

2090



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"CINETICA DE DESHIDRATACION DE HIGADO DE RES"



EXAMENES PROFESIONALES FAC. DE QUIMICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

DAVID JAIME ZAVALA VIDAL





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

| | Pág: |
|--|------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. REVISION DE LA LITERATURA | 5 |
| 2.1. Producción del hígado de res | 5 |
| 2.1.2. La materia prima. El hígado. | 5 |
| 2.1.3. Composición química y valor - nutritivo del hígado de res. | 7 |
| 2.2. Deshidratación del hígado de res. | 10 |
| 2.2.2. Consideraciones bioquímicas. | 12 |
| 2.2.3. Consideraciones físicas. | 13 |
| 2.3.4. Consideraciones sensoriales y su relación con los cambios - físicos y químicos ocurridos. | 14 |
| 2.3. Teoría de la deshidratación. | 20 |
| 2.3.1. Teoría general del secado. | 20 |
| 2.3.2. Isotermas de desorción' | 31 |
| 2.3.2.1. Introducción. | 31 |
| 2.3.2.2. Modelos de Isotermas de desorción. | 35 |
| 2.3.2.3. Cálculo del calor de desorción. | 41 |
| III. MATERIALES Y APARATOS | 45 |
| 3.1. MATERIALES Y REACTIVOS | 45 |
| 3.2. APARATOS | 45 |
| 3.2.1. Secador de charolas | 46 |
| 3.2.2. Isoterma de desorción. | 48 |
| 3.2.3. Análisis de hígado de res deshi dratado. | 51 |

| | | |
|--------|--|-----|
| IV. | PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES | 52 |
| 4.1. | ISOTERMAS DE DESORCION | 52 |
| 4.1.1. | Tratamiento previo. | 52 |
| 4.1.2. | Corridas experimentales -- (Isotermas de desorción). | 52 |
| 4.1.3. | Corridas experimentales -- (Secado). | 53 |
| V. | DATOS EXPERIMENTALES | 55 |
| 5.1. | ISOTERMAS DE DESORCION | 55 |
| VI. | PROCEDIMIENTO DE CALCULO Y RESULTADOS | 57 |
| 6.1. | ISOTERMAS DE DESORCION | 57 |
| 6.1.1. | Modelo de BET | 57 |
| 6.1.2. | Modelo de Halsey | 60 |
| 6.1.3. | Modelo de Henderson | 64 |
| 6.2. | CINETICA DE DESHIDRATAACION | 67 |
| 6.2.1. | Procedimiento de cálculo - y resultados. | 69 |
| 6.3. | COEFICIENTE EXTERNO DE TRANSFEREN- CIA DE CALOR | 70 |
| 6.4. | COEFICIENTE INTERNO DE TRANSFEREN- CIA DE MASA | 73 |
| 6.5. | CALOR DE DESORCION | 100 |
| 6.6. | HUMEDAD REDUCIDA | 110 |
| 6.7. | HISTORIA TERMICA DEL PRODUCTO DU-- RANTE LA DESHIDRATAACION | 118 |
| VII. | DISCUION DE REDULTADOS | 123 |
| 7.1. | ISOTERMA DE DESORCION | 123 |
| 7.2. | CALOR DE DESORCION | 123 |
| 7.3. | SECADO | 124 |
| 7.4. | COEFICIENTE EXTERNO DE TRANSFEREN- CIA DE CALOR | 129 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.5. | COEFICIENTE INTERNO DE TRANSFEREN- CIA DE MASA | 130 |
| VIII. | CONCLUSIONES | 132 |
| IX. | RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGA-- CIONES | 134 |
| X. | NOMENCLATURA | 136 |
| XI. | BIBLIOGRAFIA | 139 |
| | APENDICE. DETERMINACION DE VITAMINA B ₁₂ , EN EL HIGADO DE RES DESHIDRATA <u>DO</u> | 141 |

I INTRODUCCION

Uno de los motivos para la elaboración de éste trabajo, sobre la "Cinética de deshidratación del hígado de Res", es que éste, es una buena fuente de proteínas, su costo es bajo, comparado con la carne y México se encuentra entre los países en los que el pueblo padece una alimentación deficiente, debido a la baja cantidad y calidad de proteínas ingeridas, entre -- otras causas.

Este problema de la alimentación, tanto en México como en el mundo entero debe tener una solución rápida y perdurable, tratando de reducir costos, para que los alimentos elaborados puedan ser accesibles a la población más necesitada, que por -- sus escasos recursos económicos, esta acostumbra a consumir alimentos poco nutritivos.

Otra alternativa podría ser la utilización de los subproductos de las grandes industrias, que no son utilizados en forma eficiente, estos subproductos pueden ser fuente de materia prima para la industria alimenticia, si son tratados adecudamente.

Como una pequeña aportación al problema nutricional --

del país se elaboró éste trabajo, el cuál tiene como objetivo, - aprovechar el hígado de res, por su alto contenido de proteínas y vitaminas (Vitamina A y complejo Vitaminico B).

Una forma eficiente de conseguir dicho objetivo, es mediante la deshidratación del hígado de res.

Pués mediante la deshidratación de éste, aseguramos, - su conservación, así como un aumento en la concentración de los nutrientes, pudiendose utilizar como un complemento vitaminico para elevar el nivel nutricional de un alimento poco nutritivo. pero durante la deshidratación, hay perdida de vitaminas, - el grado de destrucción en las vitaminas dependerá del cuidado ejercido durante la preparación del hígado para su deshidratación, y del proceso de deshidratación, tomando en cuenta las observaciones, hechas por H.R. Kraybill. (7)

H.R. Kraybill and J.M. Jackson (1944), hicieron las siguientes observaciones, sobre la perdida de vitaminas, durante la deshidratación de la carne:

- A una temperatura constante de deshidratación, el grado de destrucción de la vitamina, esta en función del tiempo.

- La velocidad destrucción de la vitamina se dobla --

con Incrementos de 10°C , en la temperatura.

- A temperaturas elevadas, hay un aumento en la destrucción de vitaminas, lo cuál contrasta con la destrucción de bacterias resistentes al calor.

H.R. Kraybill (1943), mediante experimentos de deshidratación de carne, encontro que la temperatura de deshidratación, debería de ser tan alta como fuera posible, para aumentar la eficiencia térmica del proceso y reducir la oportunidad de desarrollo bacteriano, pero no tan alta como para afectar la calidad del producto.

En general, a bajas temperaturas de secado, se obtienen productos de mejor calidad, sino es muy prolongado el tiempo de secado, también encontro que a temperaturas de secado mayores a 65°C , se afectaba la calidad del producto deshidratado.

Por lo cuál resulta importante el estudio de la "Cinética de deshidratación del hígado", mediante el cuál se encuentren las condiciones idoneas, para obtener el mayor aprovechamiento del hígado.

Es por eso que, en éste trabajo se hallan reunidos y expuestos de forma sencilla todos los elementos y datos prácticos relacionados con el fenómeno, tratamientos y aparatos que -

intervienen en la deshidratación del hígado de res.

Resulta fácil observar que una deshidratación es tanto más económica cuanto mayor es la velocidad con que se lleva a cabo.

Por lo tanto interesa estudiar las características del fenómeno a fin de determinar las condiciones precisas, para llevar a cabo una deshidratación industrial del hígado en el tiempo mínimo, con el mejor resultado posible, aprovechando al máximo el calor y el aire.

II. REVISION DE LA LITERATURA

2.1. PRODUCCION DE HIGADO DE RES

Para darnos una idea de la cantidad de hígado existente, tomaremos como punto de referencia la producción anual de cabezas de ganado vacuno de la República Mexicana, indicados en el cuadro 2.1.

Se observa un incremento en la cantidad de cabezas que directamente nos indica un incremento en la producción de hígado. Desafortunadamente, no existen datos precisos sobre cuanto de esta producción se sacrifica en rastros, ni tampoco del destino y comercialización del hígado.

Similar situación se encontró para el hígado de res -- deshidratado, sin embargo, por comunicación personal, (PRONAT), se sabe que existe un gran mercado para el hígado de res deshidratado.

2.1.2. La Materia Prima: El Hígado.

El hígado forma una masa consistente de figura oval; - el hígado de los bovinos es voluminoso de color chocolate ó violáceo, sin lobulación perceptible y el único lóbulo que se des-

CUADRO 2.1
PRODUCCION DE GANADO VACUNO EN LA
REPUBLICA MEXICANA (14)

| AÑO | CANTIDAD (CABEZAS GANADO VACUNO) |
|------|-------------------------------------|
| 1979 | 33,545,026 |
| 1980 | 34,590,403 |
| 1981 | 35,688,723 |
| 1982 | 36,834,075 |

(14) FUENTE: S.P.P. Anuario Estadístico de los Estados Unidos, Mexicanos (1986).

taca un poco es el Spigelio.

Es una viscera muy rica en lecitina y grasa fosfórica, en los hígados muy grasos la lecitina llega hasta el 30%.

Por esta riqueza y la abundancia de nucleína, el hígado es un alimento alto en contenido de fósforo orgánico de fácil digestión muy recomendado para los convalecientes y los anémicos.

2.1.3. Composición Química y Valor Nutritivo del Hígado de Res

En el hígado hay presencia de vitamina A; y complejo vitamínico B; contiene: Tiamina, Ribo flavina, Niacina ó Acido nicotínico, Cianocobalamina (11). El hígado, por tener una gran cantidad de cualidades nutritivas, se ha colocado en el mercado, como una de las visceras de mayor estimación.

En el cuadro 2.2. se presenta la composición química de varias carnes y subproductos carnicos.

Analizando el cuadro 2.3 se puede observar que el hígado de res deshidratado, esta constituido principalmente por material proteico. Además, por ser deshidratado, su contenido de agua, es bajo resolviendose con ello el problema de conservación, que ayuda y se retarden las reacciones enzimaticas que

CUADRO 2.2

COMPOSICION PROMEDIO DE CARNES Y VISCERAS-
(HIGADO, RIÑON Y CORAZON) POR 28 g. DE POR
CION COMESTIBLE EN BASE HUMEDA.

| NOMBRE | KCAL | PROTEINA (g) | GRASA (g) | Fe (mg) | B1 (mg) | B2 (mg) | Nic. (mg) |
|---------|------|-----------------|--------------|------------|------------|------------|--------------|
| Tocino | 44 | 3.6 | 9.0 | 0.4 | 0.16 | 0.05 | 0.8 |
| Res | 53 | 5.0 | 3.6 | 0.8 | 0.03 | 0.05 | 1.3 |
| Carnero | 39 | 4.0 | 2.5 | 0.7 | 0.05 | 0.06 | 1.3 |
| Cerdo | 98 | 4.0 | 9.0 | 0.5 | 0.20 | 0.05 | 1.0 |
| Aves | 36 | 5.0 | 2.0 | 0.4 | 0.03 | 0.04 | 2.5 |
| Hígado | 40 | 5.7 | 1.4 | 2.8 | 0.09 | 0.70 | 3.7 |
| Riñón | 36 | 4.6 | 2.0 | 2.8 | 0.09 | 0.60 | 1.8 |
| Corazón | 36 | 4.7 | 4.7 | 1.3 | 0.17 | 0.25 | 1.8 |

FUENTE: Papy F. Arnold E.B. (1978) Valor Nutritivo
de los Alimentos.

CUADRO 2.3
COMPOSICION DEL HIGADO DE RES
(g/100 g DE HIGADO DE RES)

| HIGADO DE RES | % AGUA | % PROTEINA | % GRASA |
|---------------|-----------|---------------|------------|
| Crudo | 70.1 | 19.3 | 4.7 |
| Deshidratado | 4.0 | 71.0 | 16.0 |

(14) FUENTE: Kramer T. (1973). Quality Control
For the Food Industry.

acelerarán la descomposición del producto.

Con respecto al hígado fresco se disminuye el peso y se eliminan las condiciones necesarias de conservación a bajas temperaturas. Como podemos observar en el cuadro 2.2., el hígado tiene mayor valor nutritivo que la carne; la iguala en contenido proteínico, pero es más rico en Vitamina A; tiamina, Riboflavina y Hierro y más pobre en calorías y grasas.

Además de lo anterior, la proteína del hígado presentan un alto grado de digestibilidad, (70%) lo que quiere decir que casi la totalidad de las que son ingeridas por el individuo, son absorbidas por el organismo (11).

Por las cualidades anteriores, el hígado de res, es muy recomendado en las dietas especiales de personas enfermas que requieren una dieta con un alto valor proteico y vitaminico.

2.2. DESHIDRATACION DEL HIGADO DE RES

En este proceso es esencial tener una buena relación entre superficie y volumen de la carne sea elevado para facilitar la desecación por medio de la corriente de aire y por tal motivo se utiliza como materia prima hígado picado. La deshidratación del hígado picado crudo no tiene éxito, debido a la velocidad con que en la superficie se forma una costra dura, --

que impide el acceso del agua hacia el exterior. Mediante la cocción del hígado, se alteran las propiedades coloidales de las proteínas, obteniéndose un material más poroso acelerándose, la difusión de la humedad a la superficie de la partícula.

Además, durante la cocción el contenido de humedad del hígado de res (60.5 - 70.1%), puede reducirse del 50 al 55%. -- (7).

El hígado debe cocerse durante un tiempo mínimo de 30 minutos a no menos de 75°C, después de la cocción, el hígado, se pica. La deshidratación del hígado en una corriente de aire caliente, desde el punto de vista industrial, representa la evaporación de humedad a partir de un sistema complicado.

La velocidad de secado se determina por la diferencia de humedad entre la superficie de la partícula de hígado y el aire, y por la velocidad de difusión de la humedad, en la capa superficial. Otro factor importante que afecta la velocidad del secado es el espesor de la capa de carne.

Después de que la carne se seca parcialmente, la carga de carne es más porosa y ofrece menos resistencia a la corriente del aire.

La cantidad de grasa presente influye en la velocidad-

de secado. En las etapas iniciales no es tan marcado, pero en las etapas finales un alto contenido de grasa, disminuye marcadamente la velocidad de pérdida del agua. Esto es debido a que a temperaturas altas se alcanza la temperatura de fusión de las grasas. La grasa fundida, cubre e incrementa la superficie retardando la evaporación.

2.2.2. Consideraciones Bioquímicas:

Cuando el proceso de deshidratación se realiza con aire caliente la deficiente rehidratación se debe a cambios que ocurren durante la desnaturalización de la proteína por el calor.

Entre 0-20°C, la capacidad de retención del agua de la carne a juzgar por la cantidad de agua ligada, disminuye a medida que aumenta la temperatura; debido al efecto de esta sobre la proteína sarcoplasmática. Entre 20 y 30°C el grado de hidratación no se modifica (3).

Entre 30 y 40°C, las cadenas polipeptídicas de las proteínas musculares se desarrollan y forman nuevos enlaces electrovalentes o de hidrógeno, produciendo un ligero descenso en el grado de hidratación.

Entre 40 y 50°C, disminuye la capacidad de retención -

del agua, produciéndose simultaneamente una disminución de los grupos ácidos titulables (3).

Por tanto cuanto menor sea la temperatura durante la deshidratación tanto menor será la reducción de la capacidad de retención de agua y mayor la capacidad de rehidratación del hígado.

2.2.3. Consideraciones Físicas

La eficiencia de la corriente de aire caliente durante la deshidratación de la carne picada y cocida depende de diversos factores físicos.

En primer lugar, el tiempo de deshidratación depende de la densidad de carga de las bandejas y no del tamaño de las partículas de hígado, siempre que este comprendido entre 0.3 y 0.8 cm. de altura.

Por ejemplo; el tiempo requerido para reducir el contenido acuoso de la carne a 5% con cargas de bandejas de 50, 100- y 200 g/cm² es de aproximadamente 3.5 y 6.5 horas.

La temperatura a la que se realiza la deshidratación es importante, las modificaciones causadas por el calor se caracterizan por dureza, fragilidad, sabor y olor a quemado del

producto deshidratado.

El grado de cocción es otro factor importante. Si la carne se cuece, exhaustivamente la trama del tejido conectivo se convierte en gelatina y aunque da origen a gránulos secos que se reconstituyen fácilmente, el producto se desintegra al comprimirlo. Por otra parte, si la carne se halla insuficientemente cocida la velocidad de desecación es lenta, el producto tiene textura frágil y seca.

2.2.4. Consideraciones Sensoriales y su Relación con los Cambios Físicos y Químicos Ocurridos.

Para el almacenamiento prolongado el hígado deshidratado debe comprimirse para eliminar las bolsas de aire o humedad y envasarse en un recipiente impermeable a los gases y el vapor de agua - preferiblemente en botes metálicos o en envases al vacío (Sharp, 1958)-, ya que por ser de naturaleza porosa y hallarse en estado finamente dividido es particularmente susceptible a la acción del oxígeno. Los cambios no oxidativos, ya sean de naturaleza química o enzimática, son de importancia secundaria a no ser que el almacenamiento se realice a temperatura elevada. Por ejemplo, mientras que en ausencia de oxígeno el hígado deshidratado conserva el aroma durante 12 meses o más cuando se mantiene a 15°C, cuando se almacena bajo nitrógeno puede alterarse debido a cambios no oxidativos.

CUADRO 2.4
 ACIDEZ LIBRE DE LA GRASA DE LA CARNE DE BOVINO
 DESECADO EN ESTADO CRUDO DESPUES DE ALMACENAR-
 LA DURANTE 12 MESES

| CONTENIDO EN HUMEDAD | (% DE ACIDO OLEICO) TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO | |
|-------------------------|---|------|
| | 20°C | 37°C |
| 7'5 | 17 | 36 |
| 5'0 | 12 | 24 |
| 3'2 | 6 | 12 |

FUENTE: Harris R.S. y Kamas E. (1975) Nutri-
 tional Evaluation of Food. Processing.

CUADRO 2.5
 PERDIDA DE TIAMINA EN EL HIGADO DE CERDO DESHIDRATADO ALMACENADO A DIFERENTES TEMPERATURAS

| TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO (°C) | % DE TIAMINA RETENIDA | | |
|---|-----------------------|---------|---------|
| | 7 DIAS | 14 DIAS | 21 DIAS |
| -29 | 100 | 100 | 100 |
| 3 | 100 | 100 | 96 |
| 27 | --- | 89 | 77 |
| 38 | 70 | 55 | 43 |
| 49 | 15 | 7 | 0 |
| 63 | 4 | 0 | 0 |

FUENTE: Harris R.S. y Karmas E. (1979) Nutritional Evaluation of Food Processing.

En ausencia de oxígeno el principal cambio que ocurre durante el almacenamiento es la reacción de Maillard, en la que los grupos carbonilo de los azúcares reductores se combinan -- (sin la intervención de enzimas) con los grupos amino de las -- proteínas y aminoácidos. Como consecuencia de esta reacción, -- el producto adquiere una coloración parda y un aroma amargo, co -- mo quemado. La velocidad del obscurecimiento no enzimático au -- menta con el pH y no es inhibida a temperaturas superiores a -- 37°C, a menos que el contenido en humedad del hígado sea del -- 2% o inferior (3).

El hígado crudo deshidratado se altera con más facilidad que el correspondiente hígado cocido, posiblemente debido a que la actividad enzimática residual es mayor. Para que la concentración de las sustancias reaccionantes sea lo más baja posible, el hígado debe deshidratarse inmediatamente después de la muerte del animal o de lo contrario mantenerse a temperatura inferiores a -10°C hasta el momento de la deshidratación. La supresión de la glucosa por la acción de la glucosa-oxidasa no es comercialmente posible. El hígado deshidratado puede dejar de ser comestible a los 6 meses de almacenamiento a temperatura -- elevada debido a la reacción de Maillard (Sharp y Rolfe, 1958). La reducción simultánea de la capacidad de retención de agua de las proteínas durante el almacenamiento en tales condiciones -- imparte al producto una textura quebradiza. La conservación -- puede aumentarse, no obstante, reduciendo el contenido acuoso -

del hígado deshidratado a valores muy bajos.

El hígado deshidratado de alto contenido de humedad, cuando se almacena a temperatura elevada en presencia de oxígeno, se vuelve pálido y amarillo por conversión de la mioglobina en pigmentos biliares y adquiere un olor a harina vieja y a pintura, a consecuencia de la oxidación de la grasa. El hígado -- deshidratado posee considerable actividad lipolítica. Cuando - el hígado se cuece antes de deshidratarlo se reduce notablemente la actividad lipolítica, pero no se produce la inactivación-
tatal. La actividad lipolítica del producto es tanto mayor - - cuanto más elevada es la temperatura de almacenamiento y el contenido en humedad residual. Cuando el contenido acuoso se reduce hasta 1.5% no se produce la oxidación de la grasa, pero se - perjudica seriamente el aroma y textura del hígado deshidrata--do. La estabilidad de la grasa frente al oxígeno puede aumen--tarse incorporando a la carne durante la cocción antioxidantes-
tales como la goma de guayado y el galato de etilo (Anon., 1944), pero aparecen otros cambios, algunos de los cuales se caracterizan por el ya mencionado olor a harina rancia.

En enranciamiento también se puede impedir envasando - la carne deshidratada en atmósfera de gases inertes. Cuando -- así se procede, la carne adquiere un olor ligero semejante al - de la carne de cangrejo de mar, olor que desaparece más tarde - al reconstituir la carne, y al cocerla. El hígado curado deshi

dratado es especialmente susceptible al enranciamiento oxidativo a consecuencia de la producción de oxidantes durante el proceso de curado.

Durante la deshidratación lo ideal sería someter a los alimentos a un calentamiento que impidiese el crecimiento microbiano hasta que el contenido de humedad se redujese a un nivel capaz de inhibir el crecimiento bacteriano. No obstante, parece ser que en las condiciones prácticas aunque el hígado estuviese contaminado por el *Cl. botulinum*, resulta imposible la formación de toxina en cantidades significativas durante el período de deshidratación.

Sin embargo, deben tomarse precauciones para evitar la contaminación durante la reconstitución del hígado.

Como en el caso del hígado tratado térmicamente, el contenido en tiamina de los hígados deshidratados disminuye durante el almacenamiento, especialmente si la temperatura de almacenamiento es elevada.

En general, el hígado deshidratado de cerdo, oveja y vaca se conserva sin pérdida de sabor ni olor durante 3 años ó más cuando se almacena, a temperaturas moderadas, comprimido en bloques de peso específico 0'8 - 1'0 y en botes cerrados bajo atmósfera de nitrógeno (Sharp, 1953). No obstante, la capaci--

dad de reconstitución disminuye a partir de los 12 meses.

2.3. TEORIA DE LA DESHIDRATAACION

2.3.1. Teoría General del Secado.

Con el fin de fijar horarios de secado y determinar el tamaño del equipo, es necesario saber el tiempo que se requerirá para secar una sustancia a partir de un contenido de humedad inicial al ya establecido. También es deseable calcular el efecto que tendran las diferentes condiciones en el tiempo de secado.

El conocimiento del mecanismo de secado es tan incompleto que, salvo pocas excepciones, es necesario con este fin basarse en algunas mediciones experimentales. La rapidez del secado por lotes es relativamente fácil y proporciona la información no sólo para la operación por lotes sino también para la continua.

Pruebas de secado. La rapidez de secado puede determinarse suspendiendo la muestra conectada a una balanza en un gabinete o tubería, en una corriente de aire. Entonces el peso de muestra secada puede medirse como una función del tiempo. Deben observarse ciertas precauciones para que los datos sean de máxima utilidad. La muestra no debe ser muy pequeña. Más

aún, las siguientes condiciones deben parecerse lo más posible a las condiciones que, según se prevé, predominarán en la operación a gran escala: (1) la muestra debe soportarse en forma similar sobre un plato o estructura; (2) debe tener la misma relación de superficie que se seca a la que no se seca; (3) debe sujetarse a condiciones similares de transferencia de calor por radiación; (4) el aire debe tener la misma temperatura, humedad y velocidad (con la misma velocidad y dirección con respecto a la muestra). Si es posible, se deben realizar varias pruebas sobre muestras de diferente espesor. También debe determinarse el peso seco de la muestra.

