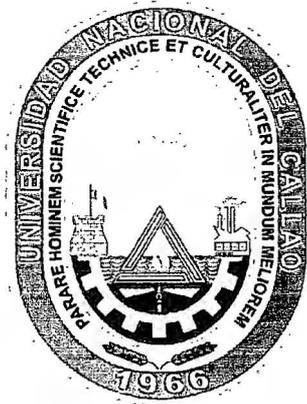


T/660.2/422

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE LA TEXTURA Y LOS CAMBIOS DE COLOR DEL ESPÁRRAGO VERDE (*Asparagus Officinalis* L.) DURANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

LLAMOCA DOMÍNGUEZ EDWIN

ASESOR

ING. LIDA SANEZ FALCÓN

CALLAO – PERÚ

2009

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente tesis fue sustentada por el Bachiller Edwin Llamoca Dominguez, ante el JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS conformado por los siguientes Docentes Ordinarios:

Ing. ANCIETA DEXTRE CARLOS ALEJANDRO	: Presidente
Ing. TOLEDO PALOMINO MARIA ESTELA	: Secretario
Ing. RANGEL MORALES FABIO MANUEL	: Vocal
Ing. SANEZ FALCON LIDA CARMEN	: Asesor

tal como está asentado en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis N° 02, Folio N° 31, Acta N° 214, de fecha DIECIOCHO DE MAYO DE 2009, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico, de acuerdo a lo normado por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado por Resolución N° 047-92-CU de fecha 18 de junio de 1992 y el Manual de Procedimientos Académicos aprobado por Resolución N° 1324-2008-R de fecha 19 de diciembre de 2008.

A Dios ante todo y a mis padres
Juan y Rosario por su gran apoyo y
paciencia.

AGRADECIMIENTOS

- ❖ A mi asesora, Ing. Msc. Lida Sanéz Falcón por su apoyo incondicional en la realización de la tesis.
- ❖ A la Ph. D. Carmen Velezmoro S. quien me ayudo en la investigación con sus aportes científicos y me abrió las puertas del Laboratorio de Investigación de la Universidad Nacional Agraria la Molina.
- ❖ A la empresa Agrícola Huarmey especialmente a los ingenieros, Emerson Castro, Julio Fuentes, Rolando y a la empresa en general quienes me facilitaron la materia prima y me ayudaron desinteresadamente durante toda la investigación.
- ❖ A los jurados la Ing. Estela Toledo, Ing. Fabio Rangel y al Ing. Msc. Ancieta Dextre por su amistad, crítica, apoyo moral e incansable revisión de esta tesis.
- ❖ A Ing. Gissela Manrique S. por su gran apoyo y comprensión que en todo momento supo darme durante la realización de la tesis.
- ❖ Al Ing. Cesar Gutiérrez, Ing. Wimper Montero, señora Pilar, Juan Castañeda y al señor Ricardo por su amistad, orientación y apoyo moral.
- ❖ Y a todos mis amigos de la UNAC y de la UNALM que me brindaron su apoyo durante la realización del trabajo de investigación.

ÍNDICE

	Pag.
RESUMEN	01
I. INTRODUCCIÓN	02
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	02
1.2. ENUNCIADOS DEL PROBLEMA	03
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	03
1.2.2. SUB PROBLEMAS	03
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA TESIS	04
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	04
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	04
1.4. HIPÓTESIS GENERAL	05
1.5. ANTECEDENTES	05
1.6. JUSTIFICACIÓN	07
II. FUNDAMENTO TEÓRICO	08
2.1. ESPÁRRAGO VERDE	08
2.2. ASPECTOS SOBRE EL PROCESAMIENTO DEL ESPÁRRAGO VERDE	11
2.2.1. MANEJO DE LA COSECHA	11
2.2.2. COSECHA	11
2.2.3. HIDROENFRIADO	13
2.2.4. TRANSPORTE	13
2.2.5. RECEPCIÓN	13
2.2.6. SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	13
2.3. TRATAMIENTO TÉRMICO	16
2.3.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DE LOS ALIMENTOS	16
2.4. CLASIFICACIÓN REOLÓGICA DE ALIMENTOS Y TÉCNICAS INSTRUMENTALES	18

	Pag.
2.4.1. CLASIFICACIÓN REOLÓGICA DE ALIMENTOS	18
2.4.2. TÉCNICAS INSTRUMENTALES PARA ALIMENTOS	19
2.5. PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS HORTALIZAS	20
2.6. MEDIDAS DE TEXTURAS EN ESPÁRRAGOS	21
2.6.1. ASPECTOS REOLÓGICOS DEL ESPÁRRAGO VERDE	24
2.7. CINÉTICA DE LA VARIACIÓN DE TEXTURA DEL ESPÁRRAGO VERDE DURANTE TRATAMIENTO TÉRMICO	25
2.8. PROPIEDADES COLORIMÉTRICAS	27
2.9. PÉRDIDA DE COLOR DEBIDO AL PROCESO TÉRMICO	30
2.10. CINÉTICA DE LA VARIACIÓN DEL COLOR DEL ESPÁRRAGO VERDE DURANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	35
3.2. MATERIA PRIMA	35
3.3. REACTIVOS Y MATERIALES	35
5.3.1. REACTIVO	35
5.3.2. MATERIALES	36
5.3.3. EQUIPOS E INSTRUMENTOS	36
3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS	36
3.4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	36
3.4.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS	37
3.4.2.1. ANÁLISIS PROXIMALES	37
3.4.2.2. ANÁLISIS DE TEXTURA	37
3.4.2.3. ANÁLISIS DEL COLOR	38
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL	38
3.5.1. BASES DEL DISEÑO	38
3.5.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	39
3.5.3. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE LA DEGRADACIÓN DEL COLOR Y DE LA TEXTURA DE LOS ESPÁRRAGOS VERDES	42
3.5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42

	Pag.
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	43
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	43
4.2. CINÉTICA DE LA VARIACIÓN DEL COLOR	44
4.3. CINÉTICA DE LA VARIACIÓN DE LA TEXTURA	53
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CINÉTICA DEL COLOR Y TEXTURA DE LOS ESPÁRRAGOS VERDES TRATADOS TÉRMICAMENTE	67
V. CONCLUSIONES	80
VI. RECOMENDACIONES	82
VII. BIBLIOGRAFÍA	83
VIII. ANEXOS	88

RESUMEN

La degradación de la textura y el color de los espárragos verdes de la variedad UC 157-F1 se determinaron después de tratamientos térmicos a temperaturas entre 80°C y 95°C para determinados tiempos, teniendo una temperatura de referencia de 84°C.

La textura y el color fueron determinados en la parte central del turión en donde el ablandamiento térmico o pérdida de textura de los espárragos fueron de primer orden al igual que la cinética del color que se midió en la superficie del turión en donde se demuestra una linealidad entre sus puntos obteniendo un $P_{\text{value}} < 0,05$

Se obtuvieron parámetros cinéticos de la textura y de color dando como resultado la Energía de activación de la textura del espárrago es $26,2 \pm 0,8$ kcal/mol y una constante cinética ($k_{84^{\circ}\text{C}}$) de $0,0114 \pm 0,0003$ min⁻¹, de forma similar la pérdida del color verde tiene una Energía de activación de $10,5 \pm 1,1$ kcal/mol y una constante cinética ($k_{84^{\circ}\text{C}}$) de $0,0025 \pm 0,000005$ min⁻¹

I. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años ha crecido el mercado nacional e internacional con respecto a la demanda de espárrago fresco y en conserva. El valor de las exportaciones para ambos rubros ha ido en ascenso durante los últimos seis años. En el año 2006 las exportaciones de espárrago en conserva alcanzaron los 104 millones de dólares y los espárragos frescos en 187 millones de dólares.

En cuanto a los volúmenes exportados, el espárrago frescos y en conserva pasa de 37 mil toneladas en 2000 á 92 mil de toneladas para el año 2006, por este motivo los fabricantes se preocupan cada vez más por ofrecer los espárragos con una calidad de mayor competitividad, de acuerdo a los requerimientos del mercado.

La calidad del espárrago tiene que ver mucho con la textura y el color cuando se efectúa el tratamiento térmico porque son muy sensibles; algunas operaciones tales como el blanqueo, cocción, o pasteurización afectan la textura y el color del espárrago.

La exigencia del mercado nos exige que los espárragos tratados térmicamente a parte de la inocuidad del producto sean agradables sensorialmente, entonces se debe conocer la textura y el color de los espárragos de una forma de cambio de textura y de color con respecto al tiempo de tratamiento térmico, porque de esta manera se podrá utilizar modelos matemáticos para la determinación de textura y el color en

función de los parámetros cinéticos de textura y color, porque dichas degradaciones son factores importantes en la calidad del producto.

Por estas razones que se ha decidido realizar un estudio de los parámetros cinético de la textura y de la variación de color en espárragos durante el tratamiento térmico, que sea útil y beneficioso para la industria esparraguera.

1.2. ENUNCIADOS DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo deben ser los estudios de los parámetros cinéticos de la textura y del color del espárrago verde (*Asparagus officinalis L.*) durante el tratamiento térmico?

1.2.2. SUB PROBLEMAS

- a) ¿Cuál será el orden de la cinética de textura del espárrago verde (*Asparagus officinalis L.*) durante el tratamiento térmico?

