- 34 Harrison, M. D.; C. H. Livingston y N. Oshima. "Epidemiology of potato early blight in Colorado. I. Initial infection, disease development and the influence of environmental factors". *Am. Potato J.*, 42:279-291. 1965.
- 35 Hegsted, D. M.; R. C. Mills, C. A. Elvehjem y E. B. Hart. "Choline in the nutrition of chicks". *J. Biol. Chem.*, 138:459-466. 1941.
- 36 Heldman, D. R. y G. A. Hohner. "An analysis of atmospheric freeze drying". *J. Food Sci.*, 39:147-155. 1974.
- 37 Heldman, D. R. *Food process engineering*. 2nd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1977. 401 p.
- 38 Hendel, C. E.; H. K. Burr y M. M. Boggs. "Non-enzymatic browning and sulfite flavor in

dehydrated white potato. Effects of sulfite level and methods of sulfite applications". *Food Tech.*, 9:627-629. 1955.

- 39 Hodge, J. "Chemistry of browning reactions in model systems". *J. Agr. Food Chem.*, 1:928-943. 1953.
- 40 Hoff, J. E. y M. D. Castro. "Chemical composition of potato cell wall". *J. Agr. Food Chem.*, 17:1328-1331. 1969.
- 41 Hooker, W. J. "Tuber diseases". En: Talburt, W. F. y O. Smith. eds. *Potato processing*. 3rd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 127-156.
- 42 Hsieh, R. C.; L. E. Lerew y D. R. Heldman. "Prediction of freezing times for foods as influenced by product properties". *J. Food Process Eng.*, 1:183-197. 1977.
- 43 Hughes, J. C. y T. Swain. "After-cooking blackening in potatoes. I. Introduction and analytical methods". *J. Sci. Food Agric.*, 13:224-229. 1962.
- 44 ————. "After-cooking blackening in potatoes. II. Core experiments". *J. Sci. Food Agric.*, 13:229-236. 1962.
- 45 ————. "After-cooking blackening in potatoes. III. Examination of the interaction of factors by in vitro experiments". *J. Sci. Food Agric.*, 13:358-363. 1962.
- 46 Hyre, R. A. "Three methods of forecasting late blight of potato and tomato in northeastern United States". *Am. Potato J.*, 32:362-371. 1955.
- 47 Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. *Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina*. Guatemala, INCAP-ICNND, 1961. p. 36.
- 48 ————. *Evaluación nutricional de la población de Centro América y Panamá: Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Honduras y Panamá*. [Editado por el ] INCAP, Oficina de Investigaciones Internacionales de los Institutos Nacionales de Estados Unidos [y los Ministerios de Salud Pública de Centro América y Panamá] Guatemala, 1969. 6 v.
- 49 Jadhav, S. J. y D. K. Salunkhe. "Formation and control of chlorophyll and glycoalkaloids in tubers of *Solanum tuberosum* L. and evaluation of glycoalkaloid toxicity". *Adv. Food Res.*, 21:307-354. 1975.

- 50 Jaswal, A. S. "Effects of various processing methods on free and bound amino acid contents of potatoes". *Am. Potato J.*, 50:86-95. 1973.
- 51 Kaldy, M. S. y P. Markakis. "Amino acid composition of selected potato varieties". *J. Food Sci.*, 37:375-377. 1972.
- 52 King, C. J. *Freeze drying of foods*. Cleveland, Ohio, CRC Press, 1971. pp. 21-25.
- 53 ————. "Heat and mass transfer fundamentals applied to food engineering". *J. Food Process Eng.*, 1:3-14. 1977.
- 54 Kueneman, R. W. "Dehydrated diced potatoes". En: Talburt, W. F. y O. Smith. 3rd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 513-545.
- 55 Kyle, W. S. A. "Discolouration of potatoes and potato products". *Proceedings of IFST.*, 9:93-98. 1976.
- 56 Lewin, L. M. y R. I. Mateles. "Freeze drying without vacuum: Preliminary investigation". *Food Tech.*, 16:94-96. 1962.
- 57 Manna, L. y S. M. Hauge. "A possible relationship of vitamin B<sub>13</sub> to orotic acid". *J. Biol. Chem.*, 202:91-96. 1953.
- 58 Mapson, L. W. y H. G. Wager. "Preservation of peeled potato. I. Use of sulphite and its effect on the thiamine content". *J. Sci. Food Agr.*, 12:43-49. 1961.
- 59 ————; T. Swain y A. W. Tomalin. "Influence of variety, cultural conditions and temperature of storage on enzymic browning of potato tubers". *J. Sci. Food Agr.*, 14:673-684. 1963.
- 60 McCready, R. y W. Hassid. "Separation and quantitative estimation of amylose and amylopectin in potato starch". *J. Am. Chem. Soc.*, 65:1154-1157. 1947.
- 61 Meryman, H. T. "Mechanics of freezing in living cells and tissues". *Science*, 124:515-521. 1956.
- 62 ————. "Sublimation freeze-drying without vacuum". *Science*, 130:628-629. 1959.
- 63 Metcalfe, L. D. y A. A. Schmitz. "The rapid preparation of fatty acid esters for gas chromatographic analysis". *Analytical Chem.*, 33:363-364. 1961.

- 64 Mondy, N. I.; L. R. Mattick y E. Owens. "The effect of storage on the total lipids and the fatty acid composition of potatoes". *J. Agr. Food Chem.*, 11:328-329. 1963.
- 65 \_\_\_\_\_ y T. O. Mueller. "Potato discoloration in relation to anatomy and lipid composition". *J. Food Sci.*, 42:14-18. 1977.
- 66 Montes Umaña, R. "Disponibilidad actual y necesidades futuras de proteínas y de alimentos en América Latina". En: Conferencia [ sobre ] Recursos Proteínicos en América Latina. INCAP, Guatemala, 24-27 de Febrero de 1970. *Recursos Proteínicos en América Latina*. Memoria de una conferencia de nivel latinoamericano. [ Guatemala, INCAP, 1971 ] pp. 110-140. (Publicación INCAP L-1).
- 67 Mott, L. F. "The prediction of product freezing time". *Aust. Refrig. Air Cond. Heat*, 18:16. 1964. Citado por: Bakal, A. y K. I. Hayakawa. "Heat transfer during freezing and thawing of foods". *Adv. Food Res.*, 20:217-256. 1973.
- 68 Myers, W. Patricia y G. H. Roehm. "Ascorbic acid in dehydrated potatoes". *J. Am. Dietet. Assoc.*, 42:325-327. 1963.
- 69 Nagaoka, J.; S. Takagi y S. Hotani. "Experiments on the freezing of fish in an air-blast freezer". En: *International Congress Refrigeration*. 9th. París, France, 1955. *Proceedings*. Citado por: Bakal, A. y K. I. Hayakawa. "Heat transfer during freezing and thawing of foods". *Adv. Food Res.*, 20:217-256 1973.
- 70 Neuberger, A. y F. Sanger. "Nitrogen of the potato". *Biochemical J.*, 36:662-669. 1942.
- 71 Nonhebel, M. A. y A. A. H. Moss. *Drying of solids in the chemical industry*. London, Butterworths, 1971. pp. 7-50.
- 72 Paez, L. E. y H. O. Hultin. "Respiration of potato mitochondria and whole tuber and relation to sugar accumulation". *J. Food Sci.*, 35:46-51 1970.
- 73 Panalaks, T. y O. Pelletier. "The effect of storage on ascorbic acid content of gamma radiated potatoes". *Food Res.*, 25:33-36. 1960.
- 74 Peare, R. y N. R. Thompson. "The nutritional quality of a potato flour concentrate". *Annual Meeting of the Potato Association of América*. 1973. Citado por: McCay, C. M.; y O. Smith. "The nutritive value of potatoes". En: Talburt, W. F. y O. Smith. eds. *Potato processing*. 3rd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 235-273.

- 75 Perry, R. H. y C. H. Chilton. *Chemical engineers handbook*. 5th ed. Japón, McGraw-Hill Kogakusha, 1973. p. 20-11.
- 76 Posternak, T. "On the phosphorous of potato starch". *J. Biol. Chem.*, 188:317-325. 1951.
- 77 Reynolds, T. M. "Chemistry of nonenzymic browning [ part ] II" *Adv. Food Res.*, 14:167-283. 1965.
- 78 Rich, A. E. "Potato diseases". En: Smith O. Ed. *Potatoes: Production, storing, processing*. 2nd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 397-437.
- 79 Robinson, D. B. y G. W. Ayers. "The control of verticillium wilt of potatoes by seed treatment". *Can. J. Agr. Sci.* 33:147-152. 1953.
- 80 Roe, J. H. y J. J. Oesterling. "The determination of dehydroascorbic acid and ascorbic acid in plant tissues by the 2-4-dinitrophenylhydrazine method". *J. Biol. Chem.*, 152:511-517. 1944.
- 81 Ross, A. F. "Deterioration of processed potatoes". *Adv. Food Res.*, 1:257-290. 1948.
- 82 Rudd Jones, D. y W. J. Dawson. "On the bacteria responsible for soft rot in stored potatoes, and the reaction of the tuber to invasion by *Bacterium carotovorum* (Jones) Lehman and Newman". *Ann. Appl. Biol.*, 37:563-569. 1950.
- 83 Samotus, B. y S. Schwimmer. "Predominance of fructose acumulation in cold-stored immature potato tubers". *J. Food Sci.*, 27:1-4. 1962.
- 84 Saravacos, G. D. y S. E. Charm. "A study of the mecanism of fruit and vegetable dehydration". *Food Tech.*, 16:78-81. 1962.
- 85 Scott, W. J. "Water relations of food spoilage microorganism". *Adv. Food Res.*, 7:83-127. 1957.
- 86 Schmidt, F. W.; Y. S. Chen, M. Kirby-Smith y J. H. MacNeil. "Low temperature air drying of carrot cubes". *J. Food Sci.*, 42:1294-1298. 1977.
- 87 Schwartz, J. H.; R. B. Greenspun y W. L. Porter. "Chemical composition of potatoes. II. Relation of organic acid concentrations to specific gravity and storage time". *Food Tech.*, 15:364-366. 1961.



- 88 Schwimmer, S.; A. Bevenue, W. Weston y A. Potter. "Survey of major and minor sugars and starch components of the white potato". *J. Agr. Food Chem.*, 2:1284-1290. 1954.
- 89 \_\_\_\_\_; A. Bevenue y W. Weston. "Phosphorus components of the white potato". *J. Agr. Food Chem.*, 3:257-260. 1955.
- 90 Shallenberger, R. S.; O. Smith y R. H. Treadway. "Role of the sugars in the browning reaction in potato chips". *J. Agr. Food Chem.*, 7:274-277. 1959.
- 91 Simon, M.; J. R. Wagner, V. G. Silveira y C. E. Hendel. "Influence of piece size on production and quality of dehydrated Irish potatoes". *Food Tech.*, 7:423-428. 1953.
- 92 \_\_\_\_\_; J. R. Wagner, V. G. Silveira y C. E. Hendel. "Calcium chloride as a non-enzymatic browning retardant for dehydrated white potatoes". *Food Tech.*, 9:271-275. 1955.
- 93 Simpson, Jean I.; Irene C. L. Chang, Evelyn C. Appel y M. C. Bollman. "Water absorption during reconstitution of dehydrated fruits and vegetables". *Food Tech.*, 9:608-612. 1955.
- 94 Sinnamon, H. I.; M. Komanowsky y W. K. Heiland. "An experimental apparatus for drying particulate foods in air". *Food Tech.*, 22:219-222. 1968.
- 95 Smith, O. "Origin and history of the potato". En: Smith, O. ed. *Potatoes: Production, storing, processing*. 2nd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. p. 1.
- 96 \_\_\_\_\_ "Chemical composition of the potato". En: Smith, O. ed. *Potatoes: Production, storing, processing*. 2nd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 59-109.
- 97 \_\_\_\_\_ "Culinary quality and nutritive value of potatoes". En: Smith, O. ed. *Potatoes: Production, storing, processing*. 2nd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 498-557.
- 98 \_\_\_\_\_ "Effect of cultural and enviromental conditions on potatoes for processing". En: Talburt, W. F. y O. Smith. eds. *Potato processing*. 3rd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 67-125.
- 99 \_\_\_\_\_ "Effect of transit and storage conditions of potatoes". En: Talburt, W. F. y O. Smith. eds. *Potato processing*. 3rd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 171-233.