La exposición de la muestra a una corriente de aire de temperatura, humedad y velocidad constantes constituye el secado en condiciones constantes.

CURVA DE RAPIDEZ DE SECADO

A partir de los datos obtenidos durante una de estas pruebas, se puede graficar una curva de contenido de humedad como función del tiempo (fig. 2.1.).

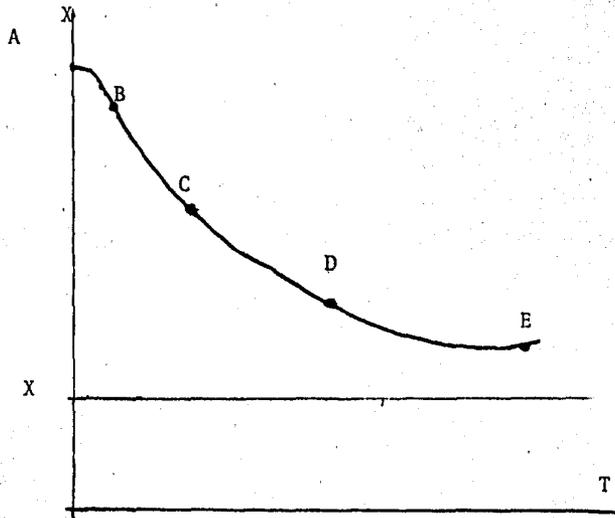
Esta es de utilidad en la determinación del tiempo necesario para secar grandes lotes en las mismas condiciones de secado. Se puede obtener información si los datos se convierten a rapidezces (o fluxes) de secado, expresadas como $\text{Kg H}_2\text{O}$ --

removida/(tiempo) (área), y se graficán contra contenido de humedad, como en la figura 2.2. Esto puede hacerse midiendo las -- pendientes de las tangentes de los datos experimentales expresados en la figura 2.1 ó determinando, a partir de la curva (fig. 2.1.) pequeños cambios en el contenido de humedad ΔX para pequeños cambios en el tiempo Δt y calculando la velocidad como -- $N = -S_s/dx/Adt$, aquí, S_s es la masa de sólido seco; A es la superficie humedad sobre la cual sopla el gas y a través de la -- cuál tiene lugar la evaporación en el caso del secado de aire -- por circulación cruzada. En el caso del secado por circulación transversal, A es la sección transversal del lecho medida a -- ángulos rectos a la dirección del flujo del gas.

Algunas veces, la curva de velocidad de secado se gráfica con la ordenada expresada como masa de humedad evaporada -- (tiempo) (masa sólido seco), que en la notación presente es -- $-dX/dt$.

Generalmente hay dos partes principales en la curva de velocidad de secado o sea la figura 2.3.2. Un período de rapidez constante y uno de velocidad creciente, como se señala en -- la figura. Aunque a menudo, sólidos diferentes y condiciones -- distintas de secado dan lugar a curvas de formas muy diferentes en el período decreciente de la velocidad, la curva que se -- muestra ocurre con frecuencia. Algunas de las diferencias que pueden aparecer se considerarán posteriormente, más por ahora se --

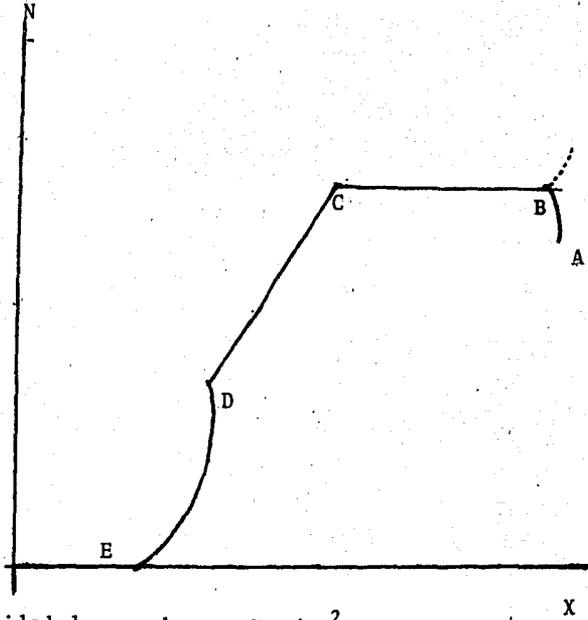
Figura No. 2.1. Curva de Velocidad de Secado



Donde: $X = \text{g H}_2\text{O/g s. seco. Humedad.}$

$t = \text{T tiempo en Minutos.}$

Figura No. 2.2. Curva de Velocidad de Secado.



Donde N = Velocidad de secado en $\text{gH}_2\text{O}/\text{cm}^2 \cdot \text{mín.}$

X = Humedad del Sólido en $\text{gH}_2\text{O}/\text{g.s.s.}$

van a analizar las razones que se dan ordinariamente para las diversas partes de la curva presentada.

Si un sólido se encuentra inicialmente muy húmedo, la superficie estará cubierta con una delgada película de líquido, que se supondrá como humedad total no ligada. Cuando esta superficie se expone a aire relativamente seco, la evaporación tendrá lugar desde la superficie. La velocidad a la cual se evapora la humedad puede describirse en función de K_y , un coeficiente de transferencia de masa entre el gas y la superficie húmeda del sólido.

Entonces, para el secado por circulación tangencial se tiene:

$$N_c = K_y (Y_s - Y) \quad (2.1.)$$

Donde: N_c = Velocidad de secado constante,
gH₂O/cm². mín.

K_y = Coeficiente de transferencia de masa de la fase gaseosa gH₂O/mín. cm² (gH₂O/g a. seco)

Y_s = Humedad del aire en la superficie líquida
(gH₂O/g a. seco)

Y = Humedad del aire en la corriente principal
(gH₂O/g a. seco)

Se puede prever que el coeficiente K_y permanecerá constante siempre y cuando no cambien la velocidad y dirección de flujo de gas sobre la superficie del sólido, por lo tanto dependerá de la temperatura superficial. Puesto que la evaporación de humedad absorbe calor latente, la superficie húmeda permanece en una temperatura en el equilibrio tal que la velocidad del flujo de calor en el entorno de la superficie es exactamente igual a la velocidad de absorción de calor. Por lo tanto, Y_s permanece constante. Los capilares e intersticios del sólido, llenos de líquido, pueden llevar líquido hasta la superficie tan rápidamente como el líquido se evapora en ésta.

La velocidad de evaporación permanece constante en el valor N_c , al principio de la operación de secado, las superficies sólida y la líquida están generalmente más frías que la temperatura superficial final T_s la velocidad de evaporación aumenta;

Cuando la temperatura superficial del sólido, aumenta hasta su valor final durante el período AB sobre estas curvas. En forma alternativa, la temperatura en el equilibrio T_s puede ser menor que el valor inicial, lo cual dará lugar a una curva A'B mientras ocurre el ajuste inicial. Generalmente el período inicial es tan corto que de ordinario se ignora en el análisis subsecuente de los tiempos de secado (5).

Cuando el contenido de humedad promedio del sólido alcanza un valor X_c , el contenido crítico de humedad, la película superficial de humedad se reduce tanto por evaporación que el secado posterior produce puntos secos que aparecen sobre la superficie; éstos ocupan cada vez porciones más grandes de la superficie expuesta al continuar el secado. Sin embargo, puesto que la rapidez N se calcula mediante la superficie gruesa constante A , el valor de N debe descender aún cuando la velocidad por unidad de superficie húmeda permanezca constante. Esto da lugar a la primera parte del período decreciente de la velocidad, el período de secado superficial no saturado, desde el punto C hasta el D (fig. 2.2) y, Finalmente, la película superficial original de líquido se habrá evaporado completamente a un contenido de humedad promedio de sólido que corresponde al punto D . Esta parte de la curva puede faltar completamente, o puede constituir el total de período decreciente de la velocidad. En el caso de algunos textiles, se han necesitado otras explicaciones para el período lineal de secado.

Al continuar el secado, la velocidad con la cual se puede mover la humedad a través del sólido es el paso controlante. En algunos casos, la evaporación puede tener lugar debajo de la superficie del sólido en un plano o zona que se va hundiéndose más profundamente en el sólido al irse secando. En cualquier caso, la velocidad de secado decae aún más rápidamente que antes, como de D a E (fig. 2.2) En el punto E , el conteni-

do de humedad del sólido ha descendido hasta el valor en el equilibrio X_e para la humedad del aire predominante y el secado se detiene.

TIEMPO DE SECADO

Si se desea calcular el tiempo de secado de un sólido en las mismas condiciones para las cuales se ha determinado completamente una curva del tipo de la mostrada en la figura 3.1., se necesita simplemente leer la diferencia en los tiempos que corresponden al contenido inicial y final de humedad mediante la curva experimental.

Dentro de ciertos límites, algunas veces es posible calcular la apariencia de una curva de velocidad de secado como la de la figura 3.2. para condiciones diferentes a las utilizadas en los experimentos. Con el fin de calcular el tiempo de secado para una curva de este tipo, se puede hacer lo siguiente: La velocidad de secado es:

$$N = \frac{-S_s \, dX}{A \, dt} \quad (2.2)$$

Donde: N = Velocidad de secado, $\text{gH}_2\text{O}/\text{cm}^2$ mín.
 S_s = Masa de solido seco, g s. seco
 dX = Intervalo del contenido de humedad del solido
 $\text{g H}_2\text{O}/\text{g s. seco}$
 A = Area que se esta secando, cm^2
 dt = Intervalo de tiempo, mín.

Reordenando e integrando en el intervalo de tiempo en que el contenido de humedad cambia de su valor inicial X_1 a su valor final X_2 .

$$t = \int_0^t dt = \frac{S_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dx}{N} \quad (2.3)$$

1. El período de velocidad constante. Si el secado tiene lugar completamente dentro del período de velocidad constante, de forma que X_1 y X_2 X_c y $N = N_c$, la ecuación (2.3.) se transforma en:

$$t = \frac{S_s (X_1 - X_2)}{A N_c} \quad (2.4)$$

2. El período decreciente de la velocidad. Si tanto X_1 como X_2 son menores que X_c , de forma que el secado ocurre bajo condiciones cambiantes de N , se puede hacer lo siguiente:

a) Caso general. Para cualquier forma de la curva de creciente de la velocidad, la ecuación (2.3) puede integrarse gráficamente mediante la determinación del área bajo una curva de $1/N$ como ordenada, X como abscisa, cuyos datos se pueden obtener de la curva de velocidad de secado.

b) Caso especial. N es lineal en X , como en la región BC de la figura 3.2. En este caso.

$$N = mX + b \quad (2.5)$$

en donde m es la pendiente de la porción lineal de la curva y b es una constante. Sustituyendo en la ecuación (2.3) se tiene:

$$t = \frac{S_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dX}{mX + b} = \frac{S_s}{mA} \ln \frac{mX_1 + b}{mX_2 + b} \quad (2.6)$$

sin embargo, como $N_1 = mX_1 + b$, $N_2 = mX_2 + b$ y $N_m = \frac{(N_1 - N_2)}{(X_1 - X_2)}$, la ecuación (2.6) se vuelve:

$$\theta = \frac{S_s (X_1 - X_2) \ln N_1}{A (N_1 - N_2) N_2} = \frac{S_s (X_1 - X_2)}{AN_m} \quad (2.7)$$

en donde N_m es el promedio logarítmico de la velocidad N_1 , el contenido de humedad X_1 y N_2 en X_2 .

Con frecuencia, curva decreciente de la velocidad total se puede tomar como una línea recta entre los puntos C y E (fig. 2.2.). Con frecuencia, esto se supone debido a la falta de datos. En este caso,

$$N = m(X - X^+) = \frac{N_c (X - X^+)}{X_c - X^+} \quad (2.8)$$

y la ecuación (3.7) se vuelve:

$$\theta = \frac{S_s (X - X^+)}{N_c A_c} \ln \frac{X_1 - X^+}{X_2 - X^+} \quad (2.9)$$

En cualquier problema particular de secado, pueden intervenir tanto el período de velocidad constante como decreciente según sean los valores relativos de X_1 , X_2 y X_c . Deben escogerse las ecuaciones y los límites adecuados.

2.3.2. Isotermas de Desorción.

2.3.2.1. Introducción

En el estudio de la deshidratación de alimentos, el contenido de humedad presente es un factor importante por su efecto tanto en el procesamiento como la estabilidad posterior del producto durante su almacenamiento. Las isotermas de desor

ción permiten conocer las condiciones de contenido de humedad-- que se puede alcanzar a temperatura y humedad relativa específica. En otras palabras, pueden predecir las condiciones de -- equilibrio al final de la deshidratación.

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

$$a = P/p_o = \% \text{ HR}/100 \quad (2.10)$$

Donde:

a = Actividad del agua

P = Presión de vapor ejercida por el agua del alimento.

p_o = Presión de vapor del agua pura a una T_o.

T_o = Temperatura de equilibrio del sistema.

HR = Humedad relativa del aire, a la cual no se pierde ni se gana agua.

En general, la humedad relativa en equilibrio, con el contenido de humedad del alimento, puede ser descrita por una curva del tipo mostrado en la figura (3.2.1.).

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

ZONA A. Corresponde a la desorción de la capa monomolecular de agua y evidencia la presencia de enlaces polares.

ZONA B. Corresponde a la desorción de capas adicionales sobre la monocapa, y está relacionada con la presencia de enlaces no polares.

ZONA C. Corresponde a la condensación de agua en los poros del material seguido por la disolución del material soluble presente, es decir, esta constituida por el agua libre.

El valor de la monocapa de información sobre la estabilidad de los alimentos después de ser deshidratados. Se ha observado que un alimento con un contenido de humedad correspondiente a la monocapa presenta una mayor estabilidad (8).

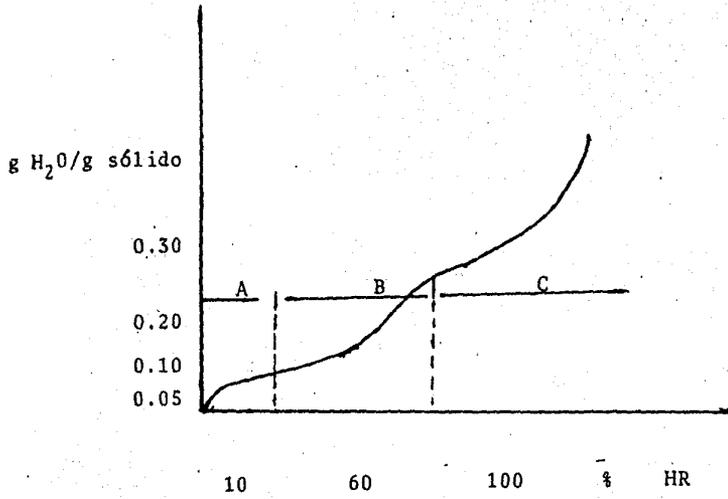


Figura 2.3.1. Húmedad relativa en equilibrio. vs. Contenido de húmedad en el alimento.

2.3.2.2. MODELOS DE ISOTERMAS DE DESORCION

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

MODELO BRUNAUVER / EMETT / TELLER.

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

Brunaver et al, hicieron las siguientes suposiciones - para ampliar el intervalo de aplicaciones de su modelo.

a) El calor de desorción para la primera capa es cons tante e igual al H_v -total (calor de vaporización), más una cons tante debido a los sitios de interacción Q_H .

b) El calor para todas las capas sobre la monocapa es igual al Hv.

c) La adsorción o desorción solo ocurre en sitios específicos.

El modelo matemático es el siguiente:

$$\frac{V}{V_m} = \frac{c a}{(1 - a) [1 + (c - 1) a]} ; \quad (2.11)$$

Rearreglando la ecuación tenemos:

$$\frac{a}{(1 - a)V} = \frac{1}{V + m C} + \frac{a (c - 1)}{V m C} \quad (2.12.)$$

Donde:

- a = Actividad de agua
- V = Volumen desorbido g H₂O/g sólido
- V_m = g H₂O/g sólido seco en una capa monomolecular
- C = K exp (Q/RT).
- K = Coeficiente de acomodo/factor de frecuencia
- K = 1
- R = Constante general de los gases

Si se grafica a/(1 - a) V contra a, se obtiene una línea recta, como se muestra en la figura 2.3.2.

Un análisis de la pendiente y la ordenada al origen de está recta, puede proporcionar el valor de la monocapa.

Otros modelos han intentado explicar el comportamiento de la isoterma en todo el intervalo de actividades de agua. En particular los modelos de Halsey y Henderson (1952) han mostrado ser validos en el intervalo de actividad de agua de 0.1 a -- 0.8.

La ecuación propuesta por Halsey es la siguiente:

$$a = \exp(-b/RT \theta^r) \quad (2.13)$$

Donde:

b y r = Son constantes del modelo

T = Temperatura absoluta

O = V/vm (g H₂O/g sól.) (g H₂O/g.sol). Monacapa

b' = b/RT.

Linearizando la ecuación.

$$\ln \ln \frac{1}{a} = -r \ln \theta + \ln b' \quad (2.14)$$

Halsey asume que la energía potencial de las moléculas varia inversamente de la distancia a la superficie. También es establece que el valor de r caracteriza el tipo de interacción en

tre el vapor y el sólido. Si r es grande, la atracción del sólido por el vapor es muy específica y no aleja mucho de la superficie. Si r es pequeña entonces las fuerzas que actúan, son del tipo de Van der Waals y pueden actuar a gran distancia.

Modelo de Henderson.

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

$$1-a = \exp - (km^n) \quad (2.15)$$

Donde:

K y n son constantes del modelo

m = Cantidad adsorbida

Linearizando la ecuación (3.2.6), tenemos:

$$\ln [\ln (1-a)] = n \ln m + \ln K \quad (2.16)$$

Figura 2.3.2. Modelo Brunover/ Emett / Teller

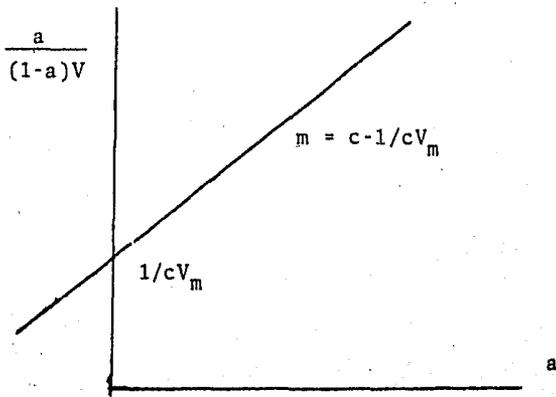


Figura 2.3.3. Modelo de Halsey

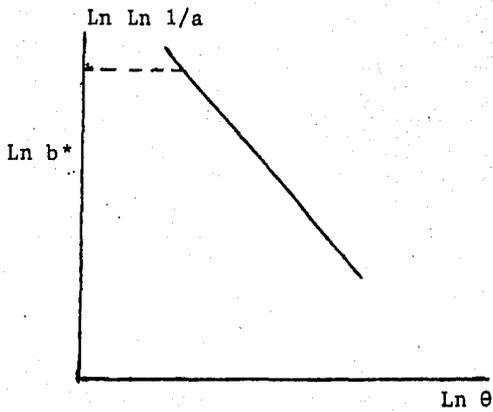
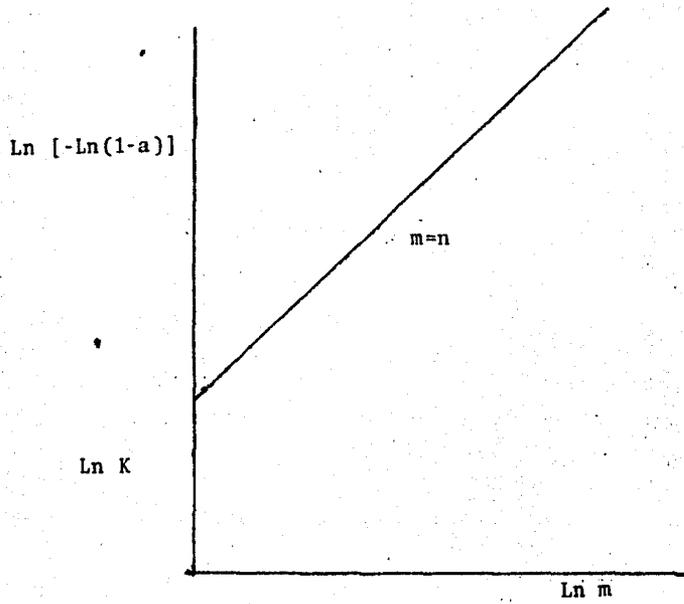


Figura 3.2.4. Modelo de Henderson



2.2.2.3. Cálculo del Calor de Desorción

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

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

$$\frac{d(\ln a)}{d(1/T)} = \frac{-Q_s}{R} \quad (2.17)$$

Donde:

- a = Actividad de agua
- T = Temperatura absoluta
- Q_s = Calor de desorción
- R = Constante general de los gases

Si las isoterms se realizan a diferentes temperaturas, estas mostrarán un decremento en la cantidad adsorbida a medida que aumente la temperatura a una actividad de agua constante, como se muestra en la figura 2.3.5.

Como se observa en la ecuación anterior, si graficamos el logaritmo de la actividad de agua contra la inversa de la temperatura absoluta a un contenido de humedad constante obtendremos una línea cuya pendiente corresponde al calor de desor-

ción dividido por la constante general de los gases. Esto se muestra en la figura 2.3.6.

El comportamiento general del calor de desorción con el contenido de humedad se indica en la figura 2.3.7.

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

Figura 2.3.5. Efecto de la temperatura con la adsorción.

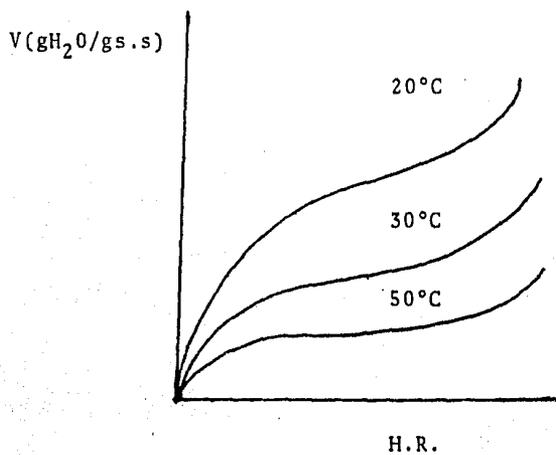


Figura 2.3.6. Dependencia de la actividad del agua con el inverso de la temperatura

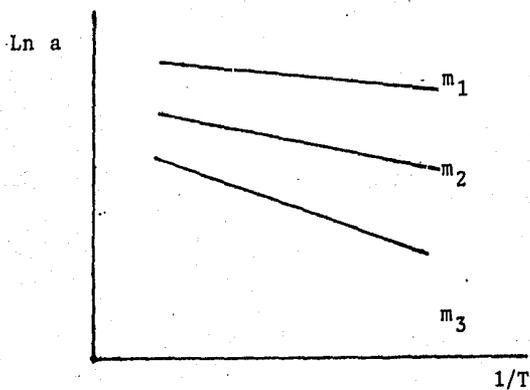
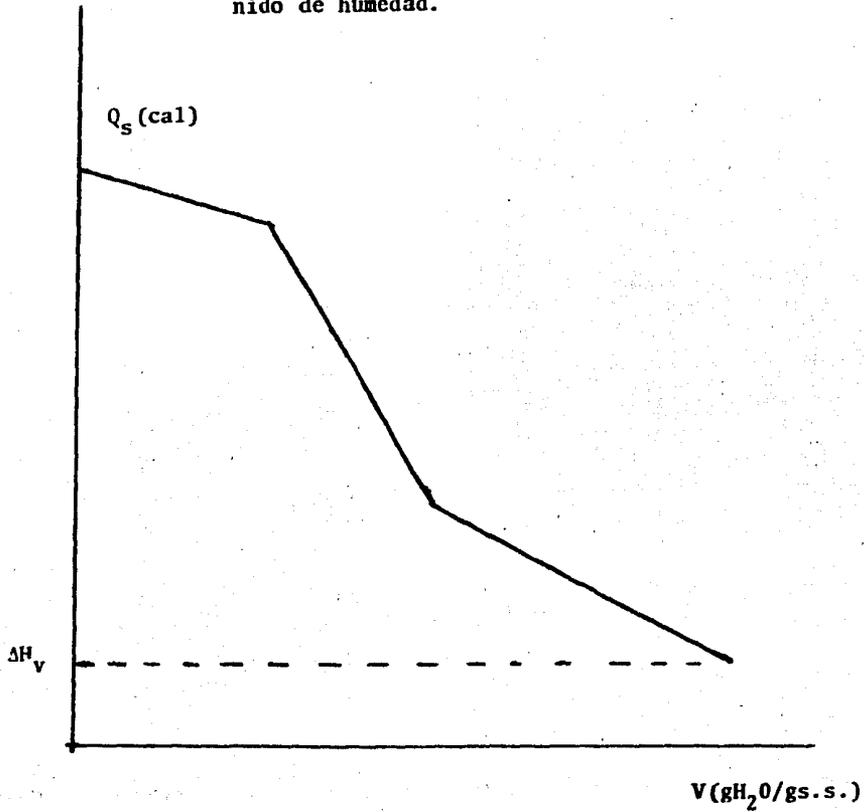


Figura 2.3.7. Dependencia del calor de desorción con el contenido de humedad.