- b) ¿Cuál será el orden de la cinética del color del espárrago verde (*Asparagus officinalis L.*) durante el tratamiento térmico?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA TESIS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener los parámetros de la cinética de textura y de los cambios de color del espárrago verde (*Asparagus officinalis* L.) durante el tratamiento térmico.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1)** Determinar las órdenes de las cinéticas de la textura y de los cambios de color del espárrago verde (*Asparagus officinalis* L.) durante el tratamiento térmico.
- 2)** Obtención de la constantes cinéticas de la textura y de los cambios de color del espárrago verde (*Asparagus officinalis* L.) durante el tratamiento térmico.
- 3)** Establecer un modelo matemático para la cinética de la variación de la textura del espárrago verde (*Asparagus officinalis* L.) en función de la temperatura.
- 4)** Establecer un modelo matemático para la cinética de la variación del color del espárrago verde (*Asparagus officinalis* L.) en función de la temperatura.

1.4. HIPÓTESIS GENERAL

El estudio de los parámetros cinéticos de textura y de color de espárrago verde (*Asparagus officinalis L.*) durante el tratamiento térmico deben partir mediante los análisis de modelos reológicos, la caracterización colorimétrica de la materia prima así como las técnicas colorimétricas la cual estarán en función de la temperatura y el tiempo de proceso.

1.5. ANTECEDENTES

En los últimos años el estudio a los espárragos ha tenido un creciente en el mercado y se ha tenido la necesidad de visualizar modelos que ayuden a un mejor estudio al efecto de los tratamientos térmicos en donde los cambios más resaltantes son la textura y el color.

Sharman y Wolfe (1975) observaron los métodos de mediciones de textura en espárragos á 100°C en donde observo el cambio de fibrociudad relacionado con la lignificación. Los autores anteriores también mencionan que la fuerza necesaria para romper las fibras está directamente ligado al diámetro del espárrago.

Según Rizvi y Tong (1997) mencionan que los cambios de textura de los vegetales mantienen una cinética de pérdida de textura en tratamientos térmicos de primer orden y la constante cinética como la energía de activación van a depender de las variedades y los tipos de vegetales que se estudian.

Nisha et al. (2005) mencionan que la cinética en tubérculos como la papa tratado térmicamente a temperaturas de 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C, 110°C y 120°C tiene una cinética de primer orden. Otros autores como Rejano et al. (2005) también nos mencionan que los ajos tratados térmicamente sufren una degradación de la textura con una cinética de primer orden.

Por otra parte en la pérdida del color verde de los productos vegetales tratados térmicamente, llevan una degradación de clorofila las cuales sufren una cinética de primer orden en diferentes sistemas vegetales. (Steet y Tong, 1996; Labouza y col., 1970)

Entre los factores estudiados que influyen en la degradación de la clorofila y el color se puede mencionar a la temperatura. El efecto de la temperatura fue ampliamente estudiado por muchos investigadores y en numerosos productos Shivhare et al. (2000) en okra; Steet y Tong (1996) en habas; Canjura et al. (1991) en espinacas, Weemaes et al. (1999) en brócoli, etc. En todos los casos se considera una cinética de degradación de primer orden describiéndose la dependencia con la temperatura con un modelo de Arrhenius, con energías de activación que variaron entre 15 y 22 kcal/mol.

1.6. JUSTIFICACIÓN

- a) Los estudios de las cinéticas de textura y color de los espárragos verdes tratados térmicamente se da para un mejoramiento en la calidad del producto en mención, para poder mejorar la competitividad en el mercado extranjero.
- b) La determinación de los parámetros cinéticos de la textura y el color del espárrago en tratamiento térmico se puede utilizar como base para poder crear o diseñar un simulador de textura y de color que sea de mayor utilidad en la industria.
- c) La metodología diseñada en la determinación de los parámetros cinéticos de la textura de los espárragos tratados térmicamente se puede utilizar para otros alimentos de características reológicas similares con fines de mejoramiento de la calidad del producto.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. ESPÁRRAGO VERDE

El espárrago (*Asparagus officinalis L.*) es una hortaliza originaria de las costas del Mediterráneo, entre España y Asia Menor, que se adapta bien a zonas templadas y tropicales. Es una planta herbácea de la familia de las liláceas, que soporta factores climáticos extremos y aunque es perenne, su fase de aprovechamiento comercial es de diez a quince años.

Entre los principales atributos de esta hortaliza se cuentan el ser un producto bajo en calorías (menos de 4 calorías/espárrago), en grasa y colesterol, con alto contenido de vitaminas C, A, B, tiamina, riboflavina, rico en potasio y en fosfato de calcio (Corporación Colombia Internacional, 1999), también el autor nos menciona que en general, se distinguen tres tipos de espárragos, el espárrago verde, que se comercializa principalmente fresco, el espárrago blanco que es destinado al procesamiento (enlatado, congelado, deshidratado, encurtido e, incluso como jugo), y el espárrago morado, que se produce y consume casi exclusivamente en Italia.

Tarazona, (2005) menciona que los espárragos verdes contiene un mayor valor nutritivo, una textura más carnosa y firme, un aroma más intenso y un sabor ligeramente dulce y requiere de una mayor exposición a la luz solar para ganar su color verdoso. El espárrago blanco, por su parte, tiene más contenido de azúcar y una cáscara dura que obliga a pelarlo y cocinarlo para poder consumirlo, por la cual se comercializa principalmente procesado.

Según IICA, (2007) menciona que las variedades de espárragos verdes que más se comercializa en el mercado internacional es la Mary Washington, de la cual se han derivado varios híbridos, denominados UC que han sido desarrollados por la Universidad de California. De esos híbridos se destaca el UC – 157 F1, que es la variedad con mejor adaptación en Colombia, Perú, Ecuador y Chile, donde se ha mostrado altos rendimientos y una producción temprana de turiones uniformes en color y tamaño.

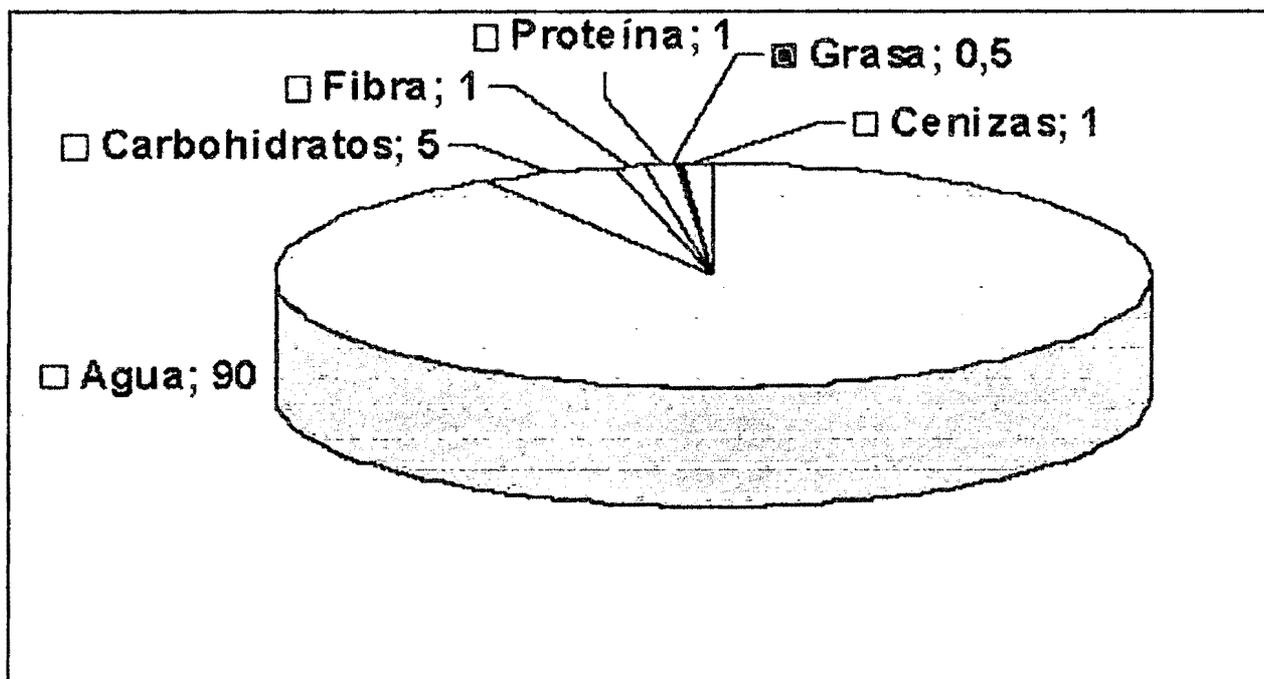
Los turiones o tallos del espárrago se originan de una corona subterránea de raíces y se cosechan al emerger de la tierra. Comúnmente, se les corta cuando alcanzan aproximadamente 23 cm. (9 pulgadas) de longitud. El diámetro del tallo no es un buen indicador de la madurez apropiada para la cosecha ni de la textura tierna que le caracteriza.

Arpadia y Kader (2008) nos mencionan que la vida de los espárragos almacenados varía típicamente entre 14 y 21 días a 2°C con una humedad relativa que se encuentra entre 95% y 100%, porque esto es esencial para prevenir la desecación, pérdida de la apariencia brillante y puede extenderse hasta por 31 días.

El almacenamiento prolongado (10 – 12 días) en aire a 0°C puede causar daño por frío. El secado del área donde se realizó el corte es un factor negativo de calidad ya que comúnmente el espárrago se empaca y transporta en cartones provistos de cojincillos saturados con agua para mantener una humedad alta.

