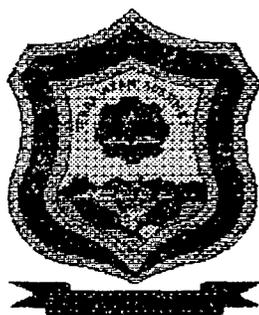


**Universidad Nacional Agraria de la Selva**

**Facultad de Industrias Alimentarias**

**Departamento Académico de Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los  
Alimentos**



**Determinación de la vida útil de ajo (Allium sativum) en  
polvo mediante pruebas aceleradas ASLT.**

**Tesis para optar el Título de  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Miriam Elvira Guerrero Cabrera**

**Tingo María - Perú**

**1997**

## D E D I C A T O R I A

A mis padres DEMOSTENES y  
GAUDENCIA por su invalorable  
apoyo, mi eterna gratitud.

A la memoria de mi  
hermana JESUS.

A mis hermanos  
WILSON, LILIANA, VIRNA  
DEMOSTENES y JOEL,  
Con el cariño de siempre.

A BETO como  
muestra de amistad  
y afecto.

## A G R A D E C I M I E N T O

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por permitirme culminar mi profesión.
- Al Ing. ALFREDO CARMONA RUIZ, patrocinador de esta tesis por el apoyo recibido en la culminación del presente trabajo.
- Al Ing. LUIS ALBERTO CONDEZO HOYOS, alumno de la Escuela de Post-Grado de la UNALM, por su apoyo intelectual.
- A los profesores Ing. Msc. RAUL NATIMIDAD FERRER, Ing. LAUREANO ZAVALETA DE LA CRUZ e Ing. YOLANDA RAMIREZ TRUJILLO, miembros del jurado de tesis, por sus contribuciones en la corrección del presente trabajo.
- Al Ing. EDUARDO CACERES ALMENARA, por sus valiosas sugerencias para el inicio del presente trabajo.
- Al Administrador PABLO CAJAS, profesor de la FACEA-UNAS por las facilidades brindadas en la obtención de la materia prima.
- Al Ing. WALTER BERNUY BLANCO, Jefe del Centro de Computo UNAS, por su valioso apoyo.

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONCYTEC, por la subvención brindada al presente trabajo.
  
- Al Ing. TITO A. HERNANDEZ TERRONES, Director Técnico del Proyecto UNOPS/UNDCP por su voluntaria y eficiente ayuda para la ejecución y sustentación del presente trabajo.
  
- A la ACOPAGRO-Juanjui por las facilidades para la culminación del presente trabajo.
  
- A la familia GUERRERO CABRERA por su apoyo moral durante mis estudios.
  
- Al Sr. NOE ALVA, por su invaluable apoyo durante el transcurso de mi carrera.
  
- A mis amigos Dr. VICTOR SANTOS y Dra. GLADYS ALLAZO, por su inmenso apoyo para la culminación de mi carrera.
  
- A todos mis amigos Beto, Jaime, Jorge, Leticia, Felicitas, Juan, Konrad, Aurelia, Rafael, Flor, Carlos, Hellen, Silvia, Olga, Dany, con quienes compartí alegrías y momentos difíciles como estudiante.
  
- A todas aquellas personas, que de una u otra manera contribuyeron a la culminación del presente trabajo.

## INDICE GENERAL

	Pag.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
A. De la materia prima	3
1. Clasificación taxonómica del ajo	3
2. Composición química del ajo	3
3. Sustancias aromáticas del ajo	4
B. Deshidratación del ajo	6
C. Embalaje de alimentos	10
1. Función de conservación	10
2. Protección contra la transferencia de materia	11
3. Riesgos de intercambio entre el producto y su embalaje: Migración	12
D. Determinación de vida útil mediante pruebas aceleradas (Accelerated shelf - life testing)	13
1. Reacciones cinéticas básicas para predecir la pérdida de calidad de los alimentos	14
2. Influencia de la temperatura sobre la vida útil	17
3. Influencia de la humedad en las predicciones de la vida útil	19
III. MATERIALES Y METODOS	24
A. Lugar de ejecución	24
B. Materia prima	24

C. Métodos de análisis	24
1. Análisis químico	24
2. Análisis fisicoquímico	27
3. Análisis físicos	28
D. Metodología	29
1. Elaboración de ajo en polvo	30
2. Determinación de la cinética de ganancia de humedad del ajo en polvo	33
3. Determinación de la influencia de la temperatura y humedad relativa sobre la cinética de pérdida de alicina del ajo en polvo	35
4. Determinación de la actividad de agua crítica del ajo en polvo	35
5. Determinación de la vida útil del ajo en polvo	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	37
A. Obtención del ajo en polvo	37
1. Caracterización química, física y fisicoquímica de la materia prima	37
2. Parámetros tecnológicos para la obtención de ajo en polvo	39
3. Diagrama de flujo y balance de materia	44
4. Análisis químico proximal y fisicoquímico del ajo en polvo	45
B. Determinación de la cinética de ganancia de humedad en ajo en polvo	46
1. Determinación de isotermas de adsorción a diferentes temperaturas	46

2. Determinación de permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento	48
3. Predicción de la ganancia de humedad del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento	51
C. Determinación de la cinética de pérdida de alicina del ajo en polvo	61
D. Determinación de la actividad de agua crítica del ajo en polvo	67
E. Determinación de la vida útil del ajo en polvo	70
V. CONCLUSIONES	75
VI. RECOMENDACIONES	76
VII. RESUMEN	77
VIII. BIBLIOGRAFIA	79
IX. ANEXOS	85

## INTRODUCCION

Las provincias de Ambo, Pachitea, la Unión y Dos de Mayo del departamento de Huánuco, cuentan con terrenos fértiles y clima adecuado que permiten el cultivo del ajo en cantidades considerables, comercializando en los mercados cercanos y provincias de la selva peruana.

La distancia existente entre los centros de producción y los de consumo, así como el inadecuado manejo poscosecha del ajo, hace que estos lleguen al consumidor con menor calidad y en algunos casos se produzcan pérdidas irreversibles, que afectan económicamente a los productores y comerciantes.

Las empresas productoras de alimentos procesados, tienen la necesidad de conocer el tiempo de vida útil de los productos en determinadas condiciones de almacenamiento, transporte, distribución y comercialización. La técnica usual para determinar la vida útil de un producto procesado es la de someterlo a almacenamiento por largos períodos, que en la mayoría de los casos postergan el ingreso del producto al mercado y por lo tanto ocasionan pérdidas económicas.

En la actualidad, los países desarrollados (Estados Unidos, Inglaterra, Francia y Japón, entre otros), emplean métodos para predecir el tiempo de vida útil de un producto procesado, sin necesidad de esperar tiempos prolongados de almacenamiento. Las pruebas aceleradas de vida útil ASLT (Accelerated

Shelf-Life Testing of Foods ), constituye el método que mayores satisfacciones a dado a investigadores y tecnólogos de alimentos. Ante esta situación surge como alternativa elaborar ajo en polvo como un producto de mayor estabilidad, el mismo que debe ser estudiado durante el almacenamiento, con el siguiente objetivo:

- Determinar la vida útil del ajo en polvo empacado en bolsas de polietileno de alta densidad, mediante pruebas aceleradas ASLT, en función a la pérdida de alicina y ganancia de humedad.

## II. REVISION DE LITERATURA

### A. De la materia prima.

#### 1. Clasificación taxonómica de ajo.

JORDAN (1987), presenta la siguiente clasificación para el ajo:

División	: Fanerógamas
Sub - División	: Angiosperma
Clase	: Monocotiledóneas
Orden	: Liliifloras
Familia	: Liliáceas
Sub - Familia	: Alioideas
Género	: Allium
Especie	: sativum

#### 2. Composición química del ajo.

En el Cuadro 1, se muestra la composición química del ajo.

**Cuadro 1.** Composición química del ajo, referida a 100 gramos de parte comestible.

Componentes	
Agua	62,5 g
Proteína	6,0 g
Grasa	1,0 g
Carbohidratos	28,0 g
Celulosa	1,2 g
Ceniza	1,3 g

Fuente: JORDAN (1987).

### 3. Sustancias aromáticas del ajo.

El principal precursor del olor en ajos es el *S*-2-propenil -*L*-cisteina sulfóxido (*alliina*), FENNEMA (1993); BADUI (1995). A partir del *S*-2-propenil -*L*-cisteina sulfóxido (*alliina*) y por lesión de los tejidos del ajo y acción de la *alliinasa* (*Ec. 4.4.1.4, S*-alquil-*L*-cisteina sulfóxido liasa), BADUI (1995), se produce el ácido 2-propenosulfénico, el cual se dimeriza para formar la alicina (sustancia responsable del olor del ajo), que luego se degrada 2-propenosulfénico y tioacroleína. Esta última se autocondensa via reacción de Diels-Alder para formar compuestos cíclicos de azufre (Figura 1).

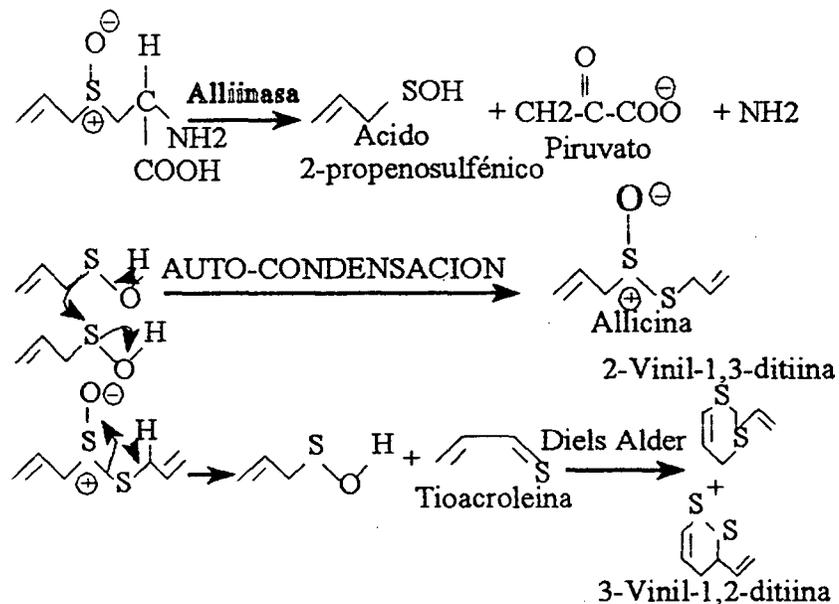


Figura 1. Mecanismo de formación del olor en ajo.

Fuente: WONG (1995).

FENNEMA (1993), manifiesta que el ácido pirúvico formado durante la conversión enzimática, es un compuesto estable que sirve de índice fiable de la intensidad del flavor del ajo. BADUI (1995) y FELLOWS (1994), mencionan que los precursor del olor en vegetales son termoestables, lo cual plantea la posibilidad de regeneración del olor en muestras que han sido sometidas a deshidratación por calor. BADUI (1995), manifiesta que la técnica usual de regeneración del olor consiste en incubar la muestra deshidratada con un extracto enzimático proveniente del vegetal fresco.

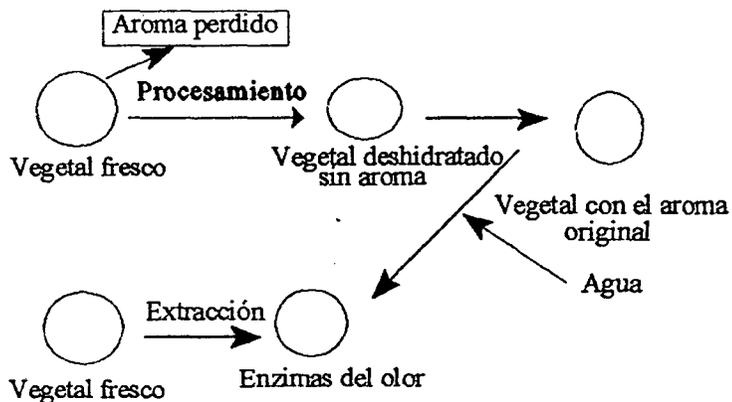


Figura 2. Regeneración del olor en vegetales deshidratados.

Fuente: BADUI (1995).

## **B. Deshidratación del Ajo.**

### **1. Características requeridas de la materia prima.**

MONTES (1981), menciona las características principales que debe poseer el ajo, a fin de obtener una producto deshidratado de buena calidad:

#### **a) Contenido de sólidos.**

El ajo deben tener un alto porcentaje de sólidos totales, con la finalidad de obtener un alto rendimiento en el proceso de deshidratación. El contenido de sólidos totales depende de la variedad y fluctúa entre 30-36%.

#### **b) Pungencia.**

La pungencia se define como la combinación del olor y sabor que presenta el ajo, característica principal y determinante para juzgar su calidad. El ajo a ser deshidratado debe tener alta pungencia, ya que durante el proceso de deshidratación se pierde parte de ella.

#### **c) Tamaño.**

Es preferible el empleo de dientes grandes, debido a que facilita la manipulación durante el deshidratado. En el caso de hojuelas de ajo deshidratado, el tamaño es de suma importancia, obviamente porque contribuye con la apariencia del producto.

## 2. Obtención de ajo deshidratado en polvo.

En la Figura 3, se muestra las operaciones necesarias para la elaboración de ajo en polvo.

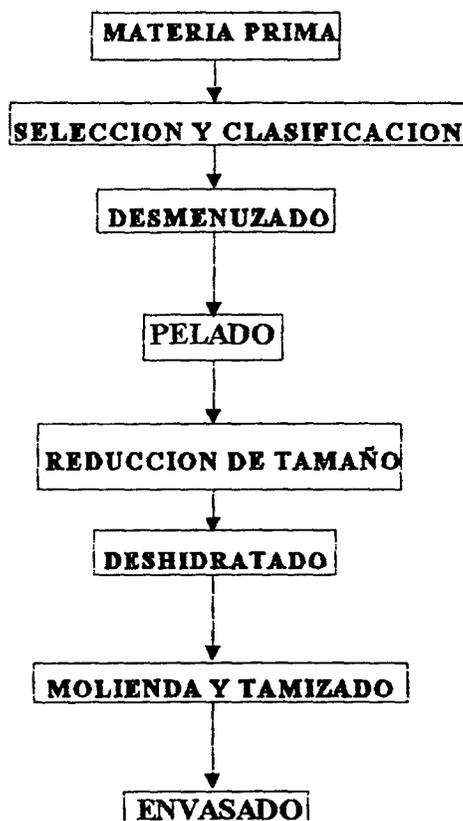


Figura 3. Flujograma para la obtención de ajo en polvo.

Fuente: BALVIN (1985).

BALVIN (1985), describe cada una de las operaciones mostradas:

### a) Materia Prima.

El ajo debe presentar dientes enteros y maduros (esta última característica comprobada por la sequedad de las hojas que cubren el bulbo). Otras

características importantes son la cantidad de sólidos totales, la pungencia y el tamaño de los bulbos.

**b) Selección y Clasificación.**

La selección consiste en eliminar los bulbos o dientes de ajo en mal estado, es decir aquellos que presentan signos de descomposición; mientras que la clasificación se realiza de acuerdo al tamaño de los bulbos.

**c) Desmenuzado.**

Esta operación, consiste en separar las raicillas, tierra y cubierta celulósica exterior fijada a los bulbos.

**d) Pelado.**

Se realiza sumergiendo los bulbos en agua tibia a 37°C durante 2 horas.

**e) Reducción de tamaño.**

Los ajos previamente pelados, son rebanados en hojuelas de 1 mm de espesor aproximadamente.

**f) Deshidratación.**

El ajo en hojuelas se somete a deshidratación por aire caliente a 60°C, velocidad de aire 3 m/s y carga 2,584 kg/m<sup>2</sup>; para minimizar la pérdida de calidad odorífica del ajo.

**g) Molienda y Tamizado.**

Los ajos deshidratados son sometidos a molienda en un molino de cuchillas, con el fin de darle la característica de polvo fino deseado. El tamizado se efectúa en mallas No. 30, 50 y 70, de diámetros 0,0232, 0,0117 y 0,0083 pulgadas, respectivamente.

**h) Envasado.**

El envasado de las muestras se realiza en bolsas de policel (62 gr/m<sup>2</sup>), compuesta por celofán 28 gr/m<sup>2</sup> con espesor de 0,8 milésimas de pulgada, adhesivo seco de 4 gr/m<sup>2</sup> y polietileno de baja densidad al cristal de 30 gr/m<sup>2</sup> con un espesor de 1,25 milésima de pulgada, cabe mencionar que esta envoltura no es apropiado para climas cálidos.

### C. Embalaje de alimentos.

#### 1. Función de conservación.

Las causas de alteración de los alimentos obedece a una conjugación de factores intrínsecos, propios de la naturaleza composicional del alimento y de agentes extrínsecos o medio ambientales que definen la posibilidad de alteraciones químicas, bioquímicas, fisicoquímicas y/o biológicas ( BUREAU y MULTON (1995) ).

La existencia de esta simbiosis de alteración, obliga a los tecnólogos de alimentos a emplear como instrumento de conservación el embalaje, que ejerce protección en forma pasiva, cuando no es parte de la técnica de preparación, o de forma activa, cuando está estrechamente relacionado con la tecnología de preparación y conservación ( BUREAU y MULTON (1995) ).

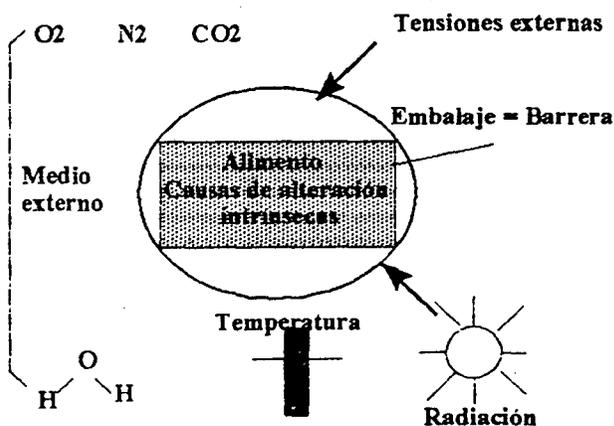


Figura 4. Función de conservación del embalaje.

Fuente: BUREAU y MULTON (1995).

## 2. Protección contra la transferencia de materia.

Los fenómenos de transferencia de masa pueden darse tanto en forma líquida y/o gaseosa, siendo este último el existente en vapores, gases y otras sustancias volátiles ( BUREAU y MULTON (1995) ).

La actividad pasiva del embalaje como barrera frente al oxígeno y el vapor de agua en productos sensibles a estos factores extrínsecos previene el desarrollo de mohos o bacterias aerobias, la pérdida de la textura crujiente de las galletas o del pan tostado, el incremento de la actividad de agua en productos azucarados o salados. La actividad como barrera a las sustancias volátiles, comprende tanto el ingreso como la salida de compuestos del y hacia el medio ambiente. En el caso del primer fenómeno puede suceder la transferencia de hidrocarburos, humos u olores, capaces de modificar las propiedades organolépticas de aroma y sabor del alimento; y la transferencia de gases del producto hacia el medio ambiente incluye la fuga de aromas específicos, la deshidratación de un producto y la fuga de gases o mezcla de gases confinados intencionalmente como tratamiento de conservación, como por ejemplo, CO<sub>2</sub> , N<sub>2</sub> y vapor de alcohol PRIMO (1978).