III. MATERIALES Y APARATOS

3.1 MATERIALES Y REACTIVOS

- Hígado de res crudo, adquirido en el supermercado Gigante.
- Agua destilada
- Bisulfito de sodio. (J.T. Baker)
- Mertiolate blanco concentrado. (Timerosal) --
(Ely/Lilly y Co.)

3.2 APARATOS

- Balanza OHAUS
- Vernier
- Cinta metrica
- Termometros
- Manometros
- Secador de charolas

3.2.1 Secador de Charolas

a) El aparato consta de un ventilador, de tamaño 9 de 2700 r.p.m.

Volts 220/240

II fase

50 ciclos

Amp. 0.7

b) Una mampara adelante del ventilador con la cual se puede regular el flujo de aire y tiene 5 posiciones.

c) Un serpentín de vapor con el cual se calienta el aire que es impulsado por el ventilador.

d) Una balanza granataria OHAUS, a la cual va añadida la base sobre la cual van montadas las charolas del secador, - mediante la cual se detecta la pérdida de agua del hígado a través del tiempo.

e) Túnel de salida, para permitir la circulación del aire.

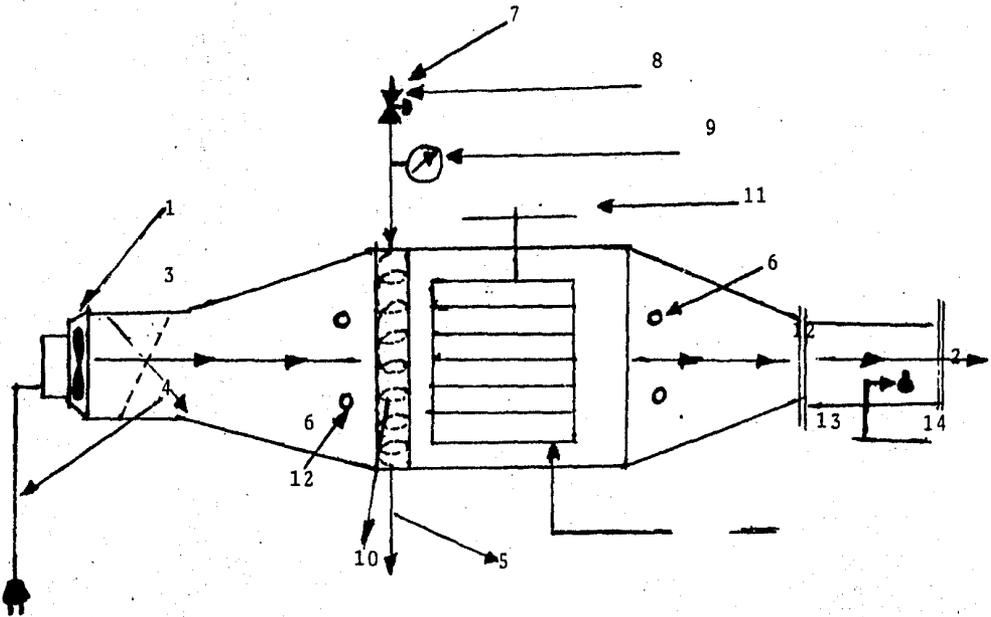
f) Como instrumental tenemos:

Psicometro

Manometro

Medidor de orificio

Figura 3.2.1 Secador de Charolas Intermitentes
(Diagrama del equipo)



PARTES DEL EQUIPO

- | | |
|------------------------------|---------------------------------|
| 1) Ventilador | 8) Valvula |
| 2) Flujo de aire | 9) Manometro |
| 3) Mampara | 10) Serpentin de vapor |
| 4) Conexiones del ventilador | 11) Balanza granataria OHAUS |
| 5) Condensador | 12) Termometros |
| 6) Termometros | 13) Base y charolas del Secador |
| 7) Vapor | 14) Medidor de orificio |

El secador consta de cuatro charolas de aluminio de --
21 X 21 cm. cada una.

3.2.2 Isoterma de Desorción

Con el objeto de conocer tanto las relaciones en el -- equilibrio entre el contenido de humedad del hígado, y la humedad relativa del aire de secado a una temperatura, se construye la isoterma de desorción. El método gravimétrico (Labuza, 1968) se empleó para la determinación de las condiciones en el equili**u** brio.

Para este estudio se utilizó una cámara acondicionada a temperatura constante, en esta la temperatura fué controlada mediante un termostato saginomiva modelo 110, conectada a las resistencias de la cámara; con el fin de disminuir el intervalo de temperatura en el cual se realizaba el control se conectó un reostato controvaq modelo. ABCO alcanzándose una definición de ± 2 °c.

Posteriormente dentro de la cámara se colocan las celdas de actividad de agua con el fin de estudiar las condiciones de equilibrio.

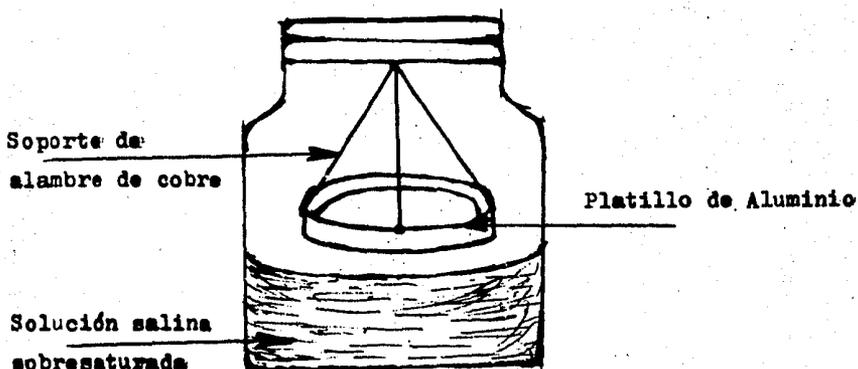
El tipo de celdas empleadas fueron frascos de vidrio de 350 ml. según la modificación de la celda de Ramón Arana. -- (Ref.) Un diagrama de esta celda se muestra en la siguiente -- figura (3.1). Celda de 350 ml. para la determinación de - -

CUADRO No. 3.1
HUMEDAD RELATIVA (%) A DIFERENTES TEMPERATURAS
Y SOLUCIONES SALINAS SOBRESATURADAS

| TEMP (°C) | LiCl | MgCl ₂ | Mg(NO ₃) ₂ | NaCl | (NH ₄) ₂ SO ₄ | KNO ₃ | K ₂ SO ₄ |
|--------------|------|-------------------|-----------------------------------|------|---|------------------|--------------------------------|
| 10.0 | 13.3 | 34.2 | 57.8 | 75.4 | 81.8 | 95.5 | 97.9 |
| 32.2 | 11.9 | 32.6 | 51.6 | 75.6 | 80.0 | 90.0 | 96.5 |
| 48.8 | 11.5 | 31.6 | 47.3 | 74.8 | 79.1 | 85.3 | 95.8 |
| 68.3 | 11.1 | 42.2 | 73.2 | 73.2 | 78.0 | 78.0 | 95.0 |

actividad del agua. Las diferentes humedades relativas fueron obtenidas con diferentes soluciones de sales sobre saturadas.- En la tabla 3.1 (Prookeretal, 1974) se enlistan las sales empleadas señalando en cada caso la temperatura y humedad correspondientes.

Fig. No. 3.1



3.2.3 Análisis del Hígado de Res Deshidratado

Para evaluar el efecto de la deshidratación sobre el hígado de res, es importante evaluar sus características y - - efectuar un análisis sobre la muestra deshidratada.

Dentro de estos análisis tenemos: % de humedad, % de grasa cruda, % de proteínas, % de cenizas, % de carbohidratos; determinados según las técnicas establecidas en el AOAC, (1980).

Para la evaluación de la pérdida de vitamina durante la deshidratación, se efectuó la determinación de la Vitamina B₁₂, mediante la adaptación de un método microbiológico.

El procedimiento del método microbiológico, se describe en el apéndice.

IV. PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.

4.1. ISOTERMAS DE DESORCION

4.1.1 Tratamiento previo

Con el fin de evitar alteraciones químicas y microbia-
nas en las muestras bajo estudio, el producto fué sometido al-
siguiente tratamiento:

1.- Corte del hígado de res crudo en capas delgadas -
tipo bisteck.

2.- Cocción del hígado de res.

3.- Decantar el agua de cocción.

4.- Picado del hígado de res en forma de granulado--
(malla 16).

4.1.2 Corridas experimentales. (Isotermas de Desorción).

1.- Las muestras de hígado, eran colocadas sobre el-
platicillo de aluminio en la celda de 350 ml. Se utilizaron 3 -

frascos para cada solución salina sobresaturada, esto se hizo para cada una de las condiciones de temperatura y humedad relativa.

2.- Las muestras de hígado se pesaban inicialmente y eran muestreadas durante varios días hasta que alcanzaban el equilibrio.

El criterio empleado para concluir que la muestra había alcanzado el equilibrio fué, la reproducibilidad del peso de la muestra en la segunda cifra decimal durante 3 días consecutivos.

3.- Una vez alcanzado el equilibrio se determina la humedad final en una estufa de 70 - 75°C de temperatura y vacío de 508 mm. de Hg.

4.- La cantidad de humedad en el equilibrio que se reporta es un promedio de los tres valores obtenidos en las muestras a diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa.

4.1.3 Corridas experimentales. (secado)

1.- Muestras del hígado eran colocadas en las coloca-

das en las charolas del secador, se determinaba el espesor y el area ocupada por la muestra.

2.- Se registraba el peso inicial de la muestra y después este se registro cada 5 minutos, para este proposito la operación era suspendida por 30 segundos, apagando el ventilador; una vez registrado el peso de la muestra, el ventilador era encendido y la operación reiniciada.

3.- El fin de la deshidratación se consideraba, cuando las lecturas del peso de la muestra se repetia durante un intervalo de 30 minutos.

3.- Una vez alcanzado el equilibrio, se determina la humedad en una estufa con temperatura de 70 - 75°C y vacio de 508 mm. de Hg.

V. DATOS EXPERIMENTALES

5.1 ISOTERMAS DE DESORCION

CUADRO 5.1

DATOS EXPERIMENTALES, PARA EL CALCULO DE LA
ISOTERMA DE DESORCION
TEMPERATURA: 45°C.

| SOLUCIONES SALINAS SOBRESATURADAS | HUMEDAD RELATIVA (%) | CONTENIDO DE HU- MEDAD EN EL EQUI- LIBRIO (%) |
|---|----------------------------|---|
| LiCl | 11.5 | 3.406 |
| MgCl ₂ ·6H ₂ O | 31.6 | 5.700 |
| Mg(NO ₃) ₂ ·0 | 47.3 | 9.810 |
| NaCl | 74.8 | 14.090 |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | 79.1 | 14.990 |
| KNO ₃ | 85.3 | 17.670 |
| K ₂ SO ₄ | 95.8 | 24.890 |

CUADRO 5.2

DATOS DE A_w CONTRA HUMEDAD DE HIGADO DE RES

| ACTIVIDAD DE AGUA A_w (%HR/100) | HUMEDAD DEL HIGADO M (gH ₂ O/g s.s.) |
|--------------------------------------|--|
| 0.115 | 0.340 |
| 0.316 | 0.0570 |
| 0.473 | 0.0981 |
| 0.748 | 0.1400 |
| 0.791 | 0.1490 |
| 0.883 | 0.1760 |
| 0.958 | 0.2485 |

Donde:

 a_w = Actividad del aguam = Humedad en g H₂O/g s.s.

VI PROCESO DE CALCULO Y RESULTADO

6.1 ISOTERMAS DE DESORCION

A partir de los datos obtenidos experimentalmente, se trazo la isoterma de desorción, para así poder describirla usando los modelos matemáticos de isotermas de desorción.

6.1.1 Modelo Brummer-Emelt-Teller.

$$\frac{a}{(1-a)V} = \frac{1}{V m c} + \frac{a(c-1)}{V m c} \dots\dots (2.12)$$

Graficar:

$$\frac{a}{(1-a)V} \text{ .Vs . a}$$

Para ilustrar el procedimiento de cálculo se utilizan los resultados experimentales del cuadro 5.2.

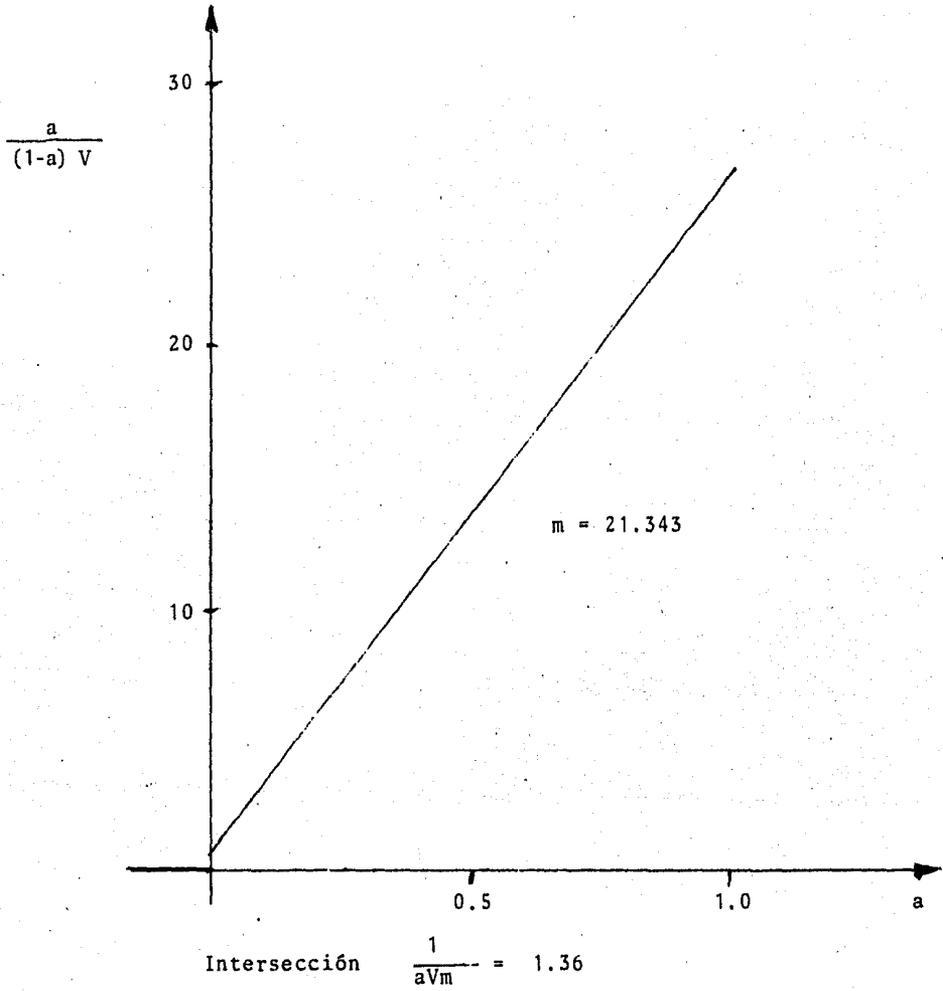
A partir de la grafica 6.1, obtenemos la pendiente.

$$m = \frac{c-1}{c V m} = 21.343$$

Cuadro No. 6.1 Datos para trazar la grafica,
correspondiente al modelo BET.

| $a \left(\frac{\% \text{ HR}}{100} \right)$ | $v \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{g s.s.}}$ | $\frac{a}{(1-a)V}$ |
|--|--|--------------------|
| 0.115 | 0.03406 | 3.8150 |
| 0.316 | 0.05700 | 8.1050 |
| 0.473 | 0.09810 | 9.1490 |
| 0.748 | 0.14090 | 21.0660 |
| 0.791 | 0.14990 | 25.2480 |
| 0.853 | 0.17670 | 32.8340 |
| 0.958 | 0.24890 | 91.6410 |

Grafica 6.1. Modelo BET. Hgado de res deshidratado.



Ordenada al origen

$$\frac{1}{c V_m} = 1.36$$

Despejando:

$$c = 16.71$$

Valor de la monocapa

V_m (g H_2O /g s.s.)

$$V_m = 0.0440 \text{ g } H_2O/\text{g s.s.}$$

El modelo de BET, para el hígado de res obtenido a --
partir de los datos experimentales es el siguiente:

$$V = \frac{a}{(1 - a) \left(\frac{1 + a (15.71)}{0.733} \right)} \dots\dots\dots (6.1)$$

6.1.2 Modelo de Halsey.

Graficar:

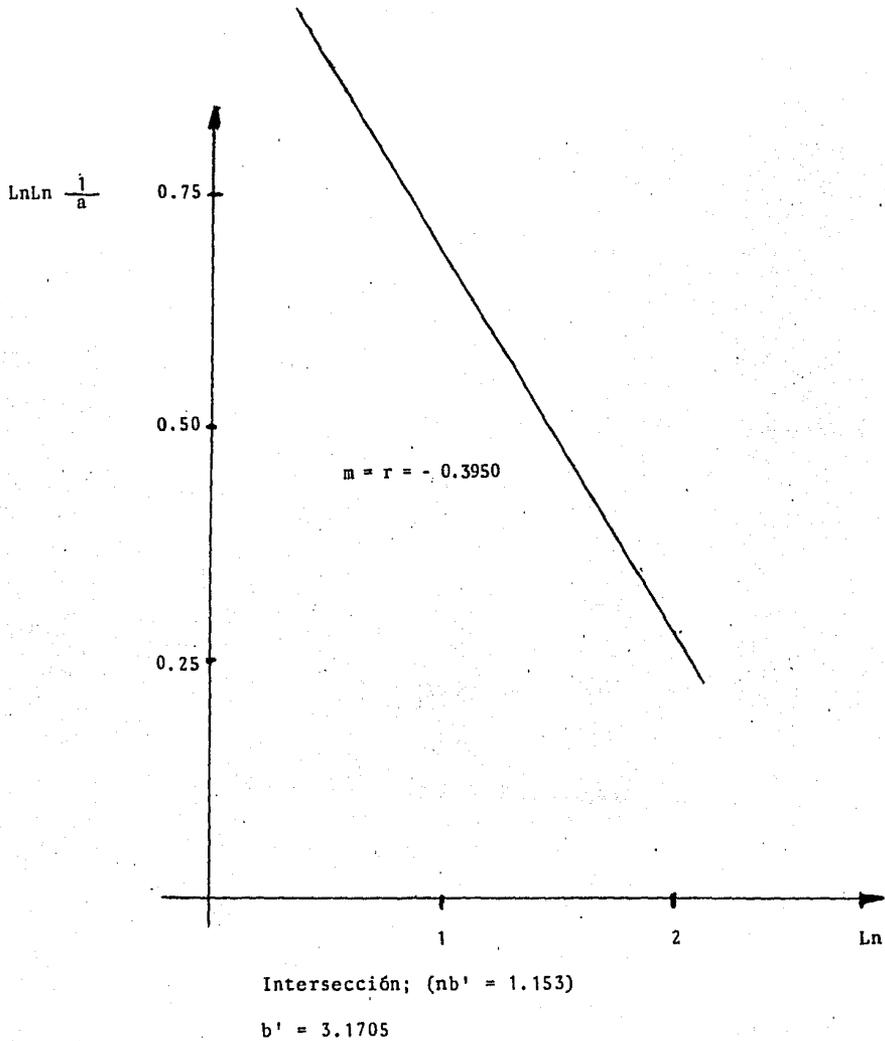
$$\ln \ln \frac{1}{a} = r \ln \theta + \ln b' \dots\dots\dots (2.14)$$

$$\theta = \frac{V}{V_m}$$

Cuadro 6.2 Datos para trazar la grafica correspondiente al modelo de Halsey

| $a \left(\frac{\% HR}{100} \right)$ | $V \left(\frac{g H_2O}{g s.s.} \right)$ | $\ln \ln \frac{1}{a}$ | $\ln O$ |
|--------------------------------------|--|-----------------------|---------|
| 0.115 | 0.03406 | 1.217 | -0.295 |
| 0.316 | 0.05700 | 1.052 | 0.258 |
| 0.473 | 0.09810 | 0.841 | 0.792 |
| 0.748 | 0.14090 | 0.672 | 1.163 |
| 0.791 | 0.14990 | 0.640 | 1.225 |
| 0.853 | 0.17670 | 0.549 | 1.390 |
| 0.958 | 0.24890 | 0.329 | 1.732 |

Grafica 6.2 Modelo de Halsey. Hígado de res deshidratado.



$V_m = 0.0440 \text{ g H}_2\text{O/g s.s.}$ (valor de la monocapa, obtenido a partir del modelo BET)

Tomando como base los resultados experimentales de -- (6.2) se obtienen los siguientes resultados:

A partir de la grafica (6.2); obtenemos el valor de -- la pendiente.

$$m - r = - 0.395$$

Intersección:

$$\ln b' = 1.153$$

$$b' = 3.1705$$

Modelo:

$$a = e \left(\frac{-b}{R t O^r} \right)$$

$$\ln a = \frac{-b'}{O^r}$$

$$\theta^r = \frac{-b}{\ln a}$$

$$\frac{V^r}{V m^r} = \frac{b'}{\ln a}$$

$$V^r = \frac{-b' V m^r}{\ln a}$$

Sustituyendo:

$$V^{-0.395} = \left(\frac{-3.1705}{\ln a} \right) (0.044)^{-0.395}$$

El modelo de Halsey, para el hígado de res obtenido a partir de los datos experimentales es el siguiente:

$$V^{-0.395} = \left(\frac{+3.1705}{\ln a} \right) (0.044)^{-0.395} \dots\dots\dots (6.2)$$

6.1.3 Modelo de Henderson.

$$1 - a = e^{-(K m^n)} \dots\dots\dots (2.15)$$

Donde:

K y n = son constantes del modelo

m = cantidad adsorbida (g H₂O/g s.s.)