Según Tarazona (2005) el espárrago verde en promedio contiene un 90% de agua como se observa en la Figura 1, porque este porcentaje va a variar mínimamente según la variedad que se estudia, la humedad del espárrago se mantendrá o disminuirá según sea el almacenamiento, ya que si hay disminución el espárrago se deshidrata y aumenta la cantidad de fibra produciendo la lignificación.

GRÁFICO N° 1
VALOR NUTRICIONAL DEL ESPÁRRAGO VERDE



Fuente: Tarazona G. (2005)

2.2 ASPECTOS SOBRE EL PROCESAMIENTO DEL ESPÁRRAGO VERDE

2.2.1. MANEJO DE LA COSECHA

Los turiones de espárragos se deterioran rápidamente después de la cosecha porque es un brote fresco, su tasa de respiración es muy alta así como su contenido de humedad.

Las temperaturas altas provocan desarrollo rápido de los brotes del turión disminuyendo la calidad del producto cuando no se realiza un manejo óptimo de la cosecha.

2.2.2. COSECHA

La cosecha de los turiones de espárragos se realiza a mano, con cuchillas especiales y tratando de no dañar los brotes vecinos que están emergiendo y que todavía no van a ser cosechados. Realizada la cosecha, los turiones deben ser llevados a un lugar fresco.

Los cuchillos de corte deben ser colocados cerca del turiones a cortar en posiciones paralelas a estas, introduciendo en el terreno hasta la profundidad deseada y luego inclinándolo para hacer el corte como se observa en la **Figura N° 1**

La distancia entre el punto de corte y la corona no debe ser menor de 5 cm., así se evita dañar las yemas del rizoma.

En condiciones de temperaturas moderadas la frecuencia de cosecha son diarias y en épocas de calor la cosecha es hasta dos veces al día.

La cosecha mecánica nos es recomendable para espárragos verdes.

FIGURA N° 1
COSECHA DEL ESPÁRRAGO



Fuente : Elaboración Propia

2.2.3. HIDROENFRIADO

En el hidrogenfriado los turiones de los espárragos ya cosechados son lavados con agua limpia que está entre 2°C a 5°C, posteriormente se pasa con agua clorada de concentración de 150 ppm de CLR a temperatura de 2°C por un tiempo que oscila entre los 15 á 20 minutos.

2.2.4. TRANSPORTE

El transporte debe ser ideal en medios refrigerados, en todo caso cubrirlos con una manta húmeda, colocada dentro de las cajas y materiales que retengan humedad (esponja o gasas)

2.2.5. RECEPCIÓN

Durante la recepción de los turiones de espárrago, inicialmente serán pesados y luego llevados a almacenes que deben ser lugares frescos (2°C) y que estén separados del área de trabajo.

2.2.6. SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN

En la selección se eliminan los no aptos para el proceso que se desea realizar.

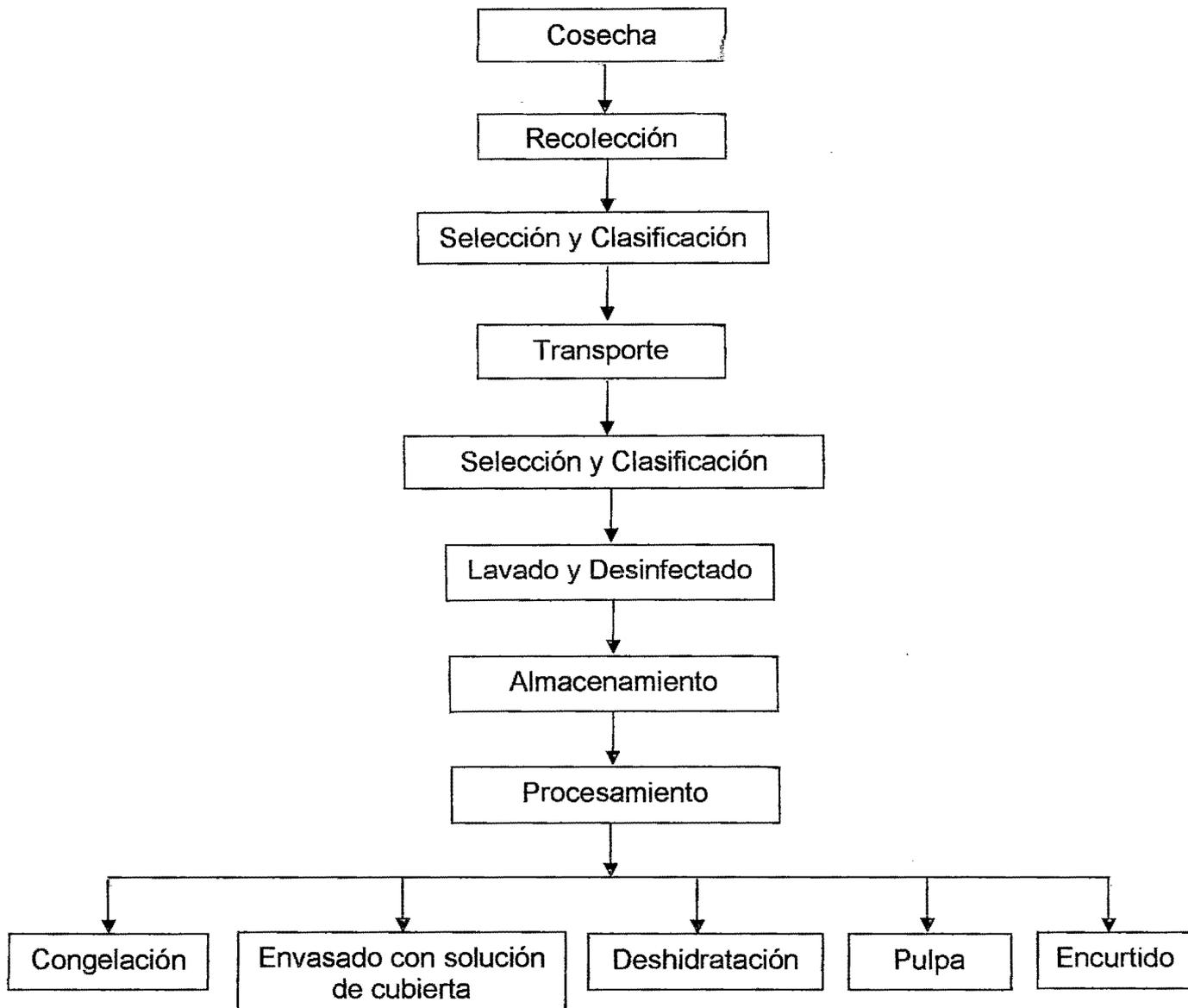
La clasificación se realiza según grados o clases de acuerdo a la normalización de la empresa como se ve en la **Figura N° 2**, posteriormente a la selección y clasificación se da el procesamiento final como se observa en la **Diagrama N° 1**

FIGURA N° 2
SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL ESPÁRRAGO



Fuente : Elaboración Propia

DIAGRAMA N° 1
OPERACIONES DEL PROCESAMIENTO DEL ESPÁRRAGO



Fuente : Guevara A. (2005)

2.3. TRATAMIENTO TÉRMICO

Por tratamiento térmico de alimentos, se entiende a la aplicación de temperaturas mayores que la temperatura ambiente. En este sentido se trata de una aplicación de calor por medio de una operación que puede tener diferentes objetivos en el proceso de un alimento, como son:

- a) Destruir microorganismos patógenos.
- b) Reducir o eliminar microorganismos dañinos para alargar la vida de almacenamiento.
- c) Eliminar enzimas que podrían causar degradación de la calidad del producto.

Las operaciones más conocidas que involucran un tratamiento térmico son: blanqueado, pasteurización, esterilización y procesamiento UHT (Ultra Alta temperatura) unido a un envasado aséptico. Si se trata de aplicación de calor se podría pensar en considerar también otras operaciones como : secado, horneado, fritura, evaporación, destilación, etc.; sin embargo el objetivo principal de estas últimas no está directamente relacionado con la destrucción de microorganismos o enzimas y sí están relacionados con la producción de cambios físicos en el alimento.

2.3.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS SENSORIALES DE LOS ALIMENTOS

El aumento de la temperatura tienen efectos sobre la calidad nutricional de los alimentos, además de eso ocurre cambio en las características sensoriales tales como

la textura, olor, color, etc. y todo esto se debe de alguna manera a los tratamiento térmicos como cuando se esterilizan carnes duras como caracol, el calor contribuye a suavizar los tejidos y hacerlos más aceptables por el consumidor; sin embargo otros cambios como el del color verde de las hortalizas que pierde su brillantez y se vuelve verde oscuro, o el oscurecimiento debido a reacciones de Maillard afectan la aceptabilidad del consumidor.

Velezmoro (2002) menciona que en algunos casos el calor produce también cambios en el sabor, afectando la aceptabilidad de los productos tratados térmicamente. Los jugos de frutos cítricos en su mayoría manifiestan cambios de sabor debido a los cambios químicos que se producen, por acción del calor, en compuestos como el limoneno y sus derivados. La pulpa de algunos frutos exóticos, como la palta y la chirimoya no han podido ser tratados térmicamente debido a los fuertes cambios en el sabor que produce el tratamiento con calor y que los hace inaceptables para el consumidor.