Debido a que la hermeticidad a los gases y vapores del empaque nunca es total, es necesario a fin de garantizar una mayor vida útil del producto empacado, una cuidadosa elección del tipo de material o las combinaciones

de materiales que optimicen las permeabilidades en función al tipo de producto ( BUREAU y MULTON (1995) ).

### **3. Riesgos de intercambio entre el producto alimentario y su embalaje:**

#### **Migración.**

BUREAU y MULTON (1995), definen la migración global como la transferencia de sustancias desde el embalaje al alimento y viceversa, debido a efectos de naturaleza fisicoquímica.

Los embalajes plásticos presentan invariablemente migraciones, independiente del producto embalado. Los compuestos que se transfieren son monómeros como el etileno, propileno, estireno y cloruro de vinilo que están presentes en forma de inclusiones en la matriz polimérica y/o aditivos como antioxidantes, plastificantes, estabilizantes, antivaho y antibloqueo que son adicionados para mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del plástico. Estos compuestos por ser moléculas pequeñas pueden desplazarse fácilmente hacia el alimento embalado o el medio externo, hasta alcanzar un equilibrio de potencial químico (Teorema de Nernst). La velocidad de difusión de los monómeros sigue la Ley de Fick, siendo proporcional a la concentración inicial y a la raíz cuadrada del tiempo ( BUREAU y MULTON (1995) ).

PRIMO (1978), menciona que los fenómenos de migración en los plásticos causan el deterioro de la calidad organoléptica del producto y en algunos casos se asocian con riesgos toxicológicos, definido por la presencia del cloruro de vinilo.

**D. Determinación de vida útil mediante pruebas aceleradas (Accelerate Shelf Life Testing).**

Según NUÑEZ y CHUMBIRAY, (1991) y FENNEMA (1993), la determinación de la vida útil de productos procesados se puede realizar mediante pruebas aceleradas ASLT, estableciendo para ello la cinética de pérdida de calidad definido por una forma de deterioro predominante, el mismo que depende del tipo de alimento en estudio; en función de factores medioambientales y composicionales.

Según NUÑEZ y CHUMBIRAY (1991), el método acelerado de determinación de vida útil de alimentos procesados utiliza frecuentemente una combinación de humedad relativa y temperatura más alta que aquellas a las que estaría expuesto el alimento normalmente. La mayoría de procesadores sugiere, para alimento secos, que el promedio de la temperatura y humedad debe ser de 70°F y 59% respectivamente, pudiéndose usar hasta 100°F y 90%HR para acelerar la ganancia de humedad en productos con bajo nivel de humedad.

## 1. Reacciones cinéticas básicas para predecir la pérdida de calidad de los alimentos.

Según LABUZA (1995) y FENNEMA (1993), la pérdida de calidad de productos alimenticios, puede ser expresada mediante la siguiente ecuación:

$$\pm \frac{dA}{d\theta} = K A^n$$

Donde :

A : Factor de calidad medible.

$\theta$  : Tiempo.

K : Constante que depende de la temperatura y de la actividad de agua.

n : Factor de potencia llamado orden de la reacción, define si la velocidad es dependiente de la cantidad presente de A.

$dA/d\theta$  : Velocidad de cambio de A con el tiempo. El signo negativo se usa si el deterioro es una pérdida de A y un signo positivo si existe la formación de un producto indeseable.

### a. Pérdida constante de la vida útil: Esquema de reacción de orden cero.

LABUZA (1982.b), menciona que existen reacciones llamadas de orden cero, en la que la cinética de pérdida de vida útil por días es constante para condiciones de temperatura y actividad de agua definidas. En este caso el valor de n de la ecuación básica es cero; pudiéndose determinar la vida útil mediante la siguiente relación:

$$A_e = A_o - K\theta_s$$

Donde :

$A_o$  : Valor inicial de calidad.

$A_e$  : Valor de A al final de la vida útil ( puede ser cero o cualquier otro valor).

$\theta_s$  : Vida útil en días, meses, años, etc.

LABUZA (1995) y NUÑEZ y CHUMBIRAY (1991), mencionan que basados en trabajos iniciales algunos modos de deterioro son aplicables directamente a cinética de orden cero:

- Degradación enzimática de frutas, vegetales frescos, algunos alimentos congelados y ciertas pastas refrigeradas.
- Pardeamiento no enzimático en cereales secos, productos lácteos deshidratados.
- Oxidación de lípidos: desarrollo de rancidez en alimentos secos, alimentos para mascotas, alimentos congelados.

**b. Función de pérdida variable de la vida útil: Esquema de reacción de primer orden.**

Según LABUZA (1982.b), muchos alimentos siguen un modelo de pérdida de calidad de primer orden, que implica un decrecimiento

exponencial de la cinética de deterioro del factor de calidad, de ahí que presenten una mayor vida útil que aquellos alimentos con velocidad de pérdida de calidad constante. En este tipo de reacciones el valor de  $n$  es 1, por lo que la ecuación de predicción de vida útil es:

$$\ln (Ae/Ao) = -K\theta s \quad (3)$$

Donde:

$A_e$  : cantidad remanente al final de la vida útil  $\theta s$ , diferente de cero.

$A_o$  : Valor inicial de calidad.

$K$  : Constante de velocidad en unidades recíprocas del tiempo.

LABUZA (1982.b), menciona que los tipos de deterioro que siguen una reacción de orden uno son:

- Rancidez en aceites y vegetales secos.
- Crecimiento microbiano en carne y pescado fresco.
- Destrucción térmica de microorganismos.
- Producción microbiana de sabores indeseables y limo en carnes, pescado y aves.
- Pérdida de vitamina en alimentos envasados y secos.
- Pérdida de calidad proteica en alimentos secos.

## 2. Influencia de la temperatura sobre la vida útil.

La temperatura influye sobre la velocidad de deterioro de alimentos y por lo tanto sobre su vida útil. NUÑEZ y CHUMBIRAY (1991) y KAREL (1985). MACDONALD (1995), menciona que el modelo más conocido y frecuentemente empleado para relacionar el efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacciones en alimentos es el de Arrhenius. El uso de la aproximación termodinámica de Arrhenius sugiere que en muchos sistemas, y en cualquier instante, existe un nivel de distribución de energía entre las moléculas. Para que una molécula ingrese a la reacción, debe poseer una cantidad mínima de energía, que es llamado energía de activación ( $E_a$ ). La distribución de la frecuencia de medias de los niveles de energía de las moléculas es una función de la temperatura, donde la probabilidad de que una molécula posea una cantidad de energía que exceda a la  $E_a$ , por mol a temperatura  $T$  es  $e^{-E_a/RT}$ . La reacción ocurre, si las moléculas que son capaces de reaccionar y tienen energía más alta que la de activación se encuentran los unos con los otros. Si definimos la frecuencia de colisión de las moléculas como  $A$ , entonces la influencia de la temperatura sobre la velocidad de reacción está dado por MACDONALD (1995)

$$K = A e^{-E_a/RT}$$

Donde :

K : Velocidad de reacción específica (tiempo<sup>-1</sup>).

A : Constante conocida como factor de frecuencia (tiempo<sup>-1</sup>).

Ea: Energía de activación en (Jl/mol).

R : Constante de los gases, 8,314 Jl/mol°K.

T : Temperatura absoluta en grados Kelvin.

Según LABUZA y SCHMIDL (1985), la intensidad de influencia de la temperatura sobre la velocidad de deterioro, es medido por el factor Q<sub>10</sub> definido como :

$$Q_{10} = \frac{\text{Velocidad de deterioro a temperatura } (T+10 \text{ } ^\circ\text{C})}{\text{Velocidad de deterioro a temperatura } T \text{ } ^\circ\text{C}}$$

KAREL (1985), menciona que la correlación de datos de estabilidad con la temperatura puede obedecer a modelos matemáticos alternativos al de Arrhenius como:

Lineal :  $f(T) = c + bT$

Exponencial:  $f(T) = cT^b$

Hiperbólico :  $f(T) = c/(b-T)$

Donde:

$f(T)$  : Factor de calidad dependiente de la temperatura.

$b$  y  $c$  : Constante dependientes del tipo de producto alimenticio.

$T$  : Temperatura.

Asimismo determinó que los modelos Hiperbólico y de Arrhenius dan mejores correlaciones y pueden aplicarse en un amplio rango de temperaturas y sobre datos de indicadores de calidad organolépticos y químicos. El modelo de aproximación lineal, sin embargo resultó adecuado para una variedad de reacciones de deterioro de pescado y carne de vacuno refrigerado en un rango de temperatura de 0° a 6°C.

LABUZA (1982.b) y NUÑEZ y CHUMBIRAY (1991), mencionan que en el fenómeno fisicoquímico de envejecimiento de productos de panadería (staling), la velocidad de pérdida de vida útil se incrementa conforme la temperatura decrece, siendo en este caso más adecuado la aplicación de la ecuación de Avrami.

### **3. Influencia de la humedad en las predicciones de vida útil.**

LABUZA (1982.b), trabajando exhaustivamente en alimentos secos y semisecos determinó que las velocidades de degradación son función del agua disponible o actividad de agua, definido como:

$$a_w = p/p_o = \%ERH/100$$

Donde:

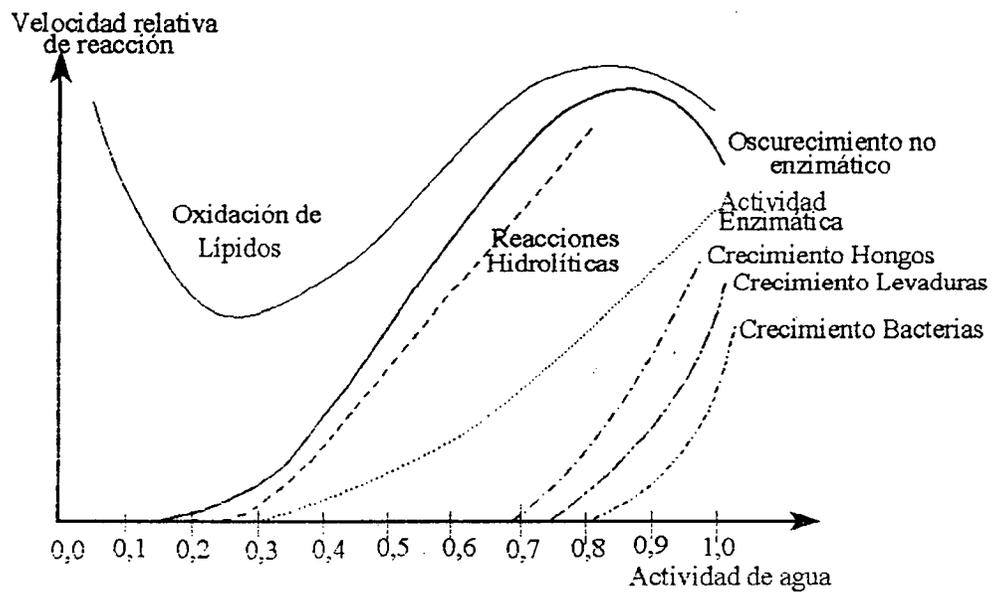
$a_w$  : Actividad de agua.

$p$  : Presión de vapor de agua en el alimento.

$p_o$  : Presión de vapor del agua pura a la misma temperatura del alimento.

%ERH: Porcentaje de humedad relativa del medio en equilibrio potencial químico con el alimento.

El punto de máxima estabilidad de los alimentos corresponden a valores de monocala de BET (Brunauer - Emet y Teller) que comúnmente esta comprendido entre 0,2 y 0,3 de actividad de agua. En general, las velocidades de muchas reacciones químicas se incrementan sobre el valor de la monocala, alcanza un máximo y decrece nuevamente ( FENNEMA (1993) y BADUI (1995)). En la Figura 5, se muestra la velocidad de algunas formas de deterioro de los alimentos en función a la actividad de agua.



**Figura 5.** Influencia de la actividad de agua sobre la velocidad de deterioro de los alimentos.

**Fuente:** BADUI (1995).

**a. Ecuación de transferencia de humedad en alimentos empacados.**

Según CARDOSO y LABUZA (1983), la transferencia de humedad en alimentos secos y semisecos, conducen a diversos modos de deterioro, como el crecimiento microbiano, pérdida de fragilidad, pérdida de suavidad, endurecimiento y aglutinamiento. De acuerdo a la Ley de Fick y de Henry la velocidad de transferencia de humedad puede ser modelado por la siguiente ecuación:

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{K}{x} A (P_{out} - P_{in})$$

Donde:

$dw/d\theta$  : Velocidad de transferencia en gramos de agua ganada o perdida por día.

A : Area de exposición en m<sup>2</sup>.

$P_{out}$  : Presión de vapor de agua del medio ambiente en mmHg.

$P_{in}$  : Presión de vapor de agua del alimento.

$K/x$  : Permeabilidad de empaque en g/día.m<sup>2</sup>.mmHg.

LABUZA (1995), asumiendo una isoterma lineal y empleando la ecuación de transferencia de humedad, obtuvo un modelo de estimación del tiempo requerido para alcanzar un determinado contenido de humedad en alimentos empacados:

$$\theta = \frac{\ln[(m_e - m_i)/(m_e - m)]}{[(K/x) \cdot A P_o] / (W_s b)}$$

Donde:

$m_e$  : Contenido de humedad que puede alcanzar el alimento a un %HR externa, basado en la isoterma lineal.

$m_i$  : Contenido de humedad inicial gramos de agua/100 gramos de sólidos.

$m$  : Contenido de humedad a un tiempo  $\theta$ .

$K/x$  : Permeabilidad del empaque en gramos de agua./día.m<sup>2</sup>.mmHg.

$W_s$  : Peso de sólidos en gramos de cada muestra empacada.

$P_o$  : Presión de vapor de agua pura a la temperatura externa.

$b$  : Pendiente de la isoterma lineal en gramos de agua/gramos de sólidos.

$A$  : Area superficial total del empaque en  $m^2$ .

### **III. MATERIALES Y METODOS.**

#### **A. Lugar de ejecución.**

El presente trabajo se desarrolló en la Universidad Nacional Agraria de la Selva - Tingo María - Huánuco - Perú, en los meses de Febrero a Diciembre de 1995, en los laboratorios de Análisis de Alimentos, Química, Microbiología de los Alimentos, Análisis Sensorial de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias y en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia.

#### **B. Materia prima.**

Se utilizaron muestras de ajo, procedente de la provincia de Ambo, departamento de Huánuco.

#### **C. Métodos de análisis.**

##### **1. Análisis químico.**

###### **a. Análisis químico proximal.**

La determinación cuantitativa de humedad, proteína, grasa, fibra, cenizas y carbohidratos en la materia prima y el ajo en polvo, se efectuó de acuerdo a los métodos citados por la AOAC (1990).

###### **b. Determinación espectrofotométrica de pungencia en ajos.**

Se empleó el método espectrofotométrico descrito por SCHWIMMER y WESTON (1961), basado en la cuantificación de piruvato generado por reacción enzimática en presencia de agua. El contenido de alicina

responsable de la característica de pungencia del ajo, se determinó a partir de la cantidad de piruvato, utilizando la relación estequiométrica establecida por la reacción enzimática. El método descrito por estos investigadores, consta de las siguientes etapas:

### **1) Construcción de la Curva patrón.**

La curva patrón fue construida de acuerdo a la siguiente marcha experimental :

- Se disolvió 110 mg de piruvato de sodio en una fiola con 100 ml de agua desionizada y bidestilada (Solución A).
- De la solución A, se tomó 10 ml y se llevó hasta 100 ml con agua desionizada y bidestilada en una fiola (Solución B).
- Se colocó 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 y 1,0 ml de la solución B en sendos tubos de ensayo, enseguida se añadió agua desionizada y bidestilada hasta llegar a 2 ml y finalmente se adicionó 1 ml de 2,4 dinitrofenilhidrazina al 0,0125% disueltos en una solución de HCl 2N.
- Se colocaron los 10 tubos de ensayo en baño maría a 37°C por 10 minutos, con la finalidad de acelerar la reacción.
- Finalmente se agregó a cada tubo 5 ml de solución de NaOH 0,6N y se procedió a realizar las lecturas en el espectrofotómetro a 420 nm.
- Los valores de absorbancia en función a la concentración de piruvato en micromoles, determinados experimentalmente fueron ajustados a una línea

recta, empleando la técnica de regresión a través del origen STEEL y TORRIE (1990).

## 2) Determinación de piruvato de sodio en muestras de ajo.

- Se licuó 5 g de ajo con 5 ml de agua desionizada y bidestilada, durante 4 ó 5 minutos.
- Se colocó en dos tubos 2.8 gr de la mezcla anterior y 5 ml de ácido tricloroacético al 30% con 0,25 g de celite. Los tubos fueron dejados en reposo durante 1 hora.
- Se filtró a vacío el contenido de cada tubo, en un embudo buchner con papel filtro Wathman No 2, luego se llevó a 200 ml con agua desionizada y bidestilada.
- Se agregó a los filtrados 1 g de carbón activado, se agitó durante 30 minutos y se centrifugó.
- Se colocó en un tubo de ensayo 1 ml de sobrenadante, 1ml de agua desionizada-bidestilada y 1 ml de 2,4 dinitrofenilhidrazina al 0,0125% disueltos en una solución de HCl 2N.
- Se llevaron los tubos a baño maría a 37°C durante 10 minutos, al cabo del cual, se agregó 5 ml de una solución de NaOH 0,6N.
- Las lecturas se hicieron rápidamente en el espectrofotómetro a 420 nm, empleando como blanco agua destilada y desionizada.

### 3) Cálculo de la cantidad de alicina en muestras de ajo.

Para el cálculo de la cantidad de piruvato de sodio se emplea la siguiente ecuación SCHWIMMER y WESTON (1961).

$$C = A/[b \times M]$$

Donde:

C : Micromoles de piruvato de sodio/g de muestra.

A : Absorbancia.

b : Pendiente de la curva patrón.

M: Gramos de ajo presente en la muestra analizada.

El contenido de alicina, se determinó multiplicando el contenido de piruvato de sodio por un factor, que constituye la relación de pesos moleculares de la alicina y el piruvato en la reacción enzimática:

$$\text{micromoles de alicina/g de ajo} = C \times \frac{M \text{ alicina}}{M \text{ piruvato}}$$

Finalmente:

$$\text{micromoles de alicina/g de ajo} = C \times \frac{162,00000}{110,04536}$$

## 2. Análisis fisicoquímico.

### a. Determinación del pH y acidez titulable.

Los análisis de pH y acidez titulable se realizaron en la materia prima y el ajo en polvo, de acuerdo a los métodos citados por la AOAC (1990).

**b. Determinación de las isotermas de adsorción.**

Las isotermas de adsorción del ajo en polvo a 15°, 24° y 35°C, se construyeron mediante el método gravimétrico estático de soluciones de sales saturadas citado por SARAVACOS *et al.* (1986) y AJIBOLA (1986). El experimento fue realizado por duplicado, en envases de plástico acondicionados, efectuándose el control de peso durante 15 días. En el anexo 1, se muestran las sales empleadas y sus respectivas humedades relativas.