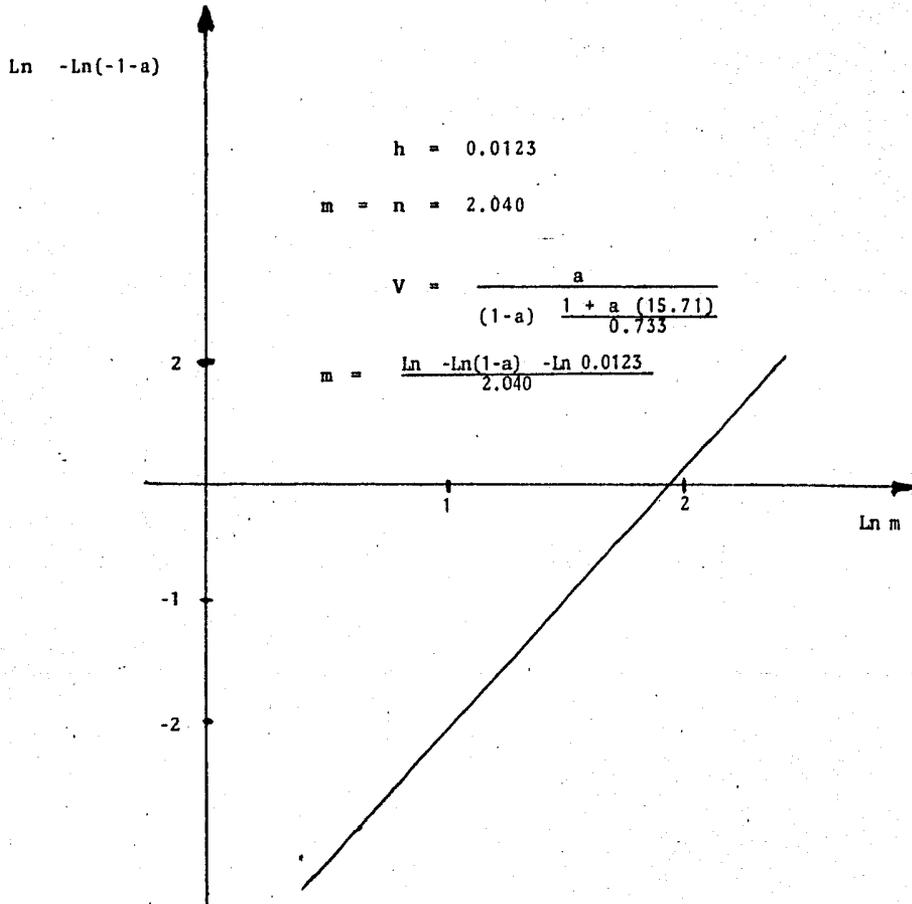
Linearizando la ecuación tenemos:

$$\ln [- \ln (1 - a)] = n \ln m + \ln K \dots\dots (2.16)$$

Cuadro No.6.3 Datos para trazar la grafica, corres
pondiente en el modelo de Henderson. 

| $\ln - \ln (-1 - a)$ | $\ln m$ |
|----------------------|---------|
| -2.103 | 0.0485 |
| -0.979 | 1.5100 |
| -0.446 | 1.7700 |
| 0.306 | 2.1280 |
| 0.447 | 2.2230 |
| 0.678 | 2.3390 |
| 1.153 | 2.5760 |

Grafica 6.3 Modelo de Henderson. Higado de res deshidratado.



Para ilustrar el procedimiento de cálculos se utilizan los resultados experimentales del cuadro No. 5.2.

A partir de la grafica 6.3, obtenemos el valor de la pendiente, y la intersección de la línea recta.

$$k = 0.0123 \text{ (intersección)}$$

$$n = 2.040 \text{ (pendiente)}$$

$$(1 - a) = e^{-(0.0123 m^{2.040})}$$

$$m = e^{\frac{\ln [-\ln (1-a)] - \ln K}{n}}$$

El modelo de Henderson, para el hígado de res, obtenido a partir de los experimentales es el siguiente:

$$m = e^{\frac{\ln [-\ln (1 - a)] - \ln 0.0123}{2.040}} \dots\dots (6.3)$$

6.2 CINETICA DE DESHIDRATACION

Para poder comprender la cinética de deshidratación del hígado de res, se hicieron experimentos bajo diferentes condiciones de operación. Con los datos obtenidos en estos experimentos, y utilizando las ecuaciones de secado, se hicieron los cálculos necesarios, para poder trazar las curvas de -

secado y velocidad de secado de cada experimento.

Para calcular el contenido de humedad (m), correspondiente a diferentes tiempos y la velocidad de secado (dm/dt A) se emplean las siguientes expresiones.

$$m = \frac{W - wf}{Wf} \quad (=) \quad (\text{g H}_2\text{O/g s.s.}) \quad \dots \quad (6.2.1)$$

Donde:

- m = Humedad g H₂O/g s.s.
- w = Peso de la muestra a diferentes tiempos
- wf = Peso seco de la muestra

$$\frac{dm}{dt a} = \frac{m}{t A} = \frac{W_2 - W_1}{(t_2 - t_1)A} \quad (=) \quad \frac{\text{g H}_2\text{O}}{\text{g s.s. min. cm}^2} \quad \dots \quad (6.2.2)$$

Donde:

dm/dt A = Variación del contenido de humedad con respecto al tiempo por unidad de área,

g H₂O/g s.s. min cm².

A = Area inicial, cm².

W₂ = Peso de la muestra a t₂ (tiempo t₂)

W₁ = Peso de la muestra a t₁ (tiempo t₁)

6.2.1 Procedimiento de Cálculo y Resultados

Ejemplo de cálculo

Tomando como base los datos obtenidos en el experimento No. 2 tenemos:

Peso inicial: 216.2 g Area = 1600 cm²

Peso final: 90.7 g

$$m_0 = \frac{Wm - W \text{ seco}}{W \text{ seco}} = \frac{216.2 - 86.8}{86.8} = 1.49$$

$$m_1 = \frac{206.1 - 86.8}{86.8} = 1.374$$

$$m_e = \frac{90.7 - 86.8}{86.8} = 0.044$$

Para velocidad de secado:

$$-\frac{dm}{dt A} = \frac{(m_0 - m_1)}{(T_1 - T_2)(Area)} = \frac{1.49 - 1.374}{(0 - 5)(1600)} = 1.39 \times 10^{-5}$$

$$\frac{-dm}{dT a_1} = \frac{(m_1 - m_2)}{(T_3 - T_2)(A)} = \frac{1.374 - 1.258}{(5 - 10)(1600)} = 1.51 \times 10^{-5}$$

$$\frac{-dm}{dT A_e} = \frac{(0.046 - 0.044)}{(5)(1600)} = 0.012 \times 10^{-5}$$

De igual forma, se obtuvieron los resultados de contenido de humedad (m) y velocidad de secado a diferentes tiempos, en cada uno de los experimentos.

6.3 COEFICIENTE EXTERNO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

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

$$h = N_{NU} K/L \quad (7.3.1)$$

Donde: N_{NU} = Número de Nusselt
 K = Conductividad termica, cal/seg. cm.°C
 L = Longitud de la placa, cm.

Para la determinación del número de Nusselt, se emplean las siguientes expresiones:

$$N_{NU} = 0.664 N_{Re}^{0.5} N_{PR}^{1/3} \quad (6.3.2)$$

Siempre y cuando el N_{Re} y el N_{PR} , estén dentro del -- siguiente rango:

$$\begin{aligned} N_{Re} & 3 \times 10^5 \\ N_{PR} & 0.7 \\ N_{NU} & = 0.0366 N_{Re}^{0.8} N_{PR}^{1/3} \quad (.3.3) \end{aligned}$$

Aplicable en los siguientes rangos:

$$\begin{aligned} N_{Re} & 3 \times 10^5 \\ N_{PR} & 0.7 \end{aligned}$$

Donde: N_{Re} = Número de Reynolds, adimensional

N_{PR} = Número de Prandtl, adimensional, tablas.

Para el cálculo del número de Reynolds, tenemos la siguiente expresión:

$$N_{Re} = \frac{L v}{\rho \mu} \quad (6.3.4)$$

Donde: L = Longitud de la placa, cm.

v = Velocidad del aire, cm/seg.

ρ = Densidad del aire, g/cm³

μ = Viscosidad del aire, g/cm. seg.

Ejemplo de calculo:

Producto: Hígado de res.

Temperatura: 52°C

L: 20 cm

v: 4.15 m/seg

ρ : 1.087 Kg/m³

μ x105: 19.61 g/cm. seg

N_{PR}: 0.700

Tomando como base de calculo los datos anteriores, correspondientes al experimento No. 1, tenemos:

$$N_{Re} = \frac{(20 \text{ cm})(415 \text{ cm/seg})(0.001087 \text{ g/cm}^3)}{19.61 \times 10^{-5} \text{ (g/cm. seg)}} = 4.60 \times 10^4$$

Conforme a este resultado, utilizaremos la ecuación, (6.3.2), para calcular el número de Nusselt.

$$N_{NU} = 0.664 (4.60 \times 10^4)^{0.5} (0.70)^{1/3} = 126.31$$

Finalmente, para el calculo del coeficiente externo de transferencia de calor tenemos:

$$h = \frac{126.31(7.29 \times 10^{-5}) \text{ cal/seg. cm. } ^\circ\text{C}}{20 \text{ cm}}$$

$$h = 4.603 \times 10^{-4} \text{ cal/seg cm}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

6.4 COEFICIENTE INTERNO DE TRANSFERENCIA DE MASA.

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

$$D = SL^2/\pi^2 \quad (6.4.1)$$

Donde: D = Coeficiente interno de transferencia de masa,
cm²/min.

S = Pendiente de la gráfica ln W vs. t

L = Dos veces el espesor inicial de la muestra, cm²

Ejemplo de cálculo:

Producto: Hígado de res.

Temperatura: 52°C

espesor inicial: 0.400 cm

$$s: 2.79 \times 10^{-2}$$

$$L^2: 0.640 \text{ cm}^2$$

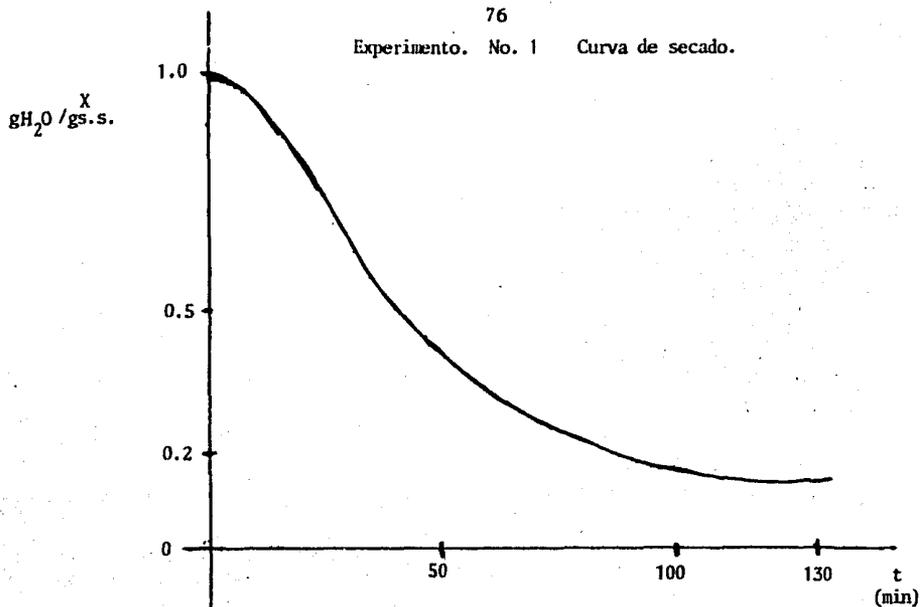
$$D = \frac{(4.46 \times 10^{-2})(0.640)}{(3.1416)^2} = 1.80 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{min.}$$

Cuadro 6.2.1 Resultados de contenido de humedad --
(m), velocidad de secado (dm/dtA); T_0
mando como base los resultados del --
Experimento No. 1

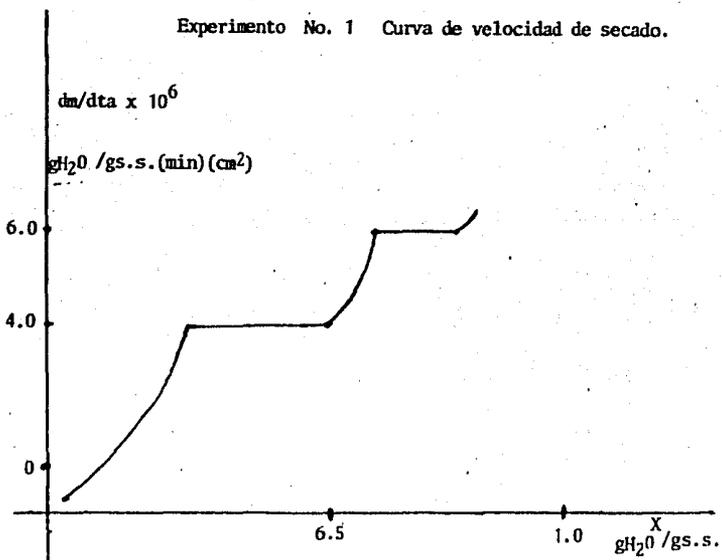
| Tiempo (min) | Peso (g) | m gH ₂ O/g s.s. | \bar{m} | \bar{t} | dm/dtA X 10 ⁶ |
|-----------------|-------------|-------------------------------|-----------|-----------|--------------------------|
| | | | | | 12.5 |
| 0 | 313 | 1.06 | | | 7.5 |
| 5 | 293 | 0.96 | 1.01 | 2.5 | 10.0 |
| 10 | 289 | 0.90 | 0.93 | 7.5 | 6.3 |
| 15 | 278 | 0.82 | 0.86 | 12.5 | 8.3 |
| 20 | 269 | 0.77 | 0.79 | 17.5 | 10.8 |
| 25 | 254 | 0.70 | 0.73 | 22.5 | 9.6 |
| 30 | 246 | 0.61 | 0.65 | 27.5 | 7.0 |
| 35 | 235 | 0.54 | 0.75 | 32.5 | 6.6 |
| 40 | 226.5 | 0.49 | 0.51 | 37.5 | 4.1 |
| 45 | 218.5 | 0.43 | 0.46 | 42.5 | 4.5 |
| 50 | 213.5 | 0.40 | 0.41 | 47.5 | 4.1 |
| 55 | 208 | 0.36 | 0.38 | 52.2 | 2.8 |
| 60 | 203 | 0.33 | 0.34 | 57.5 | 3.8 |
| 65 | 199.6 | 0.31 | 0.32 | 62.5 | 2.8 |
| 70 | 195 | 0.28 | 0.29 | 67.5 | 3.8 |
| 75 | 191.5 | 0.26 | 0.26 | 72.5 | 2.8 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 80 | 187.5 | 0.23 | 0.24 | 77.5 | 1.7 |
| 85 | 184 | 0.21 | 0.22 | 82.5 | 2.7 |
| 90 | 181.8 | 0.19 | 0.20 | 87.5 | 1.6 |
| 95 | 178.5 | 0.17 | 0.18 | 92.5 | 2.5 |
| 100 | 176.5 | 0.16 | 0.16 | 97.5 | 1.0 |
| 105 | 173.5 | 0.14 | 0.15 | 102.5 | 1.6 |
| 110 | 172.5 | 0.13 | 0.13 | 107.5 | 1.3 |
| 115 | 170.5 | 0.12 | 0.12 | 112.5 | 0.06 |
| 120 | 169 | 0.11 | 0.11 | 117.5 | 0.05 |
| 125 | 167.5 | 0.10 | 0.10 | 122.5 | 0.05 |
| 130 | 166.5 | 0.09 | 0.09 | 127.5 | 0.04 |
| 135 | 165 | 0.08 | 0.08 | 132.5 | 0.03 |
| 140 | 164 | 0.07 | 0.07 | 137.5 | 0.02 |
| 145 | 163 | 0.07 | 0.07 | 142.5 | 0.02 |
| 150 | 162 | 0.06 | 0.06 | 147.5 | 0.016 |
| 155 | 161 | 0.05 | 0.05 | 152.5 | 0.010 |
| 160 | 160.5 | 0.05 | 0.05 | 157.5 | 0.007 |
| 165 | 159.5 | 0.049 | 0.049 | 162.5 | 0.004 |
| 170 | 159 | 0.046 | 0.046 | 167.5 | 0.001 |
| 175 | 158.5 | 0.043 | 0.043 | 172.5 | 0.001 |
| 180 | 158 | 0.041 | 0.042 | 177.5 | 0.000 |

Experimento. No. 1 Curva de secado.



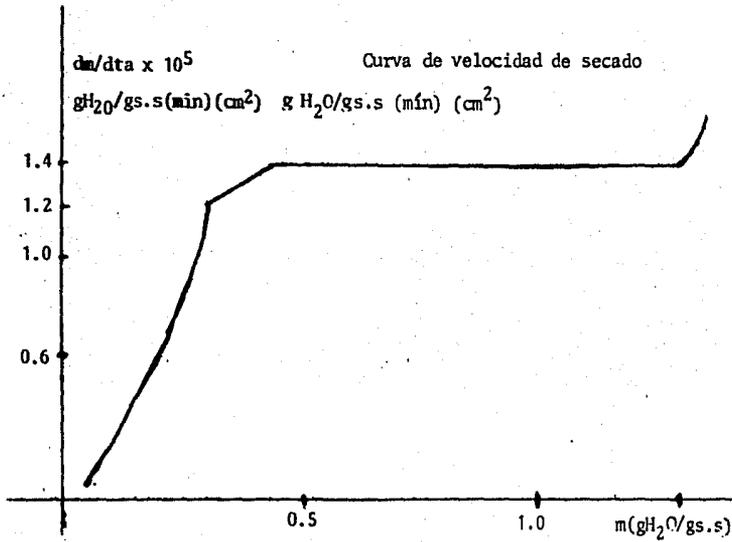
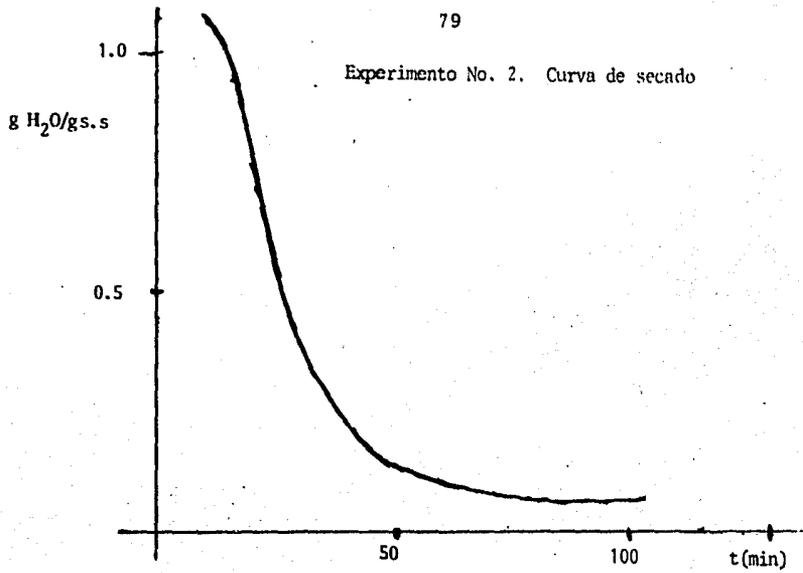
Experimento No. 1 Curva de velocidad de secado.



Cuadro No. 6.2.2 Resultados de contenido de humedad (m), humedad promedio (\bar{m}), tiempo promedio, velocidad de secado (\bar{t}), tomando como base los resultados del Experimento No. 2

| Tiempo (min) | Peso (g) | m | \bar{m} | \bar{t} | $\bar{d}m/\bar{d}t \times 10^5$ |
|--------------|----------|-------|-----------|-----------|---------------------------------|
| 0 | 216.2 | 1.49 | | | 1.39 |
| 5 | 206.1 | 1.37 | 1.43 | 2.5 | 1.51 |
| 10 | 196 | 1.25 | 1.31 | 7.5 | 2.63 |
| 15 | 177.5 | 1.04 | 1.14 | 12.5 | 2.56 |
| 20 | 160 | 0.89 | 0.96 | 17.5 | 1.38 |
| 25 | 133 | 0.53 | 0.71 | 22.5 | 1.37 |
| 30 | 123.5 | 0.42 | 0.47 | 27.5 | 1.36 |
| 35 | 114 | 0.31 | 0.36 | 32.5 | 1.21 |
| 40 | 106.3 | 0.22 | 0.26 | 37.5 | 0.61 |
| 45 | 102 | 0.17 | 0.19 | 42.5 | 0.50 |
| 50 | 98.6 | 0.13 | 0.15 | 47.5 | 0.30 |
| 55 | 96.5 | 0.11 | 0.12 | 52.5 | 0.17 |
| 60 | 94.7 | 0.09 | 0.10 | 57.5 | 0.17 |
| 65 | 93.5 | 0.077 | 0.08 | 62.5 | 0.06 |
| 70 | 93.1 | 0.072 | 0.074 | 67.5 | 0.09 |
| 75 | 92.5 | 0.065 | 0.068 | 72.5 | 0.050 |

| | | | | | |
|-----|------|-------|-------|-------|--------|
| 80 | 92.1 | 0.061 | 0.063 | 77.5 | 0.025 |
| 85 | 91.7 | 0.059 | 0.060 | 82.5 | 0.037 |
| 90 | 91.2 | 0.056 | 0.057 | 87.5 | 0.075 |
| 95 | 91.0 | 0.050 | 0.053 | 92.5 | 0.030 |
| 100 | 90.8 | 0.048 | 0.049 | 97.5 | 0.012 |
| 105 | 90.8 | 0.047 | 0.047 | 102.5 | 0.0020 |
| 110 | 90.7 | 0.046 | 0.046 | 107.5 | 0.0013 |
| 115 | | 0.044 | 0.045 | 112.5 | 0.0000 |



Cuadro 6.2.3

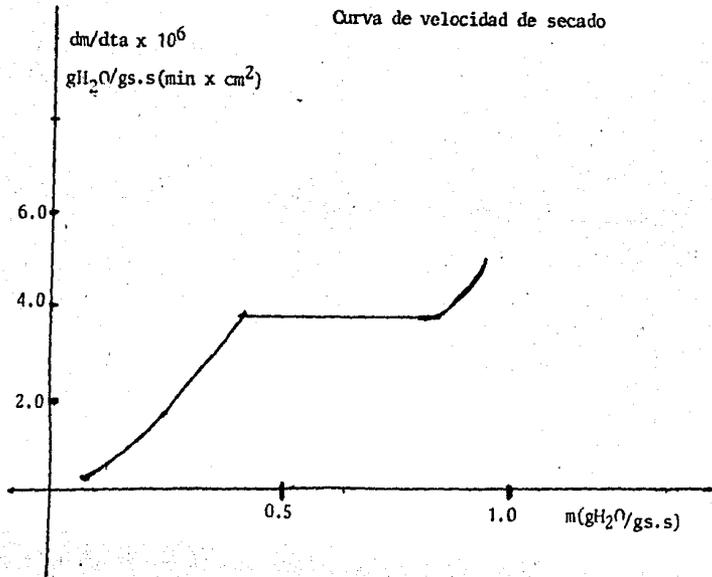
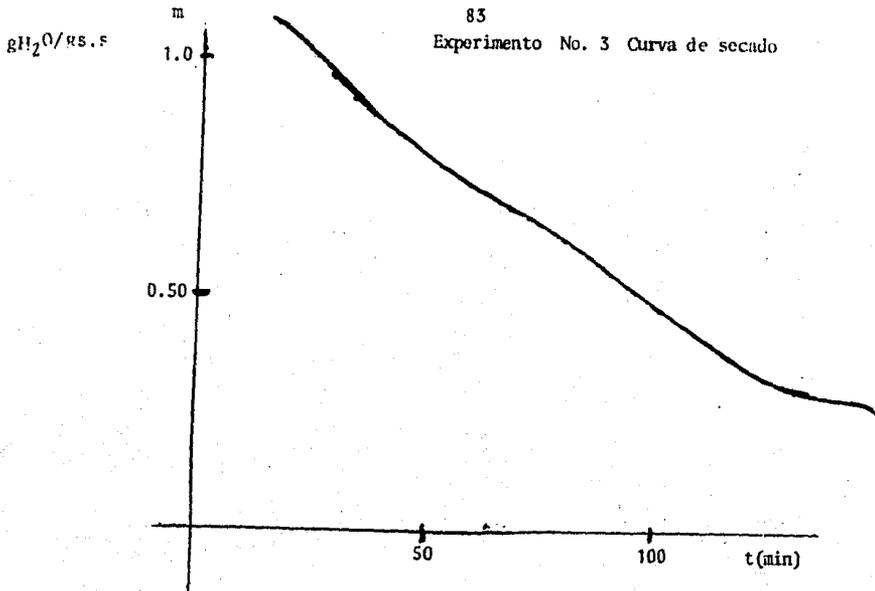
Resultados de contenido de humedad (m), humedad promedio (\bar{m}), tiempo promedio, velocidad de secado (\bar{t}) tomando como base los resultados del