Se han buscado formas de disminuir estos cambios y a la vez lograr un tratamiento térmico que reduzca la carga microbiana hasta un nivel considerablemente seguro. El uso de la cinética de destrucción térmica ha determinado que se necesitan altas temperaturas y muy cortos tiempos para tratar este tipo de alimentos, pero por tratarse de pulpas, la aplicación de este tratamiento se vuelve más complicada.

2.4 CLASIFICACIÓN REOLÓGICA DE ALIMENTOS Y TÉCNICA INSTRUMENTALES

Las propiedades reológicas de los alimentos varían ampliamente, desde líquidos diluidos tales como el agua hasta productos sólidos como galletas y caramelos.

La determinación de una técnica instrumental para la determinación de las propiedades reológicas de un alimento dependerá en gran parte de estas propiedades. Para líquidos se ha utilizado diferentes técnicas que para sólidos.

La reología estudia la relación entre la fuerza ejercidas sobre un material y la deformación resultante como función del tiempo. Para corregir las variaciones del tamaño y forma de los materiales, las fuerzas se recalculan referidas a la fuerza por unidad de área ($\text{Pa} = \text{N.m}^{-2}$) y la deformación se debe tomar relativa al tamaño pertinente (Longitud) del material.

2.4.1. CLASIFICACIÓN REOLÓGICA DE ALIMENTOS

Como punto de partida la clasificación de los alimentos se vera de acuerdo a sus propiedades reológicas. Como primera clasificación se tiene alimentos con comportamientos de equilibrio la cual significa que las propiedades de dichos alimentos dependen de la deformación y a la velocidad de deformación con la que se mide su característica reológica. Estos alimentos gracias a la deformación que sufren, tienen

características parciales viscosas y elásticas, las cuales son conocidas como comportamiento viscoelásticos.

Como segunda clasificación se puede mencionar a los alimentos que tienen comportamientos con falta de equilibrio o deformación por efecto de la compresión y corte de cizalla en tiempos pequeños (Rosenthal y Btech, 2001).

2.4.2. TÉCNICA INSTRUMENTALES PARA ALIMENTOS

La compresión es un método físico donde se evalúan las propiedades mecánicas del producto alimentario. El ensayo consiste en aplastar lentamente una muestra y anotar continuamente la evolución simultánea de la deformación del producto y del esfuerzo ejercido para obtener la deformación. En este tipo de ensayo generalmente se aplica una velocidad de compresión constante y se mide la fuerza requerida. Para el cálculo del esfuerzo en función de la deformación, se debe realizar una corrección para el cambio del área de la pieza del ensayo.

Un cuerpo sometido a una compresión sufre un esfuerzo y una deformación, pero también un esfuerzo y una deformación de corte también llamada cizalla (Claude, 2004)

El esfuerzo de cizalla se define como la fuerza por unidad de superficie que actúa paralelamente al plano de aplastamiento. La deformación de cizalla es la variación angular entre dos planos perpendiculares, debido al esfuerzo de cizalla.

Según Claude, (2004) el ensayo a cizalla trata claramente de una medida imitativa y empírica que se usa para cortar carne y vegetales, en donde la muestra debe ser cortada paralelamente a las fibras musculares por ende los diámetros de corte deben ser constantes en todos y cada unos de los experimentos, ya que este diámetro es en efecto un parámetro muy influyente en el valor de la fuerza necesaria para el corte.

2.5. PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS HORTALIZAS

La reología en las hortalizas es el estudio de la deformación o destrucción de ellas mediante un esfuerzo de compresión o un esfuerzo de corte.

Rosenthal y Btech. (2001) mencionan que las propiedades reológicas de las hortalizas se mide mediante un enfoque de compresión, el cual es el indicador de la textura del producto, pero este enfoque tiene algunas desventajas cuando mide textura, ya que esto se relaciona principalmente con el hecho de la percepción humana de la textura de los alimentos, y están basados en nuestro propio aparato de ensayo mecánico, que no siempre trabaja de la misma forma que los que están paralelizados por los métodos de ensayos.

La textura en las frutas y hortalizas se mide con dos propósitos principales :

El primer propósito es para determinar la madurez de los cultivos con el objetivo de producir en la fecha optima de cosecha y el otro propósito es para determinar la calidad del producto procesado (Rosenthal y Btech, 2001)

Durante el análisis de textura el principal material a deformar en una fruta u hortaliza viene a ser la celulosa, ya que este tiene un determinado comportamiento a la fractura primordial en cualquier vegetal.

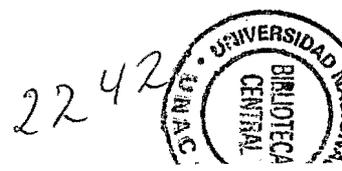
La mayoría de los tejidos vegetales contienen de 75% á 95% de agua y el comportamiento de este componente es un factor vital para tales efectos de los procesos de alimentos.

2.6. MEDIDAS DE TEXTURA EN ESPÁRRAGOS

Rodrigo *et al.* (1997) realizaron mediciones de textura con una Prensa de corte Kramer Instron (Modelo 6021), en donde los turiones del espárrago fueron cortados en tres pedazos de 2,5 cm. y distribuidos en tres grupos aleatoriamente, estos se colocaron en la base del medidor de textura en donde el esfuerzo máximo de corte fue de 5 000 N con una velocidad de corte de 200 mm/min.

Rodrigo *et al.* (1998) midieron la textura en una Prensa de corte Kramer Instron (Modelo 6021), los turiones se cortaron 2,5; 5; 7,5; 10, y 12,5 centímetros y se utilizaron tres velocidades 200, 500 y 1000 mm/min donde se registro un esfuerzo de corte máximo de 5000 N y a una velocidad de 200 mm/min.

Lau y Tang. (2002) mencionaron que no hay un método estándar para poder determinar la variación de textura del espárrago pero de manera empírica se puede determinar en función del diámetro y la fuerza de corte de los espárragos. Se realizó la medición de la textura del espárrago sometido a temperaturas de 70°C – 98°C, en baño



de vinagre, empleando un Analizador de textura TA.XT2 (Texture Technologies, Scarsdale, NY/Stable Micro Systems, Godalming, Surrey, UK) en intervalos seleccionados con una velocidad de corte de 3 mm/s.

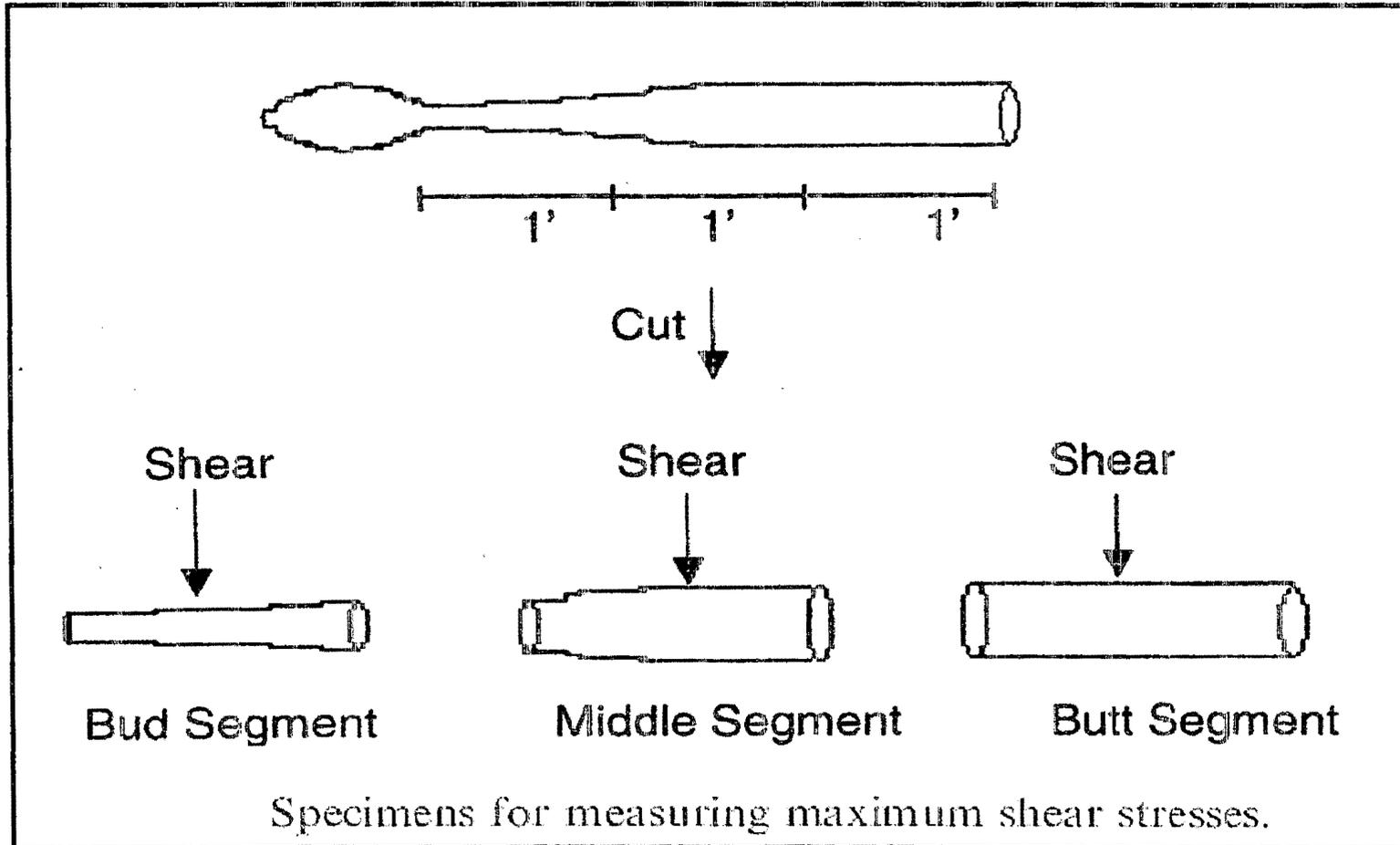
La ecuación que mencionan los autores para determinar el esfuerzo de corte máximo es la siguiente :

$$P = \frac{F}{2 \times (\pi D^2 / 4)} \dots\dots\dots (1)$$

Donde P es el máximo esfuerzo de corte (Pa), F es la medición de la máxima Fuerza (N) y D es el diámetro del espárrago cortado (m) .Los mismos autores indican que antes de la medida de textura los turiones del espárrago a temperatura ambiente fueron cortados en tres segmentos como indica la **Figura N° 3**

FIGURA N° 3

FORMA DE CORTE DE LOS ESPÁRRAGOS



Fuente : Lau y Tang.(2000)

Lau y Tang (2002) evaluaron la textura del espárrago en vinagre, en envases de vidrio, llevándolo a un tratamiento de 88°C en un microondas en un lapso de tiempo corto.