- 100 \_\_\_\_\_ y C. O. Davis. "Potato Processing". En: Smith, O. ed. *Potatoes: Production, storing, processing*. 2nd. ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 558-602.
- 101 Smith, W. L. Jr. y H. F. Smart. "Relation of soft rot development to protective barriers in Irish potato slices". *Phytopathology*, 45:649-654. 1955.
- 102 Somogyi, M. "Determination of blood sugars". *J. Biol. Chem.*, 160:69-78. 1945.
- 103 Stokes, R. H. y R. A. Robinson. "Standard solutions for humidity control at 25°C". *Ind. Eng. Chem.*, 41:2013. 1949.
- 104 Sweeney, J. P.; P. A. Hepner y S. Y. Libeck. "Organic acid, amino acid and ascorbic acid content of potatoes as affected by storage conditions". *Am. Potato J.*, 46:463-469. 1969.
- 105 Tagle, M. Angela. "Características de la calidad proteínica de dietas de poblaciones de bajos recursos económicos en América Latina". En: Conferencia [sobre] Recursos proteínicos en América Latina. INCAP, Guatemala, 24-27 de Febrero de 1970. *Recursos Proteínicos en América Latina*. Memoria de una conferencia de nivel latinoamericano. [Guatemala, INCAP, 1971] pp. 78-109. (Publicación INCAP L-1).
- 106 Talburt, W. F. "History of potato processing". En: Talburt, W. F. y O. Smith. eds. *Potato processing*. 3rd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. p. 1.
- 107 \_\_\_\_\_; S. Schwimmer y H. K. Burr. "Structure and chemical composition of the potato tuber". En: Talburt, W. F. y O. Smith. eds. *Potato processing*. 3rd ed. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1975. pp. 11-42.
- 108 Tao, L. C. "Generalized numerical solutions of freezing a saturated liquid in cylinders and spheres". *AICHE J.* 13:165. 1967. Citado por: Bakal, A. y K. I. Hayakawa. "Heat transfer during freezing and thawing of foods". *Adv. Food Res.*, 20:217-256. 1973.
- 109 Treadway, R. H.; M. D. Walsh y M. F. Osborne. "Effects of storage on starch and sugar contents of Maine potatoes". *Am. Potato J.*, 26:33-44. 1949.
- 110 Van Arsdel, W. B. *Food dehydration*. Westport, Conn., The Avi Publishing Co., 1961. 181 p.
- 111 Van den Berg, L. y C. P. Lentz. "Effect of relative humidity, temperature and length of storage on decay and quality of potatoes and onions". *J. Food Sci.*, 38:81-83. 1973.

- 112 Vaughn, R. H. "The microbiology of dehydrated vegetables". *Food Res.*, 16:429-438. 1951.
- 113 Weisberg, S. M. "Food products intended to improve nutrition in the developing world".  
*Adv. Food Res.*, 22:187-203. 1976.

## **A N E X O S**

CUADRO 1

COMPOSICION PORCENTUAL DE LAS DIETAS UTILIZADAS EN LA DETERMINACION DE RAZON PROTEINICA NETA  
(RPN) DE PATATAS DESHIDRATADAS

Ingredientes	D I E T A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Caseína	-	10.00	5.00	-	-	-	-	-	-	-
Patatas liofilizadas (8.10) *	-	-	-	61.73	-	-	-	-	-	-
Patatas secadas por aire a -2°C (8.57)	-	-	-	-	58.34	-	-	-	-	-
Patatas secadas por aire a -2°C y cocidas 3 horas a vapor (7.80)	-	-	-	-	-	64.10	-	-	-	-
Patatas secadas por aire a -2°C y fritas (5.87)	-	-	-	-	-	-	85.18	-	-	-
Patatas secadas por aire a 5°C (7.93)	-	-	-	-	-	-	-	63.05	-	-
Patatas secadas por aire a 13°C (8.90)	-	-	-	-	-	-	-	-	56.18	-
Patatas secadas por aire a 13°C y fritas (8.32)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60.10
Almidón	89.40	79.40	84.40	9.77	13.16	4.30	9.82	5.75	17.02	24.70
Aceite de soya	5.60	5.60	5.60	23.50	23.50	26.60	-	26.20	21.80	10.20
Aceite de bacalao	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mezcla de minerales Hegsted (35)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Solución de vitaminas ml. (57)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

\* Los valores entre paréntesis indican el porcentaje de proteína en las harinas de patata.

CUADRO 2

PERDIDA EN PESO DE PATATAS ENTERAS ALMACENADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS Y CAMBIO EN HUMEDAD  
RELATIVA POR ACCION DE COMPUESTOS QUIMICOS \*

Compuesto	Tiempo meses	Temperatura °C	Cambio en humedad relativa (o/o)	Perdida de peso ( g )	Porcentaje de pérdida de peso
Ninguno (Control)	2**	26	100 - 80	2.0	2.14
Hidróxido de sodio	6	5	100 - 57	4.6	4.22
Cloruro de calcio	6	5	100 - 85	2.4	2.52
Cloruro de sodio	6	5	100 - 87	2.3	2.41
Hidróxido de sodio	6	- 5	100 - 70	15.7	15.71
Cloruro de calcio	6	- 5	100 - 96	30.0	29.64
Cloruro de sodio	6	- 5	100 - 100	12.1	12.60
Hidróxido de sodio	6	- 15	100 - 89	14.9	14.53
Cloruro de calcio	6	- 15	100 - 84	15.9	17.73
Cloruro de sodio	6	- 15	100 - 94	5.8	6.52

\* Los valores son el promedio de 2 muestras.

\*\* Las patatas germinaron en su totalidad.

CUADRO 3

COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL (%o MATERIA SECA) Y CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO EN PATATAS ENTERAS FRESCAS Y ALMACENADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS EN RECIPIENTES CON DIVERSOS COMPUESTOS QUIMICOS

Determinación	Frescas con cáscara *	Almacenadas **											
		2 meses		5°C			-5°C			-15°C			
		26°C		6 meses			6 meses			6 meses			
		NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl
Humedad	82.10 ± 0.57	81.72	80.77	83.55	81.76	77.39	73.86	76.71	74.96	73.09	77.05		
Materia seca	17.90 ± 0.57	18.28	19.23	16.45	18.24	22.61	26.14	23.29	25.04	26.91	22.95		
Proteína (N x 6.25)	11.18 ± 0.51	11.82	10.60	12.04	11.95	10.00	8.76	9.49	10.14	9.25	10.76		
Extracto etéreo	0.49 ± 0.11	0.51	0.47	0.67	0.44	0.53	0.73	0.43	0.72	0.37	0.57		
Cenizas	3.93 ± 0.74	4.95	4.52	5.47	4.99	4.25	3.98	3.74	4.15	4.35	4.36		
Hidratos de carbono totales	84.40 ± 1.12	82.72	84.41	81.82	82.62	85.22	86.53	86.34	84.99	86.03	84.31		
Acido ascórbico (mg/100 g materia seca)	102 ± 30	69	42	59	53	75	69	74	88	74	108		

\* Promedio de 4 muestras ± Desviación estándar.

\*\* Promedio de 2 muestras.

CUADRO 4

CONTENIDO DE ALMIDON Y AZUCARES (o/1) MATERIA SECA) DE PATATAS ENTERAS FRESCAS Y ALMACENADAS A DIFERENTES TEMPERATURAS EN RECIPIENTES CON DIVERSOS COMPUESTOS QUIMICOS

Determinación	Frescas con cáscara *	Almacenadas **												
		2 meses		6 meses										
		20°C		5°C			-5°C			-15°C				
		NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	CaCl <sub>2</sub>
Almidón	68.28 ± 5.81	60.29	59.33	62.55	61.62	68.47	74.56	68.74	72.84	74.47	63.79			
Azúcares solubles totales	4.14 ± 0.68	4.45	4.47	4.62	5.81	1.06	0.99	0.77	0.92	1.04	1.04			
Azúcares reductores	1.05 ± 0.29	3.05	3.38	3.53	5.04	0.84	0.76	0.52	0.16	0.45	0.44			
Azúcares no reductores	3.09 ± 0.54	1.40	1.09	1.09	0.77	0.22	0.23	0.25	0.76	0.59	0.60			
Color Lechivand														
Azul	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	1.4	1.2	2.7	3.2	0.4	0.1			
Amarillo	2.1	2.3	2.6	2.7	2.8	2.3	2.1	3.0	6.3	2.9	2.7			
Rojo	0.8	0.6	0.6	0.8	0.9	1.9	1.7	2.7	3.6	1.9	1.5			
Unidades corregidas ***	6.6 ± 0.7	6.6	7.0	7.8	8.4	11.7	10.5	16.8	26.6	11.9	10.0			

\* Promedio de 4 muestras + Desviación estándar.

\*\* Promedio de 2 muestras.

\*\*\* Sumatoria de valores de azul multiplicados por 1, amarillo por 2 y rojo por 3.



CUADRO 5

CONTAJE DE MICROORGANISMOS EN PATATAS FRESCAS Y ALMACENADAS POR SEIS MESES A DIFERENTES TEMPERATURAS EN RECIPIENTES CON DIVERSOS COMPUESTOS QUIMICOS

Prueba	Frescas *	Condición de Almacenaje **												
		5° C				-5° C				-15° C				
		NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	NaOH	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	NaOH	CaCl <sub>2</sub>
Contaje de bacterias aeróbicas (UFC/g)	18.9 x 10 <sup>6</sup>	0.7 x 10 <sup>6</sup>	0.7 x 10 <sup>6</sup>	0.8 x 10 <sup>6</sup>	3.7 x 10 <sup>6</sup>	8.2 x 10 <sup>6</sup>	0.9 x 10 <sup>6</sup>	10.7 x 10 <sup>6</sup>	10.7 x 10 <sup>6</sup>	2.3 x 10 <sup>6</sup>	2.3 x 10 <sup>6</sup>	6.4 x 10 <sup>6</sup>	6.4 x 10 <sup>6</sup>	6.4 x 10 <sup>6</sup>
Mohos y levaduras (UFC/g)	0.7 x 10 <sup>6</sup>	3.0 x 10 <sup>3</sup>	17.5 x 10 <sup>3</sup>	1.0 x 10 <sup>3</sup>	1.0 x 10 <sup>6</sup>	1.0 x 10 <sup>6</sup>	0.3 x 10 <sup>6</sup>	0.1 x 10 <sup>6</sup>	0.1 x 10 <sup>6</sup>	0.1 x 10 <sup>6</sup>	0.1 x 10 <sup>6</sup>	0.3 x 10 <sup>6</sup>	0.3 x 10 <sup>6</sup>	0.3 x 10 <sup>6</sup>
Bacterias coliformes (UFC/g)	4.5 x 10 <sup>3</sup>	-	-	-	-	2.5 x 10 <sup>3</sup>	-	5.0 x 10 <sup>3</sup>	5.0 x 10 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-
Esporas anaeróbicas viables (Clostridium) (UFC/g)	3.6 x 10 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	19.6 x 10 <sup>6</sup>	0.7 x 10 <sup>6</sup>	0.7 x 10 <sup>6</sup>	0.8 x 10 <sup>6</sup>	4.7 x 10 <sup>6</sup>	9.2 x 10 <sup>6</sup>	1.2 x 10 <sup>6</sup>	10.8 x 10 <sup>6</sup>	10.8 x 10 <sup>6</sup>	2.4 x 10 <sup>6</sup>	2.4 x 10 <sup>6</sup>	6.7 x 10 <sup>6</sup>	6.7 x 10 <sup>6</sup>	6.7 x 10 <sup>6</sup>

\* Valor promedio de 8 muestras.

\*\* Valor promedio de 2 muestras.

CUADRO 6

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE RODAJAS DE PATATAS FRESCAS, LIOFILIZADAS Y SECADAS POR AIRE EN

CAMARAS CON DIFERENTES COMPUESTOS QUÍMICOS Y TEMPERATURAS

Característica	Frescas sin cáscara *	Liofilizadas	NaOH			CaCl <sub>2</sub>			NaCl				
			13°C	10°C	-1°C	17°C	5°C	-2°C	12°C	7°C	5°C		
Color Lovibond													
Azul	0.0	0.1	0.6	1.5	0.0	0.6	1.1	0.1	3.7	2.3	0.9		
Amarillo	2.3	1.9	3.7	2.9	2.9	4.3	5.4	3.1	4.0	2.1	5.1		
Rojo	0.8	0.4	2.3	1.6	1.0	1.8	3.2	1.1	5.8	2.1	2.9		
Unidades corregidas **	7.0	5.3	14.9	12.1	8.8	14.6	21.5	9.6	29.1	12.8	19.8		
Tamaño (o/o original)	100	90	60	65	90	60	50	90	30	40	40		
Forma	Plana	Plana	Ondulada	Ondulada	Plana	Ondulada	Ondulada	Plana	Ondulada	Ondulada	Ondulada	Ondulada	Ondulada
Presentación	Buena	Buena	Regular	Regular	Buena	Mala	Regular	Buena	Mala	Mala	Mala	Mala	Mala

\* Valor promedio de 4 observaciones.