Experimento No. 3

| Tiempo (min) | Peso (g) | M | \bar{m} | \bar{t} | $dm/dtA \times 10^6$ |
|--------------|----------|------|-----------|-----------|----------------------|
| 0 | 546.3 | 1.27 | | | 6.3 |
| 5 | 534.5 | 1.18 | 1.22 | 2.5 | 3.8 |
| 10 | 526 | 1.15 | 1.16 | 7.5 | 5.0 |
| 15 | 517 | 1.11 | 1.13 | 12.5 | 3.75 |
| 20 | 508.7 | 1.08 | 1.09 | 17.5 | 10.00 |
| 25 | 497 | 0.94 | 0.01 | 22.5 | 5.12 |
| 30 | 476 | 0.90 | 0.92 | 27.5 | 6.00 |
| 35 | 466 | 0.86 | 0.88 | 32.5 | 2.00 |
| 40 | 459.3 | 0.85 | 0.85 | 37.5 | 2.50 |
| 45 | 454 | 0.83 | 0.84 | 42.5 | 3.80 |
| 50 | 449 | 0.80 | 0.81 | 47.5 | 4.12 |
| 55 | 441 | 0.77 | 0.78 | 52.5 | 5.00 |
| 60 | 433 | 0.73 | 0.75 | 57.5 | 5.00 |
| 65 | 424.5 | 0.71 | 0.72 | 62.5 | 3.80 |
| 70 | 418.5 | 0.69 | 0.70 | 67.5 | 3.80 |
| 75 | 413.5 | 0.66 | 0.67 | 72.5 | 2.50 |
| 80 | 407 | 0.64 | 0.65 | 77.5 | 6.00 |
| 85 | 400 | 0.59 | 0.61 | 82.5 | 3.80 |
| 90 | 390 | 0.56 | 0.57 | 87.5 | 5.00 |
| 95 | 381 | 0.52 | 0.54 | 92.5 | 1.20 |
| 100 | 373 | 0.51 | 0.51 | 97.5 | 5.00 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 105 | 369 | 0.47 | 0.49 | 102.5 | 2.00 |
| 110 | 360.7 | 0.45 | 0.46 | 107.5 | 3.80 |
| 115 | 354 | 0.42 | 0.43 | 112.5 | 5.00 |
| 120 | 346.7 | 0.38 | 0.40 | 117.5 | 3.60 |
| 125 | 337 | 0.35 | 0.36 | 122.5 | 2.50 |
| 130 | 331 | 0.33 | 0.34 | 127.5 | 2.50 |
| 135 | 327 | 0.31 | 0.32 | 132.5 | 3.80 |
| 140 | 322.5 | 0.29 | 0.30 | 137.5 | 2.50 |
| 145 | 316.5 | 0.26 | 0.27 | 142.5 | 2.50 |
| 150 | 310.5 | 0.24 | 0.25 | 147.5 | 1.25 |
| 155 | 304.5 | 0.23 | 0.23 | 152.5 | 2.50 |
| 160 | 300.5 | 0.21 | 0.22 | 157.5 | 1.25 |
| 165 | 296.7 | 0.20 | 0.20 | 162.5 | 1.80 |
| 170 | 294.5 | 0.19 | 0.19 | 167.5 | 0.75 |
| 175 | 291.5 | 0.16 | 0.17 | 172.5 | 4.20 |
| 180 | 285.5 | 0.15 | 0.15 | 177.5 | 1.25 |
| 185 | 281.1 | 0.13 | 0.14 | 182.5 | 1.25 |
| 190 | 277.5 | 0.12 | 0.12 | 187.5 | 1.25 |
| 195 | 274.1 | 0.11 | 0.11 | 192.5 | 2.50 |
| 200 | 271 | 0.09 | 0.10 | 197.5 | 1.60 |
| 205 | 267.8 | 0.077 | 0.083 | 202.5 | 0.250 |
| 210 | 265.5 | 0.075 | 0.076 | 207.5 | 0.250 |
| 215 | 263.5 | 0.073 | 0.074 | 212.5 | 0.750 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 220 | 262.1 | 0.067 | 0.070 | 217.5 | 1.200 |
| 225 | 260 | 0.057 | 0.062 | 222.5 | 1.125 |
| 230 | 258.2 | 0.048 | 0.052 | 227.5 | 0.250 |
| 235 | 256 | 0.046 | 0.047 | 232.5 | 0.625 |
| 240 | 255.5 | 0.042 | 0.044 | 237.5 | 0.500 |
| 245 | 254.3 | 0.041 | 0.041 | 242.5 | 0.100 |

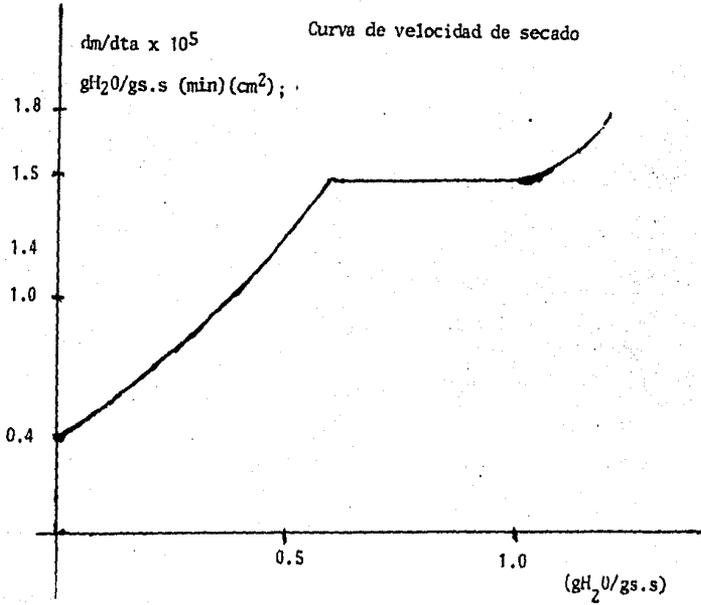
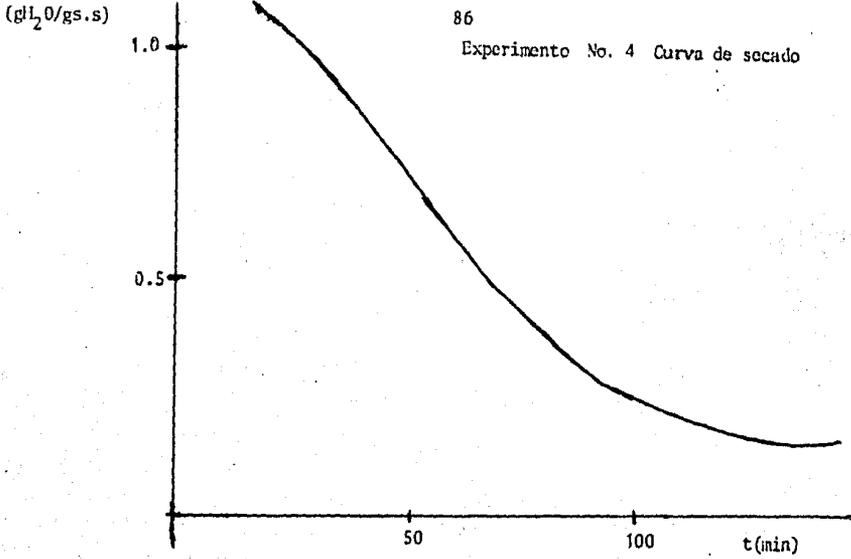


Resultados de contenido de humedad (m), humedad promedio (\bar{m}), tiempo promedio, velocidad de secado (\bar{t}), tomando como base los resultados del Experimento No. 4

| Tiempo (min.) | Peso (g) | m | \bar{m} | \bar{t} | $\bar{m}/\bar{t} \times 10^5$ |
|------------------|-------------|-------|-----------|-----------|-------------------------------|
| 0 | 240.5 | 1.363 | | | 1.153 |
| 5 | 236.5 | 1.324 | 1.343 | 2.5 | 2.780 |
| 10 | 227 | 1.230 | 1.277 | 7.5 | 3.040 |
| 15 | 216.5 | 1.121 | 1.175 | 12.5 | 1.834 |
| 20 | 210.2 | 1.065 | 1.093 | 17.5 | 0.917 |
| 25 | 207 | 1.034 | 1.049 | 22.5 | 1.666 |
| 30 | 201.2 | 0.977 | 1.005 | 27.5 | 3.106 |
| 35 | 190.5 | 0.878 | 0.927 | 32.5 | 1.830 |
| 40 | 184.2 | 0.810 | 0.844 | 37.5 | 1.030 |
| 45 | 180.2 | 0.773 | 0.791 | 42.5 | 1.440 |
| 50 | 175.5 | 0.724 | 0.748 | 47.5 | 1.656 |
| 55 | 169.8 | 0.668 | 0.696 | 52.5 | 1.500 |
| 60 | 164.6 | 0.617 | 0.642 | 57.5 | 1.500 |
| 65 | 160.6 | 0.572 | 0.594 | 62.5 | 1.270 |
| 70 | 155.6 | 0.529 | 0.550 | 67.5 | 3.600 |
| 75 | 143 | 0.405 | 0.467 | 72.5 | 0.887 |
| 80 | 140 | 0.375 | 0.390 | 77.5 | 1.010 |
| 85 | 136.5 | 0.341 | 0.358 | 82.5 | 0.887 |
| 90 | 133.5 | 0.311 | 0.326 | 87.5 | 1.010 |
| 95 | 130 | 0.277 | 0.294 | 92.5 | 0.887 |
| 100 | 127.8 | 0.255 | 0.266 | 97.5 | 1.000 |

| | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 105 | 126.7 | 0.245 | 0.250 | 102.5 | 0.650 |
| 110 | 125.5 | 0.233 | 0.239 | 107.5 | 0.295 |
| 115 | 123 | 0.208 | 0.220 | 112.5 | 0.080 |
| 120 | 121.5 | 0.193 | 0.200 | 117.5 | 0.743 |
| 125 | 119 | 0.169 | 0.191 | 122.5 | 0.113 |
| 130 | 117.7 | 0.156 | 0.162 | 127.5 | 0.090 |
| 135 | 116 | 0.145 | 0.150 | 132.5 | 0.087 |
| 140 | 114.6 | 0.125 | 0.135 | 137.5 | 0.079 |
| 145 | 113.3 | 0.113 | 0.119 | 142.5 | 0.063 |
| 150 | 112.6 | 0.106 | 0.109 | 147.5 | 0.054 |
| 155 | 111.6 | 0.096 | 0.101 | 152.5 | 0.049 |
| 160 | 110.3 | 0.083 | 0.089 | 157.5 | 0.042 |
| 165 | 110.1 | 0.081 | 0.082 | 162.5 | 0.032 |
| 170 | 109.6 | 0.077 | 0.079 | 167.5 | 0.031 |
| 175 | 108.6 | 0.067 | 0.072 | 172.5 | 0.027 |
| 180 | 108.4 | 0.065 | 0.066 | 177.5 | 0.020 |
| 185 | 107.7 | 0.058 | 0.061 | 182.5 | 0.018 |
| 190 | 106.9 | 0.050 | 0.054 | 187.5 | 0.013 |
| 195 | 106.5 | 0.046 | 0.048 | 192.5 | 0.007 |
| 200 | 106.4 | 0.045 | 0.045 | 197.5 | 0.003 |
| 205 | 106 | 0.041 | 0.043 | 202.5 | 0.000 |

Experimento No. 4 Curva de secado



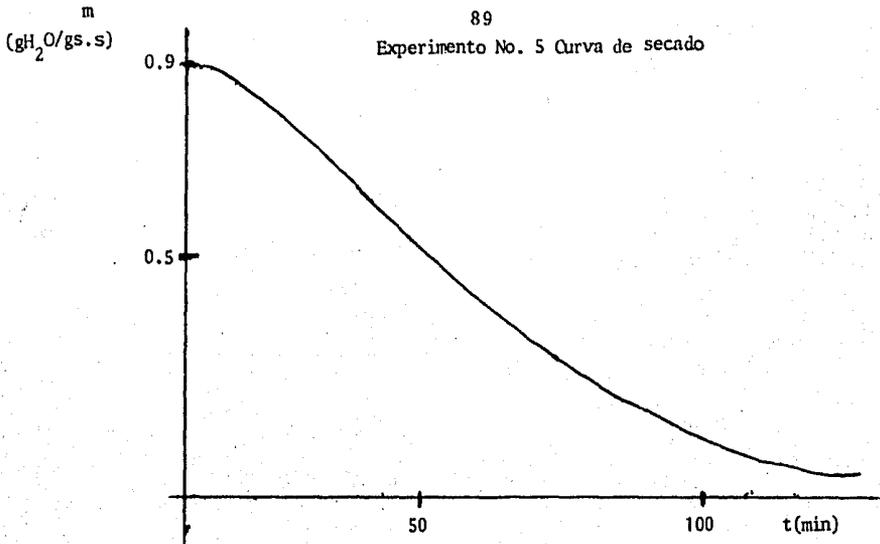
Cuadro No. 6.2.5

Resultados de contenido de humedad (m), humedad promedio (\bar{m}), tiempo promedio, velocidad de secado (dm/dtA), tomando como base los resultados del Experimento No. 5

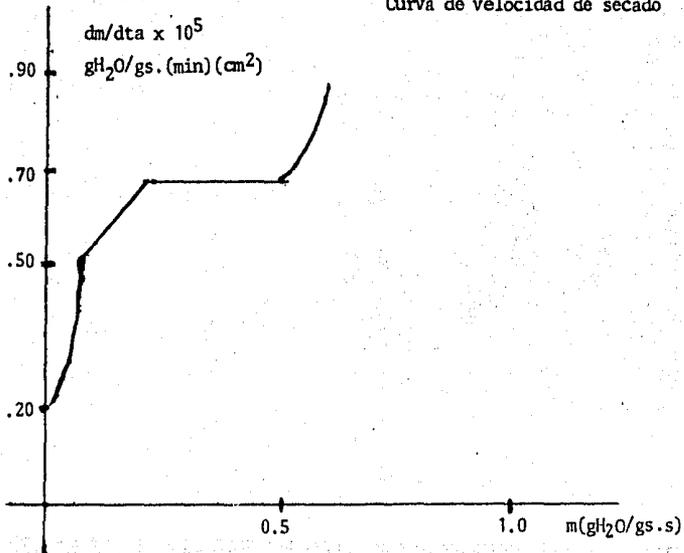
| Tiempo (min.) | Peso (g) | m | \bar{m} | \bar{t} | $dm/dtA \times 10^5$ |
|---------------|----------|-------|-----------|-----------|----------------------|
| 0 | 324 | 1 | 1.113 | | 2.10 |
| 5 | 313.5 | 0.933 | 1.042 | 2.5 | 1.80 |
| 10 | 303.9 | 0.875 | 0.981 | 7.5 | 1.85 |
| 15 | 294 | 0.815 | 0.917 | 12.5 | 0.85 |
| 20 | 289.5 | 0.789 | 0.888 | 17.5 | 0.68 |
| 25 | 286 | 0.766 | 0.865 | 22.5 | 1.50 |
| 30 | 278 | 0.717 | 0.813 | 27.5 | 1.04 |
| 35 | 270 | 0.667 | 0.760 | 32.5 | 1.56 |
| 40 | 261.5 | 0.617 | 0.705 | 37.5 | 1.62 |
| 45 | 250.5 | 0.546 | 0.633 | 42.5 | 2.21 |
| 50 | 245.5 | 0.518 | 0.601 | 47.5 | 0.94 |
| 55 | 238.5 | 0.471 | 0.555 | 52.5 | 0.68 |
| 60 | 226.5 | 0.402 | 0.477 | 57.5 | 0.68 |
| 65 | 221.5 | 0.367 | 0.444 | 62.5 | 0.85 |
| 70 | 218 | 0.348 | 0.421 | 67.5 | 0.91 |
| 75 | 213.5 | 0.320 | 0.392 | 72.5 | 0.91 |
| 80 | 209 | 0.295 | 0.363 | 77.5 | 0.06 |
| 85 | 204.5 | 0.263 | 0.332 | 82.5 | 0.76 |
| 90 | 199.5 | 0.235 | 0.301 | 87.5 | 0.77 |
| 95 | 194 | 0.203 | 0.265 | 92.5 | 0.50 |
| 100 | 190 | 0.169 | 0.239 | 97.5 | 0.71 |

| | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|
| 105 | 186 | 0.150 | 0.213 | 102.5 | 0.68 |
| 110 | 183.4 | 0.137 | 0.196 | 107.5 | 0.24 |
| 115 | 179.8 | 0.114 | 0.172 | 112.5 | 0.29 |
| 120 | 176.2 | 0.089 | 0.149 | 117.5 | 0.56 |
| 125 | 175.1 | 0.082 | 0.141 | 122.5 | 0.38 |
| 130 | 173.5 | 0.076 | 0.131 | 127.5 | 0.50 |
| 135 | 171.9 | 0.066 | 0.121 | 132.5 | 0.50 |
| 140 | 169 | 0.046 | 0.102 | 137.5 | 0.49 |
| 145 | 167 | 0.036 | 0.089 | 142.5 | 0.49 |
| 150 | 164.5 | 0.020 | 0.072 | 147.5 | 0.118 |
| 155 | 162.9 | 0.011 | 0.062 | 152.5 | 0.147 |
| 160 | 162.3 | 0.075 | 0.058 | 157.5 | 0.029 |
| 165 | 161.5 | 0.0028 | 0.053 | 162.5 | 0.028 |
| 170 | 161.49 | 0.0004 | 0.0525 | 167.5 | 0.011 |
| 175 | 161.4 | 0.0000 | 0.052 | 172.5 | 0.010 |

Experimento No. 5 Curva de secado

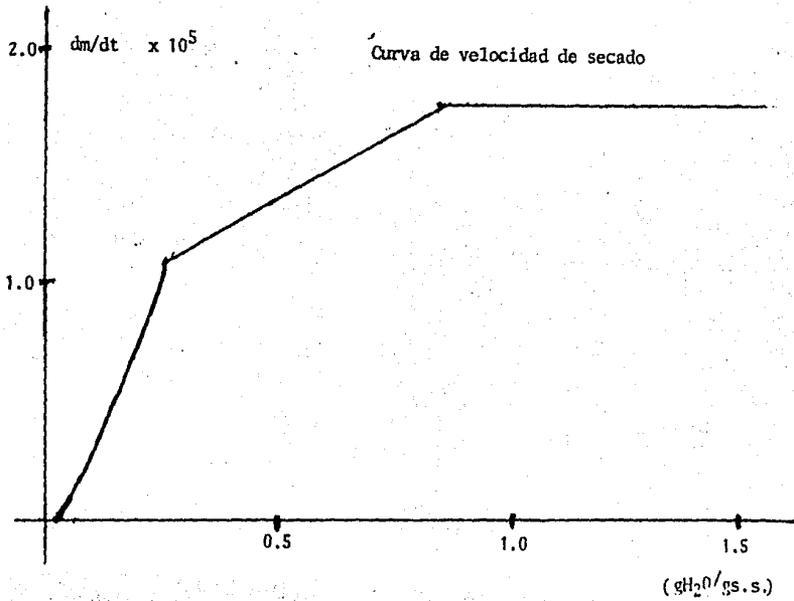
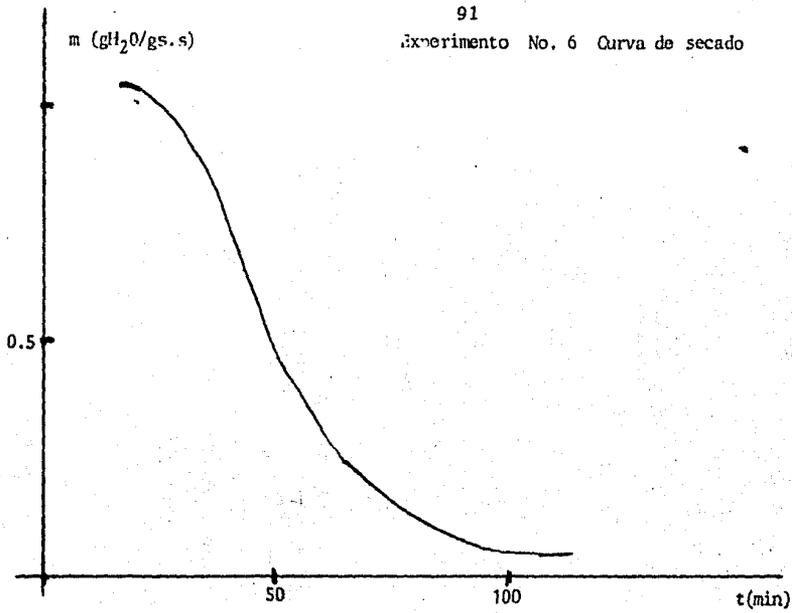


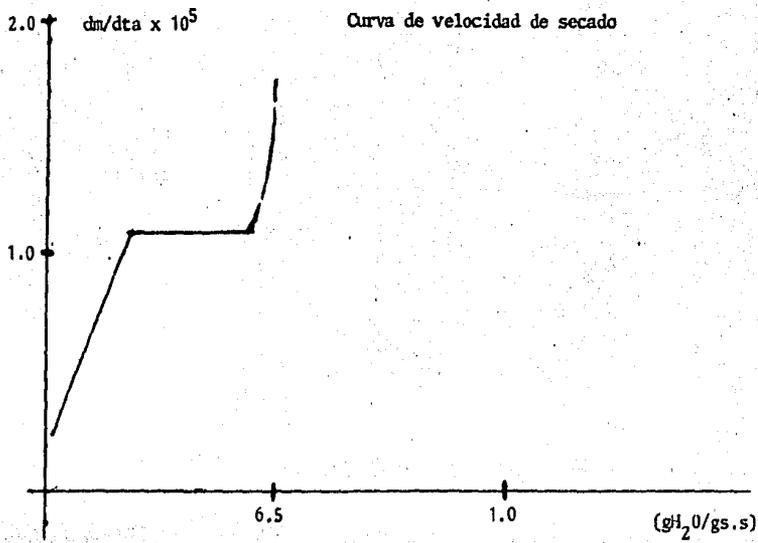
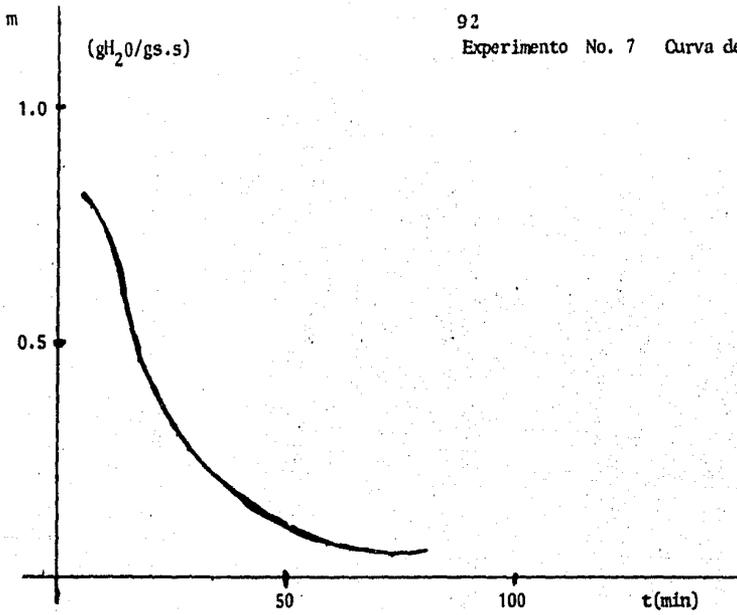
Curva de velocidad de secado