Sun *et al.* (2007) midieron la textura del espárrago en esterilización y pasteurización en microondas usando un analizador de la textura TA.XT2 (Texture Technologies, Scarsdale, NY, USA; Stable MicroSystems, Godalming, Surrey, UK) el cual fue equipado con una lamina (10 centímetros · 0,3 centímetros) y una celda de prueba (8,8 centímetros; 10 centímetros), y supervisado por un software.

El espárrago fue cortado con una velocidad de 10 mm/s. Después del tratamiento térmico, los turiones del espárrago con tamaño similar fueron seleccionados para el análisis de la textura y el diámetro en el centro del turión de espárrago fue medido usando un calibrador y se determinó el esfuerzo de corte máximo con la **Ecuación (1)**.

2.6.1. ASPECTOS REOLÓGICOS DE LOS ESPÁRRAGOS VERDES

Los espárragos verdes son hortalizas que contienen un 90% á 95% de agua y 1% de fibra en promedio y son propensos a una deshidratación rápida. Son alimentos que debido a la deshidratación ocurre un cambio con la textura en donde se vuelve más blando y produce una alta producción de lignina el cual es un indicador de aumento de fibra aumentando la fuerza de cizalla durante la medición de textura.

Para medir el esfuerzo de corte de los turiones de espárrago es necesario medir el diámetro donde se va a aplicar la fuerza de corte como se menciona en la

Ecuación (1)

2.7. CINÉTICA DE LA VARIACIÓN DE TEXTURA DEL ESPÁRRAGO VERDE DURANTE TRATAMIENTO TÉRMICO

La textura del espárrago está determinada por la estructura y la composición de su tejido celular, así como por la estructura de la pared de la célula. Esta última está formada por hemicelulosa y lignina entre otras sustancias. La textura del espárrago está relacionada directamente con la fibra, ya que la alteración de las fibras se debe a la lignificación de los racimos vasculares, esto sucede en las primeras horas después de cosechar el espárrago que se almacena a temperatura ambiente (Rodrigo et al., 1997).

La degradación de textura del espárrago verde sigue una cinética de primer orden (Swinbourne 1971) citado por (Lau y Tang., 2002). Según Lau y Tang (2000), Rodrigo (1997) y Martens et al., (2001) mencionan que el modelamiento de la ecuación de la textura del espárrago se da de la siguiente manera :

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -kP^n \dots\dots\dots (2)$$

Donde :

- P** : Es la textura
t : Es el tiempo,
k : Es la constante cinética
n : Es el orden de la cinética del cambio de textura

Según Rodrigo *et al.* (1997) hacen referencia que la constante cinética está en función de la temperatura, tiene la forma de la ecuación de Arrhenius como se observa en la **Ecuación (3)**

$$k = k_{ref} \times e^{\left(\frac{E}{R} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right] \right)} \dots\dots\dots (3)$$

Donde :

- k** : Es la constante cinética de cambio de textura y está en unidades de tiempo⁻¹ (min⁻¹, s⁻¹)
E_a : Es la energía de activación (kcal/mol R)
R : Es constante universal de los gases (1.987 cal /mol K)
T : La temperatura en grados en escala absoluta Kelvin
T_{ref} : Es la temperatura de referencia en Kelvin
k_{ref} : Es la constante cinética de referencia de cambio de textura.

Rodrigo *et al.* (1998) emplearon un método de estado no estable para la evaluación de los parámetros cinéticos de degradación de la textura en espárragos. Determinaron los valores de $E_a = 76,19 \text{ KJ/mol}$ y $k_{115^\circ\text{C}} = 0,00528 \text{ s}^{-1}$ en un rango de temperaturas de 100°C y 130°C para diferentes tiempos.

Concluyendo que la textura estimada por el método del estado no estable se ajusta mejor a los datos experimentales que aquella calculada empleando el clásico método del estado estable. Los autores anteriores mencionan también que al introducir los perfiles de calentamiento y enfriamiento en el espárrago se mejoran las estimaciones del cambio de textura.

2.8. PROPIEDADES COLORIMÉTRICAS

En la industria de los alimentos las propiedades de los cambios de coloración de los alimentos durante los diversos procesos son de carácter importante porque esto juega un papel en el aseguramiento de la calidad de dichos productos.

Según Manresa A. y Vicente I., (2007) mencionan que colores de los alimentos definen cuando termina un proceso como en el tostado del café, producción de chocolate, la maduración de los frutos, el tiempo de horneado del pan, entre otros.

El color no es solamente un fenómeno psíquico o psicológico, sino el resultado de la evaluación de la energía radiante y está basada en las propiedades del ojo humano. Un color puede ser descrito subjetivamente por la experiencia del observador u objetivamente, de acuerdo a su longitud de onda. Así, la luz roja tiene una longitud de

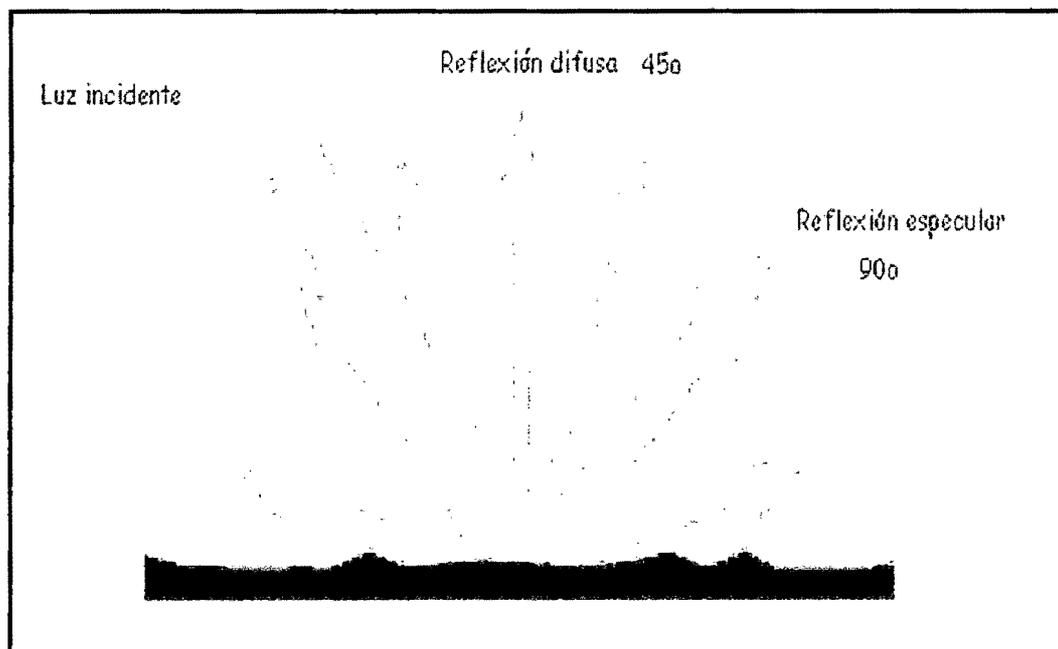
onda alrededor de 680 nm; el color anaranjado de unos 590 nm; la amarilla alrededor de 575 nm; verde 520 nm; azul 480 nm y violeta 450 nm; todas ellas comprendidas en la llamada luz blanca tal como fue demostrado por Newton al hacerla pasar a través de un prisma.

En los alimentos el factor más importante que influye en la reflexión de la luz es la difusión debido a las características físicas de la superficie. De forma general puede afirmarse que la reflexión especular ocurre en un ángulo de 90° con respecto a la luz incidente y es la responsable principal del brillo del material; mientras la reflexión difusa ocurre a un ángulo de 45° y es la principal responsable del color.

Estas particularidades son sumamente necesarias al momento de efectuar mediciones con iluminantes específicos del ángulo de incidencia de la luz en la muestra y la posición de ésta con respecto al sensor (sea objetivo o subjetivo), dependerá el atributo medido.

Por esta razón, el instrumental moderno incorpora una esfera integradora consistente en una cavidad esférica esmaltada de blanco donde se ubica la muestra. De esta forma el objeto a evaluar recibe la luz de manera difusa, tal como ocurre en la cotidianidad. También, se ubica el detector en posición tal que permita recibir toda la luz difusa proveniente de la reflexión de la muestra.