**3. Análisis físicos.**

**a. En la materia prima.**

De acuerdo a BALVIN (1985), se realizaron los siguientes análisis:

- En la cubierta exterior: color, disposición de los dientes en el eje floral y porcentaje de cáscara.
- En la porción comestible: olor, color, textura, número de dientes por cabeza, diámetro y peso de los dientes.

**b. En el ajo en polvo.**

Se realizó el análisis granulométrico, empleando para ello tamices 0,8, 0,63, 0,4 y 0,315 mm.

#### D. Metodología.

El esquema experimental usado en la presente investigación, se muestra en la Figura 6.

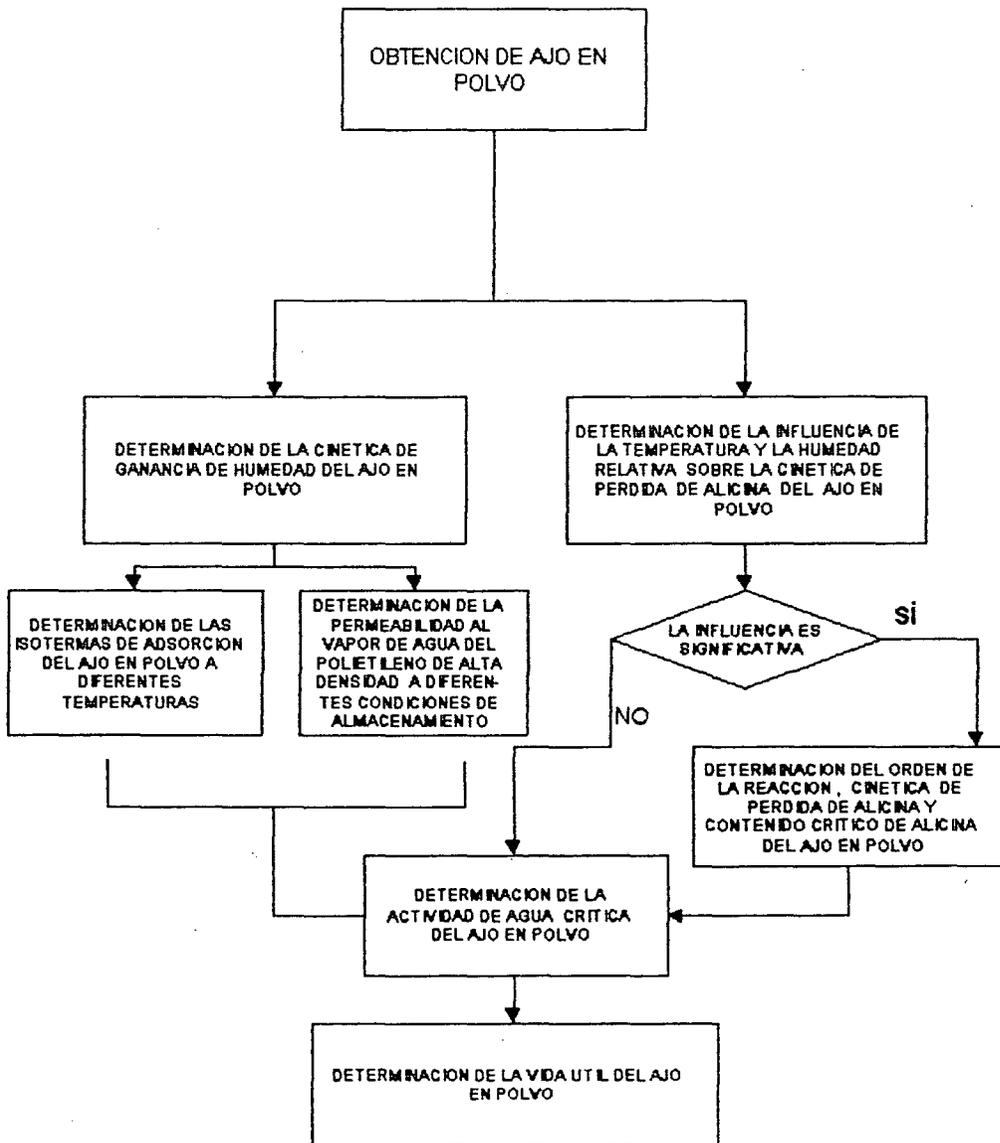


Figura 6. Esquema experimental para determinar la vida útil del ajo en polvo, mediante pruebas aceleradas ASLT.

### 1. Obtención de ajo en polvo.

Las operaciones realizadas para obtener ajo en polvo, se muestran en la Figura 7.

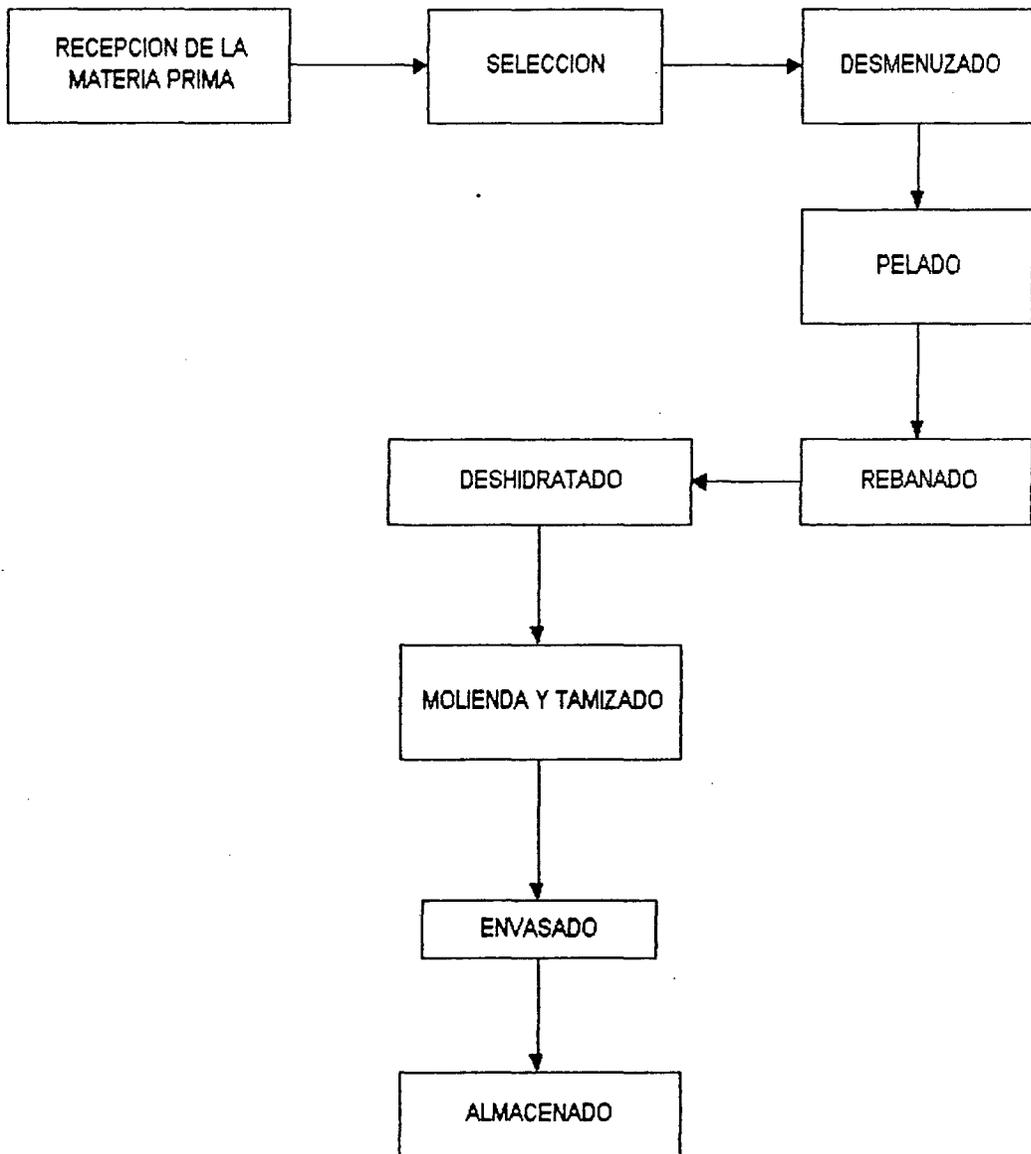


Figura 7. Diagrama de bloques para la obtención de ajo en polvo.

Fuente: BALVIN (1985).

**a. Recepción de la materia prima.**

Los bulbos procedentes de Ambo fueron recepcionados, efectuándose los análisis fisicoquímico y químico proximal y los análisis físicos de la cubierta exterior y porción comestible, indicados en el anexo 2.

**b. Selección.**

Se separaron los bulbos que mostraban signos de alteración microbiana, con el objeto de no disminuir la calidad del producto final.

**c. Desmenuzado.**

Se realizó en forma manual y permitió separar la cubierta exterior, raicillas y tierra de los bulbos.

**d. Pelado.**

Se efectuó por inmersión de los bulbos en agua a 37°C por 2 horas.

**e. Rebanado.**

Los bulbos pelados, fueron rebanados en hojuelas de 1 mm de espesor aproximadamente.

**f. Deshidratado.**

Las hojuelas fueron deshidratadas en un secador de cabina a 60°C; velocidad de aire, 3 m/s y densidad de carga, 2,584 kg/m<sup>2</sup>, tal como lo recomienda BALVIN (1985).

**g. Molienda y Tamizado.**

Las hojuelas deshidratadas fueron sometidas a molienda, en un molino de cuchillas y luego tamizadas secuencialmente en mallas con diámetros de 0,5893, 0,2972 y 0,2108 pulgadas.

**h. Envasado.**

El ajo en polvo fue envasado en bolsas de polietileno de alta densidad, cuyas características técnicas son mostradas en el anexo 3.

**i. Almacenado.**

Las muestras de ajo en polvo empacadas fueron almacenadas durante 10 días, a 15°, 24° y 35°C y condiciones de humedades relativa de 80, 85 y 90% para cada nivel de temperatura. En este período, se evaluó la variación de peso y el contenido de alicina de las muestras para cada condición de almacenamiento.

## 2. Determinación de la cinética de ganancia de humedad del ajo en polvo.

La ganancia de humedad de las muestras de ajo fue predicha de acuerdo al modelo matemático citado por LABUZA (1995):

$$\ln \frac{m_e - m_i}{m_e - m} = \frac{K}{x} \frac{A}{W_s} \frac{P_o}{b} \theta$$

Donde:

$m_e$  : Contenido de humedad del alimento en base seca, en equilibrio con el ambiente, basado en la isoterma lineal.

$m_i$  : Contenido de humedad inicial.

$m$  : Contenido de humedad al tiempo  $\theta$ .

$b$  : Pendiente de la isoterma de adsorción lineal ( $m = b (aw) + I$ ), donde  $I$  es la intercepción y  $b$  es la pendiente.

$A$  : Area superficial total del empaque.

$P_o$  : Presión de vapor del agua pura a la temperatura  $T$  del ambiente.

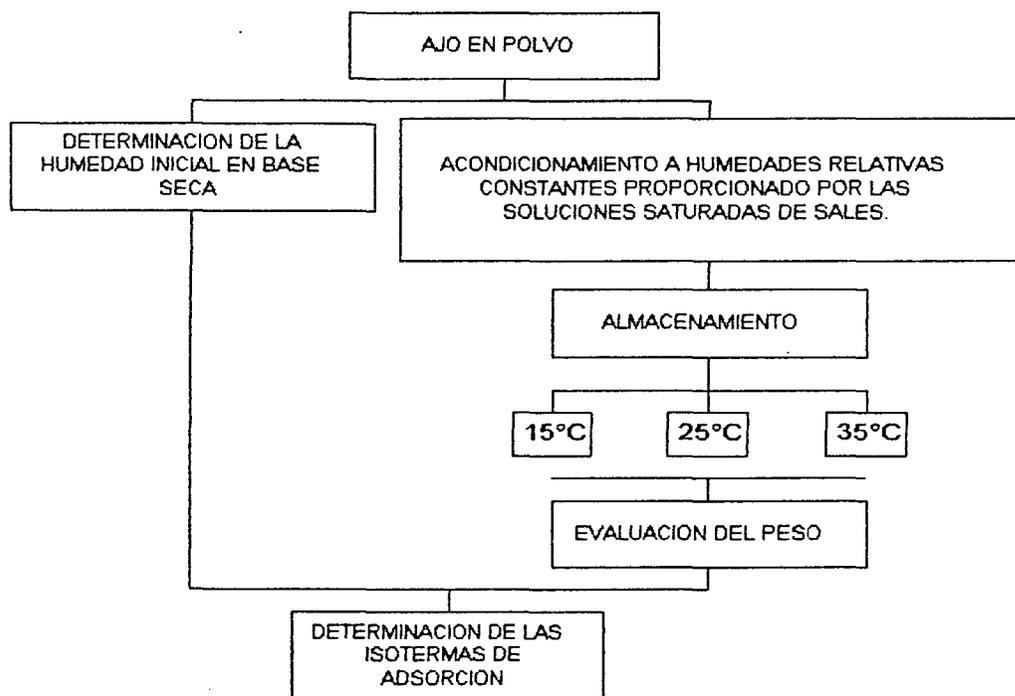
$\theta$  : Tiempo.

$W_s$  : Peso de sólidos de cada muestra empacada.

$K/x$  : Permeabilidad del empaque.

### a. Determinación de la isoterma de adsorción del ajo en polvo a diferentes temperaturas.

En la Figura 8, se muestra el esquema empleado en la determinación de las isotermas de adsorción del ajo en polvo a diferentes temperaturas.



**Figura 8.** Esquema experimental para la obtención de isothermas de adsorción de ajo en polvo a diferentes temperaturas.

**b. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento.**

La permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad, se determinó a 15°, 25° y 35°C y a niveles de humedad relativa de 80, 85 y 90%, según el método gravimétrico de la American Society for Testing and Materials ASTM (1984).

**c. Predicción de la ganancia de humedad.**

La evaluación estadística de la adecuación del modelo de cinética de ganancia de humedad, fue realizada aplicando la prueba de t-student a los valores experimentales de humedad en base seca registrados durante 15 días y a los predichos por el modelo.

**3. Determinación de la influencia de la temperatura y humedad relativa sobre la cinética de pérdida de alicina en ajo en polvo.**

Con la finalidad de determinar si la temperatura y la humedad relativa afectan la cinética de pérdida de alicina en ajo en polvo en el periodo de evaluación, los datos de contenido de alicina determinados fueron sometidos a un análisis factorial de  $3^2$ .

**4. Determinación de la actividad de agua crítica en ajo en polvo.**

La actividad de agua crítica se determinó mediante análisis sensorial del atributo apariencia de muestras con diferentes contenidos de humedad, obtenidos colocándolos en un ambiente con 100% de humedad relativa, por tiempos variables.

La evaluación sensorial de la apariencia, definida por la aglomeración, se efectuó con un panel semientrenado y una escala hedónica de 5 puntos, correspondiendo la puntuación de 3 a la muestra con contenido de humedad

crítica KATZ y LABUZA (1981). La actividad de agua de esta muestra, fue evaluada de acuerdo a las curvas de la isoterma de adsorción.

##### **5. Determinación de la vida útil del ajo en polvo.**

La determinación de la vida útil del ajo en polvo empacado en bolsas de polietileno en función a las condiciones de almacenamiento, fue predicha mediante un programa para microcomputadora que incluye el modelo de ganancia de humedad y el valor crítico de actividad de agua del producto.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### A. Obtención del ajo en polvo.

#### 1. Caracterización química, física y fisicoquímica de la materia prima.

En el Cuadro 2, se muestra el resultado promedio del análisis químico proximal de los bulbos de ajo.

**Cuadro 2.** Análisis químico proximal de los bulbos de ajo procedente de la provincia de Ambo, en base a 100 gramos de parte comestible.

Componentes	(g)
Humedad	60,3667 ± 1,0970
Proteínas	6,3000 ± 0,0866
Carbohidratos	28,6267 ± 0,7747
Grasa	1,6398 ± 0,1270
Fibra	1,5500 ± 0,0849
Sólidos totales	39,6817
Ceniza	1,0250 ± 0,1061

Los resultados obtenidos difieren de los reportados por JORDAN (1987), siendo más significativas las diferencias en el contenido de humedad, proteínas, grasa y carbohidratos, las mismas que pueden deberse a variaciones inherentes a los cultivos, efectos del estado fisiológico, época del año, condiciones

climáticas y edafológicas, ( WILLS, (1984) ). BALDEON (1990), cita la técnica de curado como otro factor que puede contribuir a intensificar aún más estas diferencias, debido a que influye en el contenido de humedad y por ende en la composición total del ajo, asimismo estaría influenciando la variedad.

El contenido de sólidos totales de 39,6817 g de sólidos/100g del ajo, garantiza un buen rendimiento en el proceso de obtención de ajo en polvo, superando el rango de 30-36% de sólidos recomendado por BALVIN (1985).

En el Cuadro 3, se muestran las características físicas y fisicoquímicas de los bulbos de ajo, donde se observa la desigualdad en la disposición de los dientes en el eje floral ( medido por la desviación estándar de la longitud y el peso del bulbo ), que dificulta el pelado y cortado BALVIN (1985); además influye en la velocidad de secado por la distribución heterogénea de las áreas de exposición LONCIN y MERSON (1979). Este hecho puede ocasionar un sub o sobrecalentamiento del ajo afectando su calidad organoléptica, FELLOWS (1994).

Asimismo las características de color, olor de la parte comestible y el contenido en sólidos, hacen del ajo evaluado una adecuada materia prima para la obtención de un producto en polvo BALVIN (1985).

**Cuadro 3. Características físicas y fisicoquímicas de los bulbos de ajos procedente de la provincia de Ambo.**

<b>Características</b>	
<b>FÍSICAS:</b>	
<b>- Cubierta exterior</b>	
Color	Rosado pálido
Disposición de los dientes en el eje floral	Desigual
<b>- Porción comestible</b>	
Olor	Pungente
Color	Crema pálido
Textura	Firme
Número de dientes en el bulbo	20 - 37
Longitud de los dientes	2,5750 ± 0,2217 cm
Diámetro mayor de los dientes	1,2000 ± 0,0817 cm
Peso por dientes	1,1625 ± 0,8618 gr
<b>FÍSICOQUÍMICAS:</b>	
- pH a 26°C	6,4400 ± 0,0265
- % de Acidez titulable en ácido pirúvico	0,4300 ± 0,0173

## **2. Parámetros tecnológicos para la obtención de ajo en polvo.**

El ajo en polvo se obtuvo empleando el diagrama de operaciones indicadas en la Figura 7, algunas de ellas se detallan a continuación:

### **a. Desmenuzado.**

La pérdida promedio en peso por efecto de la eliminación de tierra, raicillas y cubierta celulósica exterior fue de 9,3%, cuyo valor se encuentra en el rango determinado por BALVIN (1985), que reporta de 8,5 a 9,5 % para el ajo morado Arequipeño.