\*\* Sumatoria de valores de azul multiplicados por 1, amarillo por 2 y rojo por 3.

CUADRO 7

COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL (o/o MATERIA SECA) Y CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO EN PATATAS FRESCAS, RODAJAS LIOFILIZADAS Y RODAJAS SECADAS POR AIRE EN CAMARAS CON DIFERENTES COMPUESTOS QUIMICOS Y TEMPERATURAS

Determinación	Frescas sin cáscara *	Liofilizadas	NaOH			CaCl <sub>2</sub>			NaCl		
			13°C	10°C	-1°C	17°C	5°C	-2°C	12°C	7°C	5°C
Humedad	81.05 ± 1.58	6.03	8.83	12.28	19.41	8.86	13.08	15.21	17.68	13.64	26.51
Materia seca	18.95 ± 1.58	93.97	91.17	87.72	80.59	91.14	86.92	84.79	82.32	86.36	73.49
Proteína (N x 6.25)	10.29 ± 2.16	8.52	10.20	7.88	9.42	9.18	10.81	8.08	8.31	10.43	9.06
Extracto etéreo	0.40 ± 0.11	0.48	0.59	0.31	0.36	0.68	0.45	0.48	0.43	0.29	0.44
Cenizas	3.72 ± 0.54	3.38	2.92	3.53	2.68	4.17	3.41	3.92	4.91	3.71	4.38
Hidratos de carbono totales	85.59 ± 2.74	87.62	86.29	88.28	87.54	85.97	85.33	87.52	86.35	85.57	86.12
Acido ascórbico (mg/100 g materia seca)	75 ± 30	68	59	15	46	36	19	71	5	10	16

\* Promedio de 4 muestras ± Desviación estándar.

CUADRO 8

CONTENIDO DE ALMIDÓN Y AZÚCARES (o/o MATERIA SECA) EN PATATAS FRESCAS, RODAJAS LIOFILIZADAS Y RODAJAS SECADAS POR AIRE EN CAMARAS CON DIFERENTES COMPUESTOS QUÍMICOS Y TEMPERATURAS

Determinación	Frescas sin cáscara *	Liofilizadas	NaOH			CaCl <sub>2</sub>			NaCl		
			13°C	10°C	-1°C	17°C	5°C	-2°C	12°C	7°C	5°C
Almidón	74.49 ± 2.59	64.25	59.19	58.45	62.68	58.03	58.54	63.80	65.00	58.01	63.02
Azúcares solubles totales	4.66 ± 0.40	0.77	0.21	0.39	1.03	0.67	0.32	0.86	0.22	1.26	0.27
Azúcares reductores	1.29 ± 0.40	0.32	0.08	0.30	0.25	0.10	0.12	0.35	0.11	1.04	0.08
Azúcares no reductores	3.37 ± 0.26	0.45	0.13	0.09	0.78	0.57	0.21	0.51	0.11	0.22	0.19

\* Promedio de 4 muestras ± Desviación estándar.

CUADRO 9

PRINCIPALES ACIDOS GRASOS DE PATATAS EN RODAJAS DESHIDRATADAS Y ALMACENADAS POR CINCO MESES  
A 5°C EN ENVASE PLASTICO

Tratamiento	Acidos grasos (o/o del total) *			Razón de insaturación **
	Palmítico	Esteárico	Linoléico	
Patatas liofilizadas	20.10 (21.50) ***	10.69 (11.43)	52.92 (56.60)	9.79 (10.47)
Patatas deshidratadas con aire a -1°C y almacenadas	20.02 (22.88)	11.36 (12.98)	47.76 (54.58)	8.87 ( 9.56)
Patatas deshidratadas con aire a 5°C y almacenadas	18.61 (21.39)	13.05 (15.00)	46.71 (53.69)	8.63 ( 9.92)

\* Valores promedios de 4 observaciones.

\*\* (Linoleico + Linoléico) / (Palmítico + Esteárico).

\*\*\* Valores entre paréntesis corresponden al porcentaje de ácidos grasos considerados.

CUADRO 10

CONTAJE DE MICROORGANISMOS EN PATATAS EN RODAJAS SECADAS POR AIRE EN CAMARAS CON DIFERENTES  
COMPUESTOS QUIMICOS Y TEMPERATURAS \*

Prueba	NaOH			CaCl <sub>2</sub>			NaCl		
	13°C	10°C	-1°C	17°C	5°C	-2°C	12°C	7°C	5°C
Contaje de bacterias aeróbicas (UFC/g)	5.7 x 10 <sup>5</sup>	0.5 x 10 <sup>5</sup>	0.05 x 10 <sup>5</sup>	1.5 x 10 <sup>5</sup>	40.0 x 10 <sup>5</sup>	0.02 x 10 <sup>5</sup>	45.0 x 10 <sup>5</sup>	0.5 x 10 <sup>5</sup>	210.0 x 10 <sup>5</sup>
Mohos y levaduras (UFC/g)	37.5 x 10 <sup>4</sup>	0.2 x 10 <sup>4</sup>	0.4 x 10 <sup>4</sup>	53.0 x 10 <sup>4</sup>	89.4 x 10 <sup>4</sup>	-	250.0 x 10 <sup>4</sup>	15.0 x 10 <sup>4</sup>	25.8 x 10 <sup>4</sup>
Bacterias coliformes (UFC/g)	-	-	0.7 x 10 <sup>3</sup>	1.3 x 10 <sup>3</sup>	-	-	0.7 x 10 <sup>3</sup>	-	-
Esporas anaeróbicas viables ( <u>Clostridium</u> ) (UFC/g)	2.1 x 10 <sup>3</sup>	4.3 x 10 <sup>3</sup>	0.5 x 10 <sup>3</sup>	1.8 x 10 <sup>3</sup>	0.6 x 10 <sup>3</sup>	1.2 x 10 <sup>3</sup>	6.5 x 10 <sup>3</sup>	-	-
Total	9.5 x 10 <sup>5</sup>	0.5 x 10 <sup>5</sup>	0.1 x 10 <sup>5</sup>	6.8 x 10 <sup>5</sup>	48.9 x 10 <sup>5</sup>	0.02 x 10 <sup>5</sup>	70.1 x 10 <sup>5</sup>	2.0 x 10 <sup>5</sup>	212.6 x 10 <sup>5</sup>

\* Promedio de 2 muestras.

CUADRO 11

AUMENTO EN PESO CORPORAL, INGESTA DE PROTEINA Y RAZON PROTEINICA NETA (RPN) DE RATAS ALIMENTADAS CON PATATAS DESHIDRATADAS, COCIDAS Y FRITAS A UN NIVEL DE 50/o DE PROTEINA

Dieta	$\Delta$ peso (g) $\bar{X} \pm D.E. *$	Ingesta de proteína (g) $\bar{X} \pm D.E.$	RPN ** $\bar{X} \pm D.E.$
2 Caseína (10o/o proteína)	29.75 $\pm$ 5.57	9.40 $\pm$ 0.52	4.08 <sup>b</sup> $\pm$ 0.57
3 Caseína (5o/o proteína)	9.88 $\pm$ 4.36	4.12 $\pm$ 0.65	4.59 <sup>a</sup> $\pm$ 1.30
4 Liofilizadas con vacío	3.50 $\pm$ 2.33	2.75 $\pm$ 0.37	4.50 <sup>a</sup> $\pm$ 1.09
5 Liofilizadas sin vacío a -2°C	6.63 $\pm$ 1.69	3.12 $\pm$ 0.36	5.03 <sup>a</sup> $\pm$ 0.88
6 Liofilizadas sin vacío a -2°C y cocidas con vapor	5.75 $\pm$ 3.77	3.39 $\pm$ 0.54	4.26 <sup>b</sup> $\pm$ 1.05
7 Liofilizadas sin vacío a -2°C y fritas	0.13 $\pm$ 2.75	3.02 $\pm$ 0.74	3.01 <sup>c</sup> $\pm$ 1.42
8 Deshidratadas con aire a 5°C	5.63 $\pm$ 3.62	3.30 $\pm$ 0.47	4.34 <sup>a</sup> $\pm$ 1.08
9 Deshidratadas con aire a 13°C	9.50 $\pm$ 1.93	3.42 $\pm$ 0.49	5.49 <sup>a</sup> $\pm$ 0.76
10 Deshidratadas con aire a 13°C y fritas	5.25 $\pm$ 1.58	3.55 $\pm$ 0.91	4.10 <sup>b</sup> $\pm$ 1.13
1 Dieta libre de nitrógeno	-7.13 $\pm$ 2.47	0.35 $\pm$ 0.04	

\*  $\bar{X}$  = Promedio de 8 observaciones. D. E. = Desviación estándar.

\*\* Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( P < 0.05).

**CUADRO 12**

**GRADO DE ACEPTACION DE PURE DE PATATAS Y PATATAS FRITAS ELABORADAS  
A PARTIR DE RODAJAS DESHIDRATADAS**

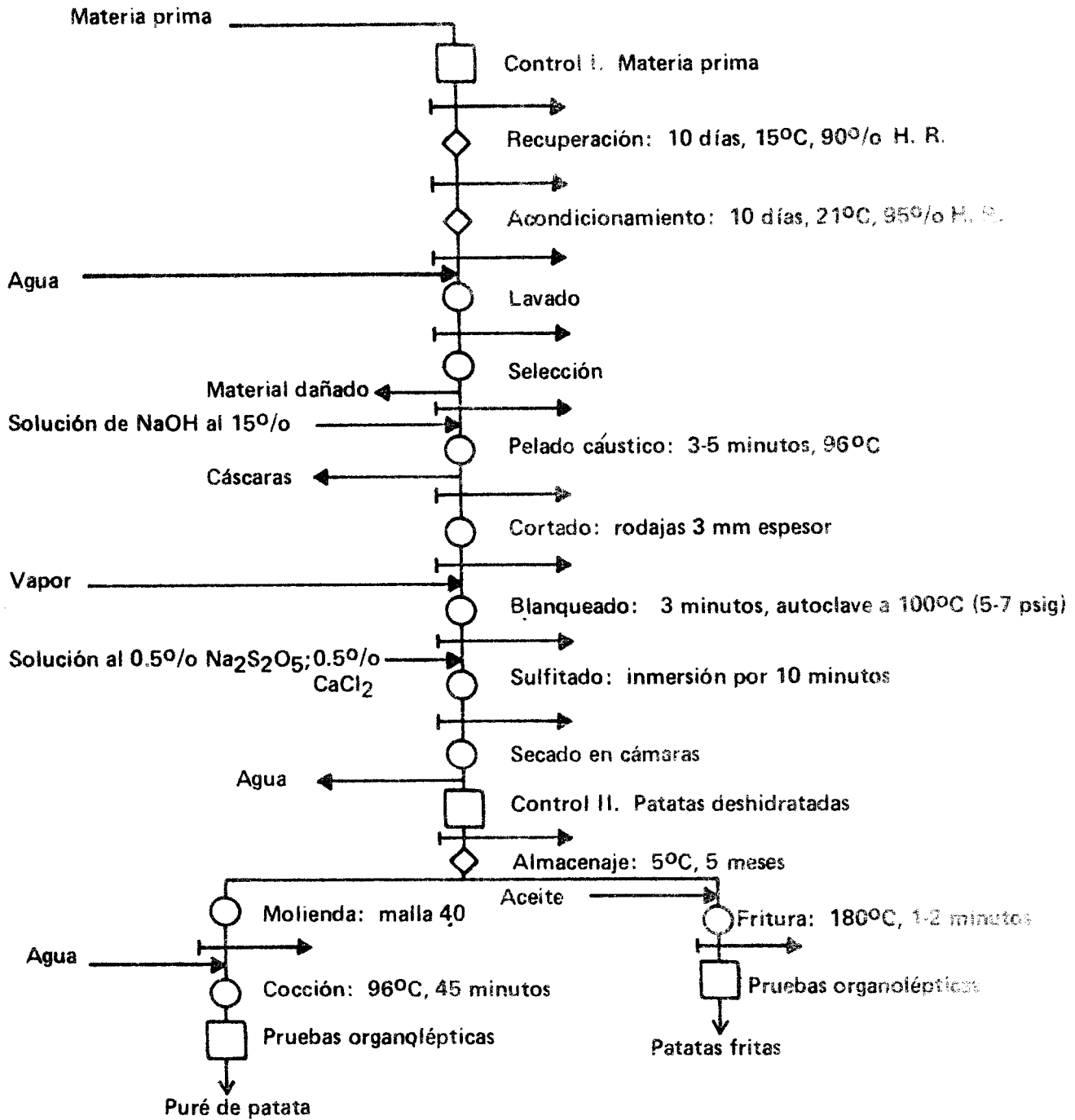
Presentación	No. de Personas	Calificación $\bar{X} \pm$ D. E. *
Puré de patatas	16	6.13 $\pm$ 1.26
Patatas fritas	16	5.88 $\pm$ 1.63

- \*  $\bar{X}$  = Valor promedio del puntaje alcanzado según la escala hedónica de 1 a 9.  
D. E. = Desviación estándar.