FIGURA N° 4
REFLEXIÓN ESPECULAR Y DIFUSA



Fuente : Manresa A. y Vicente I., (2007)

Los colorímetros usan sensores que simulan el modo en que el ojo humano percibe el color, pero a diferencia de éste pueden asignar parámetros de medición consistentes a cada color, independientemente de las condiciones ambientales.

Para medir la coloración de frutas y hortalizas no es necesaria una técnica destructiva de estos ya que el color o la pérdida de coloración se va a registrar mediante los cambios de pigmentación de la parte externa de la piel del fruto u hortaliza.

2.9. PERDIDAS DE COLOR DEBIDO AL PROCESO TÉRMICO

El cambio de color de los alimentos se ve alterado por la acción de tratamiento térmico porque los componentes pigmentados que definen la coloración de los alimentos sufren ciertas modificaciones en su estructura o reaccionan debido a la acción del calor que pueden ser medidas con instrumentos llamados colorímetros. Las medidas objetivas del color se realizan con equipos denominados colorímetros, los que miden los diferentes grados de coloración aplicando escalas estandarizadas, como: L^* , a^* , b^* u otras.

La clorofila (verde) por ejemplo se convierte en feofitina (marrón) por acción del calor, lo que disminuye la aceptabilidad del producto. Los carotenoides forman también complejos oscuros cuya absorbancia puede ser medida para su evaluación.

El color verde de las hojas y frutas semimaduras se debe a las clorofilas "a" (verde azulado) y clorofilas "b" (verde amarillento) que se encuentran en relación 3:1. Por eliminación del Mg las clorofilas se transforman en feofitinas a y b que son de color oliva parduzco. La sustitución del ión Mg^{++} por Fe^{++} y Sn^{++} da lugar a la formación de productos pardo-grisáceos (Fenema, 2000)

Avanza y col. (1979) en sus trabajos para APRYMA, estudiaron la cinética de degradación de las clorofilas "a" y "b" a diferentes temperaturas y granulometría del material. Como resultado obtuvieron que la degradación sigue un orden uno, con la verificación de los valores de velocidades específicas para distintas temperaturas.

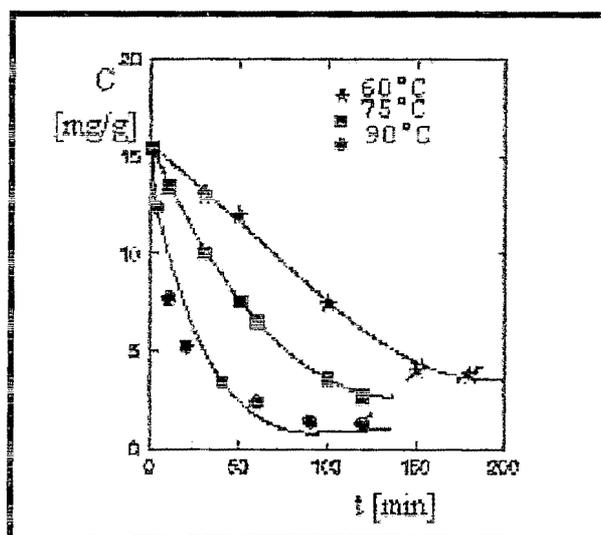
Montiel *et al.* (1996) estudiaron que la degradación de clorofilas "a" y "b" a distintas temperaturas de almacenamiento en yerba "tipo Brasil", informado una energía de activación igual á 50 KJ/mol.

Migliorisi *et al.* (2003) mencionan que las variaciones en el contenido de clorofila en el puré de pimienta verde a temperaturas ensayadas, 60°C, 80°C y 90°C en donde disminuye la concentración de clorofila total el cual se ve muy influenciada por la temperatura de tratamiento como se observa en la **Gráfico N° 2**.

Por otra parte Tan y Francis (1962) evaluaron los cambios de color en espinacas tratado a temperaturas entre 100 y 150°C. Los autores encontraron que un tratamiento a 125°C por 60 minutos produjo una pérdida del 23% en el contenido de carotenoides y un 300% en el incremento de pigmentos marrones. Sin embargo los cambios de color fueron disminuidos cuando el producto se mantuvo en atmósfera de nitrógeno.

GRAFICO N° 2

DEGRADACIÓN DE LA CLOROFILA EN PIMIENTOS VERDES



Fuente : Migliorisi et al. (2003)

2.10. CINÉTICA DE LA VARIACIÓN DEL COLOR DEL ESPÁRRAGO VERDE DURANTE TRATAMIENTO TÉRMICO

Diversos autores observaron que en las hortalizas tratadas térmicamente ocurre la degradación de la clorofila, la cual produce una modificación de su color. En general, esta pérdida se da en la coordenada a^* de la escala de color que representa el grado de verde en esta escala (Barth et al, 1992; Steet y Tong, 1996; Schmalko y Alzamora, 2000; Weemaes et al, 1999).

La pérdida del color verde de los productos vegetales tratados térmicamente, lleva una degradación de clorofila las cuales sufren una cinética de primer orden en diferentes sistemas vegetales como esta en la **Ecuación (4)**. (Steet y Tong, 1996)

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -kH^n \dots\dots\dots (4)$$

Donde :

- H** : Es el ángulo de color (Hue)
- t** : Es el tiempo(min)
- k** : Es la constante cinética y n es el orden de la reacción.

El ángulo de color (Hue) según Litle, (1975) correlaciona los valores de a^* y b^* de la siguiente manera :

$$H^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ Donde } a^* > 0 \text{ y } b^* \geq 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$H^\circ = 180 + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ Donde } a^* < 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

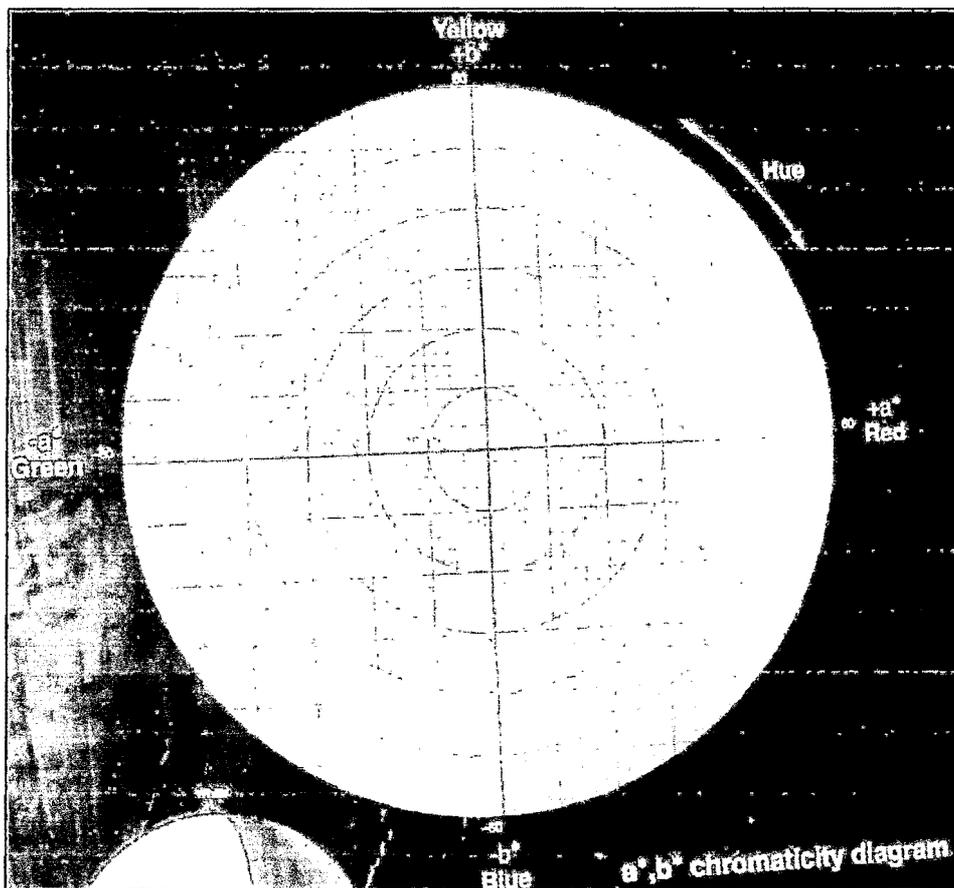
Donde :

- H° : Es el ángulo de color (Hue)
- a^* : Es el cambio de coloración de verde a rojo
- b^* : Es el cambio de coloración de azul a amarillo como se puede observar en la figura (7).

La constante cinética "k" tendrá la forma semejante a la textura y según Rodrigo *et al.* (1997) nos dicen que la constante cinética en función de la temperatura, tiene la forma de la ecuación de Arrhenius como la **Ecuación (3)**

Shivhare *et al.* (2000) en okra; Steet y Tong (1996) en habas; Canjura *et al.* (1991) en espinacas, Weemaes *et al.* (1999) en brócoli, etc. en todos los casos se considera una cinética de degradación de primer orden describiéndose la dependencia con la temperatura con un modelo de Arrhenius, con energías de activación que variaron entre 15 y 22 kcal/mol.