Resultados de contenido de humedad (m), humedad promedio (\bar{m}), tiempo promedio, velocidad de secado (dm/dtA), tomando como base los -- resultados del Experimento No. 6

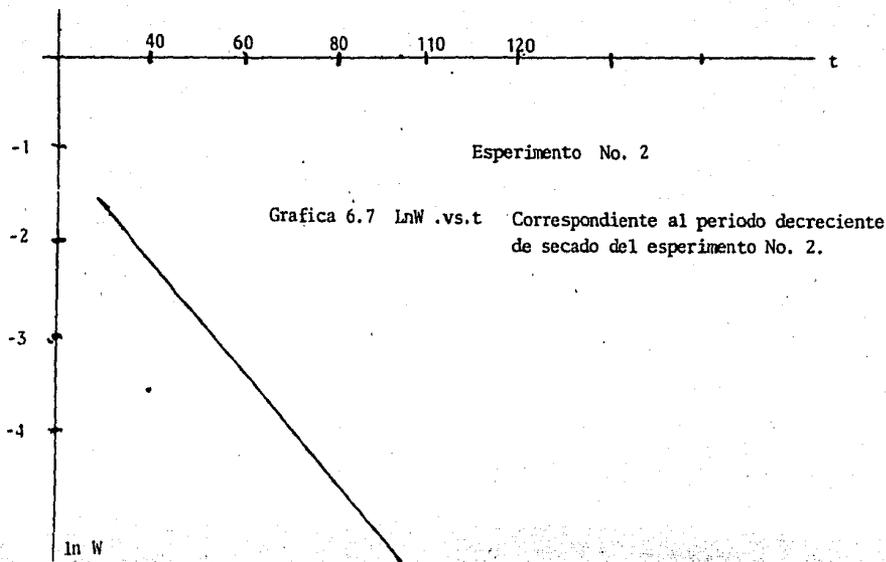
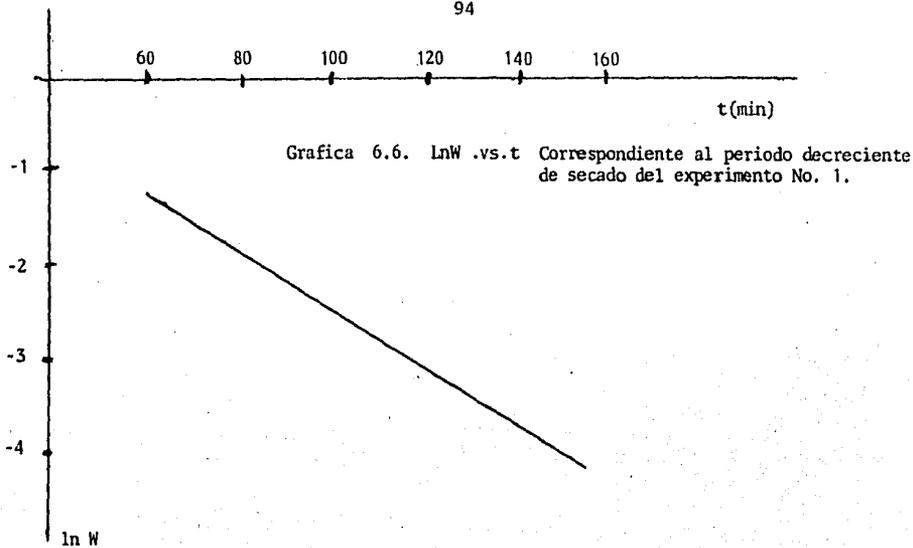
| Tiempo (min.) | Peso (g) | m | \bar{m} | \bar{t} | $dm/dtA \times 10^5$ |
|------------------|-------------|-------|-----------|-----------|----------------------|
| 0 | 267 | 1.59 | | | 2.25 |
| 5 | 248 | 1.41 | 1.50 | 2.5 | 1.75 |
| 10 | 234.4 | 1.27 | 1.34 | 7.5 | 0.88 |
| 15 | 226.7 | 1.20 | 1.23 | 12.5 | 0.75 |
| 20 | 220.3 | 1.14 | 1.17 | 17.5 | 1.13 |
| 25 | 211.7 | 1.05 | 1.09 | 22.5 | 1.75 |
| 30 | 197.5 | 0.91 | 0.98 | 27.5 | 0.88 |
| 35 | 190 | 0.84 | 0.87 | 32.5 | 1.75 |
| 40 | 175.5 | 0.70 | 0.77 | 37.3 | 1.25 |
| 45 | 165 | 0.60 | 0.65 | 42.5 | 2.38 |
| 50 | 146 | 0.46 | 0.55 | 47.5 | 0.75 |
| 55 | 139 | 0.35 | 0.38 | 52.5 | 1.13 |
| 60 | 130.6 | 0.26 | 0.30 | 57.5 | 0.38 |
| 65 | 127 | 0.23 | 0.25 | 62.5 | 0.75 |
| 70 | 121.4 | 0.17 | 0.20 | 67.5 | 0.25 |
| 75 | 119.2 | 0.15 | 0.16 | 72.5 | 0.55 |
| 80 | 115 | 0.11 | 0.13 | 77.5 | 0.50 |
| 85 | 110.6 | 0.07 | 0.09 | 82.5 | 0.10 |
| 90 | 109.6 | 0.06 | 0.06 | 87.5 | 0.07 |
| 95 | 109 | 0.054 | 0.058 | 92.5 | 0.06 |
| 100 | 108.5 | 0.050 | 0.052 | 97.5 | 0.038 |
| 105 | 108.1 | 0.050 | 0.050 | 102.5 | 0.038 |
| 110 | 107.8 | 0.047 | 0.048 | 107.5 | 0.038 |
| 115 | 107.8 | | | 112.5 | |

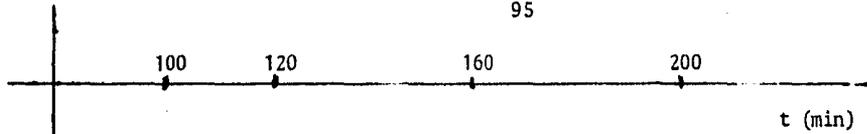




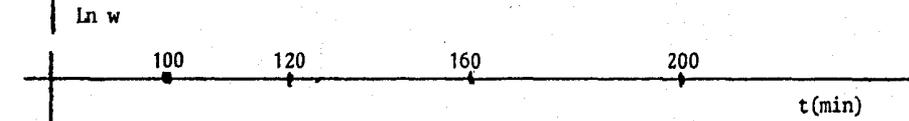
Resultados de contenido de humedad (m), humedad promedio (\bar{m}), tiempo promedio, velocidad de secado (dm/dtA), tomando como base los resultados del Experimento No. 7

| Tiempo (min.) | Peso (g) | m | \bar{m} | \bar{t} | $dm/dtA \times 10^5$ |
|---------------|----------|-------|-----------|-----------|----------------------|
| 0 | 128 | 1.216 | | | 4.67 |
| 5 | 111 | 0.936 | 1.076 | 2.5 | 3.71 |
| 10 | 99 | 0.713 | 0.824 | 7.5 | 3.46 |
| 15 | 87 | 0.505 | 0.609 | 12.5 | 1.73 |
| 20 | 81 | 0.401 | 0.453 | 17.5 | 1.15 |
| 25 | 77 | 0.332 | 0.366 | 22.5 | 1.07 |
| 30 | 74.2 | 0.283 | 0.307 | 27.5 | 1.03 |
| 35 | 70.6 | 0.221 | 0.252 | 32.5 | 0.91 |
| 40 | 67.4 | 0.166 | 0.193 | 37.5 | 0.63 |
| 45 | 65.2 | 0.128 | 0.147 | 42.5 | 0.46 |
| 50 | 63.6 | 0.100 | 0.114 | 47.5 | 0.35 |
| 55 | 62.4 | 0.079 | 0.089 | 52.5 | 0.23 |
| 60 | 61.6 | 0.065 | 0.072 | 57.5 | 0.177 |
| 65 | 61.0 | 0.055 | 0.060 | 62.5 | 0.166 |
| 70 | 60.6 | 0.048 | 0.051 | 67.5 | 0.116 |
| 75 | 60.2 | 0.041 | 0.044 | 72.5 | 0.115 |

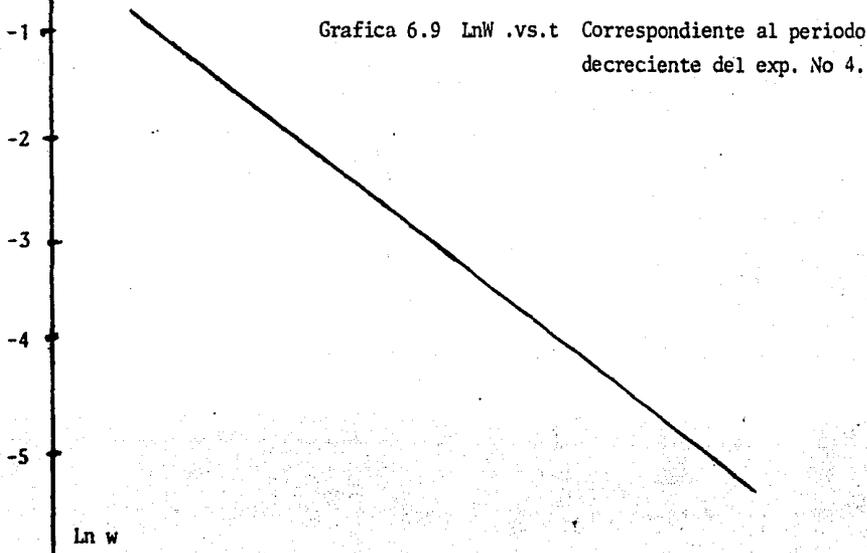


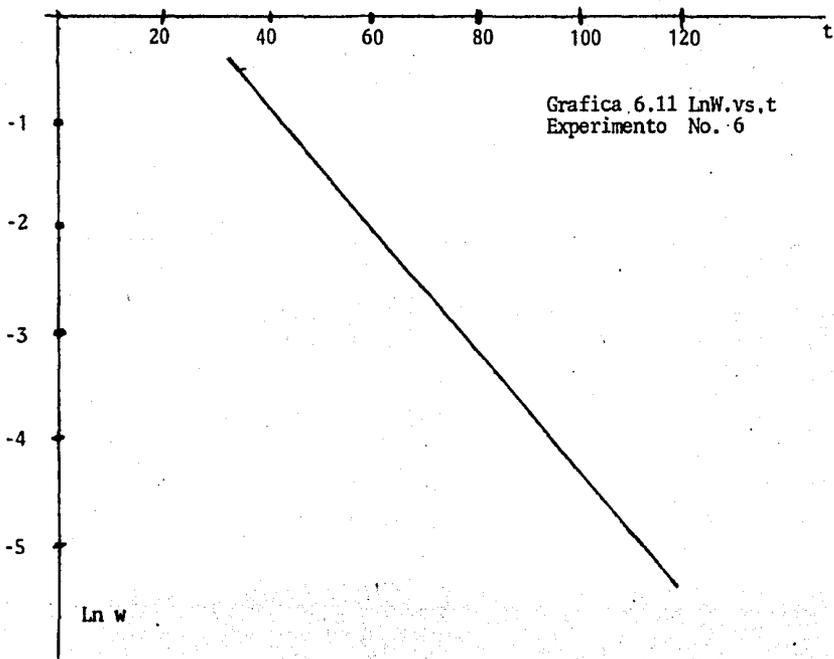
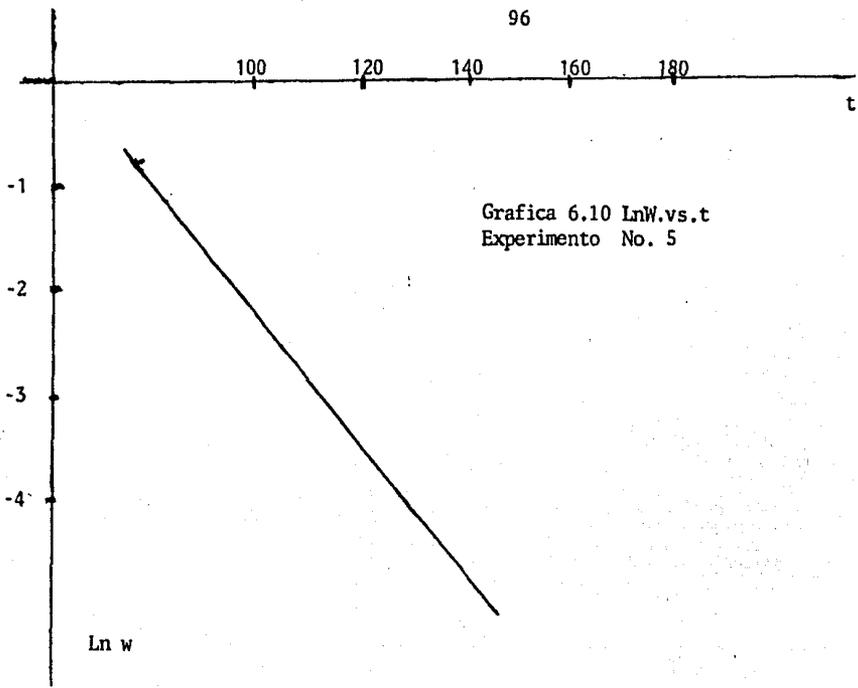


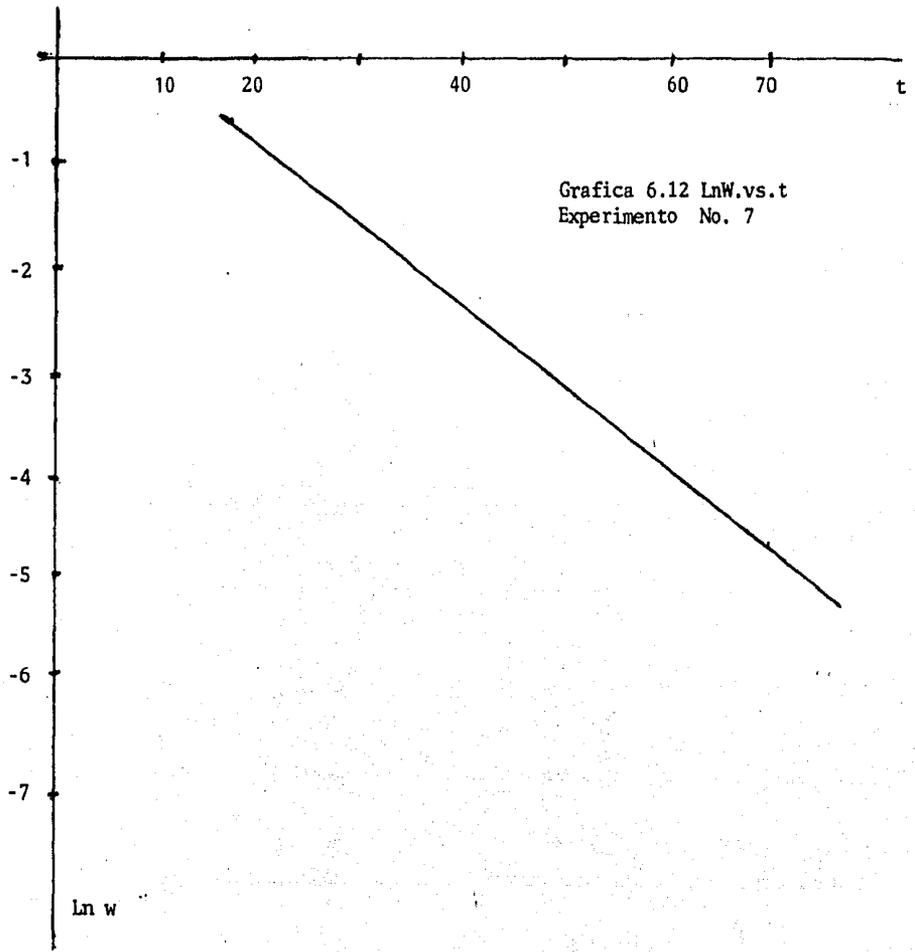
Grafica 6.8 $\ln W$.vs. t Correspondiente al periodo secado decreciente del exp. No. 3



Grafica 6.9 $\ln W$.vs. t Correspondiente al periodo secado decreciente del exp. No 4.







Cuadro, No. 6.3.1 Resultados del coeficiente externo de transferencia de calor (h), tomando como base los datos de los diferentes, experimentos de secado.

| No. de experimento | h (cal/segcm ² °C) |
|--------------------|-------------------------------|
| 1 | 4.603 x 10 ⁻⁴ |
| 2 | 4.200 x 10 ⁻⁴ |
| 3 | 4.194 x 10 ⁻⁴ |
| 4 | 4.600 x 10 ⁻⁴ |
| 5 | 4.194 x 10 ⁻⁴ |
| 6 | 4.237 x 10 ⁻⁴ |
| 7 | 4.200 x 10 ⁻⁴ |

Cuadro No. 6.4.1 Resultados de coeficiente interno de transferencia de masa (D), tomando como base los datos de los diferentes experimentos de secado.

| No. de experimento | D (cm ² /min) |
|--------------------|--------------------------|
| 1 | 2.79 x 10 ⁻² |
| 2 | 2.04 x 10 ⁻² |
| 3 | 1.98 x 10 ⁻² |
| 4 | 3.46 x 10 ⁻² |
| 5 | 5.60 x 10 ⁻² |
| 6 | 15.6 x 10 ⁻² |
| 7 | 7.7 x 10 ⁻² |

6.5 CALOR DE DESORCION

A partir del modelo de Henderson, para el hígado de res, se pueden obtener, las curvas de isotermas de desorción - tomando como base de cálculo, los datos de la tabla No. 4.1, a diferentes temperaturas.

Ejemplo de cálculo:

Para una temperatura igual a 32°C, para una solución de LiCl sobresaturada, y un % de una humedad relativa de 11.9.

Para determinar el volune desorbido g H₂O/g sólido, - se utilizo el modelo de Henderson:

$$V = \frac{\ln [-\ln (1-a)] - \ln 0.0123}{e \cdot 2.040} ; 100$$

$$V = \frac{\ln [-\ln (1-0.119)] - \ln 0.0123}{e \cdot 2.040} ; 100$$

$$V = 0.0313 \text{ g H}_2\text{O/g s.s.}$$

De esta forma se calcula el volune desorbido gH₂O/g - s.s. a las diferentes humedades relativas, de cada temperatura.

Para la determinación del calor de desorción, se empleo la siguiente expresión:

$$\frac{d(\ln a)}{d(1/T)} = - Q_s/R \quad (2.17)$$

Graficando $\ln a$.vs. $1/T$, obtendremos una línea, cuya pendiente corresponde al calor de desorción, dividido por R.

De las graficas anteriores, obtenemos los valores de calor de desorción, por medio de la pendiente de cada una de las líneas a los diferentes contenidos de humedad.

$$\frac{- Q_{s1}}{R} = m_1 = \frac{-2.218 - (-2.079)}{0.6 \times 10^{-3}} = -81.6$$

$$\frac{- Q_{s2}}{R} = m_2 = \frac{-1.155 - (-1.120)}{0.6 \times 10^{-3}} = -58.3$$

$$\frac{- Q_{s3}}{R} = m_3 = \frac{-0.661 - (-0.634)}{0.6 \times 10^{-3}} = -45.0$$

$$\frac{- Q_{s4}}{R} = m_4 = \frac{-0.278 - (-0.274)}{0.6 \times 10^{-3}} = -6.6$$

$$\frac{- Q_{s5}}{R} = m_5 = \frac{-0.243 - (-0.242)}{0.6 \times 10^{-3}} = -1.66$$

Para obtener el valor del calor de desorción hay que multiplicar, el valor de cada pendiente por la constante de los gases R, donde $R = 2 \text{ cal/mol } ^\circ\text{K}$.

Cuadro 6.5.1 Datos para isoterma de desorción para hígado de res, a diferentes temperaturas, obtenidas - a partir del modelo de Henderson.

$T = 10^{\circ}\text{C}$

| a | V ($\text{gH}_2\text{O} / \text{gs.s}$) |
|-------|---|
| 0.133 | 0.03325 |
| 0.342 | 0.0563 |
| 0.578 | 0.08032 |
| 0.754 | 0.1019 |
| 0.818 | 0.1121 |
| 0.955 | 0.1443 |

$T = 32^{\circ}\text{C}$

| a | V ($\text{gH}_2\text{O} / \text{g s.s}$) |
|-------|--|
| 0.114 | 0.0313 |
| 0.326 | 0.0546 |
| 0.516 | 0.0737 |
| 0.756 | 0.1022 |
| 0.800 | 0.1090 |
| 0.900 | 0.1299 |

$T = 68^{\circ}\text{C}$

| a | V ($\text{gH}_2\text{O} / \text{g s.s}$) |
|-------|--|
| 0.111 | 0.03136 |
| 0.303 | 0.0524 |
| 0.422 | 0.0643 |
| 0.732 | 0.0980 |
| 0.780 | 0.1058 |
| 0.790 | 0.1074 |

Para la determinación del calor de desorción, se emplea la siguiente expresión:

$$\frac{d(\ln a)}{d(1/T)} = - Q_s/R \quad (2.17)$$

Graficando $\ln a$ vs. $1/T$, obtendremos una línea, cuya pendiente corresponde al calor de desorción, dividido por R .

Cuadro 6.5.2 Datos de $\ln a$ y de $1/T$, a humedad constante, utilizados para la determinación del calor de desorción (Q_g).