**b. Deshidratación.**

Los ajos rebanados de 1 mm de espesor aproximadamente, fueron deshidratados en un secador de cabina a 60°C, con velocidad de aire de 3 m/s y densidad de carga de 2,584 kg/m<sup>2</sup>, obteniéndose los valores de peso y humedad en base seca promedio durante el tiempo de deshidratación, los mismos que se muestran en el Cuadro 4.

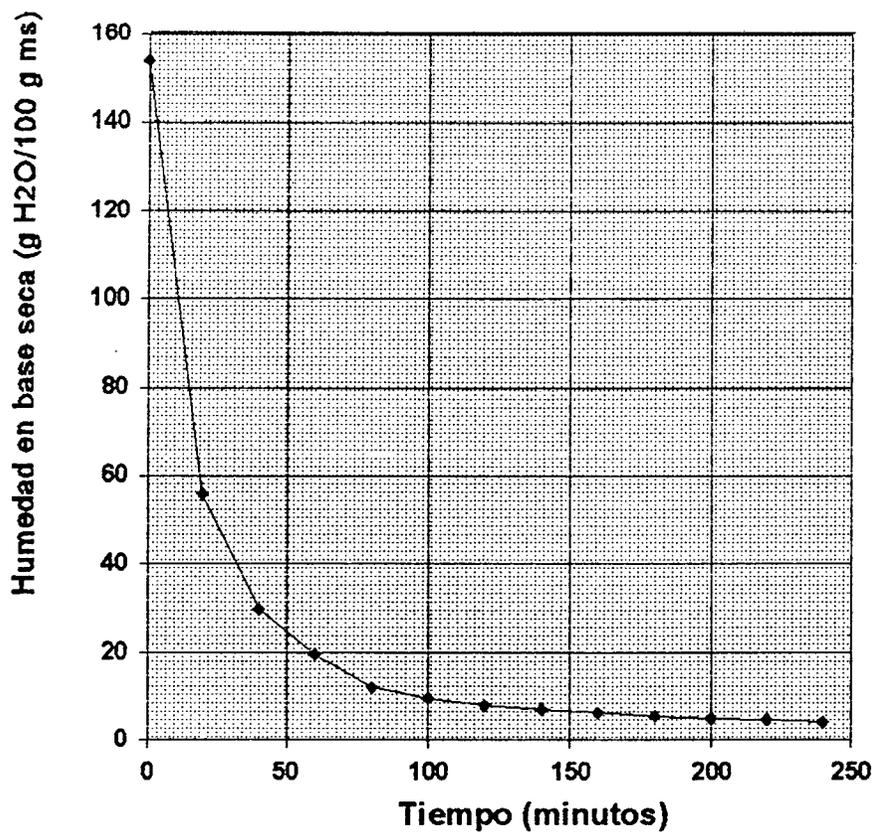
**Cuadro 4.** Variación promedio del peso y la humedad en base seca del ajo, durante su deshidratación en un secador de cabina.

Tiempo (minutos)	Peso (gramos)	Porcentaje de Humedad en base seca
0	6,4559	154,0650
20	3,9581	55,7668
40	3,2957	29,6974
60	3,0427	19,7435
80	2,8610	11,8963
100	2,8043	9,5823
120	2,7630	7,9833
140	2,7371	6,9548
160	2,7217	6,2792
180	2,6878	5,4908
200	2,6733	4,9320
220	2,6658	4,6159
240	2,6552	4,2236

Según GEANKOPLIS (1995), la velocidad de eliminación de agua de los rebanados de ajo, definido por la variación del peso en función al tiempo, disminuye durante la operación de deshidratación. Asimismo LONCIN y

MERSON (1979), indican que ésta reducción se debe posiblemente al incremento de la trayectoria de recorrido de las moléculas de agua para su eliminación y a la predominancia de las propiedades del ajo en la transferencia de calor y masa; a la vez que se produce la reducción del área de transferencia por contracción de las hojuelas de ajo.

De acuerdo a la tendencia de la curva de deshidratación mostrada en la Figura 9, los valores de humedad en base seca en función al tiempo, fueron ajustados a un *modelo recíprocal* empleando Statgraphics (LONCIN y MERSON (1979)).



**Figura 9. Curva de deshidratación del ajo en función de la humedad en base seca durante 240 minutos.**

El análisis de varianza de la regresión que demuestra la significancia al nivel del 1% del modelo recíprocal se presenta en el anexo 4. La ecuación de predicción del tiempo de deshidratación es la siguiente:

$$\theta = \left[ \frac{1}{hbs} - 4,28121 \times 10^{-4} \right] / 9,98839 \times 10^{-4}$$

Donde:

$\theta$  : Tiempo de secado en minutos.

hbs : Humedad en base seca (g agua/100 g materia seca).

### c. Molienda y Tamizado.

El ajo molido y tamizado, fue analizado granulométricamente de acuerdo a la metodología de FARRAL (1976) modificado, obteniéndose los siguientes resultados:

**Cuadro 5. Análisis granulométrico del ajo en polvo.**

Tamiz	Diámetro malla (mm)	% retenido	N° asignado	% ret. x N° asignado
1	0,800	13,8667	4	55,4668
2	0,630	6,4000	3	19,2000
3	0,400	23,4667	2	46,9334
4	0,315	8,5333	1	8,5333
Plato		47,7333	0	0,0000
<b>Total</b>		<b>100,0000</b>		<b>130,1335</b>

Luego : **Módulo de Finura** = 130,1335/100 = 1,3013

**Índice de Uniformidad** = 2,00 : 2,00 : 6,00

De acuerdo a PELAEZ (1986), para el caso de harinas un módulo de finura comprendido entre 0-2, corresponde a una harina clasificada como fina. En el caso del ajo en polvo como no existe una clasificación de esta naturaleza, podemos intentar a modo de caracterización, clasificarlo como de tipo fino con 1,3013 de módulo de finura.

### 3. Diagrama de flujo y balance de materia.

En la Figura 10, se muestra el diagrama de flujo y el balance de materia para la obtención de ajo en polvo.

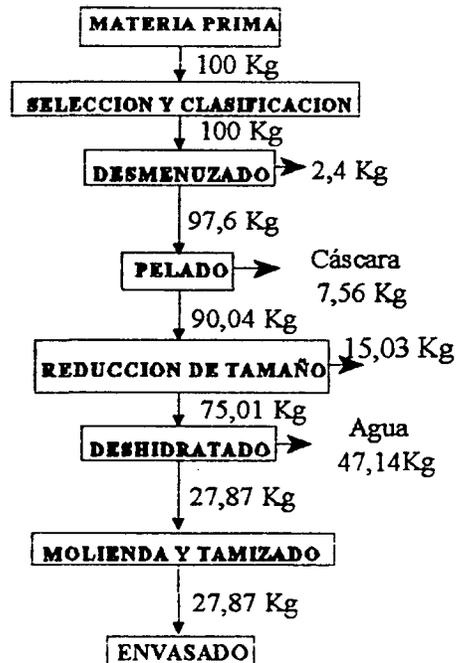


Figura 10. Diagrama de flujo y balance de materia de la obtención de ajo en polvo.

#### 4. Análisis químico proximal y fisicoquímico del ajo en polvo.

El resultado de los análisis se muestran en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Análisis químico proximal y fisicoquímico del ajo en polvo, en base a 100 gramos de producto.

<b>Componentes</b>	<b>(g)</b>
Humedad	5,3407
Proteínas	9,1094
Carbohidratos	81,0101
Grasa	2,2000
Fibra	2,9000
Ceniza	3,6186
Sólidos totales	94,6593
Acidez titulable expresada en ácido pirúvico	0,2600
pH medido en una dilución 1:10	6,4000

En comparación al ajo fresco, el nivel de humedad del producto deshidratado es bajo y por eliminación de agua es lógico de esperar una mayor concentración de los otros componentes. El pH es similar al producto fresco, no alterándose durante la deshidratación; los valores determinados están cercanos a los reportados por BALVIN (1985).

**B. Determinación de la cinética de ganancia de humedad en ajo en polvo.**

**1. Determinación de isothermas de adsorción a diferentes temperaturas.**

Los valores de humedad de equilibrio del ajo en polvo a 15°, 24°, 35°C, se muestran en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Humedad de equilibrio del ajo en polvo a diferentes temperaturas.**

Solución saturada	Porcentaje de humedad en base seca		
	15°C	24°C	35°C
Cloruro de Litio	3,1250	2,48000	2,00051
Acetato de Potasio	6,1250	5,13000	4,02500
Cloruro de Magnesio	6,8420	5,87000	4,62500
Carbonato de Potasio	7,5400	6,43400	5,15000
Nitrito de sodio	14,0808	11,37590	7,68320
Cloruro de sodio	21,3675	17,49680	14,23087
Sulfato de amonio	25,5076	22,43240	17,59035
Cromato de potasio	32,5631	32,24400	21,67009

En la Figura 11, se observa que las isothermas de adsorción del ajo en polvo a diferentes temperaturas, tienen una tendencia lineal en el rango de actividad de agua de 0,22 a 0,69, de modo que fue posible el ajuste de los valores a una

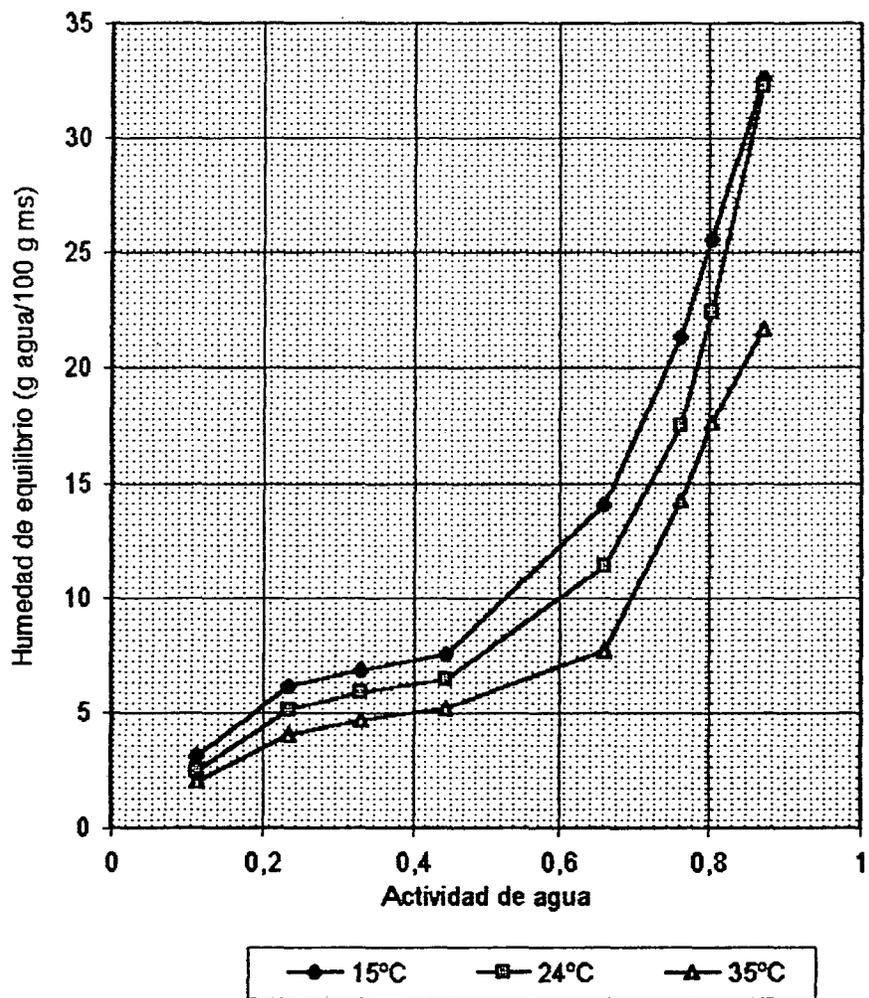


Figura 11. Isothermas de adsorción del ajo en polvo a diferentes temperaturas.

isoterma lineal, de acuerdo a lo citado por CARDOSO y LABUZA (1983). Los resultados del análisis de varianza de la regresión, así como los parámetros del modelo se muestran en el anexo 5.

Asimismo, se observa que a cualquier contenido de humedad la actividad de agua aumenta con la temperatura de acuerdo a lo mencionado SARAVACOS et al. (1986), que explican éste comportamiento en base a que la concentración de la sustancia adsorbida disminuye con el incremento de la temperatura, debido a que la adsorción es un proceso exotérmico; otra explicación está dada en base a la presión de vapor de que agua, que varía en relación directa con la temperatura.

## **2. Determinación de la permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento.**

En el Cuadro 8, se muestran los valores de permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad utilizado en el empacado del ajo en polvo. Los datos de ganancia de peso y los análisis de regresión lineal que demuestran la significancia al nivel de 1 y 5% de confianza (de acuerdo al F calculado (STEEL y TORRIE (1990) y MONTGOMERY (1991) en las determinaciones de permeabilidad son presentados en el anexo 6.

**Cuadro 8.** Valores de permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad a diferentes humedades relativas en gramos de H<sub>2</sub>O- m<sup>2</sup>.mmHg.día.

Humedad relativa (%)	Permeabilidad al vapor de agua		
	15°C	24°C	35°C
80	0,104022	0,131806	0,169859
85	0,105758	0,132736	0,170968
90	0,112864	0,135630	0,175407

Como se puede apreciar la tasa de permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad aumenta con la humedad relativa, para los niveles de temperatura evaluados, resultado similar a los obtenidos por CARDOSO y LABUZA (1983), que manifiestan que éste comportamiento tiende a ser lineal para valores de humedad relativa mayores de 30%, tal como se puede apreciar en la Figura 12. KAMPER y FENNEMA (1984), indican que el incremento de la permeabilidad en una película a altas humedades relativas es el resultado del incremento de hidratación de los componentes de la película, siendo la parte hidrofílica muy sensible a altas humedades. Según TORRES (1993), la permeabilidad al vapor de agua, se ve afectado notoriamente por la humedad relativa externa en empaques de caracter hidrofílico, tales como el polietileno, celofán y saran. Además la permeabilidad no es una constante absoluta para cada material sino que puede ser afectada en forma dramática por las condiciones ambientales.

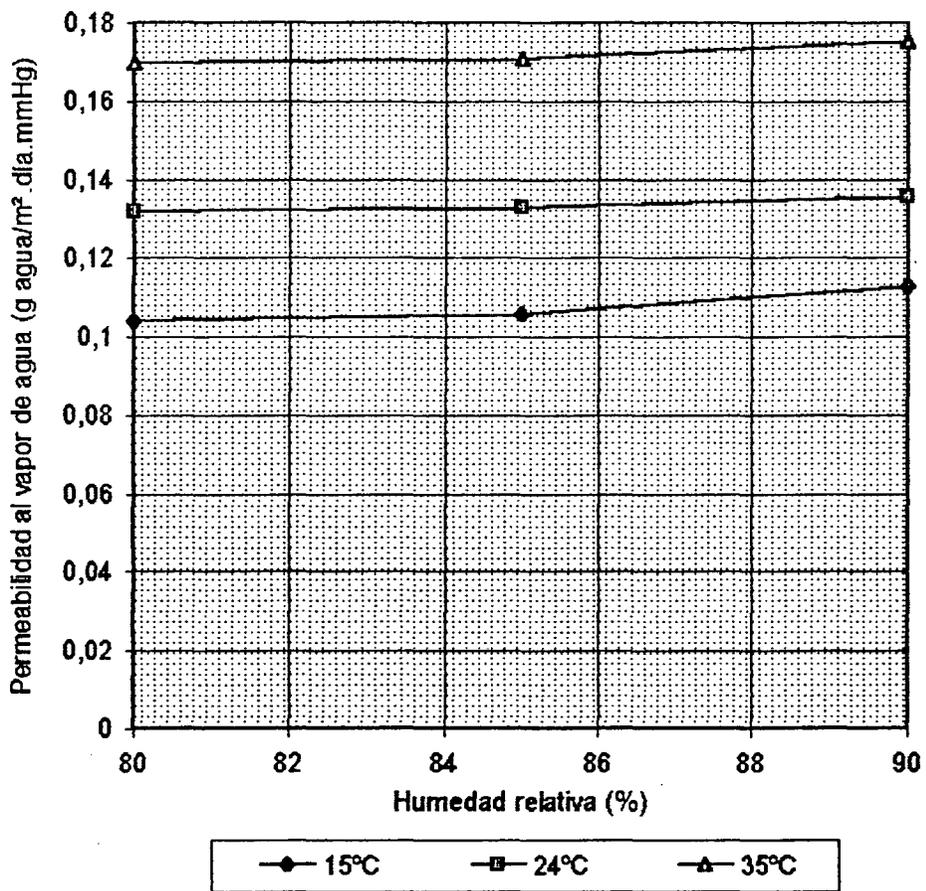


Figura 12. Permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento.

Asimismo, se observa que el efecto de la temperatura sobre la permeabilidad al vapor de agua es directa, hecho que puede ser explicado por el descenso de la solubilidad del gas en el material de empaque y al incremento de la velocidad de difusión ( TORRES (1993) y BUREAU y MULTON (1995) ).

Los valores de permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad encontrados, son inferiores a los reportados por CARDOSO y LABUZA (1983), KAMPER y FENNEMA ( 1984.a, 1984.b ) y LABUZA y MEDELLIN (1981), fundamentalmente por las diferencias en los niveles de temperatura -humedad relativa empleados y por la variabilidad del espesor.

### **3. Predicción de la ganancia de humedad del ajo en polvo empacado en bolsas de polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento.**

Los valores de ganancia de humedad a través del tiempo fueron predichas mediante la siguiente ecuación, LABUZA (1995):

$$m = m_e - ((m_e - m_o) \times \exp \left( \frac{-k \times A \times P_o \times \theta}{x \times W_s \times b} \right))$$

Donde:

$m$  : Humedad en base seca del ajo en polvo al tiempo  $\theta$  ( g H<sub>2</sub>O / g m.s.).

$m_e$  : Humedad de equilibrio en base seca del ajo en polvo, a las temperaturas y humedades relativas de almacenamiento, calculado con las isothermas lineales.

$m_o$  : Humedad inicial en base seca del ajo en polvo ( g H<sub>2</sub>O / g m. s.).

$k/x$  : Permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad, a las diferentes condiciones evaluadas en el almacenamiento (g agua / m<sup>2</sup>. día. mmHg ).

$A$  : Area de exposición del empaque ( m<sup>2</sup>).

$W_s$  : Gramos de materia del ajo en polvo empacado.

$P_o$  : Presión de vapor del agua pura a la temperatura de almacenamiento (mmHg).

$b$  : Pendiente de la isoterma lineal (g de agua/g de m.s.).

Los datos utilizados para predecir la ganancia de humedad durante el almacenamiento, en base a la ecuación anterior, se muestran en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Valores experimentales de los parámetros del modelo de cinética de ganancia de humedad, para el ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad.