FIGURA N° 5
DIAGRAMA DE CROMATICIDAD



Fuente : Elaboración Propia

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de Investigación se desarrolló en los laboratorios de Investigación de la facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. MATERIA PRIMA

Se utilizó como materia prima, los turiones de espárragos verdes (*Asparagus officinalis L.*) recién cosechados, de la variedad UC 157 – F, que fue adquirido en el Fundo de Santa Rosa de la empresa Agroindustrial Huarmey procedente de la provincia de Huarmey departamento de Ancash.

3.3 REACTIVOS Y MATERIALES

3.3.1. REACTIVO

a) Agua destilada

3.3.2. MATERIALES

- a) Cuchillo de acero inoxidable
- b) Materiales de vidrio
- c) Tabla de picar
- d) Pie de rey
- e) Regla de 30 cm.

3.3.3 EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- a) Baño maría GFL – 1083 con controlador de temperatura y exactitud $\pm 0,1$
- b) Colorímetro Konica Minolta CR – 400
- c) Texturómetro QTS Texturepro Brookfield

3.4. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

El espárrago (*Asparagus officinalis L.*) será inicialmente lavado con agua limpia y fría (2°C), seguidamente se le realizara un hidrogenfriado con agua clorada a 150 ppm de CLR a una temperatura de 2°C por 25 min y luego será refrigerado ($2 \pm 0,8^\circ\text{C}$) por un tiempo máximo de 5 días con una humedad relativa de 94% – 98%.

Los turiones serán cortados a la longitud requerida para los análisis. Se medirá el diámetro que este entre 11 – 15 mm y la longitud de cada turión será de 21 cm. Se realizará el análisis proximal antes del tratamiento térmico.

3.4.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.2.1. ANÁLISIS PROXIMALES

Los análisis proximales que se analizaron se desarrollarán en los laboratorios de Análisis químicos de Fundación del Desarrollo Agrario (FDA) en donde se determinó la Humedad, Cenizas totales, Grasa Cruda, Proteínas Totales, Fibra Cruda y la Cantidad de Carbohidratos mediante las normas AOAC (1998) de los ítems 930.04, 930.05, 930.09, 977.02, 930.10 y Por Diferencia de Callazos (1993) respectivamente.

3.4.2.2. ANÁLISIS DE TEXTURA

Se procederá inicialmente a calibrar los espárragos, en tamaño y diámetro establecido y luego se colocaran en el baño maría con agua destilada a las diferentes temperaturas y diferentes tiempos establecidos. Una vez acabado el tratamiento térmico los turiones serán cortados para tomar la parte central, la que será sometida al corte del single blade que se encuentra sobre el test cell a una velocidad de 3 mm/s. Se registrará la Fuerza de corte y se aplicará la **Ecuación (1)**

3.4.2.3. ANÁLISIS DE COLOR

En el análisis de color se procederá con la misma metodología que el del análisis de textura en donde se procederá a registrar los colores antes del corte en la superficie de la muestra donde se obtendrán los valores a^* y b^* donde se obtendrá el valor de H° con la **Ecuación (5) o (6)** según sea el caso.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.5.1. BASES DEL DISEÑO

El diseño experimental consta de 4 temperaturas y cada uno con dos mediciones, uno de textura y otro de color el cual serán realizados por triplicado.

a) Temperatura con 4 niveles : 80°C, 85°C, 90°C y 95°C

b) Mediciones con 2 niveles : color y textura

En total se realizar un diseño factorial de 4 x 2 dando un total de 8 tratamientos el cual se realizara por triplicado dando un total de 24 tratamientos.

3.5.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los turiones de espárragos se caracterizan y luego son tratados térmicamente a temperaturas de 80°C, 85°C, 90°C y 95°C con agua destilada en una Baño maría GFL – 1083 con controlador de temperatura y exactitud $\pm 0,1$. Se utilizaron 15 turiones de espárragos de longitud de 21 cm. de largo con un peso total de 360 g y con 10 L de agua destilada. Cada tres turiones de espárragos estaban sujetos en gradillas de metales atadas con ligas, las cuales fueron retiradas en los tiempos determinados y trasladados a un baño de agua de 20°C.

Las temperaturas y los tiempos seleccionados fueron a 80°C 0, 22, 44, 66 y 88 min; a 85°C 0, 18, 36, 54 y 72 min; a 90°C 0, 15, 30, 45 y 60 min y a 95°C 0, 10, 20, 30 y 40 min donde los tiempos iniciales de cero es cuando todo el sistema llega a la temperatura de trabajo para todos los casos.

Una vez ya tratado térmicamente el espárrago se procederá a cortar los espárragos como se observa en la **Figura N° 6** separando el segmento del medio en donde se va a registrar primeramente el color y luego se registrara la textura en el texturómetro como se observa en la **Figura N° 7**

FIGURA Nº 6

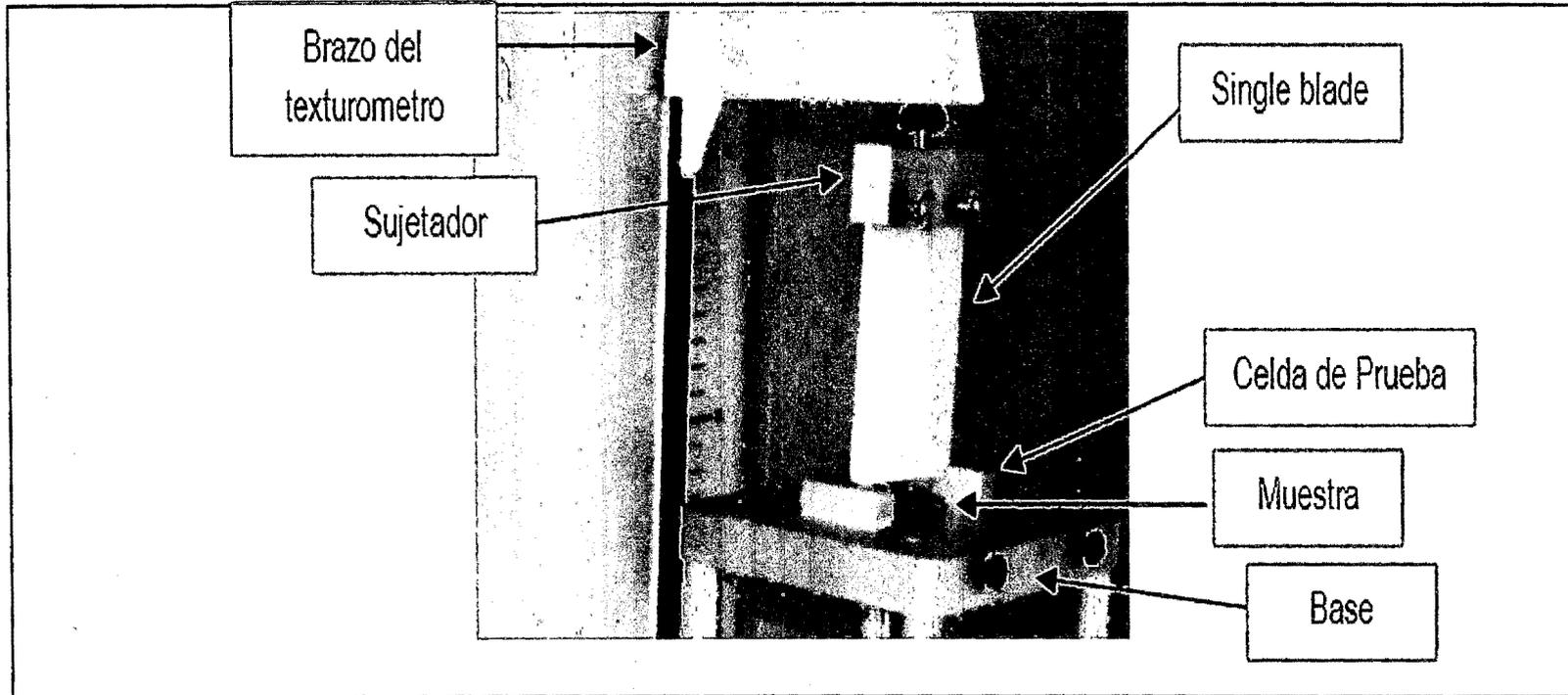
DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA PARA LA MEDICIÓN DEL CORTE DE CIZALLA



Fuente : Elaboración propia

FIGURA N° 7

**ACCESORIOS PARA LA MEDICIÓN DE TEXTURA DE LOS ESPÁRRAGOS UTILIZANDO SIGLE BLADE
Y UNA CELDA DE PRUEBA PARA EL TEXTURÓMETRO QTS TEXTUREPRO BROOKFIELD**



Fuente : Elaboración propia

3.5.3. MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DE LA DEGRADACIÓN DEL COLOR Y DE LA TEXTURA DE LOS ESPÁRRAGOS VERDES

La metodología a seguir para la determinación de los parámetros cinéticos de la degradación del color y de la textura se basara de acuerdo a las **Ecuaciones (2), (3) y (4)** en donde inicialmente se determinará el orden de la cinética y luego se obtendrán los parámetros cinéticos para cada caso.