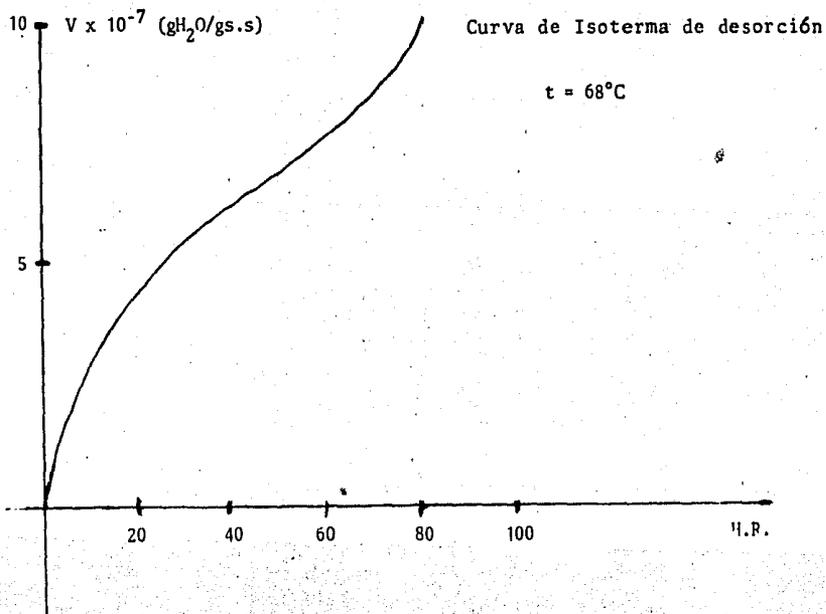
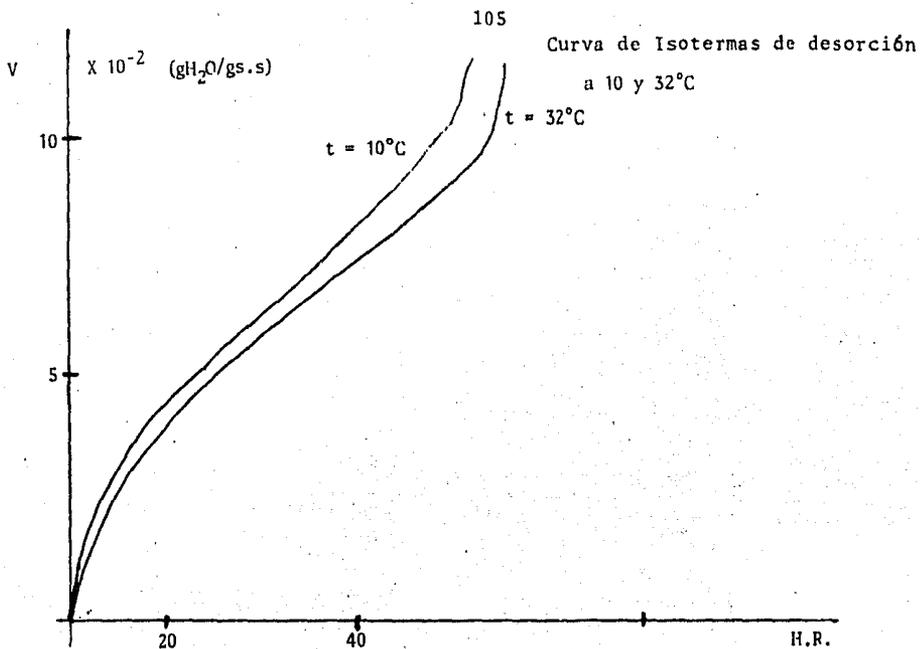
| V | a | $\ln a$ | ($1/T=2.9 \times 10^{-3}$) |
|--------|-------|---------|------------------------------|
| 0.0313 | 0.119 | -2.128 | |
| 0.0546 | 0.315 | -1.155 | |
| 0.0737 | 0.498 | -0.697 | |
| 0.1022 | 0.757 | -0.278 | |
| 0.1090 | 0.783 | -0.244 | |

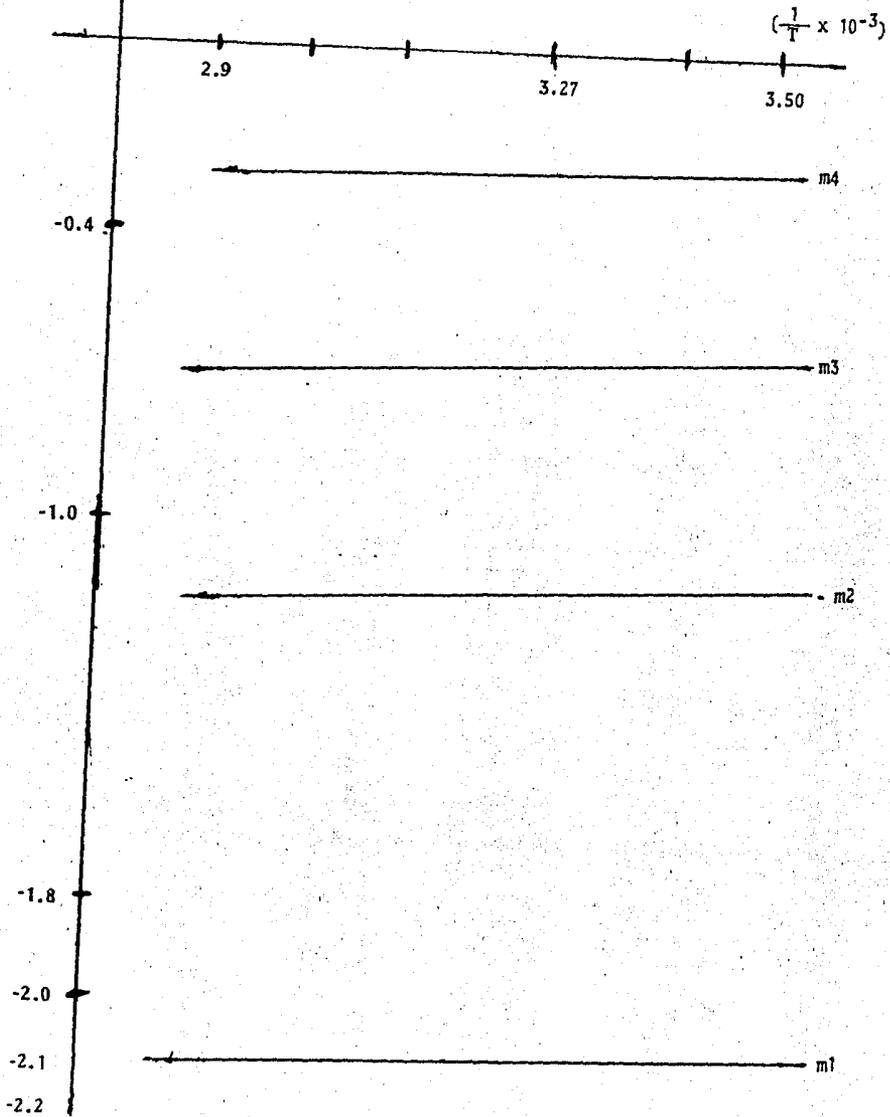
($1/T = 3.27 \times 10^{-3}$)

| V | a | $\ln a$ |
|--------|-------|---------|
| 0.0313 | 0.120 | -2.120 |
| 0.0546 | 0.325 | -1.120 |
| 0.0737 | 0.516 | -0.661 |
| 0.1022 | 0.756 | -0.278 |
| 0.1090 | 0.784 | -0.243 |

($1/T = 3.5 \times 10^{-3}$)

| V | a | $\ln a$ |
|--------|-------|---------|
| 0.0313 | 0.125 | -2.079 |
| 0.0546 | 0.331 | -1.105 |
| 0.0737 | 0.530 | -0.634 |
| 0.1022 | 0.760 | -0.274 |
| 0.1090 | 0.810 | -0.210 |



Grafica No. 4 $\ln a$ vs. $1/T$; a humedad constante.

De las graficas anteriores, obtenemos los valores de - calor de desorción, por medio de la pendiente de cada una de las lineas a los diferentes contenidos de humedad.

$$-\frac{Q_{s1}}{R} = m_1 = \frac{-2.218 - (-2.079)}{0.6 \times 10^{-3}} = -81.6$$

$$-\frac{Q_{s2}}{R} = m_2 = \frac{-1.155 - (-1.120)}{0.6 \times 10^{-3}} = -58.3$$

$$-\frac{Q_{s3}}{R} = m_3 = \frac{-0.661 - (-0.634)}{0.6 \times 10^{-3}} = -45.0$$

$$-\frac{Q_{s4}}{R} = m_4 = \frac{-0.278 - (-0.274)}{0.6 \times 10^{-3}} = -6.6$$

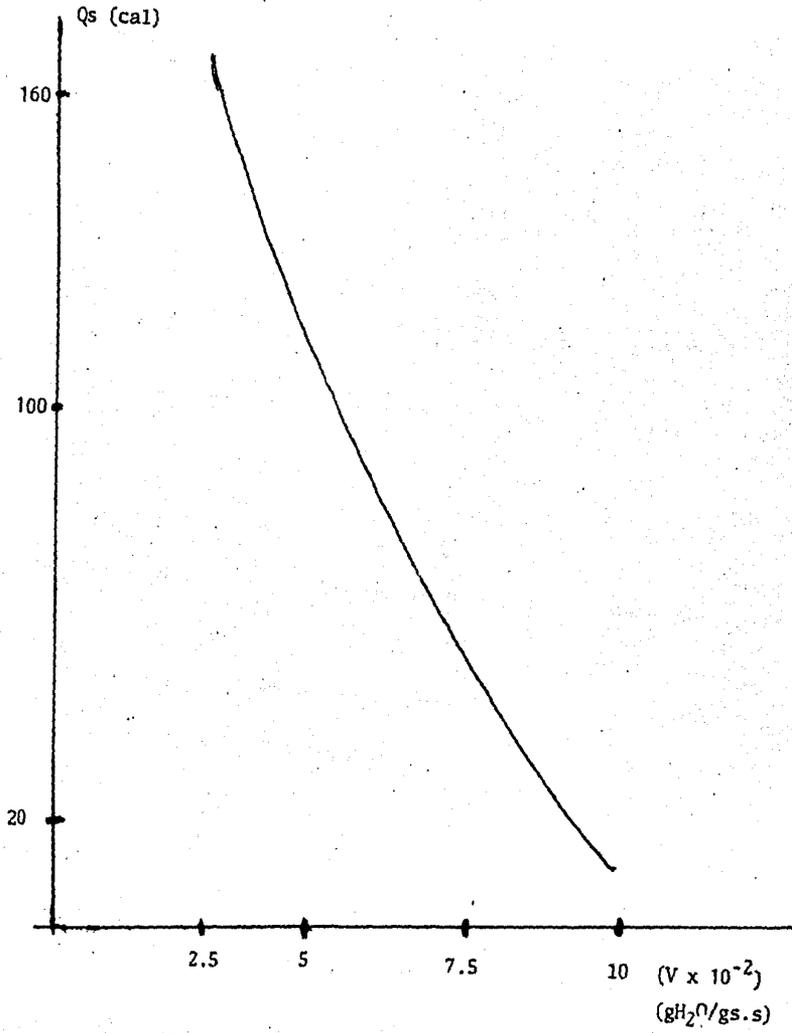
$$-\frac{Q_{s5}}{R} = m_5 = \frac{-0.243 - (-0.242)}{0.6 \times 10^{-3}} = -1.66$$

Para obtener el valor del calor de desorción hay que multiplicar, el valor de cada pendiente por la constante de los gases R, donde $R = 2 \text{ cal/mol } ^\circ\text{K}$.

Quadro 6.5.3 Datos de calor de desorción (Q_g), a diferentes contenidos de humedad.

| V (gH ₂ O/gs.s) | Q _g (cal) |
|----------------------------|----------------------|
| 0.0313 | 163.2 |
| 0.0546 | 116.6 |
| 0.0737 | 90.0 |
| 0.1022 | 13.2 |
| 0.1090 | 3,3 |

Grafica 6.5. Color de desorción (Os) vs. (v) humedad



6.6 HUMEDAD REDUCIDA

Para calcular la humedad reducida (W), en el periodo de velocidad decreciente, se empleo la siguiente expresión:

$$W = \frac{m - m_e}{m_o - m_e}$$

Donde: m_e = humedad en el equilibrio, g H_2O/g s.s.

m_o = humedad inicial, g H_2O/g s.s.

m = humedad al tiempo t .

Ejemplo de calculo:

Experimento No. 1

Periodo decreciente, a partir de:

$m = 0.260$ g H_2O/g s.s.

$m_e = 0.041$ g H_2O/g s.s.

$m_o = 1.060$ g H_2O/g s.s.

$$W = \frac{0.260 - 0.041}{1.060 - 0.041} = 0.21$$

Cuadro 6.6.1 Resultados de humedad reducida (W), en el periodo decreciente, de rapidez de secado, $\ln W$ y t , para el experimento No. 1.

| t | W | $\ln W$ |
|--------|-------|---------|
| 75 min | 0.20 | - 1.609 |
| 80 | 0.16 | - 1.832 |
| 85 | 0.15 | - 1.897 |
| 90 | 0.12 | - 2.120 |
| 95 | 0.11 | - 2.207 |
| 100 | 0.09 | - 2.407 |
| 105 | 0.09 | - 2.407 |
| 110 | 0.07 | - 2.659 |
| 115 | 0.06 | - 2.813 |
| 120 | 0.05 | - 2.945 |
| 125 | 0.05 | - 2.945 |
| 130 | 0.04 | - 3.218 |
| 135 | 0.03 | - 3.506 |
| 140 | 0.02 | - 3.912 |
| 145 | 0.02 | - 3.912 |
| 150 | 0.016 | - 4.130 |
| 155 | 0.010 | - 4.605 |
| 160 | 0.007 | - 4.961 |
| 165 | 0.004 | - 5.521 |
| 170 | 0.001 | - 6.407 |

Cuadro 6.6.2 Resultados de humedad reducida (W), en el periodo decreciente, de rapidez de secado, $\ln W$ y t , para el experimento No. 2.

| t (min) | W | $\ln W$ |
|-----------|--------|---------|
| 40 | 0.127 | -2.063 |
| 45 | 0.084 | -2.476 |
| 50 | 0.081 | -2.513 |
| 55 | 0.041 | -3.194 |
| 60 | 0.031 | -3.473 |
| 65 | 0.028 | -3.575 |
| 70 | 0.018 | -4.017 |
| 75 | 0.014 | -4.261 |
| 80 | 0.011 | -4.509 |
| 85 | 0.010 | -4.605 |
| 90 | 0.006 | -5.115 |
| 95 | 0.004 | -5.521 |
| 100 | 0.0026 | -5.952 |
| 105 | 0.0020 | -5.952 |
| 110 | 0.0013 | -6.640 |

Cuadro 6.6.3 Resultados de humedad reducida, (W), en el periodo decreciente, de rapidez de secado, $\ln W$ y t , para el experimento No. 3.

| t (min) | W | $\ln W$ |
|-----------|-------|---------|
| 110 | 0.319 | -1.142 |
| 115 | 0.285 | -1.255 |
| 120 | 0.265 | -1.328 |
| 125 | 0.243 | -1.414 |
| 130 | 0.227 | -1.482 |
| 135 | 0.210 | -1.560 |
| 140 | 0.185 | -1.607 |
| 145 | 0.167 | -1.789 |
| 150 | 0.160 | -1.832 |
| 155 | 0.142 | -1.951 |
| 160 | 0.134 | -2.004 |
| 165 | 0.129 | -2.047 |
| 170 | 0.100 | -2.302 |
| 175 | 0.093 | -2.375 |
| 180 | 0.074 | -2.603 |
| 185 | 0.069 | -2.673 |
| 190 | 0.058 | -2.847 |
| 195 | 0.038 | -3.270 |
| 200 | 0.028 | -3.570 |
| 205 | 0.027 | -3.611 |
| 210 | 0.025 | -3.688 |

Cuadro 6.6.4 Resultados de humedad reducida (W), en el periodo decreciente, de rapidez de secado, $\ln W$ y t , para el experimento No. 4.

| $t(\text{min})$ | W | $\ln W$ |
|-----------------|-------|---------|
| 115 | 0.143 | - 1.944 |
| 120 | 0.132 | - 2.024 |
| 125 | 0.113 | - 2.180 |
| 130 | 0.090 | - 2.407 |
| 135 | 0.087 | -2.441 |
| 140 | 0.079 | - 2.538 |
| 145 | 0.063 | - 2.764 |
| 150 | 0.054 | - 2.918 |
| 155 | 0.049 | - 3.015 |
| 160 | 0.042 | - 3.174 |
| 165 | 0.032 | - 3.405 |
| 170 | 0.031 | - 3.473 |
| 175 | 0.027 | - 3.611 |
| 180 | 0.020 | - 3.912 |
| 185 | 0.018 | - 4.017 |
| 190 | 0.013 | - 4.342 |
| 195 | 0.007 | - 4.961 |
| 200 | 0.003 | - 5.807 |

Cuadro: 6.6.5 Resultados de humedad reducida(W), en el periodo decreciente, de rapidez de secado, $\ln W$ y t , para el experimento No. 5.

| $t(\text{min})$ | W | $\ln W$ |
|-----------------|-------|---------|
| 100 | 0.169 | - 1.770 |
| 105 | 0.150 | - 1.890 |
| 110 | 0.137 | - 1.980 |
| 115 | 0.114 | - 2.176 |
| 120 | 0.089 | - 2.419 |
| 125 | 0.082 | - 2.501 |
| 130 | 0.076 | - 2.577 |
| 135 | 0.066 | - 2.718 |
| 140 | 0.046 | -3.079 |
| 145 | 0.036 | - 3.324 |
| 150 | 0.020 | - 3.912 |
| 155 | 0.011 | - 4.509 |
| 160 | 0.007 | - 4.892 |
| 165 | 0.003 | - 5.878 |
| 170 | 0.001 | - 7.824 |

Cuadro 6.6.6 Resultados de humedad reducida (W), en el periodo decreciente, de rapidez de secado, $\ln W$ y t , para el experimento No. 6.

| $t(\text{min})$ | W | $\ln W$ |
|-----------------|-------|---------|
| 60 | 0.138 | -1.980 |
| 65 | 0.118 | - 2.137 |
| 70 | 0.083 | - 2.488 |
| 75 | 0.071 | - 2.645 |
| 80 | 0.040 | - 3.218 |
| 85 | 0.008 | - 4.828 |
| 90 | 0.007 | - 4.961 |
| 95 | 0.004 | - 5.403 |
| 100 | 0.003 | - 5.744 |

Cuadro; 6.6.7 Resultado de humedad reducida (W), en el periodo decreciente, de rapidez de secado, $\ln W$ y t, para el experimento No. 7.

| t(min) | W | $\ln W$ |
|--------|-------|---------|
| 30 | 0.205 | - 1.584 |
| 35 | 0.153 | - 1.877 |
| 40 | 0.102 | - 2.282 |
| 45 | 0.074 | - 2.603 |
| 50 | 0.050 | - 2.995 |
| 55 | 0.032 | - 3.440 |
| 60 | 0.020 | - 3.910 |
| 65 | 0.008 | - 4.828 |
| 70 | 0.005 | - 5.300 |

6.7 HISTORIA TERMICA DEL PRODUCTO DURANTE LA DESHIDRATACION

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

$$Ah(T_a - T) = - (\gamma + Q_s) \frac{dm_w}{dt} \quad (6.7.1)$$

T_a = Temperatura de bulbo seco, °C

T = Temperatura del alimento al tiempo t , °C

m_w = g H_2O

Q_s = Calor de desorción cal/mol

h = Coef. ext. de transferencia de calor cal/min $cm^2 \text{ } ^\circ C$

El área de transferencia de las muestras cambia a medida que procede la deshidratación.

Tenemos:

$$T = T_a = \frac{(Q_s + \gamma) m_0 s e^{-ot}}{2 H(m_0 + L)}$$

Donde: m_0 = Contenido de humedad inicial

γ = Entalpías de evaporación.

Ejemplo de cálculo:

Producto: Hígado de res.

$$e = 0.40 \text{ cm}$$

$$T_a = 51.45^\circ\text{C}$$

$$Q_s + \gamma = 0.680 \text{ g/m}^3$$

$$X = 1048 \text{ cal/mol}$$

$$m_o = 1.060 \text{ g H}_2\text{O/g s.s.}$$

$$s = 2.79^{-2}$$

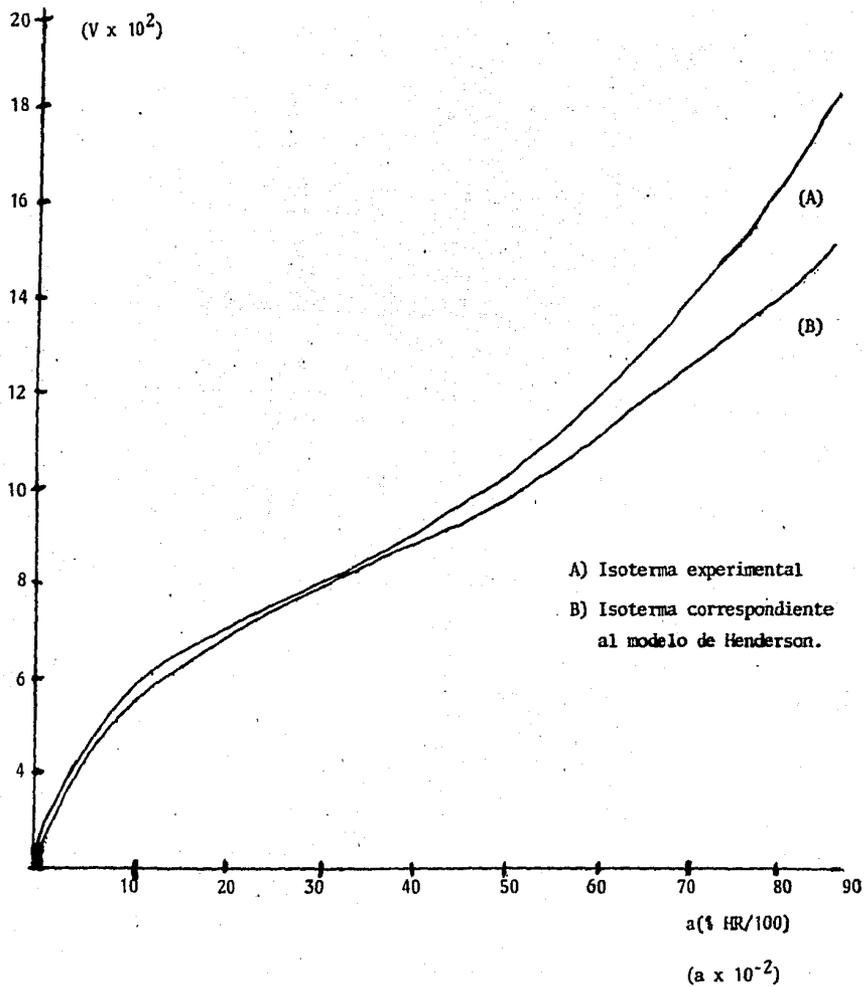
Sustituyendo y calculando con la ecuación (6.7.1)

$$T = 30.52^\circ\text{C}$$

Cuadro Isotermas de desorción calculadas a partir
 No. 6.8 de los diferentes modelos.

| a(%HR/100) | V exp. | V BET | V Halsey | V Henderson |
|------------|---------|---------|----------|-------------|
| 0.115 | 0.03406 | 0.03402 | 0.02800 | 0.03480 |
| 0.316 | 0.05700 | 0.05690 | 0.04300 | 0.05520 |
| 0.473 | 0.09810 | 0.07824 | 0.07500 | 0.07170 |
| 0.748 | 0.14090 | 0.17109 | 0.11510 | 0.11600 |
| 0.791 | 0.14940 | 0.20710 | 0.16120 | 0.12200 |
| 0.853 | 0.17670 | 0.29610 | 0.20300 | 0.12600 |
| 0.988 | 0.24890 | 1.04450 | 0.35430 | 0.18000 |

Fig. 7.1 Isotomo experimental e Isotoma del modelo de Henderson.



CUADRO No. 6.9
(COMPOSICION) HIGADO DE RES DESHIDRATADO

| | | |
|------------|----|--|
| 4.38 % | de | humedad |
| 15.48 % | de | grasa |
| 70.91 % | de | proteína |
| 8.86 % | de | cenizas |
| 60.70 % | de | digestibilidad in vitro de proteína |
| 3.55 mgg/g | de | Vitamina B ₁₂ |

VII DISCUSION DE RESULTADOS

7.1. ISOTERMA DE DESORCION

A partir de los recultados obtenidos experimentalmente, podemos hacer las siguientes observaciones.

En el estudio de la isoterma de desorción, se observó que el modelo que establece la relación agua-hígado de res, es decir que describe la isoterma completa es el modelo de Henderson, como se puede observar eb la tabla 7.1. y en la gráfica -- 7.1. respectivamente.