	% HR	me	k/x	Po*	b	mo	Ws	A
15°C	80,00	15,4899	0,1693	12,788	18,8385	6,2973	4,7092	0,00525
	85,00	16,4318	0,1696	12,788	18,8385	6,2973	4,7076	0,00525
	90,00	17,3838	0,1735	12,788	18,8385	6,2973	4,7076	0,00525
24°C	80,00	12,8803	0,0130	23,756	14,7957	5,4852	4,7360	0,00525
	85,00	13,6201	0,0260	23,756	14,7957	5,4852	4,7387	0,00525
	90,00	14,3599	0,0380	23,756	14,7957	5,4852	4,7321	0,00525
35°C	80,00	8,8970	0,0140	42,175	8,8091	4,8971	4,7726	0,00525
	85,00	9,3375	0,0317	42,175	8,8091	4,8971	4,7724	0,00525
	90,00	9,7779	0,0383	42,175	8,8091	4,8971	4,7713	0,00525

**Leyenda:**

% HR : Porcentaje de humedad relativa

\* : Obtenidos de NUÑEZ y CHUMBIRAY (1991).

En los Cuadros 10, 11 y 12, se muestran los valores de humedad en base seca experimentales, calculados en base a la ganancia de peso y los predichos por el modelo de cinética de ganancia de humedad durante 15 días de almacenamiento a diferentes condiciones.

**Cuadro 10.** Variación del contenido de humedad en base seca del ajo en polvo, empacado en polietileno de alta densidad, almacenado a 15°C y diferentes humedades relativas.

Tiempo (días)	Porcentaje de humedad relativa					
	80		85		90	
	Exp.	Pre.	Exp.	Pre.	Exp.	Pre.
0	6,2973	6,2973	6,2973	6,2973	6,2973	6,2973
1	6,2981	6,2980	6,2989	6,2981	6,2980	6,2982
2	6,2988	6,2987	6,2992	6,2989	6,2991	6,2992
3	6,2997	6,2994	6,2999	6,2997	6,3000	6,3001
4	6,3004	6,3002	6,3003	6,3005	6,3012	6,3010
5	6,3010	6,3009	6,3011	6,3013	6,3018	6,3020
6	6,3014	6,3016	6,3018	6,3021	6,3031	6,3029
7	6,3021	6,3023	6,3028	6,3029	6,3038	6,3039
8	6,3028	6,3030	6,3040	6,3038	6,3045	6,3048
9	6,3036	6,3038	6,3048	6,3046	6,3055	6,3058
10	6,3040	6,3045	6,3055	6,3054	6,3064	6,3067
11	6,3049	6,3059	6,3064	6,3062	6,3075	6,3077
12	6,3055	6,3067	6,3068	6,3070	6,3082	6,3086
13	6,3064	6,3074	6,3075	6,3078	6,3093	6,3096
14	6,3072	6,3081	6,3084	6,3086	6,3101	6,3105
15	6,3080	6,3149	6,3092	6,3094	6,3110	6,3114

**Leyenda:**

Exp. : Porcentaje de humedad experimental en base seca.

Pre. : Porcentaje de humedad predicha en base seca.

**Cuadro 11.** Variación del contenido de humedad en base seca del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad, almacenada a 24°C y diferentes humedades relativas.

Tiempo (días)	Porcentaje de humedad relativa					
	80		85		90	
	Exp.	Pre.	Exp.	Pre.	Exp.	Pre.
0	5,4852	5,4852	5,4852	5,4852	5,4852	5,4852
1	5,4864	5,4869	5,4874	5,4871	5,4870	5,4873
2	5,4885	5,4887	5,4893	5,4890	5,4892	5,4895
3	5,4897	5,4904	5,4916	5,4910	5,4920	5,4916
4	5,4910	5,4921	5,4925	5,4929	5,4935	5,4938
5	5,4925	5,4939	5,4934	5,4948	5,4958	5,4959
6	5,4941	5,4956	5,4968	5,4967	5,4980	5,4981
7	5,4955	5,4973	5,4983	5,4986	5,5005	5,5002
8	5,4973	5,4991	5,4998	5,5006	5,5027	5,5023
9	5,4988	5,5008	5,5022	5,5025	5,5040	5,5045
10	5,4994	5,5025	5,5040	5,5044	5,5065	5,5066
11	5,5014	5,5043	5,5065	5,5063	5,5100	5,5088
12	5,5034	5,5060	5,5080	5,5082	5,5125	5,5109
13	5,5054	5,5077	5,5099	5,5101	5,5150	5,5130
14	5,5074	5,5094	5,5118	5,5120	5,5171	5,5152
15	5,5095	5,5112	5,5137	5,5140	5,5174	5,5173

**Leyenda:**

Exp. : Porcentaje de humedad experimental en base seca.

Pre. : Porcentaje de humedad predicha en base seca.

**Cuadro 12.** Variación del contenido de humedad en base seca del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad, almacenada a 35°C y diferentes humedades relativas.

Tiempo (días)	Porcentaje de humedad relativa					
	80		85		90	
	Exp.	Pre.	Exp.	Pre.	Exp.	Pre.
0	4,8971	4,8971	4,8971	4,8971	4,8971	4,8971
1	4,9002	4,9007	4,9008	4,9011	4,9018	4,9016
2	4,9040	4,9043	4,9048	4,9051	4,9062	4,9061
3	4,9075	4,9078	4,9089	4,9091	4,9108	4,9106
4	4,9110	4,9114	4,9125	4,9131	4,9154	4,9151
5	4,9145	4,9150	4,9185	4,9171	4,9194	4,9196
6	4,9180	4,9185	4,9205	4,9210	4,9239	4,9241
7	4,9218	4,9221	4,9252	4,9250	4,9283	4,9286
8	4,9250	4,9256	4,9293	4,9290	4,9328	4,9331
9	4,9287	4,9292	4,9372	4,9330	4,9371	4,9375
10	4,9329	4,9327	4,9365	4,9369	4,9415	4,9420
11	4,9365	4,9363	4,9402	4,9409	4,9467	4,9465
12	4,9395	4,9398	4,9443	4,9448	4,9502	4,9509
13	4,9430	4,9434	4,9485	4,9488	4,9550	4,9554
14	4,9465	4,9469	4,9524	4,9527	4,9595	4,9599
15	4,9500	4,9504	4,9562	4,9567	4,9640	4,9643

**Leyenda:**

Exp. : Porcentaje de humedad experimental en base seca.

Pre. : Porcentaje de humedad predicha en base seca.

La humedad en base seca del ajo en polvo empacado, evaluado a diferentes condiciones de almacenamiento, aumenta con la humedad relativa y la temperatura, posiblemente debido al incremento de la permeabilidad, la presión de vapor del agua pura y la humedad de equilibrio (me) , tal como se muestra en las Figuras 13, 14 y 15.

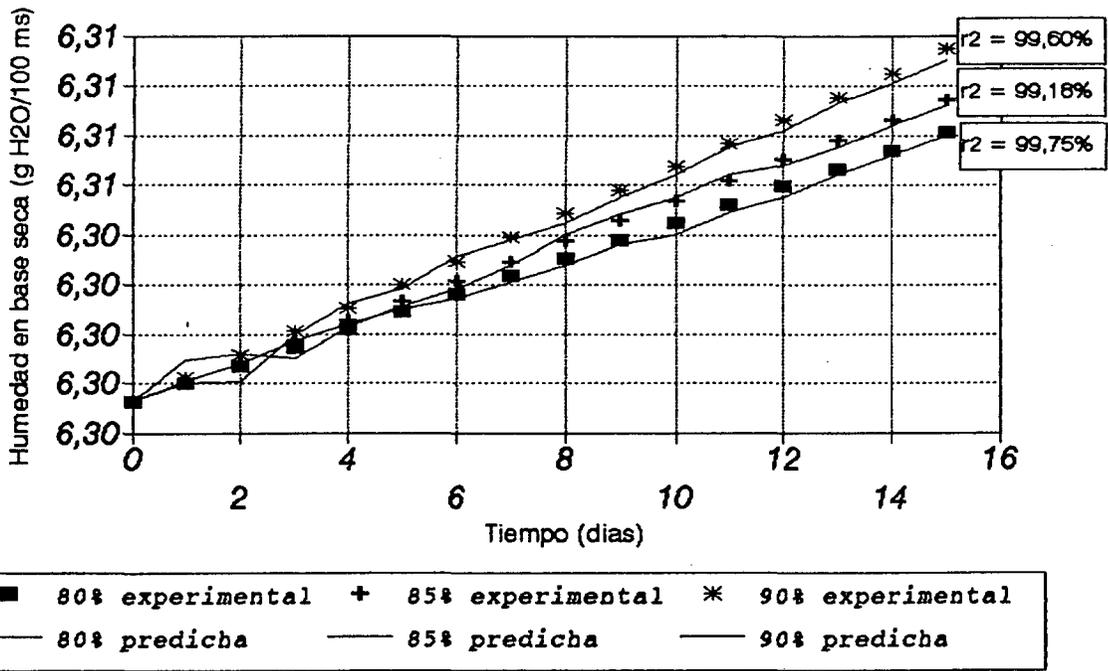


Figura 13. Datos experimentales y predichos de la humedad del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a 15 C.

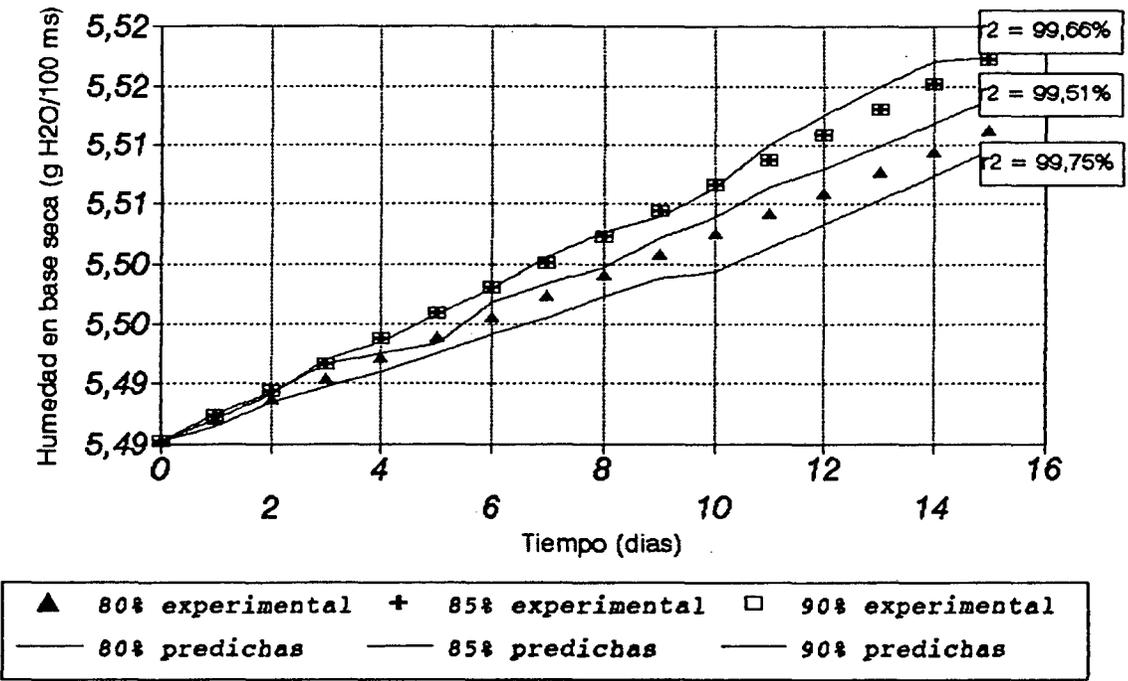


Figura 14. Datos experimentales y predichos de la humedad del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a 24 C.

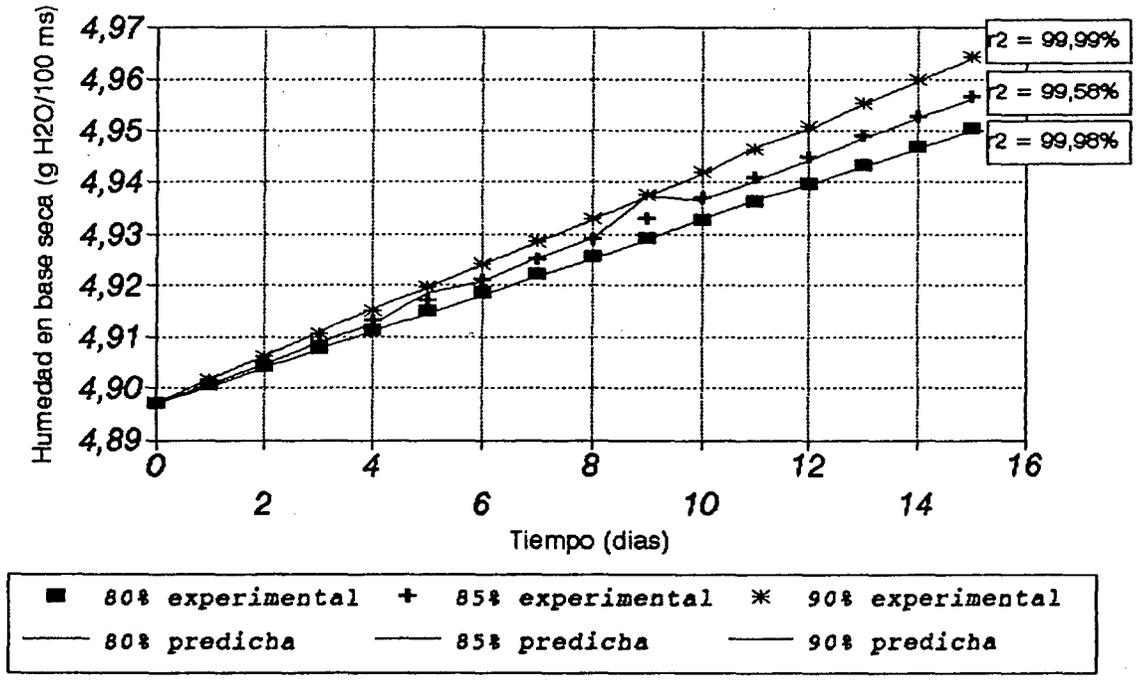


Figura 15. Datos experimentales y predichos de la humedad del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a 35 C.

Los datos de los Cuadros 10, 11 y 12, fueron sometidos a una prueba t-student al nivel de 5% de significancia, considerando como hipótesis nula y alternativa:

*H<sub>0</sub> :  $\mu$  valores experimentales =  $\mu$  valores predichos*

*H<sub>1</sub> :  $\mu$  valores experimentales  $\neq$   $\mu$  valores predichos*

los resultados del mencionado análisis, corridos según el procedimiento two samples del Statgraphics se muestran en Cuadro 13.

**Cuadro 13.** Resultados de la prueba t-student al nivel de 5% de significancia para evaluar la adecuación del modelo de predicción de ganancia de humedad.

Temperatura (°C)	%Humedad relativa	t calculado	t tabular	significancia
15	80,000	0,0947	2,0480	nr
	85,000	-0,0140	2,0480	nr
	90,000	0,1156	2,0480	nr
24	80,000	0,5739	2,0480	nr
	85,000	0,0584	2,0480	nr
	90,000	-0,1047	2,0480	nr
35	80,000	0,0522	2,0480	nr
	85,000	-0,0140	2,0480	nr
	90,000	0,0225	2,0480	nr

**Leyenda:**

nr: No se rechaza la hipótesis H<sub>0</sub>.

En función a la prueba t-student (aceptación de la hipótesis  $H_0$ ) MONTGOMERY (1991), podemos manifestar que el modelo de cinética de ganancia de humedad predice adecuadamente la variación de humedad en las muestras de ajo en polvo empacado, similar al obtenido por CARDOSO y LABUZA (1983).

### **C. Determinación de la cinética de pérdida de alicina del ajo en polvo.**

La variación del contenido de alicina del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad, durante su almacenamiento a 15°, 24° y 35°C y humedades relativas de 80, 85 y 9% se muestra en el Cuadro 14 y en las Figuras 16, 17 y 18.

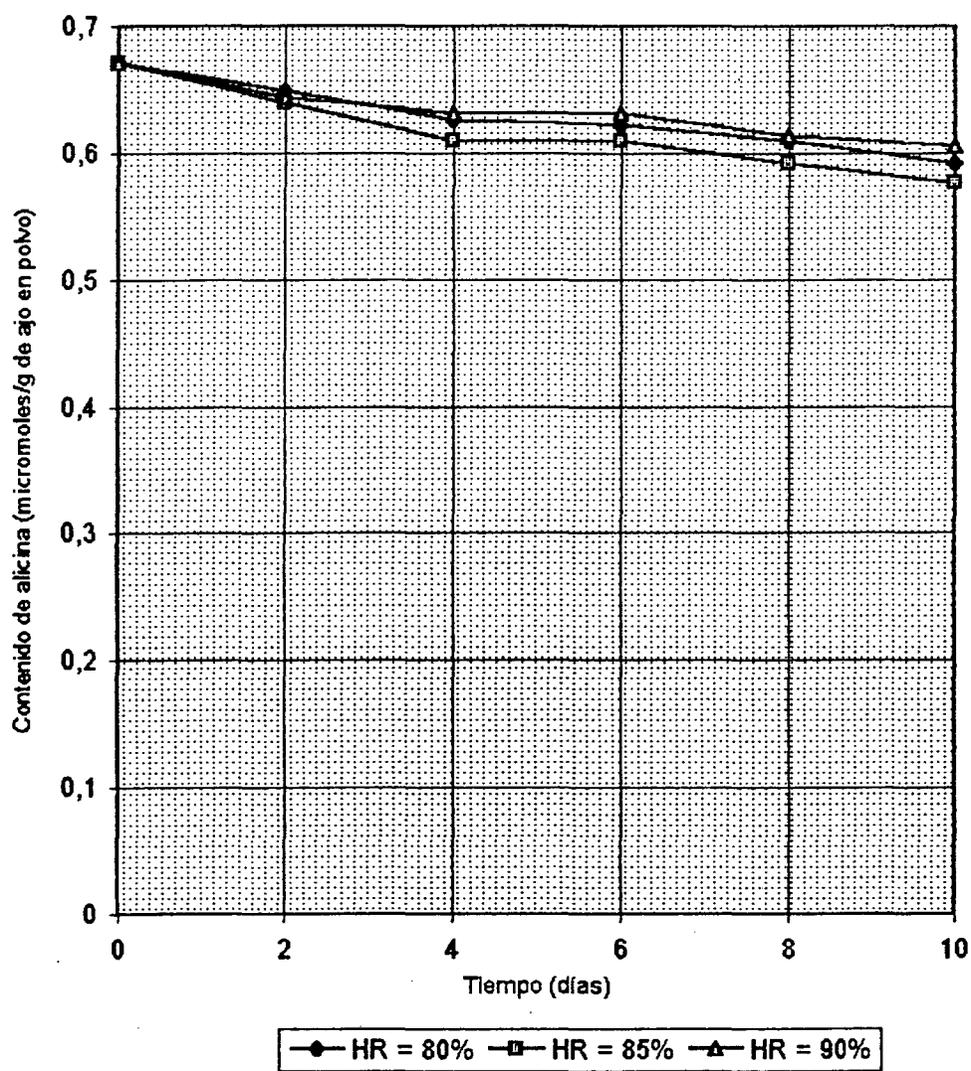


Figura 16. Variación del contenido de alicina del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad durante el almacenamiento a 15°C y diferentes humedades relativas.