DIAGRAMA 1

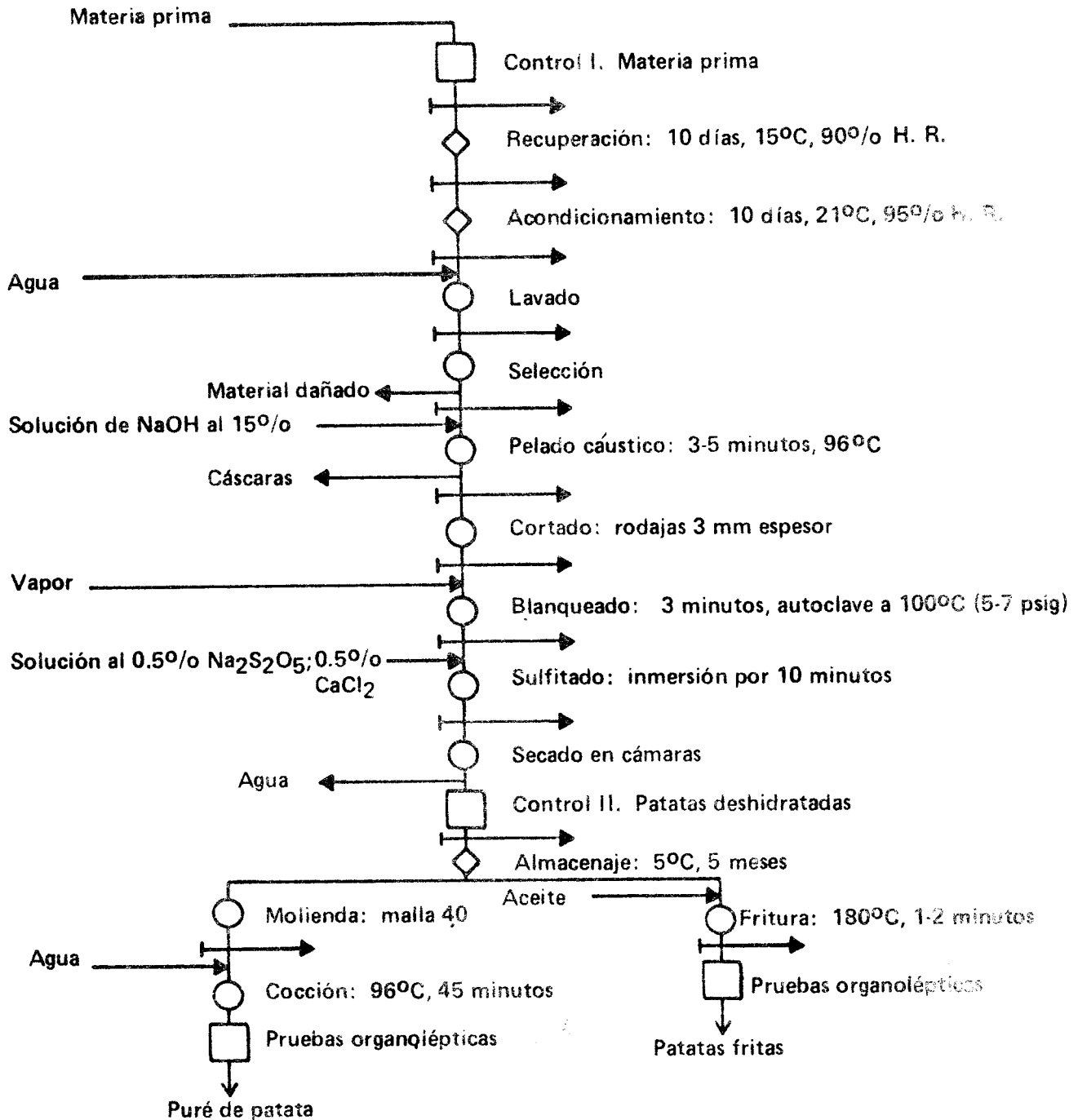
DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PROCESO SEGUIDO EN EL SECADO DE PATATAS EN RODAJAS Y LA ELABORACION DE PURE Y PATATAS FRITAS A PARTIR DEL PRODUCTO DESHIDRATADO\*



\* Clave: Transporte; Análisis; Almacenaje; Operación

DIAGRAMA 1

DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PROCESO SEGUIDO EN EL SECADO DE PATATAS EN RODAJAS Y LA ELABORACION DE PURE Y PATATAS FRITAS A PARTIR DEL PRODUCTO DESHIDRATADO\*



\* Clave: Transporte; Análisis; Almacenaje; Operación

GRAFICO 1

CAMARA DE SECADO  
VISTAS EN CORTE LATERAL Y FRONTAL

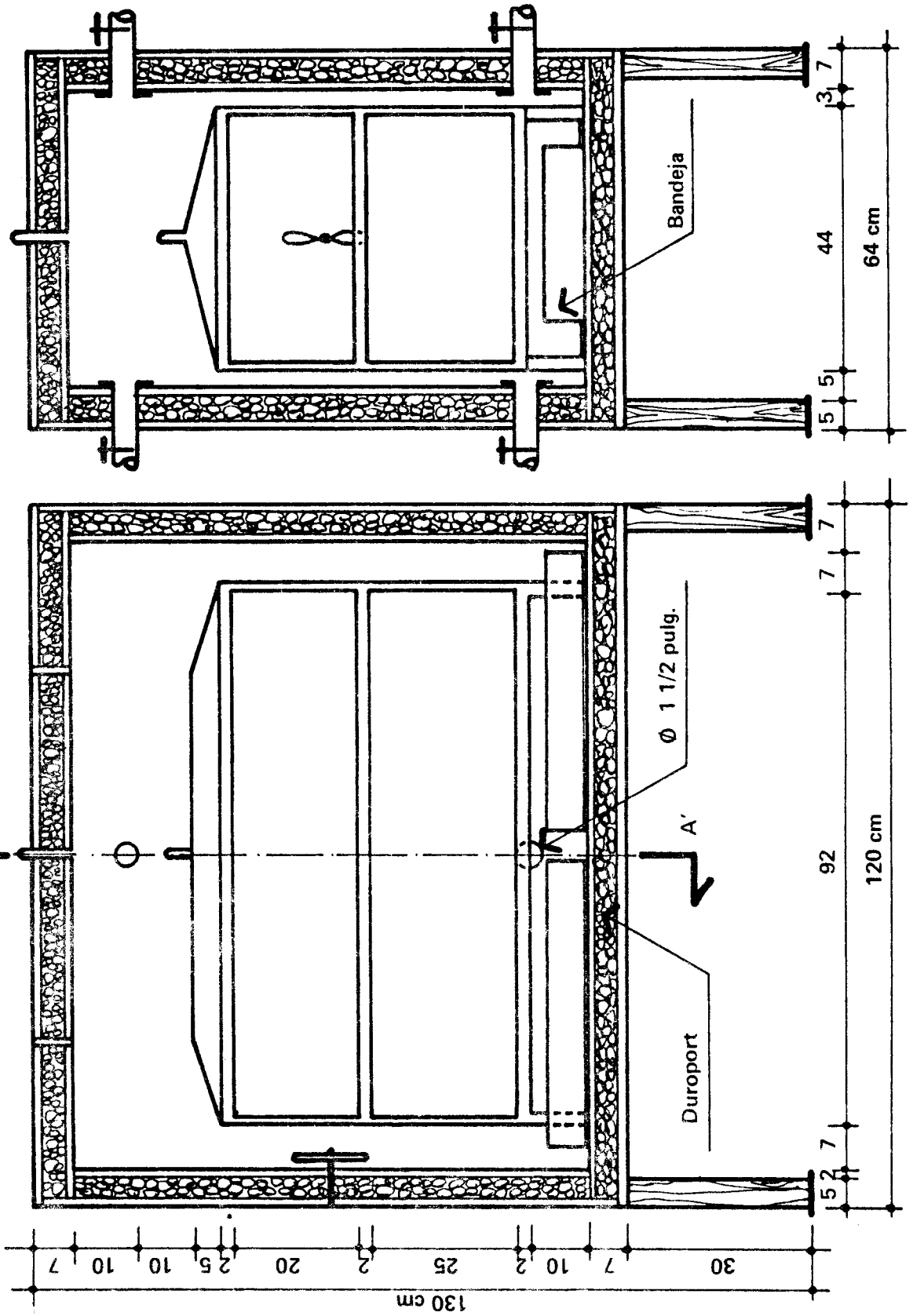
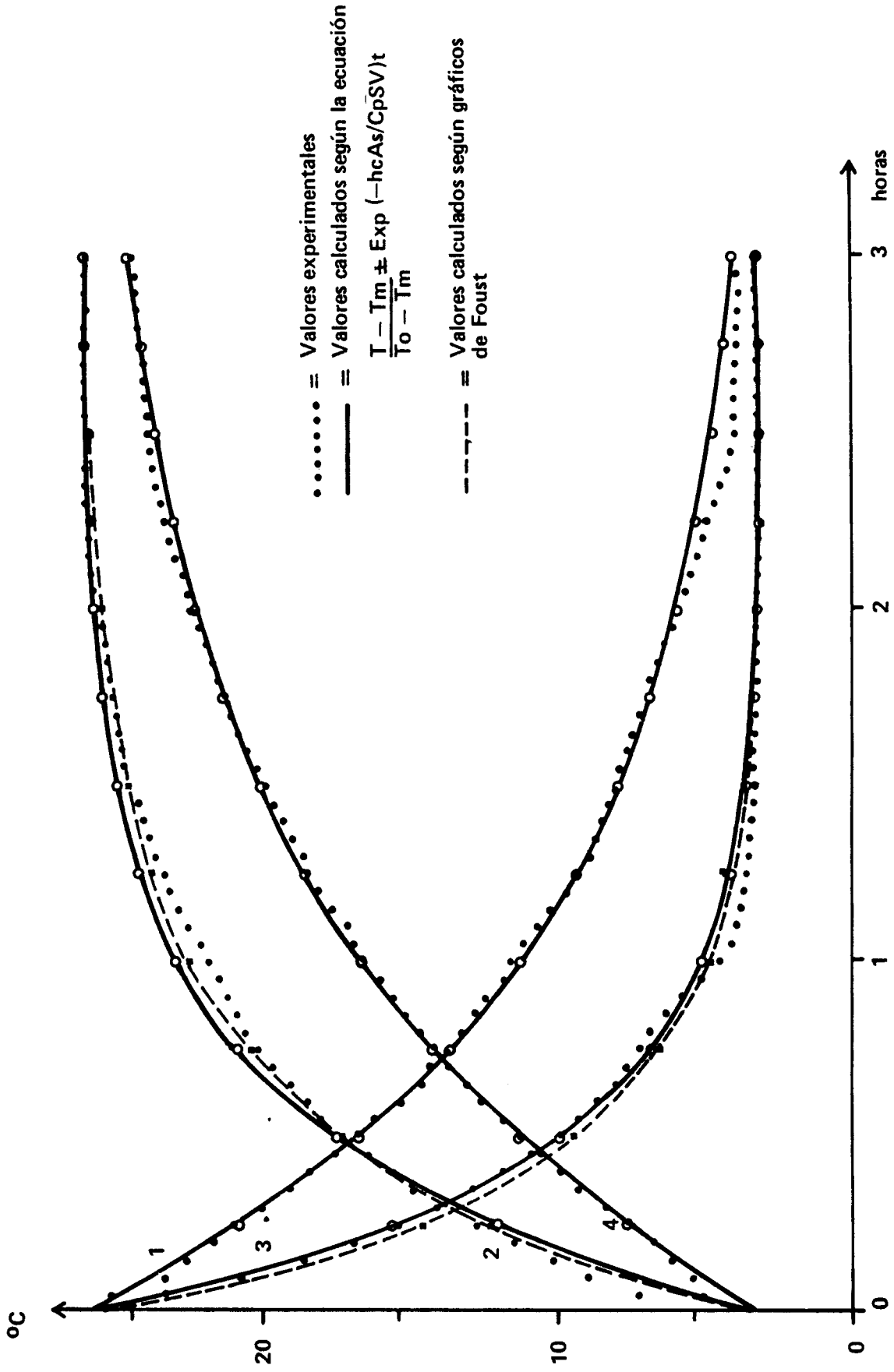