La utilidad de esta radica en que mediante la medición de la humedad relativa del medio circundante, podemos saber la humedad final que va a tener nuestro producto.

7.2. CALOR DE DESORCION

De acuerdo a los resultados obtenidos de calor de desorción (Q_s), a diferentes contenidos de humedad, como se puede observar en la tabla 6. 5. 3, a medida que decrece el contenido de humedad la energía necesaria para su remoción aumenta exponencialmente. Fenómeno que tiene su explicación en la calidad-

del agua, agua de enlace que esta presente en los alimentos a bajos contenidos de humedad a diferencia del período inicial de secado cuando es el agua libre lo que abandona al producto.

7.3. SECADO

A partir de los experimentos de secado, podemos observar que existe un período de velocidad constante predominante, además de un período de velocidad decreciente, teniéndose un valor de humedad crítica (m_c), equivalente a $0.20 \text{ gH}_2\text{O/g s.s.}$ para los diferentes experimentos. Es decir el valor de humedad a partir del cuál comienza el período de velocidad decreciente.

Al principio la superficie sólida y la líquida, estaban más calientes, que la temperatura superficial final, lo cual daba lugar a una curva A'B, mientras ocurría el ajuste inicial.

El período de velocidad constante, se debía a que los capilares e intersticios del sólido, llenos de líquido, llevaban líquido hasta la superficie tan rápidamente como el líquido se evaporaba de esta.

Cuando el contenido de humedad promedio del sólido, alcanzaba el contenido crítico de humedad, la película superficial de humedad se reduce tanto por evaporación, que el secado-

posterior produce puntos secos que aparecen sobre la superficie; estos ocupan cada vez porciones más grandes de la superficie ex puesta al continuar el secado. Esto da lugar al período decreciente de la velocidad de secado.

El secado continúa hasta que el contenido de humedad - del sólido, cae hasta el valor en el equilibrio (m_e), para la - humedad del aire predominante y el secado se detiene.

Durante la deshidratación del Hígado de res, previamente cocido y picado, bajo diferentes condiciones, pudimos observar el efecto de las diferentes variables, sobre el tiempo de - secado.

A partir de la historia térmica del producto, durante la deshidratación, se observa que con el paso del tiempo de secado, la temperatura superficial del sólido disminuye, al inicio de la deshidratación la disminución en la temperatura es menor - debido a que la energía necesaria para evaporar el agua libre - es menor que la necesaria para remover el agua de enlace presente en el hígado de res. Puesto que esta energía la proporciona el sólido que se está secando, al ceder esta energía se provoca un descenso en la temperatura superficial del sólido.

En los experimentos en los cuales aumento el espesor - de la capa, se obtuvieron valores más reducidos de velocidad de

secado.

Otras observaciones, fuerón las siguientes:

Al aumentar la temperatura del aire, aumenta la velocidad de secado.

Cuando aumenta la húmedad, se observa una disminución en la velocidad de secado.

Y no fué muy significativo el efecto de la velocidad del aire.

Estos efectos, se pueden explicar utilizando las ecuaciones desarrolladas para calcular la velocidad de secado:

Efecto del espesor del sólido:

El motivo por el cuál, al aumentar el espesor del sólido, se obtuvieron valores más reducidos de velocidad de secado es debido a que existe conducción de calor a través del sólido:

$$q_k = U_k (t_g - t_s)$$

$$U_k = \frac{1}{(1/h_c) (A/A_u) + (z_m/k_m) A/A_u + (z_s/k_s) A/A_m}$$

Donde:

h_c = Coeficiente de convección para el plato.

k_m y k_s = Conductividad térmicas del plato y del hígado de res, que se esta secando.

A_u y A_m = Superficie que no se esta secando y área promedio, -- del hígado de res que se esta secando.

z_m = Espesor del material del plato.

z_s = Espesor del hígado de res que se esta secando.

$$N_c = \frac{q}{s} = \frac{(h_c + U_k)(t_g - t_s) + h_r(t_r - t_s)}{s} = K_y(Y_c - Y)$$

Donde:

N_c = Velocidad de secado

t_g = Temperatura del aire.

t_s = Temperatura del sólido.

t_r = Temperatura de la superficie que irradia.

s = Calor latente de vaporización.

K_y = Coeficiente de transferencia del gas.

Y_s = Húmedad del aire en la superficie del sólido.

Y = Húmedad del aire en la corriente principal.

Mediante estas ecuaciones, podemos observar que al aumentar el espesor del hígado de res (z_m); disminuye el valor -- del coeficiente global de transferencia de calor (U_k), que es -- directamente proporcional a la velocidad de secado.

Por lo tanto al aumentar el espesor de la capa de hígado de res, obtenemos valores más reducidos de velocidad de secado.

Efecto de la temperatura del aire;

Al aumentar la temperatura del aire, se observo un incremento en los valores de velocidad de secado. Esto se debe a que al aumentar la temperatura aumenta la diferencia entre la temperatura del aire y la temperatura del hígado de res, y esta diferencia es directamente proporcional a la velocidad de secado.

Efecto de la humedad.

Al aumentar la humedad disminuye la velocidad de secado, esto se debe a que al aumentar la humedad del aire en la -- corriente principal, disminuye la diferencia, con respecto a la humedad del aire en la superficie del sólido; siendo esta proporcional a la velocidad de secado.

$$N_c = (Y_s - Y) K_y$$

Efecto de la velocidad del aire.

Si no hubiera radiación y conducción a través del sólido, la velocidad de secado, sería proporcional al flujo de -- aire, pero como la radiación y la conducción, están presentes, -- el efecto del flujo de aire es menos importante.

7.4. COEFICIENTE EXTERNO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Los valores del coeficiente externo de transferencia -- de calor, son comparables con los reportados por la literatura, 1.451×10^{-4} cal/segcm²°C (Cinética de deshidratación de Yuca y malanga, 198).

Como se puede observar en la tabla 6. 3. 1, el valor -- del coeficiente externo de transferencia de calor, en los diferentes experimentos de secado, es directamente proporcional a -- la velocidad del aire y al temperatura de secado, sin embargo -- el efecto de la temperatura es mayor debido a que afecta las -- propiedades fisicoquímicas del aire como: conductividad térmica, viscosidad, densidad, etc., las cuales afectan al número de Reynolds, que es directamente proporcional a dicho coeficiente.

Por lo tanto al aumentar la temperatura de secado, aumenta el valor de velocidad de secado, lo cuál concuerda con -- los resultados obtenidos experimentalmente.

7.5. COEFICIENTE INTERNO DE TRANSFERENCIA DE MASA

Los valores de los coeficientes internos de transferencia de masa, obtenidos en los diferentes experimentos de secado, concuerdan con los reportados por la literatura; - - - - -
 $D = .024 \times 10^{-2}$ (cm²/min) Nickerson, 1968. Valor del coeficiente de transferencia de masa, obtenido para el pescado fresco.

En los experimentos, se obtuvieron valores más altos, - debido a que mediante el cocimiento del hígado de res, las propiedades coloidales de la proteína se alterán, obteniendo se un material más esponoso, por lo que la difusión de humedad a la - superficie de la partícula es altamente acelerada, en comparación con el producto fresco.

Se observo que a medida que aumenta el espesor inicial del hígado cocido, disminuye el valor del coeficiente de transferencia de masa, debido a que aumenta la distancia difusional para la humedad.

Por lo tanto al disminuir el espesor inicial del hígado cocido, aumenta el valor de velocidad de secado, lo cuál con

cuerda con los resultados experimentales.

VIII CONCLUSIONES

A. De los resultados de velocidad de secado, se puede observar que existe un período de velocidad de secado constante predominante, además de un período decreciente.

B. Mediante la cocción y el picado del hígado de res, se logra, un aumento en la velocidad de secado.

C. El tiempo de secado, entre contenidos fijos de humedad dentro del período de velocidad constante, fué directamente proporcional al espesor de la capa de hígado de res.

D. La velocidad de secado es directamente proporcional a la temperatura del aire.

E. Del estudio de isoterma de desorción, se observa que el modelo que describe la isoterma completa es el modelo de Herderson.

F. De los resultados de calor de desorción, se observa que a medida que decrece el contenido de humedad la energía necesaria para su remoción aumenta exponencialmente.

G. El hígado de res deshidratado, está constituido ca

si en su totalidad por material proteico, y su bajo contenido de humedad, evita su descomposición.

H. Mediante el análisis de Vitamina B₁₂ y proteína, en el hígado de res, deshidratado, se observa que puede utilizarse como complemento vitamínico, ó para fortificar alimentos.

IX RECOMENDACIONES PARA FUTURAS INVESTIGACIONES

El hígado de res deshidratado, obtenido, consiste de un polvo café, de olor y sabor característico, estudios realizados muestran que entre sus aplicaciones esta el tratamiento de anemias secundaria, para lo cual se han reportado estandares -- hechos por N.F. Yudkin, donde se presenta un aumento en la velocidad en que ganan peso y altura, niños de 2 años, cuando a su dieta diaria se añadieron 1.2g de hígado deshidratado, reportandose que esta dosis provee al menos 1 mcg de vitamina B₁₂.

Otra de sus aplicaciones es como suplemento alimenticio, para lo cuál se recomienda una dosis de 500 mg. ()

Por lo tanto se recomienda un estudio de estabilidad y vida de anaquel, para poder determinar el tiempo de utilidad -- del producto como complemento alimenticio.

Además, pueden hacerse pruebas de reconstitución y -- evaluar sus características sensoriales, para poderle dar posibles usos en otra forma.

A partir del estudio, de la cinética de deshidratación del hígado de res, se obtuvieron curvas de secado y de velocidad de secado. Estas curvas son utiles, para determinar el

tiempo necesario para secar grandes lotes bajo las mismas condiciones de secado.

Por lo tanto, se recomienda el desarrollo de un estudio en el cuál se establezca el anteproyecto de una planta deshidratadora de hígado de res.

X NOMENCLATURA

- a = Actividad del agua.
- A = Area del material que se seca, cm^2 .
- A_u = Area del material que no se esta secando, cm^2 .
- b = Constante del midelo de Haley (ec. 2.13).
- D = Coeficiente interno de tranferencia de masa cm^2/min .
- h = Coeficiente externo de trasferencia de calor, $\text{cal}/\text{seg cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.
- H.R = Humedad relativa del aire.
- K = Conductividad térmica, $\text{cal}/\text{seg cm}^2$
- K_m = Conductividad térmica de la charola, $\text{cal}/\text{seg cm}^2$
- K_u = Conductividad térmica del hfgado de res, $\text{cal}/\text{seg cm}^2$
- K_y = Coeficiente de transferencia de masa, fase gaseosa, $\text{g H}_2\text{O}/\text{min cm}^2$ (gH₂O/g.s.s.)
- L = 2 veces el espesor de la muestra.
- L' = Longitud de la charola, cm.
- m = Húmedad de la muestra al tiempo t, g H₂O/g s.s.

- m_e = Húmedad en el equilibrio, g H_2O/g s.s.
- m_o = Húmedad inicial de la muestra g H_2O/g s.s.
- N = Velocidad de secado, g H_2O/g s.s.
- N_{NU} = Número de Nusselt
- N_{PR} = Número de Prandtl
- N_{RE} = Número de Reynolds.
- P = Presión de vapor que ejerce el agua sobre el alimento.
- P_o = Presión de vapor del agua a T_o .
- Q_s = Calor de desorción, cal/g.
- r = Constante del modelo de Halsey (ec. 2.13).
- R = Constante de los gases ideales, cal/mol^oK
- s = Pendiente de la grafica $\ln W$. vs. t .
- T = Temperatura absoluta, ^oK.
- t = Tiempo, min.
- V = Volumen desorbido, g H_2O/g s.s.
- V_m = Volumen desorbido en la capa monomolecular, g H_2O/g s.s.
- v = Velocidad del aire cm/seg.

w = Peso de la muestra de hígado de res, g.

W = Humedad reducida.

Y_s = Humedad del aire ($\text{gH}_2\text{O/g a.s.}$)

Y = Humedad del aire en la corriente principal ($\text{gH}_2\text{O/g a.s.}$)

z_m = Espesor de la charola de secado, cm.

z_s = Espesor de la capa de hígado de res, cm.

= Entalpía de vaporización, cal/g.

= Densidad del aire, g/cm^3 .

= Viscosidad del aire, g/cm seg.

XI BIBLIOGRAFIA

- 1) A.O.A.C. (1980). Methods of Analysis, Association of - - official Analytical Chemistry Washigton D.C. 20044, - 376 pp.
- 2) Emerson C. W., Kegahian T. y Doty D. M. (1955). Fat and -- Moisture content in meat products. Am. Henst. Found. - Bull 26.
- 3) Harris R. S. y Karmas E. (1975) Netritional evaluation of food proceesign. The Avi Publishing Co. Inc. West- - port conecticut, 775 pp.
- 4) Hernández Ch. C. (1974). Ateproyecto de una planta deshidratadora de pollo. Tesis de Licenciatura. Facul-- tad de Química. U.N.A.M.
- 5) Keey R. B. (1972). Drying Principles and Practice. Parga-- mon Press. 20 pp.
- 6) Kramer T. (1973). Quality Control for the food Industry. - The Avi Publishing Co. Inc. Westport, Connecticut, - 30 pp.
- 7) Kraybill H. R. (1943). Dehydration of meat Ind. Eng. Chem. (35) 1:46.
- 8) Labuza T. P. (1968). Sorption Phenomena in Foods. Food -- Tech. (22): 264.

- 9) Morris B. J. (1973). The Chemical Analysis of foods and -- Food products (3a ed.). Robert E. Krieger Publis- - hing Co. Inc. 653 pp.
- 10) Norman W. D. (1982). Conservación de alimentos CECSA, - - México 157 pp.
- 11) Patty F. y Arnold E. B. (1978) Valor nutritivo de los ali- - mentos. Editorial Limusa. México 127 pp.
- 12) Salvin H. (1959). Defining minimum moisture content for - - de hydrated food. Food Tech. (13): 10594.
- 13) Silva S.A. (1978). Estudio de secado de un producto ali- - menticio. Tesis de Licenciatura. Facultad de Quími- - ca. U.N.A.M.
- 14) S. P. P. (1985). Anuario estadístico de los Estados Uni- - dos Mexicanos. México.
- 15) Van Arsdel W. B. (1973). Food Dehydration. The Avi Publi- - shing Company Inc. Westport, Connecticut 7 pp.

DETERMINACION DE VITAMINA B₁₂ EN EL HIGADO
DE RES DESHIDRATADO

ENSAYO MICROBIOLOGICO:

El ensayo microbiológico se basa en que ciertos microorganismos crecen lentamente ó nada en ausencia de Vitamina -- B₁₂. La técnica más común es el ensayo de dilución, usando -- una serie de tubos, conteniendo medio esteril. Se utilizan do sis medidas de la solución problema; y a otros se les añade so lución estandar de Vitamina B₁₂. Después de la inoculación e- incubación; se mide el crecimiento microbiano.

1.- REACTIVOS

Buffer Acetato de Sodio: Mezclar 10 ml de acetato de- sodio 1 M (14.5 ml/250 ml), - aforar a 100 ml con agua des- tilada.

Cianuro de sodio 1%: 250 mg Cianuro de sodio en 5 ml.
500 mg Cianuro de sodio en 50 ml.

2.- PROCEDIMIENTO

- 1.- Licuar previamente el hígado fresco.
- 2.- Pesar 1 g. de muestra (fresco).
- 3.- Transferir a un vaso de 50 ml.
- 4.- Añadir 10 ml. de agua destilada. (1 mcg de Vitamina B₁₂/g hígado).
- 5.- Añadir 10 ml. de solución buffer de Acetato de sodio.
- 6.- Añadir 1 ml. de cianuro de sodio al 1%
- 7.- Mezclar vigorosamente
- 8.- Calentar por 30 minutos a 95 - 100°C.
- 9.- Enfriar a temperatura ambiente.
- 10.- Mezclar vigorosamente
- 11.- Ajustar el pH a 4.6 ± 0.1 con ácido acético 1 M.
- 12.- Pasar a un matraz volumétrico de 100 ml. de color ambar-
y aforar con agua.
- 13.- Filtrar a través de papel Whatman No. 1
- 14.- Desechar los primeros 25 a 30 ml. del filtrado.
- 15.- Refiltrar a través del mismo filtro hasta filtrado claro.
- 16.- Tomar 1 ml. y aforar a 100 ml. con agua. (0.0001 mcg/ml = 100
pg/ml = 100 pg/ml concentración St.). (Solución problema I)

REACTIVOS: Ensayo microbiológico.

1.- Medio de conservación (micro assay cultur agar).

Preparación: pesar 4.7 g, agregar 100 ml. de agua caliente calentar y distribuir en tubos de ensayo de 10 ml; se esteriliza 15' a 15 lb de presión.

2.- Medio de crecimiento

De la solución stock de 1.0 mcg/ml, tomar 1 ml y aforar a 500 ml, tomar 20 ml. y aforar a 500 ml.

Tomar 5 ml. de la solución + 5 ml. de medio de cultivo, - tapar y esterilizar 10' a 115°C.

3.- Medio de cultivo.

Pesar 83 g. de medio de cultivo y agregar 1000 ml. de - - agua + 2 ml. de Tween 80.

4.- Solución Stock.

Concentración de Cianocobalamina U.S.P. 8.66 mcg/mg (pureza).

8.66 mcg - 1 mg

1.00 mcg - X

X = 0.1154 mg

0.1154 mg - 1 ml.
X - 100 ml.

$$X = 11.54 \text{ mg}/100 \text{ ml (mcg/ml)}.$$

PROCEDIMIENTO

- 1.- Tomar una asada del medio de conservación, conteniendo *Lactobacillus Leichmanii*.
- 2.- Introducir la asada en un tubo que contenga 10. ml. del medio de cultivo.
- 3.- Incubar 24 hrs. a 37°C.
- 4.- Posteriormente, centrifugar 3 veces 10 minutos a 1800 r.p.m. haciendo lavados con 5 ml. de medio de cultivo y 5 ml. de agua.
- 5.- Tomar una asada (2.2 - 0.4 ml.)
- 6.- Introducir en un tubo conteniendo 10 ml. de medio cultivo.
- 7.- Tomar con una jeringa de 2 ml. y aguja del No. 22.

8.- Inocular a cada tubo una gota e incubar 24 hrs. a 37°C. --

9.- Tubos para curva de calibración.

| | A. | B | C | D | E |
|-----------------------|----|---|---|---|---|
| (ml) Agua | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| (ml) Sol. St. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| (ml) Medio de cultivo | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |

(por duplicado)

Tubos para hígado crudo.

Problema No. 1

| | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|
| (ml) Agua | 4 | 3 | 2 | 1 |
| (ml) Sol. Problema 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| (ml) Medio de cultivo | 5 | 5 | 5 | 5 |

(por duplicado)

Problema No. 2 (Deshidratado).

| | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 2-4 |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|
| (ml) Agua | 4 | 3 | 2 | 1 |
| (ml) Sol. problema 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| (ml) Medio de cultivo | 5 | 5 | 5 | 5 |

(por duplicado)

6 tubos con blanco de medio (5 ml. de agua + 5 ml. de medio de cultivo).

10.- Esterilizar a 121°C durante 15°.

11.- Leer a 530 nm 6 filtro verde, ajustar el aparato con - - blanco de medio.

12.- Interpolar las lecturas y calcular.

13.- Calculos:

Calculo del factor:

$$1 \text{ g} - 100$$

$$1 \text{ ml} - 100$$

$$20 \text{ ml} - 100 \quad 50,000 \text{ ng} = 50 \text{ mcg.}$$

$$F = 50 \frac{\text{mcg}}{\text{g}} \times \frac{\text{mcg}}{\text{ng}}$$

En la gráfica, se ponen ng/ml.

$$\text{Concentración de la solución standar: } 20 \frac{\text{pg}}{\text{ml}} = 0.02 \frac{\text{ng}}{\text{ml}}$$

| Cuando se agrega (ml) | concentración (ng/ml) |
|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 0.02 |
| 2 | 0.04 |
| 3 | 0.06 |

CALCULOS:

| A | B | A) | 28 | 24 | 26 |
|---|---|----|----|----|----|
| | | B) | 18 | 18 | 18 |
| | | C) | 14 | 14 | 14 |
| | | D) | 0 | 0 | 0 |

Lecturas Absorbancia

(% T) (530 nm)

| | | (530 nm) | | | Conc. (ng/ml) | |
|----------------|--------------|--|----|-----|------------------------|--------------------|
| | | Lecturas % T ₁ absorbancia | | | A partir de la gráfica | |
| | | 1 - 1 | 18 | 18 | 18 | 0.04x50 2.00 mcg/g |
| P ₁ | = 1.52 mcg/g | 1 - 2 | 16 | 15 | 15.5 | 0.05x25 1.25 mcg/g |
| P ₂ | = mcg/g | 1 - 3 | 11 | 9.5 | 10.25 | 0.08x16 1.33 mcg/g |
| | | 1 - 4 | 0 | 0 | 0 | 1.52 mcg/g |

Ejemplo: $0.04 \frac{\text{ng}}{\text{ml}}$ $50 \frac{\text{ml}}{\text{g}}$ $\frac{\text{mcg}}{\text{ng}}$ = $2 \text{ mcg/g conc. con gráfica}$
 ng/ml

| | | | | | | |
|---|---|---|----|----|------|--------|
| 2 | - | 1 | 24 | 24 | 24.0 | 0.023 |
| 2 | - | 2 | 19 | 18 | 18.5 | 0.0395 |
| 2 | - | 3 | 10 | 9 | 9.5 | 0.090 |
| 2 | - | 4 | 0 | 0 | 0.0 | |

Hígado seco.

| | |
|--------|--------|
| 0.3409 | 100 ml |
| 1 ml | 100 ml |
| 20 ml | 100 ml |

$$(\text{ng/ml}) \times \frac{10^{-3} \text{ mcg}}{1} \times \frac{100}{20} \times \frac{100}{0.3409} = 146,670.58 \text{ ml/g}$$

$$F = 146.67 \frac{\text{ml}}{\text{g}} \frac{\text{mcg}}{\text{ng}}$$

$$0.023 (146.67) = 3.373 \text{ mcg/g}$$

$$0.0395 \frac{(146.67)}{2} = 2.900 \text{ mcg/g}$$

$$0.090 \frac{(146.67)}{3} = 4.400 \text{ mcg/g}$$

$$X = 3.5591 \text{ mcg/g}$$

(base húmeda)

| | |
|--------|---------|
| 3.5591 | 93.5 % |
| X | 100.0 % |

X = 3.80 mcg/g (base seca)

Hígado crudo:

| | |
|-------|--------|
| 1 g | 100 ml |
| 1 ml | 100 ml |
| 20 ml | 100 ml |

$$\frac{100 \times 100 \times 100}{1 \times 20 \times 1g} = 50,000 \text{ ml/g}$$

$$\frac{50,000 \text{ ml}}{g} \times \frac{10^{-3} \text{ mcg}}{\text{ng}} = 50 \text{ ml/g mcg/ng}$$

(base húmeda)

(base húmeda)

| | |
|----------|--------|
| 1.52 mcg | 31.2% |
| X | 100.0% |

X = 4.87 mcg/g (base seca)

TABLA DE RESULTADOS

Contenido de Vitamina B₁₂ en el hígado de res

| | (base húmeda) | (base seca) |
|--------------|-----------------|-------------|
| Hígado | 1.52 mcg/g | 4.87 mcg/g |
| crudo | 76.76 % humedad | |
| Hígado | 3.55 mcg/g | 3.80 mcg/g |
| Deshidratado | 6.33 % humedad | |

$$\% = \frac{3.80}{4.87} \times 100 = 78.03\% \text{ (\% de rendimiento de Vitamina B}_{12}\text{)}.$$