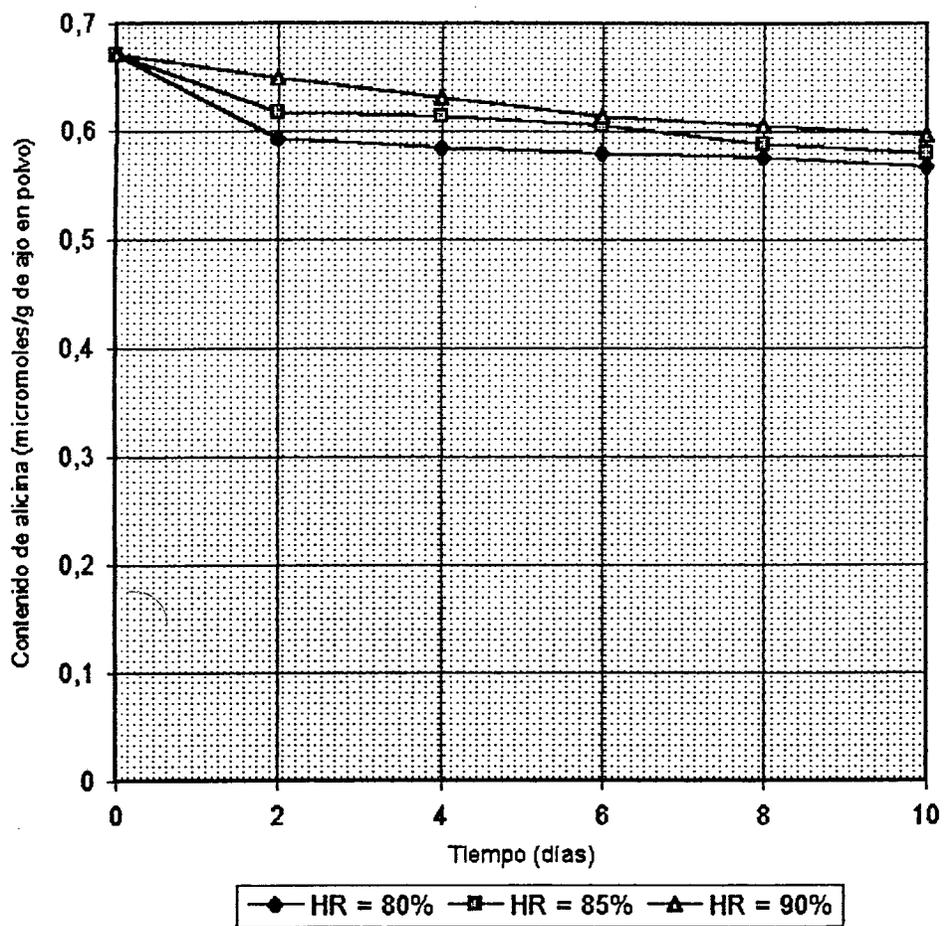


Figura 17. Variación del contenido de alicina del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad, durante el almacenamiento a 24°C y diferentes humedades relativas

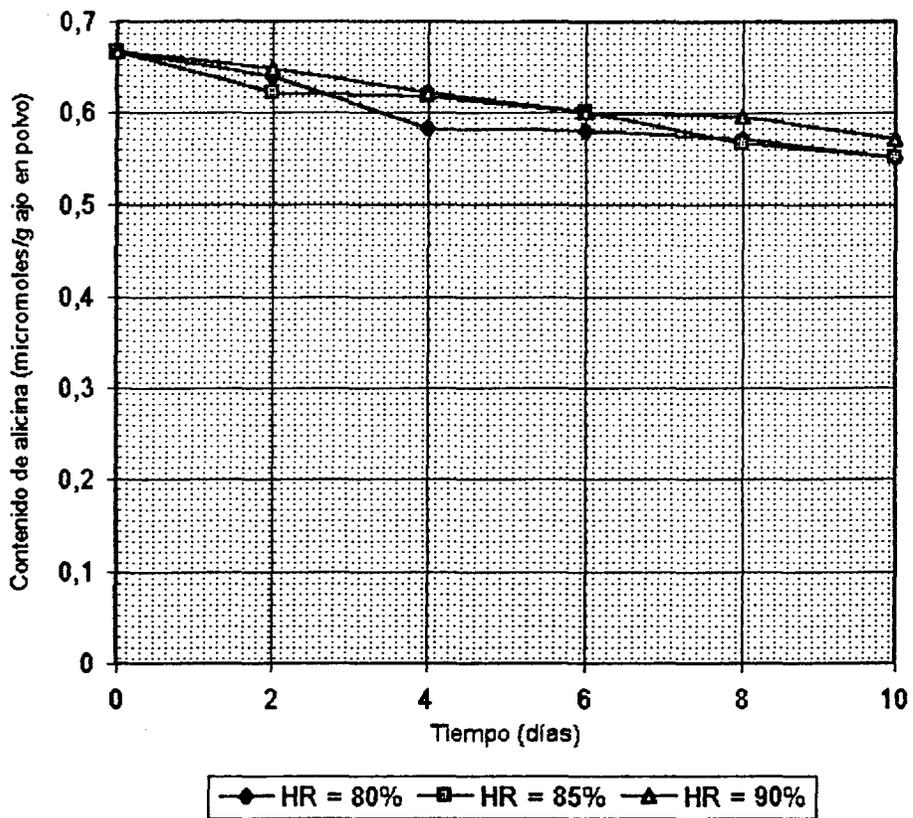


Figura 18. Variación del contenido de alicina del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad, durante el almacenamiento a 35°C y diferentes humedades relativas.

**Cuadro 14.** Variación del contenido de alicina del ajo en polvo durante el almacenamiento a diferentes temperaturas y humedades relativas expresado en micromoles/gramo de ajo en polvo.

Temperatura (°C)	%HR	Tiempo de almacenamiento (días)					
		0	2	4	6	8	10
15	80,000	0,6709	0,6482	0,6261	0,6218	0,6089	0,5921
	85,000	0,6709	0,6393	0,6089	0,6089	0,5921	0,5756
	90,000	0,6709	0,6437	0,6305	0,6305	0,6132	0,6046
24	80,000	0,6709	0,5921	0,5838	0,5797	0,5756	0,5675
	85,000	0,6709	0,6174	0,6132	0,6046	0,5879	0,5797
	90,000	0,6709	0,6482	0,6305	0,6132	0,6046	0,5962
35	80,000	0,6663	0,6393	0,5838	0,5797	0,5715	0,5515
	85,000	0,6663	0,6218	0,6174	0,6004	0,5675	0,5515
	90,000	0,6663	0,6482	0,6218	0,6004	0,5962	0,5715

**Leyenda:**

% HR : Porcentaje de humedad relativa.

Con la finalidad de evaluar estadísticamente la influencia de la temperatura y humedad relativa sobre el contenido de alicina se realizó un análisis factorial, ejecutado en el Statgraphics, cuyos resultados se muestran en el Cuadro 15.

**Cuadro 15.** Análisis de varianza del efecto de la temperatura y humedad relativa de almacenamiento, sobre el contenido de alicina del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	
<b>Efectos principales:</b>					
A: Temperatura	2	0,0026	0,0013	1,0000	ns
B: Humedad	2	0,0031	0,0016	1,2307	ns
<b>Interacción:</b>					
AB	4	0,0021	0,0005	0,3846	ns
Residual	45	0,0581	0,0013		
Total corregido	53	0,0659			

ns: No significativo.

Se observa, que los niveles de temperatura y humedad relativa evaluados no ejercen influencia estadística significativa sobre el contenido de alicina del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad; existiendo dos posibilidades de explicación: (1) el bajo nivel de actividad de agua del producto (comprendido entre 0,2-0,3, según las curvas de adsorción, Figura 11), inhibe la acción enzimática de la allinasa, reduciéndose la formación de la alicina responsable del flavor del ajo. (FENNEMA (1993) y BADUI (1995)). Además la ganancia de humedad en el período de evaluación no produce cambios significativos en el nivel de actividad de agua (varía de 0,3459 a 0,3510 ver anexo 7); éste fenómeno explica porqué la influencia de la humedad relativa es mayor que el de la temperatura (F calculado para la

humedad relativa es mayor que el  $F$  calculado para la temperatura, Cuadro 15) y (2) a la inactivación de la allinasa y reducción de los precursores del flavor del ajo, durante la deshidratación realizada (PEZZUTTI y CRAPISTE (1997)).

En base a la reacción enzimática de formación del flavor en ajo y a la metodología de evaluación de SCHWIMMER y WESTON (1961), debería esperarse un aumento en el contenido de alicina durante el almacenamiento; el cual mediante un proceso de difusión a través del empaque producirá la reducción de la calidad odorífica del producto en polvo empacado. Sin embargo de acuerdo al Cuadro 14, el contenido disminuye, hecho que puede ser explicado en función a la dilución que sufren los componentes por ganancia de humedad y al contenido residual de alicina en el producto.

En consecuencia, debido a la metodología empleada para evaluar el contenido de alicina y el período de almacenamiento definido para las pruebas aceleradas, no fue posible definir el orden de la reacción, ni la velocidad de pérdida de alicina del el ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad.

#### **D. Determinación de la actividad de agua crítica del ajo en polvo.**

En el Cuadro 16, se muestra el análisis sensorial realizado con el ajo en polvo a diferentes niveles de humedad, con el fin de determinar el tratamiento límite o la

calidad inaceptable por el consumidor, se evaluó el atributo apariencia (aglomeración) de acuerdo a una escala hedónica de cinco puntos mostrada en el anexo 8.

**Cuadro 16.** Resultados de la evaluación sensorial del atributo apariencia (aglomeración) en muestras de ajo en polvo, con diferentes contenidos de humedad.

Panelistas	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
1	5	4	3	2	1
2	4	3	3	2	1
3	5	4	3	2	1
4	4	4	3	2	1
5	5	4	2	1	2
6	5	3	3	2	1
7	5	4	2	2	2
8	4	4	3	2	1
9	5	4	3	1	1
10	4	4	3	2	1
11	5	4	3	2	1
12	4	4	3	2	1
13	5	4	3	2	1
14	5	4	3	2	1
15	5	4	3	2	1
16	4	3	3	2	1
17	5	4	3	2	1
18	5	4	3	2	1

**Leyenda:**

T1 : 6,70% (\*)

T3 : 7,25% (\*)

T5 : 9,50% (\*)

T2 : 6,95% (\*)

T4 : 8,12% (\*)

(\*) : humedad en base seca.

Los resultados del Cuadro 16, fueron analizados estadísticamente mediante un diseño en bloque completamente al azar (ejecutado en el statgraphics), donde muestra que existe diferencia altamente significativa entre tratamientos (ver anexo 9), por lo que los datos fueron sometidos a la prueba de comparación múltiple de Duncan, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 17.

**Cuadro 17.** Resultados del análisis de comparación múltiple, efectuado mediante la prueba de Duncan al 5% de probabilidad, para determinar la actividad de agua crítica.

Tratamientos	Medias			
T1	4,6670	a		
T2	3,8330		b	
T3	2,8890			c
T4	1,8890			d
T5	1,1110			e

La prueba de Duncan nos indica que el tratamiento T3, recibió para el atributo apariencia el calificativo de "ni bueno ni malo", que corresponde a un nivel de humedad de 7,25 % en base seca. Este valor fue llevado al gráfico de las isothermas de adsorción y se determinó la actividad de agua crítica de 0,40 - 0,50, para las condiciones evaluadas; dicho valor se encuentra dentro del rango reportado por LABUZA y MEDELLIN (1981). RODRIGUEZ (1994), quienes mencionan que la ganancia de humedad en el ajo deshidratado, produce alteraciones de la apariencia, que se manifiesta por la formación de grumos o

aglomerados, lo cual puede ser empleado como factor de calidad en la predicción de la vida útil. CHEFTEL citado por RODRIGUEZ (1994), manifiesta que ésta alteración suele presentarse en productos con alto contenido en carbohidratos, tal es el caso del ajo en polvo, cuyo contenido fue de 81,0%.

En base a la Figura 5 adaptada de BADUI (1995), que muestra la influencia de la actividad de agua sobre la velocidad de deterioro de los alimentos, podemos observar que al nivel de actividad de agua crítica determinada para el atributo apariencia (aglomeración), existe la posibilidad de la aparición de ciertas actividades enzimáticas, tal es el caso de la allinasa, que podría surgir como factor de calidad en la determinación de la vida útil del producto; sin embargo debemos insistir en la imposibilidad de usar la pérdida de alicina como factor de calidad, para evaluar la vida útil del ajo en polvo mediante pruebas aceleradas.

#### **E. Determinación de la vida útil del ajo en polvo.**

En la Figura 19, se muestra el diagrama de flujo del algoritmo del programa para microcomputadora denominado **SLAP** (Shelf-Life Ajo en polvo), el cual permitirá la determinación de vida útil del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad, en función a la ganancia de humedad. Este programa emplea el modelo de cinética de ganancia de humedad y la humedad crítica del ajo en polvo; la codificación del mismo se muestra en el anexo 10.

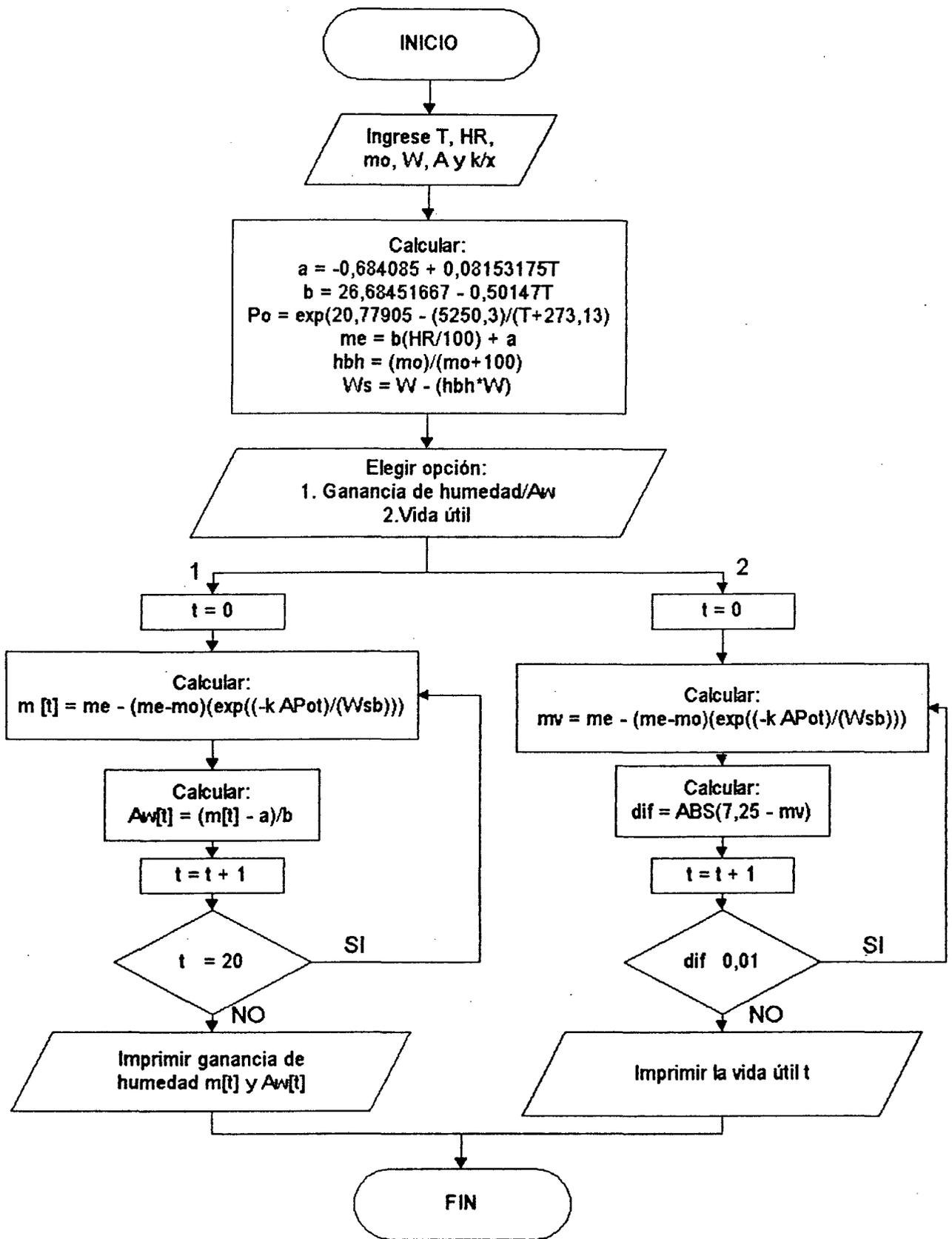


Figura 19. Diagrama de flujo del algoritmo del programa de predicción de ganancia de humedad y vida útil del ajo en polvo.

Al ingresar al sistema SLAP aparece un Menú con las siguientes opciones:

***Datos de almacenamiento del producto***

***Determinación de humedad y aw***

***Vida útil***

***Salir***

El usuario debe ingresar a la opción ***Datos de almacenamiento del producto***, para proporcionar al sistema las características del ajo en polvo y del polietileno de alta densidad, como sigue:

***Temperatura de almacenamiento ( °C ), T***

***Humedad relativa de almacenamiento ( % ), HR***

***Porcentaje de humedad inicial del ajo en polvo en base seca, ( g agua / 100 g m.s.), mo.***

***Area del empaque ( m<sup>2</sup> ), A.***

***Peso inicial de la muestra empacada ( g ), W***

***Permeabilidad del empaque al vapor de agua ( g agua / m<sup>2</sup>.dia.mmHg ), K.***

La salida del programa, una vez ingresados los datos anteriores puede presentarse de dos formas: (1) Variación de la humedad y actividad de agua y (2) vida útil del ajo en polvo.

A continuación se muestran los datos de almacenamiento del producto - empaque del experimento desarrollado, empleados para predecir la vida útil del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad.

Cuadro 18. Valores empleados en la determinación de vida útil del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a las diferentes condiciones de almacenamiento.

	% HR	mo	A	W	K
15°C	80	6,2973	0,0525	5,0058	0,104022
	85	6,2973	0,0525	5,0040	0,105758
	90	6,2973	0,0525	5,0040	0,112864
24°C	80	5,4852	0,0525	5,0063	0,131806
	85	5,4852	0,0525	5,0092	0,132736
	90	5,4852	0,0525	5,0022	0,135630
35°C	80	4,8971	0,0525	5,0063	0,169859
	85	4,8971	0,0525	5,0061	0,170968
	90	4,8971	0,0525	5,0050	0,175407

**Leyenda:**

HR : Humedad relativa de almacenamiento ( % ).

mo : Porcentaje de humedad inicial del ajo en polvo en base seca, ( g agua / 100 g m.s.).

A : Area del empaque ( m<sup>2</sup> ).

W : Peso inicial de la muestra empacada ( g ).