GRAFICO 2

CURVAS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DE PATATAS ENTERAS\*

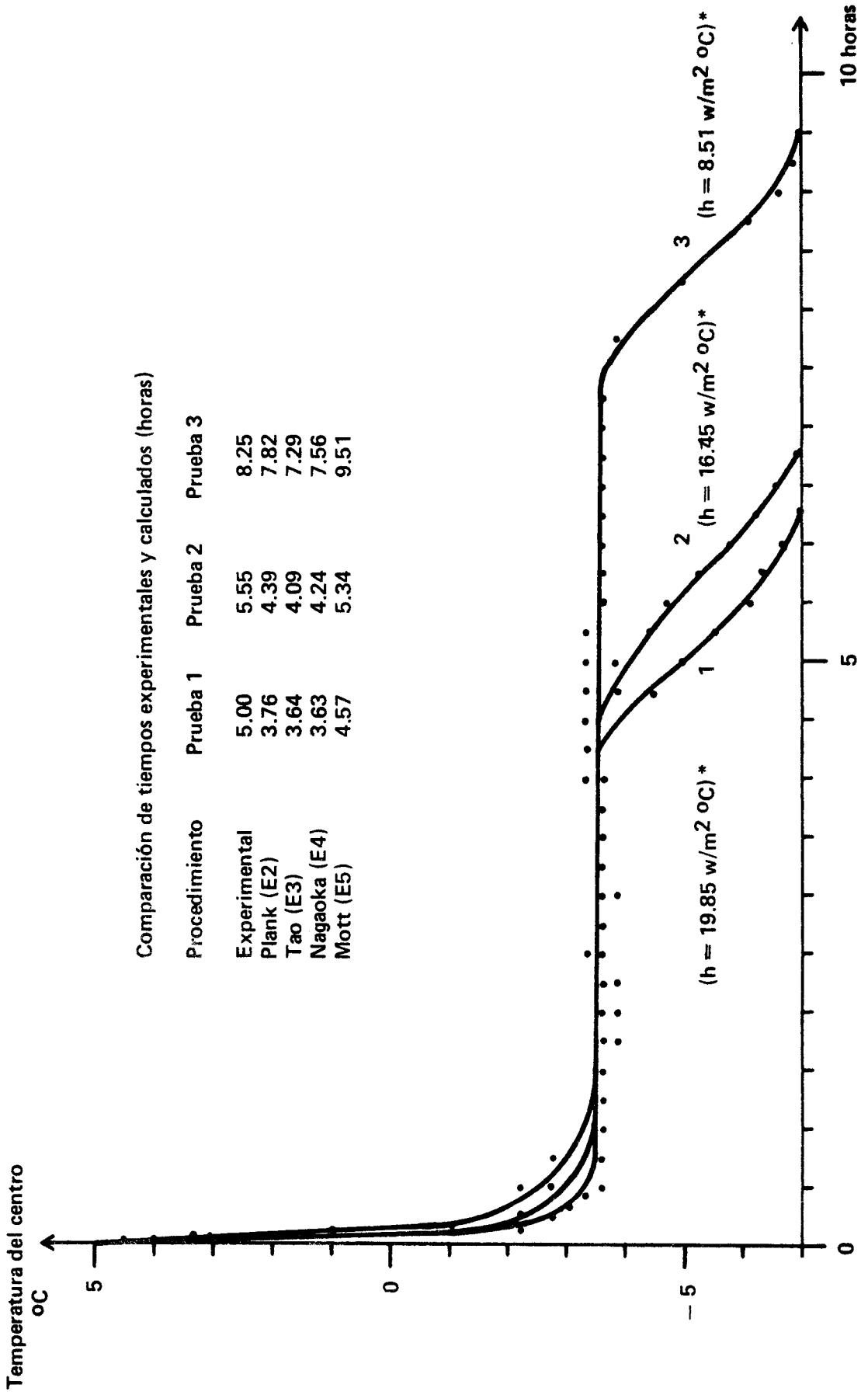


\* Coeficientes de convección (h) de 8.51, 16.45, 19.85 y 7.37 w/m<sup>2</sup>°C corresponden a las curvas 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Ver texto para descripción de condiciones.

GRAFICO 3

CURVAS EXPERIMENTALES DE CONGELACION DE PATATAS ENTERAS

Condiciones: Temperatura ambiente - 10°C; Temperatura final - 5°C



Comparación de tiempos experimentales y calculados (horas)

Procedimiento	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Experimental	5.00	5.55	8.25
Plank (E2)	3.76	4.39	7.82
Tao (E3)	3.64	4.09	7.29
Nagaoka (E4)	3.63	4.24	7.56
Mott (E5)	4.57	5.34	9.51

\* 1 = patatas sin protección; 2 = patatas en funda plástica; y 3 = patatas en recipiente.

# GRAFICO 4

## CURVAS DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS A DIFERENTES TEMPERATURAS E HIDROXIDO DE SODIO COMO COMPUESTO SECANTE

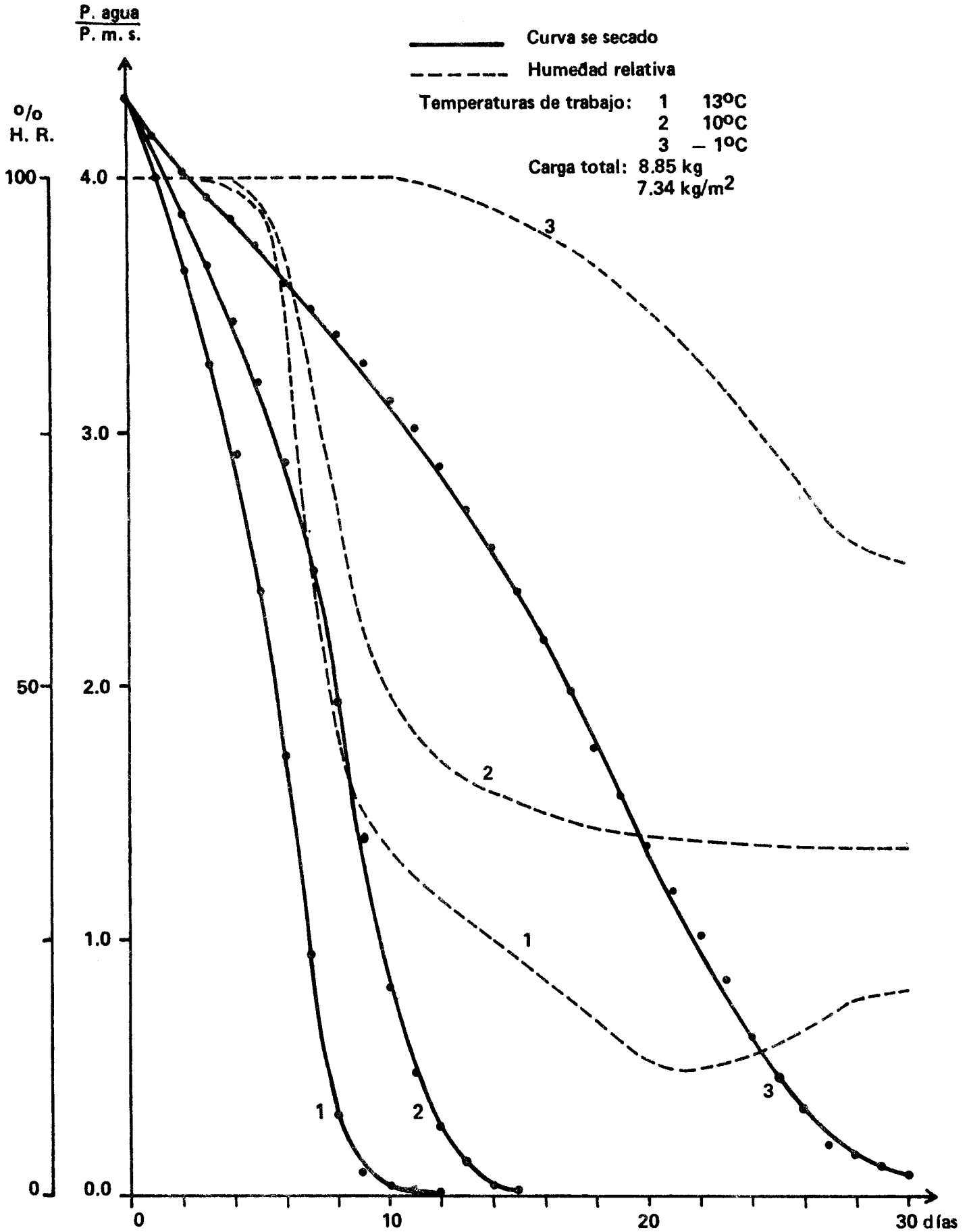


GRAFICO 5

CURVAS DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS A DIFERENTES TEMPERATURAS UTILIZANDO CLORURO DE CALCIO COMO COMPUESTO SECANTE

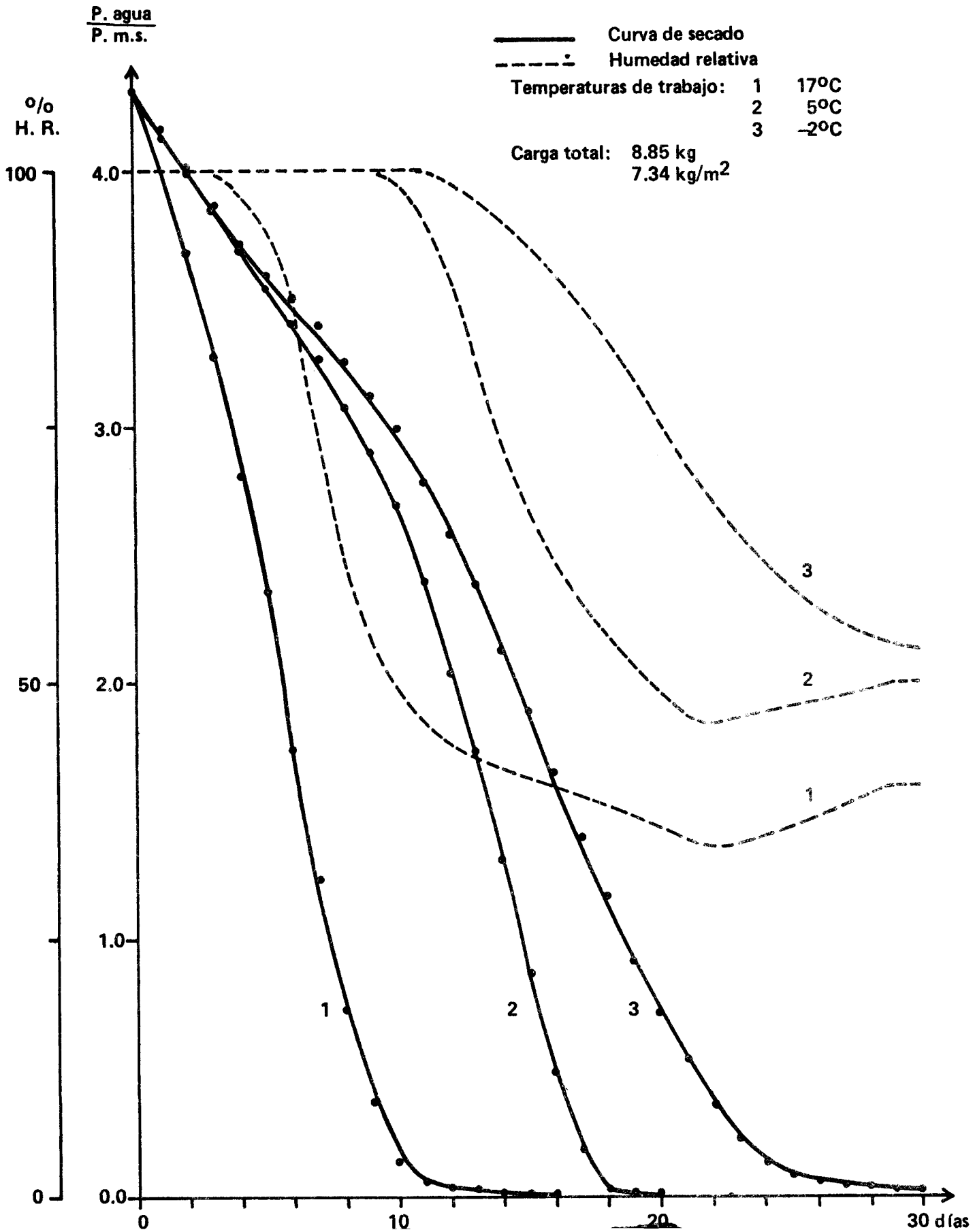


GRAFICO 6

CURVAS DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS A DIFERENTES TEMPERATURAS CON CLORURO DE SODIO COMO COMPUESTO SECANTE