K : Permeabilidad del empaque al vapor de agua ( g agua / m<sup>2</sup>.día.mmHg ).

En el Cuadro 19, se muestra la vida útil del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad predichas por el SLAP, empleando los datos del Cuadro 18.

**Cuadro 19.** Vida útil del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento, expresado en días.

Temperatura (°C)	% de Humedad relativa		
	80	85	90
15	134,00	120,00	103,00
24	116,00	103,00	92,00
35	85,00	74,00	64,00

Se observa que a medida que la temperatura y la humedad relativa de almacenamiento aumenta, el periodo de vida útil del ajo en polvo se reduce; esto puede ser explicado en base al efecto de la temperatura sobre las propiedades de adsorción y del efecto conjunto de ambas variables sobre las propiedades de permeabilidad del empaque y la presión de vapor del agua pura LABUZA (1982. a) y CARDOSO y LABUZA (1983).

## V. CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el presente trabajo y de acuerdo al objetivo planteado, se concluye lo siguiente:

- Para las condiciones de almacenamiento en los rangos de 15° a 35°C y humedad relativa entre 80 a 90%, la vida útil del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad, en base a la ganancia de humedad, se encuentra en el rango de 74 a 134 días. La metodología de la ASLT, no permitió predecir el tiempo de vida útil del producto empleando como factor de calidad el contenido de alicina.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Al final del presente trabajo podemos recomendar lo siguiente:

- Utilizar las pruebas aceleradas ASLT, para determinar la vida útil del ajo en polvo, por permitir una predicción en tiempo record que ocasionará menores pérdidas económicas en relación a los métodos tradicionales.
- Evaluar la vida útil del ajo en polvo en función al contenido de alicina, empleando diferentes tipos de empaque y la metodología clásica; y contrastarla con la predicciones efectuadas en el presente trabajo, a fin de definir el factor de calidad de mayor relevancia en la estabilidad del producto.
- Evaluar la vida útil del ajo en polvo mediante pruebas aceleradas, empleando como factor de calidad el pardeamiento no enzimático.
- Realizar estudios del efecto de la actividad de agua sobre la actividad de la allinasa en el ajo en polvo, deshidratado bajo las condiciones empleadas en el presente trabajo, a fin de definir la posibilidad de activación de la enzima antes de que el producto se aglomere.

## VII. RESUMEN

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Industrias Alimentarias en el año 1995. La materia prima fue el ajo procedente de la provincia de Ambo, departamento de Huánuco. El trabajo se dividió en cinco etapas.

En la primera se hizo la obtención del ajo en polvo, previa caracterización de la materia prima cuyo contenido de sólidos fue 39,68 g sólidos/100 g de ajo y de alicina 1,1849 micromoles/gramo. La deshidratación se hizo a 60°C, velocidad de aire, 3 m/s y densidad de carga, 2,584 kg/m<sup>2</sup>.

En la segunda etapa se determinó la cinética de ganancia de humedad del ajo en polvo; para ello las isotermas de adsorción a 15°, 24° y 35° C, fueron ajustados a una recta en el rango de actividad de agua de 0,22 a 0,69 y se evaluó la permeabilidad al vapor de agua del polietileno de alta densidad empleado para el empacado, a 15°, 24°, 35° C y 80, 85, 90 % de humedad relativa. La predicción de la ganancia de humedad a diferentes condiciones de almacenamiento, se realizó con el modelo de cinética de ganancia de humedad,  $m = m_e - ((m_e - m_o) \times \exp(-k/x \times A/W_s \times P_o/b \times \theta))$ , que fue validado durante 15 días.

La tercera etapa determinó la cinética de pérdida de alicina del ajo en polvo almacenado por 10 días a 15°, 24° y 35° C con humedades relativas de 80, 85 y 90 % respectivamente. Se evaluó estadísticamente la influencia de la temperatura y humedad relativa mediante análisis factorial. Los niveles de temperatura y humedad relativa no ejercen influencia estadística significativa sobre el contenido de alicina del ajo en polvo empacado, lo que imposibilitó el empleo de éste factor para determinar la vida útil del ajo en polvo.

La cuarta etapa del trabajo determinó la actividad de agua crítica del ajo en polvo. Para ello se realizó el análisis sensorial del atributo apariencia de muestras de ajo en polvo con niveles de humedad en base seca de 6,7 %, 6,95 %, 7,25 %, 8,12 % y 9,5 %, para determinar la calidad inaceptable por el consumidor. La humedad crítica resultó 7,25 %, que permitió conjuntamente con las isotermas de adsorción determinar la actividad de agua crítica de 0,4 a 0,5.

La determinación de la vida útil del ajo en polvo empacado en bolsas polietileno de alta densidad mediante pruebas aceleradas ASLT, en función de la ganancia de humedad, empleó el programa SLAP (Shelf Life Ajo en polvo) que usa el modelo de cinética de ganancia de humedad y la humedad crítica del ajo en polvo. La vida útil para valores de 15°C a 35° C y humedad relativa de 80 a 90%, resultó de 74 a 134 días .

## VIII. BIBLIOGRAFIA

1. AJIBOLA, O. O. 1986. Desorption Isotherms for Plantain at Several Temperatures. J. Food. Sci. Vol 51.
2. A.O.A.C. 1990. Association of Official Analytical Chemists. Pub. Assoc. Of anal. Chem. Methods of analysis of the association of official analytical.
3. ASTM. 1984. Selected ASTM Standars on Packaging. Philadelphia, PA 19103. USA. 233 pp.
4. BADUI S. 1995. Química de los Alimentos. 3era ed. Ed. Continental. México. 639 pp.
5. BALDEON A. 1990. Efectos del tratamiento térmico en las enzimas alinasa y peroxidasa de pasta de ajo (Allium sativum). Tesis. UNALM. Lima-Perú. 101 pp.
6. BALVIN, C. 1985. Evaluación de la calidad Odorífica de ajos(Allium sativum) deshidratados por el método de aire caliente. Tesis. UNALM. Lima-Perú. 115 pp.
7. BELITZ, H., GROSCH, W. 1988. Química de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 799 pp.

8. BUREAU G. y MULTON J. 1995. Embalaje de los alimentos de gran consumo. Ed. Acribia S.A. Zaragoza. España. 748 pp.
9. CARDOSO, G. y LABUZA T. 1983. Predicción of Moisture Gain and Loss for Packaged Pasta Subjected to a Sine Wave Temperature/Humidity Environment. Food Technhnology. 18, 587 - 606pp.
10. DESROSIER, N. 1976. Conservación de alimentos. 6ta ed. Ed. Continental S.A. México. 468 pp.
11. FARRAL, A. 1976. Food engineering system . Westport, connecticut the . Publishing company Inc. USA.
12. FELLOWS, P. 1994. Tecnología del Procesado de los Alimentos. Principios y Prácticas. Ed. Acribia S.A. España. 535 pp.
13. FENNEMA, O. 1993. Química de Alimentos. Ed. Acribia S.A. 1055 pp.
14. GEANKOPLIS, C. J. 1995. Procesos de transporte y Operaciones Unitarias. 2da ed. Ed. CECSA. México. 831 pp.
15. JORDAN, O. 1987. Agricultura. OEA. 2da ed. Lima-Perú. 232 pp.

16. KAMPER, S. y FENNEMA, O. 1984 a. Water vapor permeability of an edible, fatty acid, bilayer film. Journal of Food Sci. Vol 49. 1482-1485pp.
17. ----- . 1984. b. Water vapor permeability of edible, bilayer films. Journal of Food Sci. Vol 49. 1478 - 1481 pp.
18. KAREL, M. 1985. Quantitative Analysis and Simulation of Food Quality Losses During processing and Storage. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts. USA. 117-135 pp.
19. KATZ, E. E y LABUZA, T. P. 1981. Effect of Water Activity on the Sensory Crispness and Mechanical Deformation of Snack Food Product. J. Food Sci. Vol 46.
20. LABUZA, T, P. 1995. Shelf life Testing Short Course. Metodología para la determinación de la vida útil en alimentos. Curso Internacional. Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de Ingeniería de Alimentos. Chile. 212 pp.
21. ----- . 1982 a. Moisture Gain and Loss in Packaged Foods. Food Technology. 36 (4). USA. 92-97 pp.

22. - - - - -. 1982 b. Shelf Life Dating of Food. Food and Nutrition Press Inc. Westport, Connecticut. USA. 486 pp.
23. LABUZA, T. y SCHMIDL M. 1985. Accelerated Shelf Life Testing Of Foods. Food Technology. 39 (9) : 57-64 pp.
24. LABUZA, T. y MEDELLIN, C. 1981 . Predicción of moisture . Protection requeriments for foods. Cereal foods world. American association of Cereal Chemists, Inc Universidad of Minnesota St. Paul . v. 26, No. 7 USA. 335 - 343 pp.
25. LONCIN, M. y MERSON, R. L. 1979. Food Engineering. Principles and Selected Applications. Academic Press. New York. 494 pp.
26. MACDONALD G.A. 1995. Technologies for Shelf Life Extension of Refrigerated Foods: Improving Stability of Frozen Muscle Foods. Institutes of Food Science and Technology. International Institute of Refrigeration. Conference. Aotea Centre Auckland. New Zeland. 94 pp.
27. MONTES, A. 1981. Bromatología. 2da ed. Ed. Universitaria de Buenos Aires. Argentina.

28. MONTGOMERY, D. C. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Ed. Iberoamérica. México. 585 pp.
29. NUÑEZ, S.C., CHUMBIRAY, Q.M. 1991. Determinación de Vida en Anaquel de productos Alimenticios procesados mediante pruebas aceleradas (ASLT). Fundamentos Teóricos de la Vida en Anaquel (Shelf-life) de Productos Alimenticios. Universidad de Lima. Lima-Perú. 46 pp.
30. PELEAZ, P. P. 1986. Sustitución de la harina de trigo por harina de yuca en panificación. Tesis. UNAS. Tingo María. Perú. 150 pp.
31. PEZZUTTI, A. y CRAPISTE, G. 1997. Sorptional equilibrium and drying characteristics of garlic. Journal Food Engineering . Vol 3. Argentina. 113-123 pp.
32. PRIMO, Y. 1978. Química Agrícola III. Alimentos. Ed. Alhambra.
33. RODRIGUEZ C. 1994. Estudio de deshidratación y almacenamiento del ajo (Allium sativum ), variedad napury. Tesis. UNALM. 110 pp.
34. SARAVACOS, G. D., TSIOURVAS, D. A. y TSAMI, E. 1986. Effect of Temperature on the Water Adsorption Isotherms of Sultana Raisins. J. Food Sci. Vol. 51.

35. SCHWIMMER S. y WESTON W. 1961. Onion flavor and odor. Enzymatic development of piruvic acid in onion as a measure of pungency. Agricultural and food chemistry. v. 9 (4). Albany. 301 - 304.
36. STELL, G. D., TORRIE, J.H. 1990. Bioestadística. Principios y Procedimientos. Ed. Mc Graw-Hill. 2da ed. México. 613 pp.
37. TORRES J. 1993. Conceptos modernos de preservación de alimentos en el mercado norteamericano. Dpto. de ciencia y tecnología de alimentos. FIAL. UNALM. Lima - Perú. 121 pp.
38. WILLS, L. H. 1984. Fisiología y manipulación de frutas y hortalizas postrecolección. Ed. Acribia. Zaragoza. España. 195 pp.
39. WONG, D.W.S. 1995. Química de los Alimentos: Mecanismos y teoría. Ed. Acribia S.A. Zaragoza. España. 476 pp.

## **IX. ANEXOS**

**Anexo 1. Humedades relativas de sales saturadas empleados para determinar isotermas a diferentes temperaturas.**

Sales	Temperatura		
	15°C	24°C	35°C
Cloruro de litio	12,1170	11,4300	10,8230
Acetato de potasio	26,2090	23,4000	21,5830
Cloruro de magnesio	34,0720	32,9000	31,8190
Carbonato de potasio	45,0890	44,3000	43,6390
Nitrito de sodio	69,3330	65,8990	62,8420
Cloruro de sodio	78,2600	76,2000	74,3200
Sulfato de amonio	81,1100	80,3000	79,7000
Cromato de potasio	89,0000	87,0000	85,0000

Fuente: LABUZA (1995).

**Anexo 2. Análisis físicos del ajo fresco.**

---

---

<b>Características</b>	
<b>- <u>Cubierta exterior:</u></b>	Color Disposición de los dientes en el eje floral
<b>- <u>Porción comestible:</u></b>	Olor Color Textura Número de dientes en el bulbo Longitud de los dientes Diámetro mayor de los dientes Peso por dientes

---

---

**Fuente: BALVIN (1985).**

**Anexo 3. Características técnicas del polietileno de alta densidad empleado para empacar el ajo en polvo.**

---

---

Características	
Permeabilidad ( 24°C, 90 % H.R.)	0,0380079 g H <sub>2</sub> O / m <sup>2</sup> -día-mmHg
Espesor	0,150000 mm
Densidad	0,920039 g/cm <sup>3</sup>

---

---

**Anexo 4. Ajuste de la curva de deshidratación a un modelo recíprocal  
( $1/Y = a + bX$ ).**

**Análisis de regresión de la curva de deshidratación de ajos.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	$4,2812 \times 10^4$	$2,6660 \times 10^3$
Pendiente	$9,9884 \times 10^4$	$1,8852 \times 10^5$

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,072600	0,072600	2807,379	a
Error	11	0,000285	0,000026		
Total corregido	12	0,072916			

**Coefficiente de correlación = 0,9980                       $R^2 = 99,61\%$**

**a: Significativo al nivel de 1%.**

**Anexo 5. Ajuste de las isotermas de adsorción del ajo en polvo a un modelo lineal.**

**Análisis de regresión lineal de ajuste de la isoterma del ajo en polvo a 15 °C**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	0,419105	1,70672
Pendiente	18,838500	3,66214

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	37,5334	37,5334	26,4620	b
Error	2	2,8368	1,4184		
Total corregido	3	40,3702			

**Coefficiente de correlación = 0,9642** **R<sup>2</sup> = 92,97%**

**b: Significativo al nivel de 5%.**

**Análisis de regresión lineal de ajuste de la isoterma del ajo en polvo a 24°C.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	1,0438	1,4349
Pendiente	14,7957	3,2215

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	21,9934	21,9934	21,0932	b
Error	2	2,0853	1,0426		
Total corregido	32	4,0787			

**Coefficiente de correlación = 0,9557**

**R<sup>2</sup> = 91,34%**

**b: Significativo al nivel de 5%.**

**Análisis de regresión lineal de ajuste de la isoterma del ajo en polvo a 35°C.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	1,8497	0,6695
Pendiente	8,8091	1,5638

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	7,3030	7,3030	31,7321	<b>b</b>
Error	2	0,4603	0,2302		
Total corregido	3	7,7633			

**Coefficiente de correlación = 0,9699**

**R<sup>2</sup> = 94,07%**

**b: Significativo al nivel de 5%.**

**Anexo 6. Variación del peso a través del tiempo, para determinar la permeabilidad del polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento.**

Temperatura (°C)	% HR	Peso en gramos/días			
		0	2	3	4
15	80,000	2,1809	2,1858	2,1867	2,1891
	85,000	2,0421	2,0482	2,0499	2,0504
	90,000	2,1847	2,1910	2,1921	2,1946
24	80,000	1,0346	1,0488	1,0507	1,0532
	85,000	1,5035	1,5148	1,5192	1,5235
	90,000	1,0404	1,0553	1,0586	1,0619
35	80,000	2,0775	2,0986	2,1060	2,1220
	85,000	2,1090	2,1260	2,1460	2,1530
	90,000	2,0775	2,0978	2,1120	2,1280

**Leyenda:**

% HR : Porcentaje de humedad relativa.

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 15 °C y 80% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	2,181110	0,0005248
Pendiente	0,001994	0,0001949

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0000300	0,00003000	85,7143	a
Error	2	0,0000007	0,00000035		
Total corregido	3	0,0000307			

**Coefficiente de correlación = 0,990584**                      **R<sup>2</sup> = 98,13%**

a : Significativo al nivel de 5%.

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 15 °C y 85% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	2,04280000	0,0011372300
Pendiente	0,00215429	0,0004223550

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0000410000	0,0000410000	26,4516	<b>b</b>
Error	2	0,0000031000	0,00000155000		
Total corregido	3	0,0000441000			

**Coefficiente de correlación = 0,963646**

**R<sup>2</sup> = 92,86%**

**b : Significativo al nivel de 5%.**

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 15 °C y 90% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	2,18512000	0,000753295
Pendiente	0,00243400	0,000279767

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0000520	0,00005200	74,2857	<b>b</b>
Error	2	0,0000014	0,00000070		
Total corregido	3	0,0000534			

**Coefficiente de correlación = 0,987048**

**R<sup>2</sup> = 97,43%**

**b : Significativo al nivel de 5%.**

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 24°C y 80% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	1,036260	0,0025898
Pendiente	0,004694	0,0009618

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,00019300	0,000193000	23,8276	b
Error	2	0,00001620	0,000008100		
Total corregido	3	0,00020920			

**Coefficiente de correlación = 0,960489**

**R<sup>2</sup> = 92,25%**

**b : Significativo al nivel de 5%.**

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 24°C y 85% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	1,5039500	0,0006978
Pendiente	0,0050229	0,0002592

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0002200	0,0002200	366,6667	a
Error	2	0,0000012	0,0000006		
Total corregido	3	0,0002212			

**Coefficiente de correlación = 0,997348**

**R<sup>2</sup> = 99,47%**

a: Significativo al nivel de 1%.

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 24°C y 90% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	1,041820	0,0022119
Pendiente	0,005434	0,0008215

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0002580	0,0002580	43,7288	<b>b</b>
Error	2	0,0000118	0,0000059		
Total corregido	3	0,0002698			

**Coefficiente de correlación = 0,977903**

**R<sup>2</sup> = 95,63%**

**b: Significativo al nivel de 5%.**

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 35 °C y 80% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	2,0768600	0,00246914
Pendiente	0,0107400	0,00009170

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0010100	0,00101000	137,4150	a
Error	2	0,0000147	0,00000735		
Total corregido	3	0,0010247			

**Coefficiente de correlación = 0,992789**

**R<sup>2</sup> = 98,56%**

a : Significativo al nivel de 1%.

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 35 °C y 85% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	2,10766000	0,0040034
Pendiente	0,01148570	0,0014868

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0011540	0,00115400	59,6382	b
Error	2	0,0000387	0,00001935		
Total corregido	3	0,0011927			

**Coefficiente de correlación = 0,983653**

**R<sup>2</sup> = 96,76%**

**b: Significativo al nivel de 5%.**

**Análisis de regresión lineal para determinar la permeabilidad del polietileno alta densidad a 35 °C y 90% de humedad relativa.**

Parámetros	Estimado	Error estándar
Intercepto	2,075750	0,002759
Pendiente	0,012477	0,001025

**Análisis de varianza**

Fuente de Variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Modelo	1	0,0013600	0,001360	147,826	a
Error	2	0,0000184	0,0000092		
Total corregido	3	0,0013784			

**Coefficiente de correlación = 0,993323**

**R<sup>2</sup> = 98,67%**

a: Significativo al nivel de 1%.