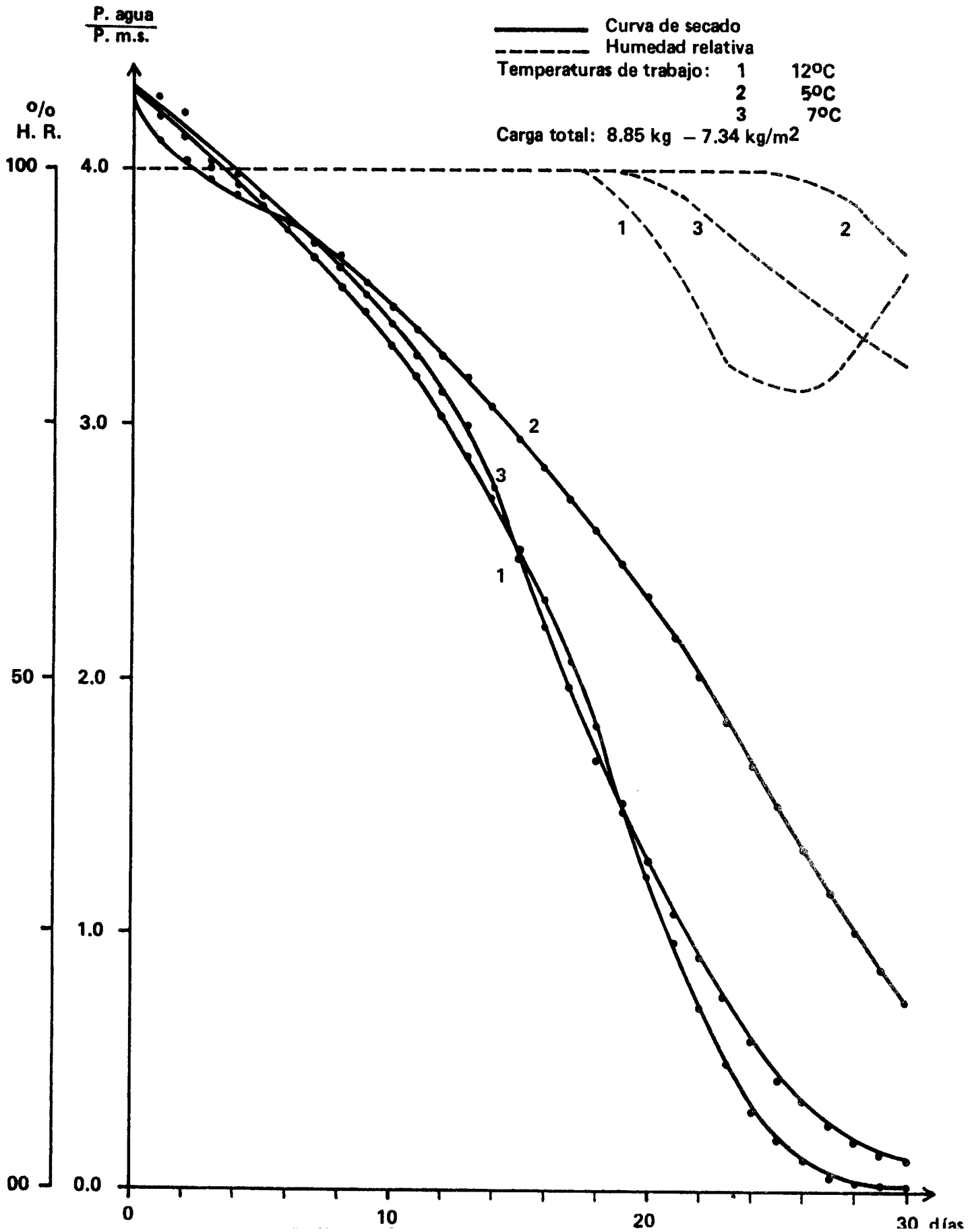




GRAFICO 7

EFFECTO DEL AMBIENTE EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS CON NaOH COMO COMPUESTO SECANTE

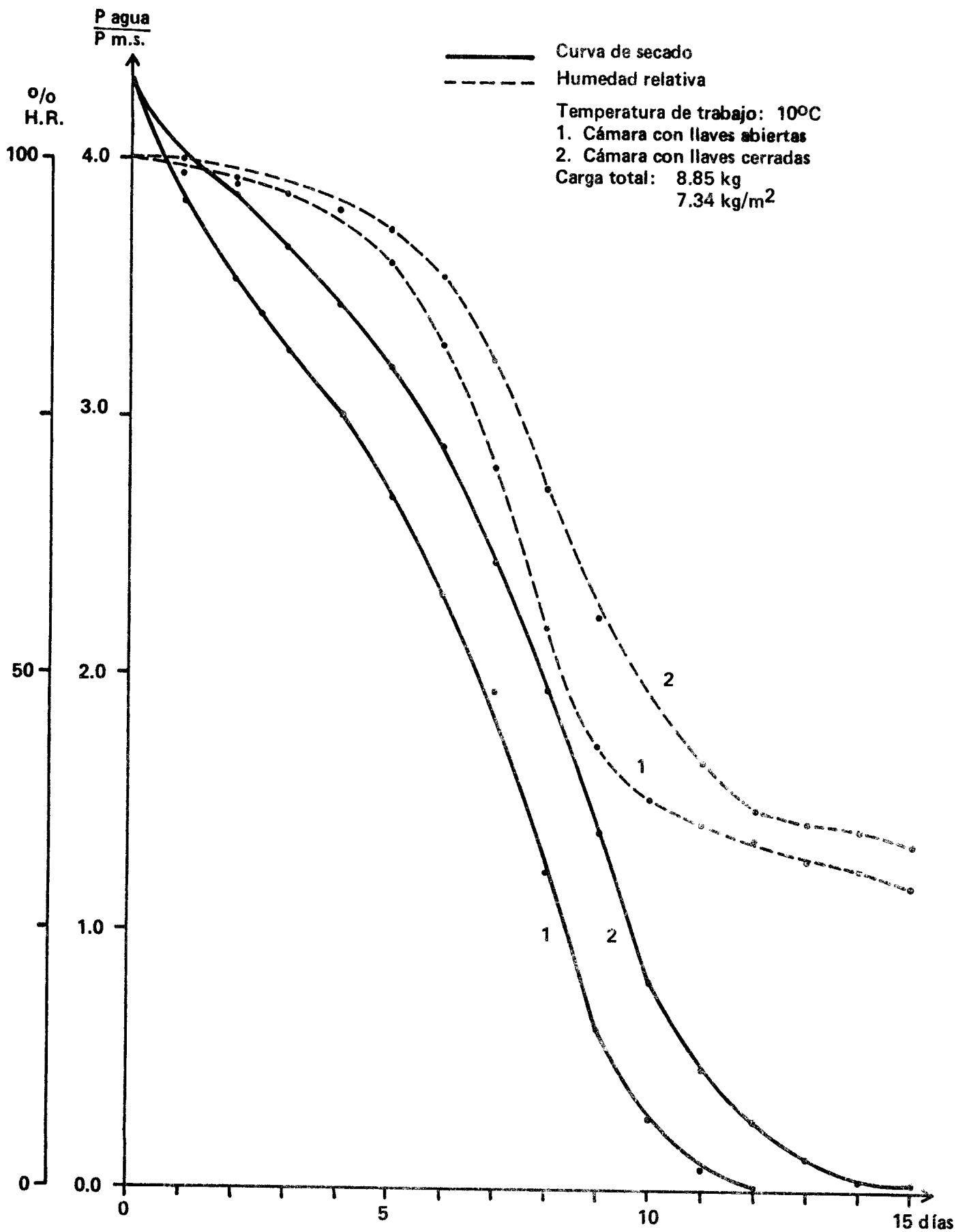


GRAFICO 8

EFFECTO DE LA FORMA DE CORTE EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN CAMARAS CON NaOH COMO COMPUESTO SECANTE

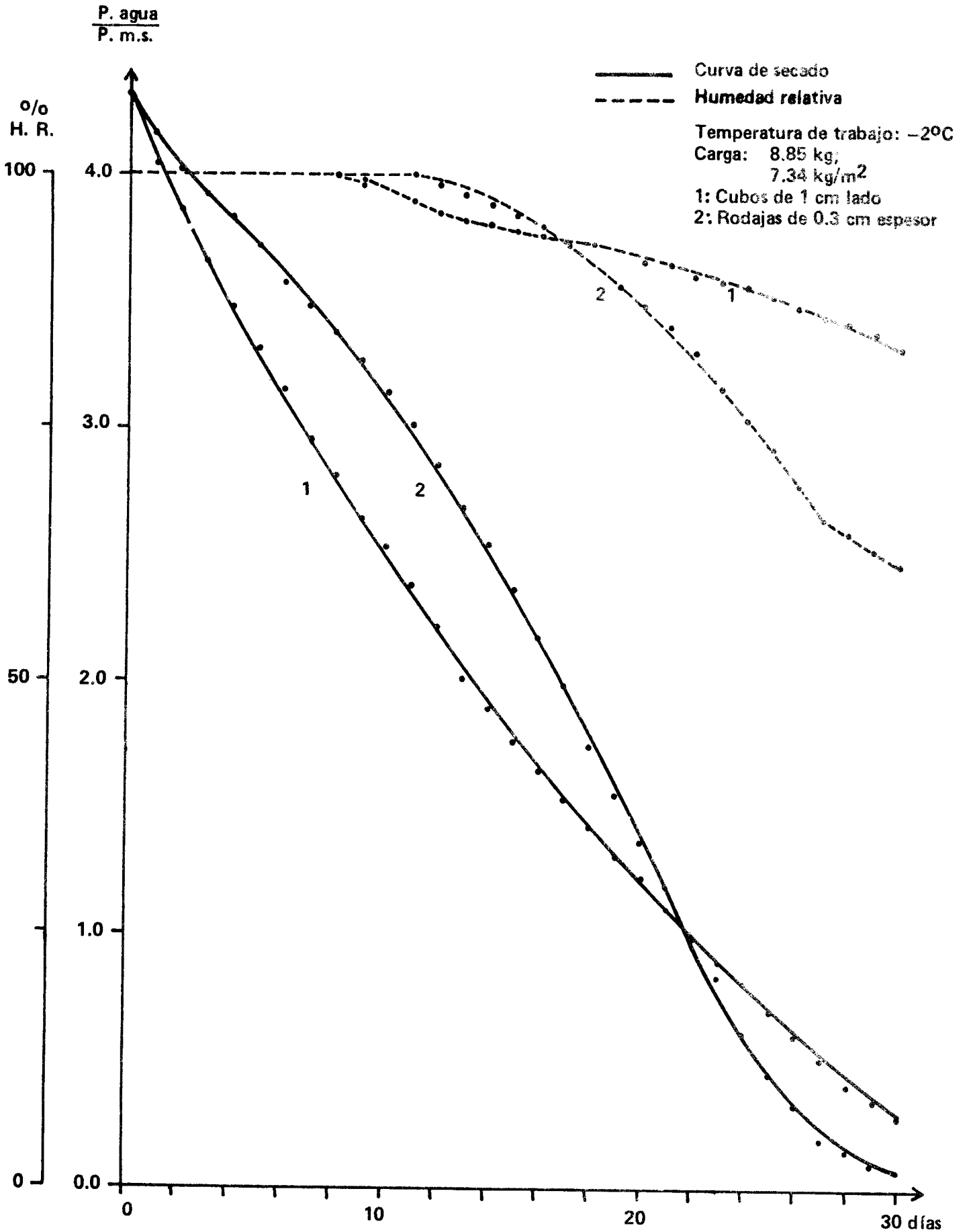


GRAFICO 9

EFFECTO DE LA CARGA TOTAL EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS CON NaCl COMO COMPUESTO SECANTE

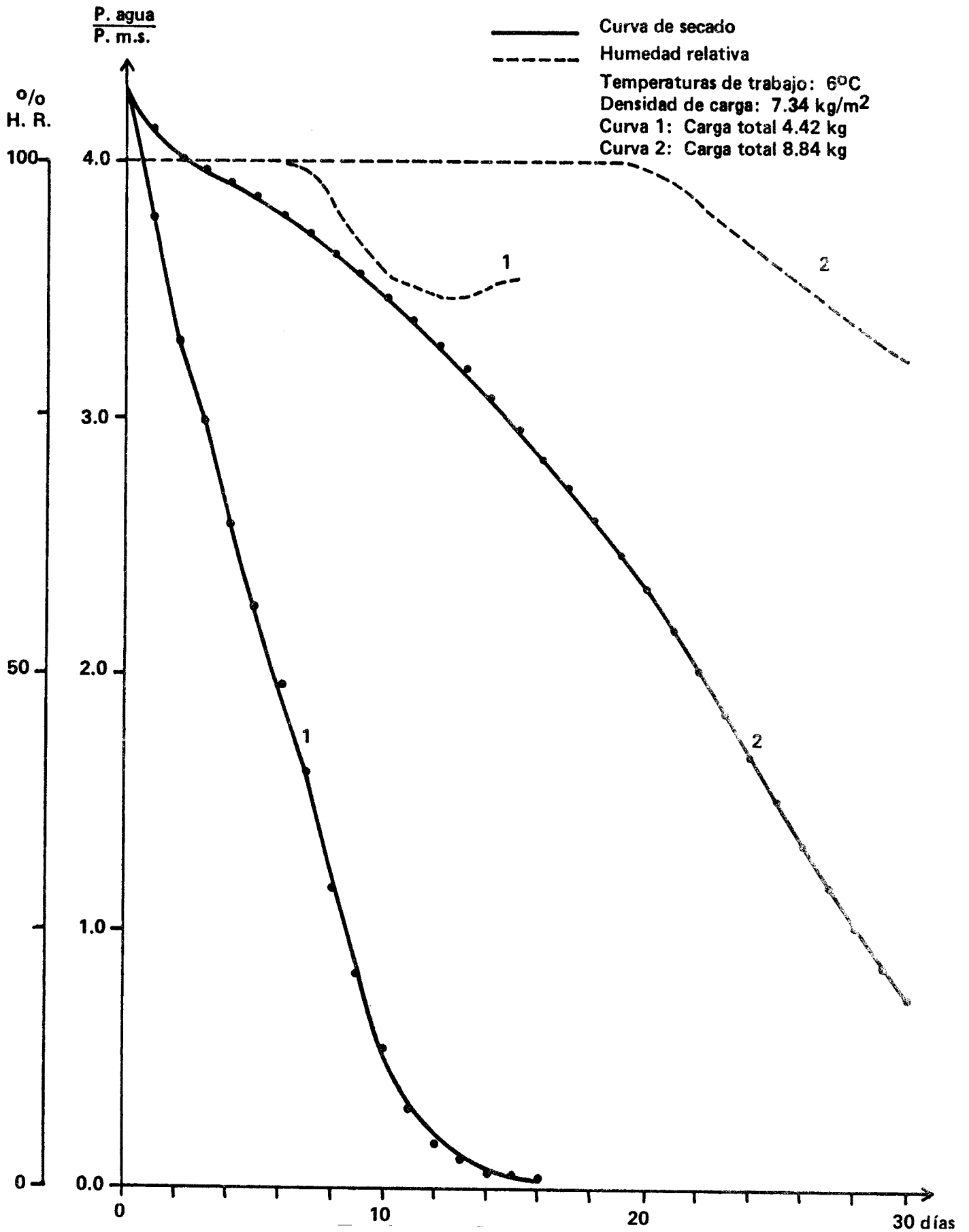


GRAFICO 10

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE CARGA EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN CUBOS (1 cm/lado) USANDO CAMARAS CON NaOH COMO COMPUESTO SECANTE

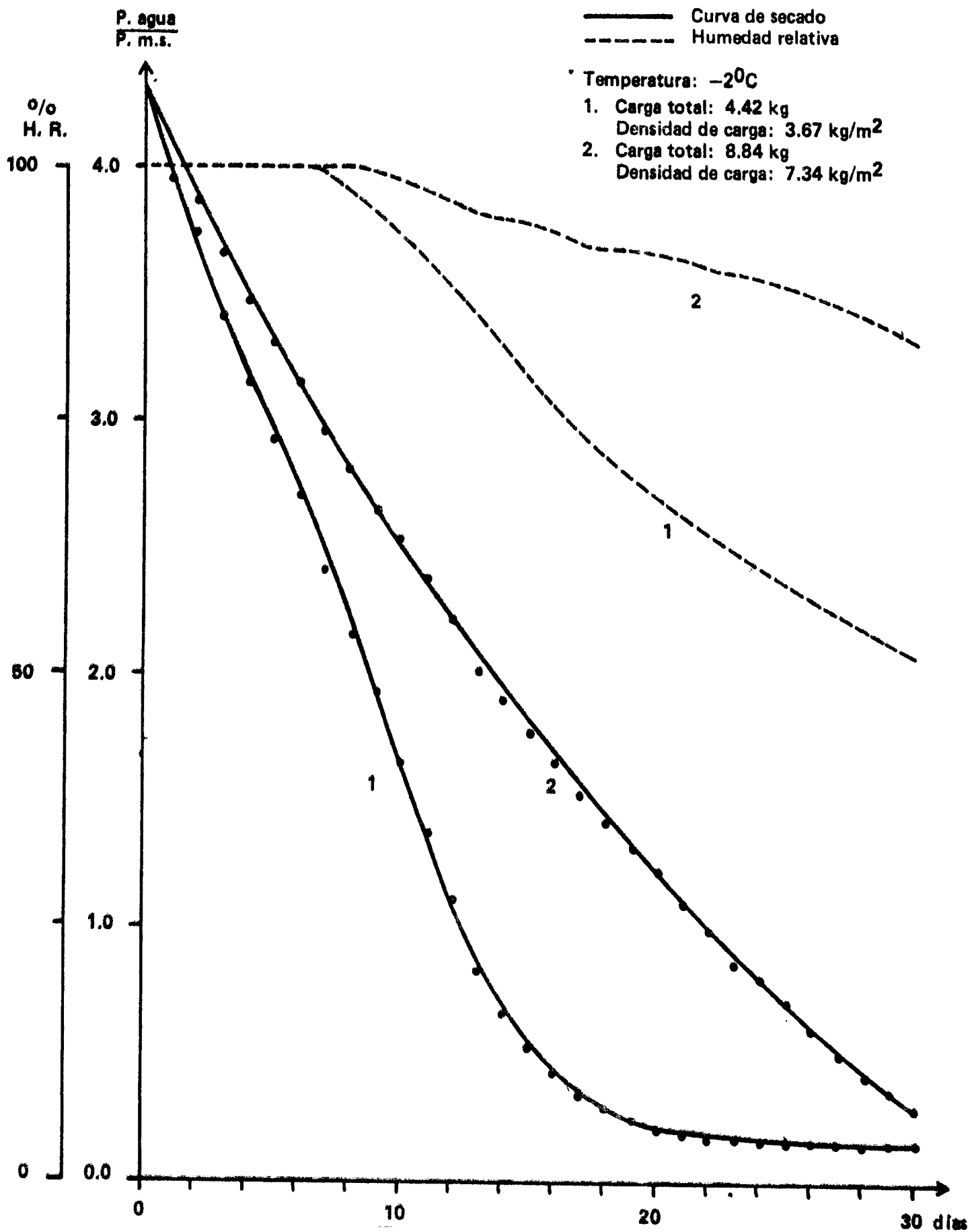


GRAFICO 11

EFFECTO DE LA AGITACION INTERNA EN LA VELOCIDAD DE SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS CON CaCl<sub>2</sub> COMO COMPUESTO SECANTE

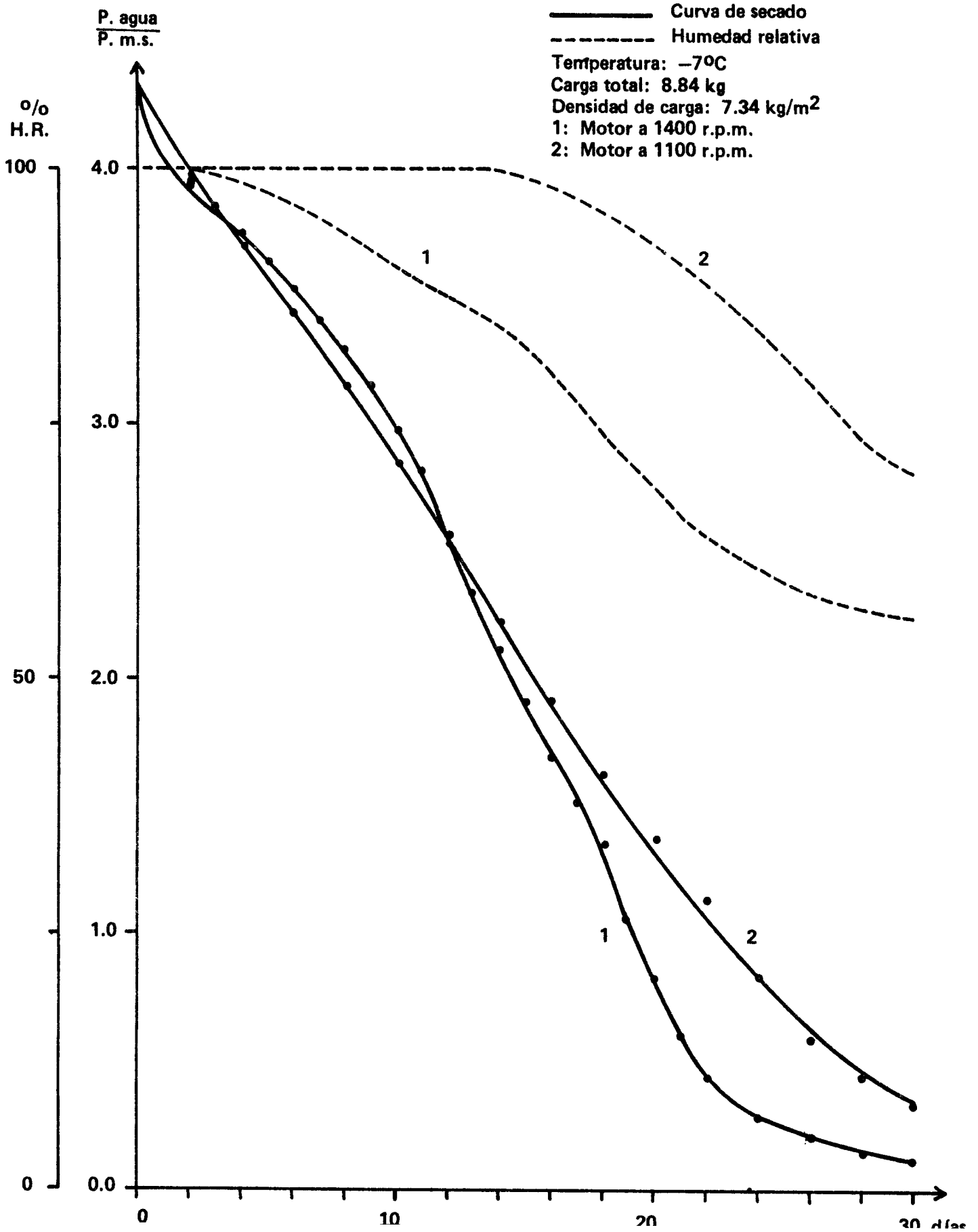


GRAFICO 12

VALORES EXPERIMENTALES Y CALCULADOS PARA SECADO DE PATATAS EN RODAJAS USANDO CAMARAS A TEMPERATURAS SOBRE EL PUNTO DE CONGELACION DEL AGUA