**Anexo 7. Variación de la humedad en base seca y la actividad de agua del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a diferentes condiciones de almacenamiento.**

**Variación de la humedad en base seca y la actividad de agua del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a 15°C y diferentes niveles de humedad relativa.**

15 C y 80% HR			15 C y 85% HR			15 C y 90% HR		
Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw	Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw	Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw
0	6,2973	0,3120	0	6,2973	0,3120	0	6,2973	0,3120
1	6,2980	0,3121	1	6,2981	0,3121	1	6,2982	0,3121
2	6,2987	0,3121	2	6,2989	0,3121	2	6,2992	0,3121
3	6,2994	0,3121	3	6,2997	0,3122	3	6,3001	0,3122
4	6,3002	0,3122	4	6,3005	0,3122	4	6,3010	0,3122
5	6,3009	0,3122	5	6,3013	0,3122	5	6,3020	0,3123
6	6,3016	0,3123	6	6,3021	0,3123	6	6,3029	0,3123
7	6,3023	0,3123	7	6,3029	0,3123	7	6,3039	0,3124
8	6,3030	0,3123	8	6,3038	0,3124	8	6,3048	0,3124
9	6,3038	0,3124	9	6,3046	0,3124	9	6,3058	0,3125
10	6,3045	0,3124	10	6,3054	0,3125	10	6,3067	0,3125
11	6,3052	0,3125	11	6,3062	0,3125	11	6,3077	0,3126
12	6,3059	0,3125	12	6,3070	0,3125	12	6,3086	0,3126
13	6,3067	0,3125	13	6,3078	0,3126	13	6,3096	0,3127
14	6,3074	0,3126	14	6,3086	0,3126	14	6,3105	0,3127
15	6,3081	0,3126	15	6,3094	0,3127	15	6,3114	0,3128
16	6,3088	0,3126	16	6,3102	0,3127	16	6,3124	0,3128
17	6,3096	0,3127	17	6,3110	0,3128	17	6,3133	0,3129
18	6,3103	0,3127	18	6,3119	0,3128	18	6,3143	0,3129
19	6,3110	0,3128	19	6,3127	0,3128	19	6,3152	0,3130
20	6,3117	0,3128	20	6,3135	0,3129	20	6,3162	0,3130
21	6,3124	0,3128	21	6,3143	0,3129	21	6,3171	0,3131
22	6,3132	0,3129	22	6,3151	0,3130	22	6,3181	0,3131
23	6,3139	0,3129	23	6,3159	0,3130	23	6,3190	0,3132
24	6,3146	0,3129	24	6,3167	0,3131	24	6,3200	0,3132
25	6,3153	0,3130	25	6,3175	0,3131	25	6,3209	0,3133
26	6,3161	0,3130	26	6,3183	0,3131	26	6,3218	0,3133
27	6,3168	0,3131	27	6,3191	0,3132	27	6,3228	0,3134
28	6,3175	0,3131	28	6,3200	0,3132	28	6,3237	0,3134
29	6,3182	0,3131	29	6,3208	0,3133	29	6,3247	0,3135
30	6,3189	0,3132	30	6,3216	0,3133	30	6,3256	0,3135

Variación de la humedad en base seca y la actividad de agua del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad almacenado a 24°C y diferentes niveles de humedad relativa.

24 C y 80% HR			24 C y 85% HR			24 C y 90% HR		
Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw	Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw	Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw
0	5,4852	0,3002	0	5,4852	0,3002	0	5,4852	0,3002
1	5,4869	0,3003	1	5,4871	0,3003	1	5,4873	0,3003
2	5,4887	0,3004	2	5,4890	0,3004	2	5,4895	0,3005
3	5,4904	0,3005	3	5,4910	0,3006	3	5,4916	0,3006
4	5,4921	0,3007	4	5,4929	0,3007	4	5,4938	0,3008
5	5,4939	0,3008	5	5,4948	0,3008	5	5,4959	0,3009
6	5,4956	0,3009	6	5,4967	0,3010	6	5,4981	0,3011
7	5,4973	0,3010	7	5,4986	0,3011	7	5,5002	0,3012
8	5,4991	0,3011	8	5,5006	0,3012	8	5,5023	0,3013
9	5,5008	0,3012	9	5,5025	0,3014	9	5,5045	0,3015
10	5,5025	0,3014	10	5,5044	0,3015	10	5,5066	0,3016
11	5,5043	0,3015	11	5,5063	0,3016	11	5,5088	0,3018
12	5,5060	0,3016	12	5,5082	0,3017	12	5,5109	0,3019
13	5,5077	0,3017	13	5,5101	0,3019	13	5,5130	0,3021
14	5,5094	0,3018	14	5,5120	0,3020	14	5,5152	0,3022
15	5,5112	0,3019	15	5,5140	0,3021	15	5,5173	0,3024
16	5,5129	0,3021	16	5,5159	0,3023	16	5,5194	0,3025
17	5,5146	0,3022	17	5,5178	0,3024	17	5,5216	0,3026
18	5,5164	0,3023	18	5,5197	0,3025	18	5,5237	0,3028
19	5,5181	0,3024	19	5,5216	0,3026	19	5,5258	0,3029
20	5,5198	0,3025	20	5,5235	0,3028	20	5,5280	0,3031
21	5,5215	0,3026	21	5,5254	0,3029	21	5,5301	0,3032
22	5,5233	0,3028	22	5,5273	0,3030	22	5,5322	0,3034
23	5,5250	0,3029	23	5,5293	0,3032	23	5,5344	0,3035
24	5,5267	0,3030	24	5,5312	0,3033	24	5,5365	0,3037
25	5,5284	0,3031	25	5,5331	0,3034	25	5,5386	0,3038
26	5,5302	0,3032	26	5,5350	0,3035	26	5,5408	0,3039
27	5,5319	0,3033	27	5,5369	0,3037	27	5,5429	0,3041
28	5,5336	0,3035	28	5,5388	0,3038	28	5,5450	0,3042
29	5,5353	0,3036	29	5,5407	0,3039	29	5,5472	0,3044
30	5,5371	0,3037	30	5,5426	0,3041	30	5,5493	0,3045

Variación de la humedad en base seca y la actividad de agua del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad almacenada a 35°C diferentes niveles de humedad relativa.

35 C y 80% HR			35 C y 85% HR			35 C y 90% HR		
Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw	Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw	Tiempo (días)	Humedad base seca	Aw
0	4,8971	0,3459	0	4,8971	0,3459	0	4,8971	0,3459
1	4,9007	0,3463	1	4,9011	0,3464	1	4,9016	0,3464
2	4,9043	0,3467	2	4,9051	0,3468	2	4,9061	0,3470
3	4,9078	0,3472	3	4,9091	0,3473	3	4,9106	0,3475
4	4,9114	0,3476	4	4,9131	0,3477	4	4,9151	0,3480
5	4,9150	0,3480	5	4,9171	0,3482	5	4,9196	0,3485
6	4,9185	0,3484	6	4,9210	0,3487	6	4,9241	0,3490
7	4,9221	0,3488	7	4,9250	0,3491	7	4,9286	0,3495
8	4,9256	0,3492	8	4,9290	0,3496	8	4,9331	0,3500
9	4,9292	0,3496	9	4,9330	0,3500	9	4,9375	0,3505
10	4,9327	0,3500	10	4,9369	0,3505	10	4,9420	0,3510
11	4,9363	0,3504	11	4,9409	0,3509	11	4,9465	0,3515
12	4,9398	0,3508	12	4,9448	0,3514	12	4,9509	0,3520
13	4,9434	0,3512	13	4,9488	0,3518	13	4,9554	0,3526
14	4,9469	0,3516	14	4,9527	0,3523	14	4,9599	0,3531
15	4,9504	0,3520	15	4,9567	0,3527	15	4,9643	0,3536
16	4,9540	0,3524	16	4,9606	0,3531	16	4,9688	0,3541
17	4,9575	0,3528	17	4,9646	0,3536	17	4,9732	0,3546
18	4,9610	0,3532	18	4,9685	0,3540	18	4,9776	0,3551
19	4,9645	0,3536	19	4,9724	0,3545	19	4,9821	0,3556
20	4,9680	0,3540	20	4,9764	0,3549	20	4,9865	0,3561
21	4,9716	0,3544	21	4,9803	0,3554	21	4,9909	0,3566
22	4,9751	0,3548	22	4,9842	0,3558	22	4,9953	0,3571
23	4,9786	0,3552	23	4,9881	0,3563	23	4,9998	0,3576
24	4,9821	0,3556	24	4,9921	0,3567	24	5,0042	0,3581
25	4,9856	0,3560	25	4,9960	0,3572	25	5,0086	0,3586
26	4,9891	0,3564	26	4,9999	0,3576	26	5,0130	0,3591
27	4,9926	0,3568	27	5,0038	0,3580	27	5,0174	0,3596
28	4,9961	0,3572	28	5,0077	0,3585	28	5,0218	0,3601
29	4,9996	0,3576	29	5,0116	0,3589	29	5,0262	0,3606
30	5,0030	0,3580	30	5,0155	0,3594	30	5,0306	0,3611

**Anexo 8. Ficha de análisis sensorial para determinar la actividad de agua crítica del ajo en polvo, para el atributo apariencia (aglomeración).**

Nombre : .....

Fecha : ...../...../..... Hora : .....

Producto : Ajo en polvo.

Evalúe el atributo APARIENCIA (aglomeración), según la escala hedónica marcando con una X.

<b>ESCALA</b>	<b>301</b>	<b>625</b>	<b>457</b>	<b>725</b>	<b>525</b>
Buena					
Ligeramente buena					
Ni buena ni mala					
Ligeramente mala					
Mala					

**Anexo 9. Determinación de la actividad de agua crítica en ajo en polvo.**

**Análisis de varianza de los resultados de la evaluación sensorial del ajo en polvo.**

Fuente de variación	GL	SC	CM	Fc	Significancia
Bloques	17	1,6556	0,0974	0,6500	ns
Tratamientos	4	147,8222	36,9556	246,5100	a
Error	68	10,1778	0,1497		
Total corregido	89	159,6556			

a : Significativo al nivel de 1%.

ns : No significativo.

**Anexo 10. Programa fuente para la predicción de vida útil del ajo en polvo empacado en polietileno de alta densidad a las condiciones evaluadas.**

```
Program Tesis;
Uses Crt,Dos,Ajos,graph;
Type
  Promp=^Prom;
  Prom =Record
    Fila,Colu :Word;
    Item :String;
    Mens :String;
    Sige :Promp;
    Atra :Promp;
  End;
  huAw = array [0..100] of real;
Var
  i,j,t:integer;
  Tem,HR,Area,W,K,a,b,Po,mo,me,hbh,Ws,Expo:real;
  m,Aw : huAw;
  Actual,Primer,Previo,Ultimo : Promp;
  cadena,message:string;
Procedure Cursor(Tipo:Boolean);
Var
  Reg : Registers;
Begin
  If tipo then
    Begin
      With reg do
        Begin
          ah:=$01;
          ch:=14;
          cl:=15;
          end;
        Intr($10,reg)
      end
    else
      with reg do
        begin
          ah:=$01;
          ch:=$20;
          cl:=$20;
          end;
        Intr($10,reg);
      end;
End;
Procedure Ventana(x1,y1,x2,y2,atr:byte);
Begin
  for i:=x1 to x2 do
    Begin
      for j:=y1 to y2 do
        Begin
          gotoxy(i,j);textcolor(atr);WriteLn(' ');
        end;
      end;
    end;
  end;
```

```
end;  
end;  
End;
```

```
Procedure Prompt(XI,YI:Word;Cadena,Message:String);
```

```
Var
```

```
    LonCad : Word;  
    Nom,CadeAux,Vacio : SString;
```

```
Begin
```

```
    Nom:= #83+#111+#102+#116+#32+#77+#69+#71+#67+#45+#49+#57+#57+#55;
```

```
    Vacio:= ' '+nom+ ' ';
```

```
    CadeAux:=Message;
```

```
    LonCad:=Length(CadeAux);
```

```
    Insert(Message,Vacio,1);
```

```
    Delete(Vacio,80,Loncad) ;
```

```
    Message:=Vacio;
```

```
    If Actual=NIL Then
```

```
        Begin
```

```
            New(Actual);
```

```
            Ultimo:=Actual;
```

```
            Primer:=Actual;
```

```
            Actual^.Atra :=Ultimo;
```

```
            Actual^.Sige :=primer;
```

```
            Textcolor(15);TextBackground(5);
```

```
            GotoXY(previo^.Colu,Actual^.Fila);Write(Actual^.Item);
```

```
        End
```

```
    Else
```

```
        Begin
```

```
            Previo:=ultimo;
```

```
            New(actual);
```

```
            Ultimo:=Actual;
```

```
            Previo^.Sige:=Actual;
```

```
            Actual^.Sige:=Primer;
```

```
            Primer^.Atra:=Ultimo;
```

```
            actual^.atra:=previo;
```

```
            TextColor(0);TextBackGround(15);
```

```
        End;
```

```
        Actual^.Colu:=Xi;
```

```
        Actual^.Fila:=Yi;
```

```
        Actual^.Item:=Cadena;
```

```
        Actual^.Mens:=Message;
```

```
        GotoXY(1,24);write(Primer^.mens);
```

```
        GotoXY(Actual^.Colu,Actual^.Fila);Write(Actual^.Item);
```

```
    End;
```

```
Procedure portada;
```

```
begin
```

```
    CLRSCR;
```

```
    ventana(0,0,80,23,1);
```

```
    ventana(2,4,75,6,1);
```

```
    Textcolor(4);textbackground(15);
```

```
    gotoxy(15,8);writeln('SISTEMA PARA CALCULO DE VIDA UTIL DE AJOS EN POLVO');
```

```
    textbackground(1);
```

```
    End;
```

**Procedure salida;**

**Var**

cad,Cad\_se:string;

**Begin**

Textmode(10);

ventana(20,10,60,12,1);

textbackground(1);textcolor(14);

gotoxy(30,11);Write('Miriam Guerrero Cabrera');

readKey;

**end;**

**Procedure data;**

**Begin**

clrscr;

ventana(5,5,75,21,3);

textbackground(3);Textcolor(14);

gotoxy(20,6);Write('<> Temperatura de almacenamiento (°C): ');Readln(Tem);

gotoxy(20,8);Write('<> Humedad relativa de almacenamiento (%): ');Readln(HR);

gotoxy(15,10);Write('<> % de humedad Inicial del producto en base seca : ');Readln(mo);

gotoxy(20,12);Write('<> Area del empaque (m²): ');Readln(Area);

gotoxy(20,14);Write('<> Peso de la muestra empacada (g): ');Readln(W);

gotoxy(15,16);Write('<> Permeabilidad del empaque (g H2O/m².dia.mmHg): ');Readln(K);

**End;**

**Procedure Calcula (T,HR,mo,W:real);**

**Begin**

a := -0.684085 + 0.08153175\*T;

b := 26.68451667 - 0.50147\*T;

Po := exp(20.77905 -(5250.3)/(T+273.13));

me := b\* (HR/100) + a;

hbh := (mo)/(mo+100);

Ws := W - (hbh\*W);

**End;**

**Procedure Var\_HuAw;**

**Begin**

calcula(Tem,HR,mo,W);

for t:=0 to 20 do

**Begin**

Expo:= EXP((-K\*Area\*Po\*t)/(Ws\*b));

m[t] := me - ((me-mo))\*Expo;

Aw[t] := (m[t]- a)/b;

**End;**

clrscr;

gotoxy(10,2);write('Tiempo (días) Humedad en base seca Aw');

for t:=0 to 20 do

**Begin**

gotoxy(15, t+3);write(t);

gotoxy(35, t+3);write(m[t]:6.4);

gotoxy(55, t+3);write(Aw[t]:6.4);

**End;**

readkey;

**End;**

**Procedure Vida\_Util;**

```
var dif,mv, Awv:real;
  Begin
    t:=0;
    calcula(Tem,HR,mo,W);
    Repeat
      Expo:= EXP((-K*Area*Po*t)/(Ws*b));
      mv := me - ((me-mo))*Expo;
      dif:= ABS(7.25 - mv);
      t:=t+1;
    Until dif <= 0.01;
    clrscr;
    textbackground(15);
    textcolor(14+blink);
    gotoxy(28,12);write ('La Vida Util es = ', t, ' días');
    readkey;
  end;
```

**Procedure Opciones;**

```
begin
  ventana(15,9,65,20,3);
  Prompt(28,11,'Datos de almacenamiento-producto','Ingresar HR, T, W, K, mo, Area ');
  Prompt(28,13,'Ganancia de humedad/Aw ', 'Ganancia de humedad-Aw en ajo en polvo ');
  Prompt(28,15,'Vida Util ', 'Vida en Anaquel en función humedad crítica ');
  Prompt(28,17,'Salir ', 'ESC | Salir del Shelf-life de ajos en polvo SLAP');
end;
```

**Procedure AsignaA;**

```
Var
  Kp:Char;
  X,Y,Indicador:Integer;
```

**Procedure Arriba;**

```
Begin
  TextColor(0);TextBackGround(15);
  GotoXY(Actual^.Colu,Actual^.Fila);
  Write(Actual^.Item);
  Actual:=Actual^.Atra;
  GotoXY(1,24);Write(Actual^.Mens);
  TextColor(15);TextBackGround(5);
  GotoXY(Actual^.Colu,Actual^.Fila);
  Write(Actual^.Item);
end;
```

**Procedure Abajo;**

```
Begin
  TextColor(0);TextBackGround(15);
  GotoXY(Actual^.Colu,Actual^.Fila);
  Write(Actual^.Item);
  Actual:=Actual^.Sige;
  GotoXY(1,24);Write(Actual^.Mens);
  TextColor(15);TextBackGround(5);
  GotoXY(Actual^.Colu,Actual^.Fila);
  Write(Actual^.Item);
End;
```

```
Begin
  Actual:= primer;
  gotoxy(50,11);
  Repeat
    Kp:=ReadKey;
    If (Kp=#72) then Arriba;
    If (Kp=#80) then Abajo;
    if (Kp=#13) then Begin
      Y:=WhereY;
      Case Y of
      11: Begin
        data;
        portada;
        opciones;
        TextColor(15);TextBackGround(5);gotoxy(28,11);
        Write(primer^.Item);
        actual:=primer;
        end;
      13 : Begin
        Var_HuAw;
        portada;
        opciones;
        TextColor(15);TextBackGround(5);gotoxy(28,13);
        actual:=primer^.sige;
        Write(actual^.Item);
        end;
      15: Begin
        Vida_Util;
        portada;
        opciones;
        TextColor(15);TextBackGround(5);gotoxy(28,15);
        actual:=ultimo^.atra;
        Write(actual^.Item);
        end;
      17 : Begin
        Clrscr;
        salida;
        Textmode(10);
        clrscr;
        Exit;
        end;
      End;
    End;
  Until Kp=#27;
end;
```

```
Begin
  Vent;
  Clrscr;
  Cursor(false);
  portada;
  Actual:=Nil;
  opciones;
  AsignaA;
  Dispose(Actual);
  Cursor(true);
End.
```