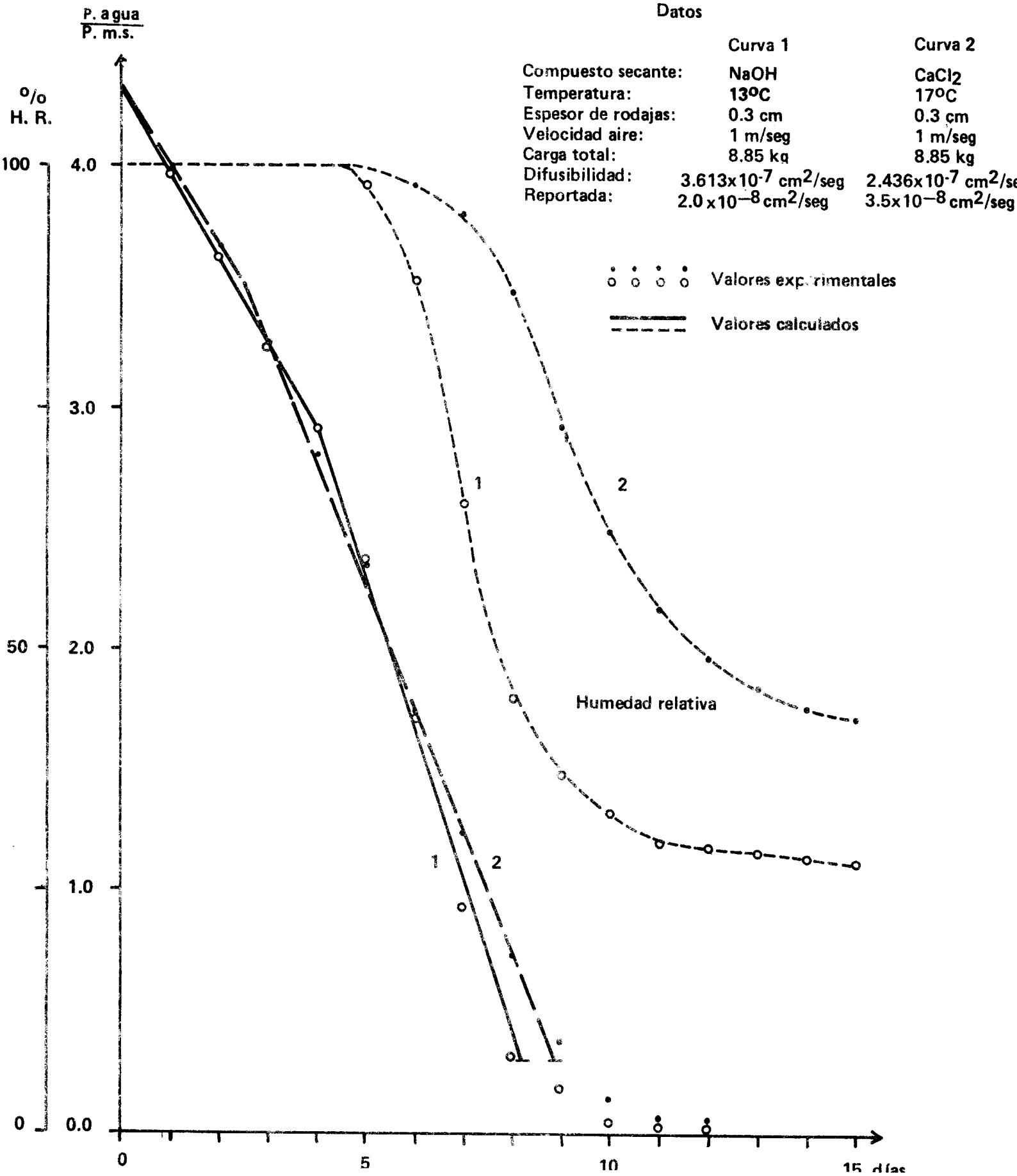


GRAFICO 13

VALORES EXPERIMENTALES Y CALCULADOS PARA SECADO DE CUBOS  
(1 cm/lado) DE PATATAS SECADAS EN CAMARAS BAJO EL PUNTO DE  
CONGELACION DEL AGUA Y CON NaOH COMO AGENTE SECANTE

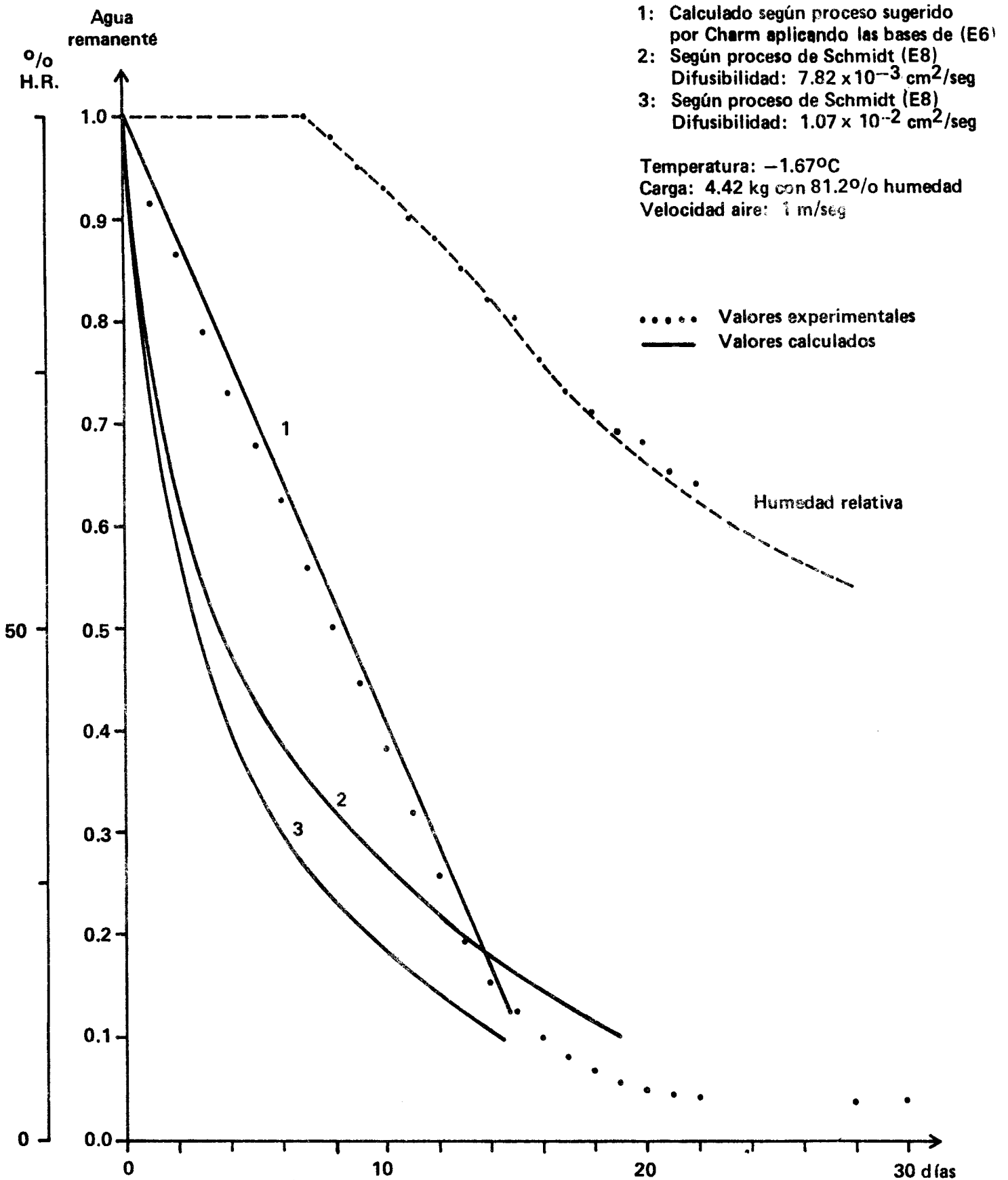
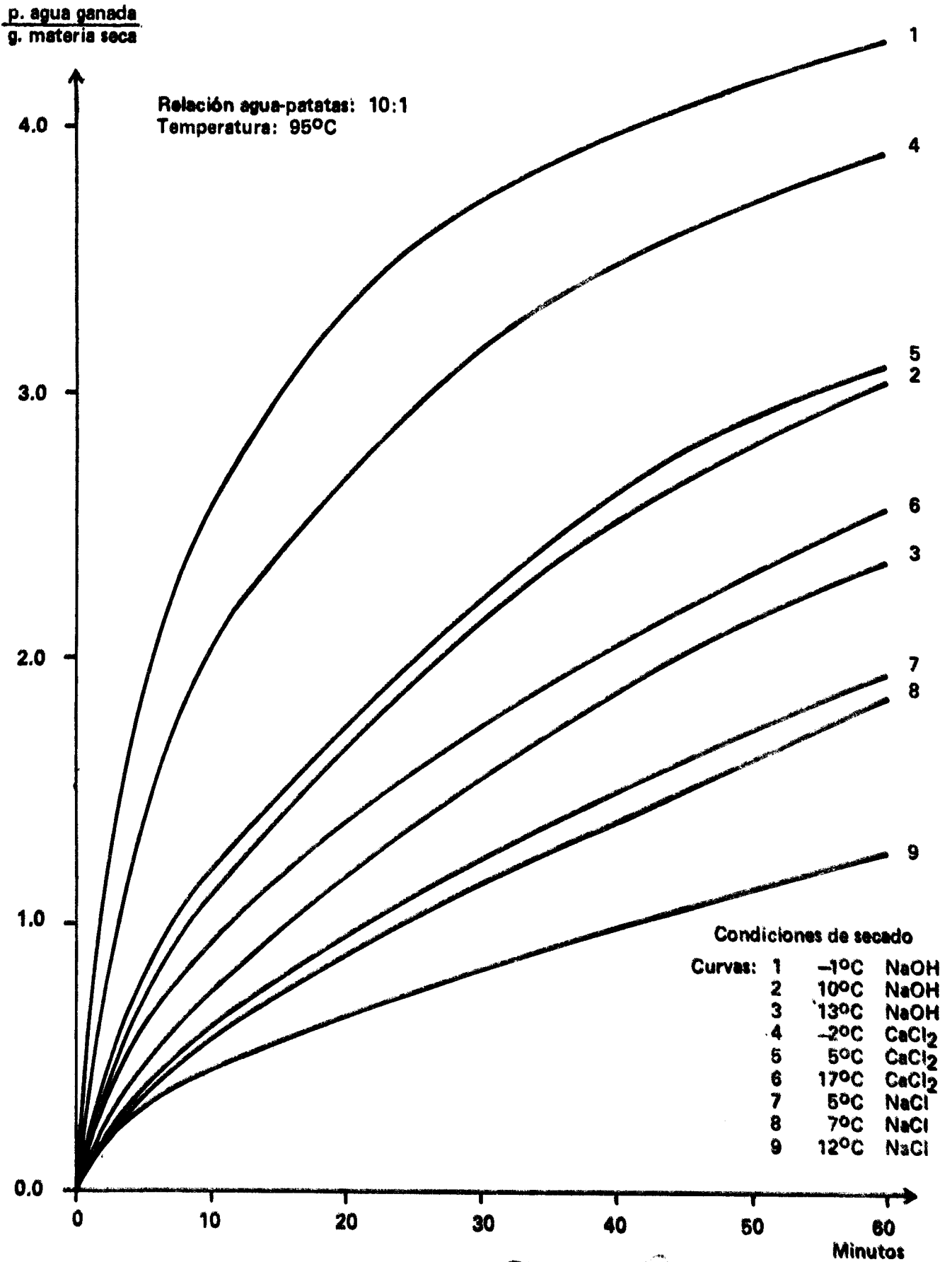



GRAFICO 14

EFFECTO DE CONDICIONES DE SECADO SOBRE EL TIPO DE CURVAS DE REHIDRACION DE PATATAS EN RODAJAS





VISTO BUENO  
COMITE DE TESIS

  
Dr. MARIO R. MOLINA.

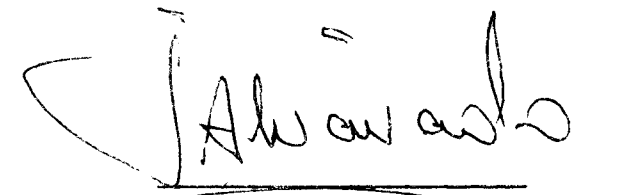
  
Dr. LUIZ G. ELIAS.

  
Dr. RICARDO BRESSANI.

IMPRIMASE:

  
Dr. ROBERTO GOMEZ BRENES.

\_\_\_\_\_  
Lic. LEONEL CARRILLO.  
Decano de la Facultad  
de Ciencias Químicas  
y Farmacia.

  
JUAN ALVARADO.