3.5.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se aplicara un análisis de varianza ANVA de todas las respuestas finales para ver las diferencias significativas entre los puntos de la regresión.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En el **Cuadro N° 1** se muestra los resultados de la composición química de espárrago verde (*Asparagus officinalis* L.) en estado fresco por 100 gramos de porción comestible. El contenido de humedad en espárrago fue alto, se encontró un 91.97% por ciento de humedad, los valores encontrados se encuentran dentro del promedio reportados por Postharvest Technology (2008) y Tarazona (2005)

CUADRO N° 1
ANÁLISIS PROXIMAL

COMPONENTES	PORCENTAJES
Agua	91,97
Cenizas Totales	0,66
Grasa Cruda	0,15
Proteína Cruda	1,82
Fibra Cruda	0,97
Carbohidratos	4,44

Fuente : Elaboración Propia

4.2. CINÉTICA DE LA VARIACIÓN DEL COLOR

Se registraron los valores de a^* y b^* en la superficie del turión con el colorímetro Konica minolta CR – 400 a los diferentes tratamientos y a los diferentes tiempos que dieron como resultados el ángulo del color el cual se determino con la **Ecuación (6)** porque el valor a^* es menor a cero.

Se correlacionaron con la ecuación (4) los diferentes ordenes para cinética del cambio de color como se observa en el **Cuadro N° 2** y dando como resultado una cinética de primer orden para todos los casos de las temperaturas planteadas en función al r^2 más cercano a uno. Según Montiel et al. (1996) mencionan que la degradación de clorofilas a distintas temperaturas de almacenamiento mantiene una cinética de primer orden al igual que Shivhare et al. (2000) en okra; Steet y Tong (1996) en habas; Canjura et al. (1991) en espinacas, Weemaes et al. (1999) en brócoli, etc. lo que contrasta el orden de la cinética encontrado en el **Cuadro N° 2**

CUADRO N° 2

ORDEN DE LA CINÉTICA DEL COLOR EN FUNCIÓN AL r^2 A LAS TEMPERATURAS DE 80, 85, 90 Y 95°C

T	n=0	n=0.5	n=1	n=2
80	0,9199	0,9274	0,9346	0,9199
85	0,9589	0,963	0,9668	0,9589
90	0,9863	0,9882	0,9898	0,9863
95	0,9776	0,9772	0,9776	0,9776

Fuente : Elaboración Propia

Los resultados de los tratamientos cinéticos de los cambios de color con una cinética de primer orden se reportan en los **Cuadros N° 3, 4, 5 y 6**

CUADRO N° 3

TRATAMIENTO DE DEGRADACIÓN DEL COLOR A 80°C

Temperatura del tratamiento térmico:			80°C			Tiempo del tratamiento térmico: 0 min				
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
	D1	D2		a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
1	D1	12.36	9.35	-17.43	28.81	-1.65	-1.03	-58.83	121.17	4.80
	D2	12.00	10.50	-17.81	30.69	-1.72	-1.04	-59.87	120.13	4.79
	D3	12.00	10.65	-18.01	30.12	-1.67	-1.03	-59.12	120.88	4.79
Temperatura del tratamiento térmico:			80°C			Tiempo del tratamiento térmico: 22 min				
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
	D1	D2		a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
2	D1	12.00	9.45	-12.4	34.19	-2.76	-1.22	-70.09	109.91	4.70
	D2	12.00	10.10	-11.1	30.81	-2.77	-1.22	-70.17	109.83	4.70
	D3	14.00	10.45	-11.6	29.78	-2.57	-1.20	-68.77	111.23	4.71
Temperatura del tratamiento térmico:			80°C			Tiempo del tratamiento térmico: 44 min				
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
	D1	D2		a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
3	D1	14.30	10.00	-7.45	28.91	-3.88	-1.32	-75.55	104.45	4.65
	D2	13.00	10.52	-7.80	30.18	-3.87	-1.32	-75.51	104.49	4.65
	D3	13.00	10.00	-8.20	29.63	-3.61	-1.30	-74.53	105.47	4.66
Temperatura del tratamiento térmico:			80°C			Tiempo del tratamiento térmico: 66 min				
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
	D1	D2		a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
4	D1	13.00	10.21	-5.66	28.29	-5.00	-1.37	-78.69	101.31	4.62
	D2	14.00	10.00	-6.25	29.83	-4.77	-1.36	-78.17	101.83	4.62
	D3	14.00	10.50	-5.95	29.28	-4.92	-1.37	-78.51	101.49	4.62
Temperatura del tratamiento térmico:			80°C			Tiempo del tratamiento térmico: 88 min				
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
	D1	D2		a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
5	D1	14.00	11.90	-4.30	27.5	-6.40	-1.42	-81.11	98.89	4.59
	D2	14.00	11.00	-3.96	27.19	-6.87	-1.43	-81.71	98.29	4.59
	D3	13.00	10.72	-5.23	31.95	-6.11	-1.41	-80.70	99.30	4.60

Fuente : Elaboración Propia

CUADRO N° 4

TRATAMIENTO DE DEGRADACIÓN DEL COLOR A 85°C

Temperatura del tratamiento térmico: 85°C			Tiempo del tratamiento térmico: 0 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				A*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	lnH°
1	D1	12.00	10.00	-16.65	32.73	-1.97	-1.10	-63.04	116.96	4.76
	D2	13.00	11.55	-12.92	25.56	-1.98	-1.10	-63.18	116.82	4.76
	D3	15.00	12.85	-15.85	30.99	-1.96	-1.10	-62.91	117.09	4.76
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C			Tiempo del tratamiento térmico: 18 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	lnH°
2	D1	14.00	10.90	-8.71	26.82	-3.08	-1.26	-72.01	107.99	4.68
	D2	14.00	10.00	-11.01	27.98	-2.54	-1.20	-68.52	111.48	4.71
	D3	15.00	11.56	-9.13	26.19	-2.87	-1.24	-70.78	109.22	4.69
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C			Tiempo del tratamiento térmico: 36 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	lnH°
3	D1	14.00	12.35	-8.57	30.56	-3.57	-1.30	-74.33	105.67	4.66
	D2	14.00	10.80	-7.28	29.10	-4.00	-1.33	-75.95	104.05	4.64
	D3	15.00	12.35	-6.59	23.21	-3.52	-1.29	-74.15	105.85	4.66
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C			Tiempo del tratamiento térmico: 54 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	lnH°
4	D1	14.00	12.00	-5.29	28.74	-5.43	-1.39	-79.57	100.43	4.61
	D2	12.00	10.65	-4.99	26.54	-5.32	-1.38	-79.35	100.65	4.61
	D3	14.00	10.00	-4.63	27.4	-5.92	-1.40	-80.41	99.59	4.60
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C			Tiempo del tratamiento térmico: 72 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	lnH°
5	D1	14.00	11.25	-4.45	28.7	-6.45	-1.42	-81.19	98.81	4.59
	D2	14.00	10.85	-3.87	26.26	-6.79	-1.42	-81.62	98.38	4.59
	D3	14.90	13.60	-4.01	27.21	-6.79	-1.42	-81.62	98.38	4.59

Fuente : Elaboración Propia

CUADRO N° 5

TRATAMIENTO DE DEGRADACIÓN DEL COLOR A 90°C

Temperatura del tratamiento térmico: 90°C			Tiempo del tratamiento térmico: 0 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
1	D1	14.30	11.30	-12.76	26.46	-2.07	-1.12	-64.25	115.75	4.75
	D2	15.00	12.80	-12.40	27.17	-2.19	-1.14	-65.47	114.53	4.74
	D3	15.00	12.75	-12.04	25.22	-2.09	-1.13	-64.48	115.52	4.75
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C			Tiempo del tratamiento térmico: 15 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
2	D1	14.00	11.00	-9.67	27.25	-2.82	-1.23	-70.46	109.54	4.70
	D2	13.00	11.25	-9.68	26.46	-2.73	-1.22	-69.91	110.09	4.70
	D3	15.00	11.80	-8.98	26.07	-2.90	-1.24	-70.99	109.01	4.69
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C			Tiempo del tratamiento térmico: 30 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
3	D1	13.00	10.66	-5.90	24.45	-4.14	-1.33	-76.43	103.57	4.64
	D2	14.00	11.06	-6.27	26.48	-4.22	-1.34	-76.68	103.32	4.64
	D3	14.00	10.10	-6.10	24.77	-4.06	-1.33	-76.17	103.83	4.64
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C			Tiempo del tratamiento térmico: 45 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
4	D1	15.00	13.20	-3.83	28.62	-7.47	-1.44	-82.38	97.62	4.58
	D2	15.00	11.32	-3.80	30.25	-7.96	-1.45	-82.84	97.16	4.58
	D3	14.00	11.50	-4.94	32.36	-6.55	-1.42	-81.32	98.68	4.59
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C			Tiempo del tratamiento térmico: 60 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
5	D1	14.00	12.00	-2.11	27.95	-13.25	-1.50	-85.68	94.32	4.55
	D2	15.00	12.55	-2.90	31.29	-10.79	-1.48	-84.70	95.30	4.56
	D3	14.00	11.40	-2.85	29.42	-10.32	-1.47	-84.47	95.53	4.56

Fuente : Elaboración Propia

CUADRO N° 6

TRATAMIENTO DE DEGRADACIÓN DEL COLOR A 95°C

Temperatura del tratamiento térmico: 95°C			Tiempo del tratamiento térmico: 0 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
1	D1	13.61	10.15	-8.62	24.39	-2.83	-1.23	-70.54	109.46	4.70
	D2	13.00	10.20	-8.02	23.09	-2.88	-1.24	-70.85	109.15	4.69
	D3	13.00	10.00	-10.75	28.76	-2.68	-1.21	-69.51	110.49	4.70
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C			Tiempo del tratamiento térmico: 10 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
2	D1	15.30	11.22	-8.10	26.65	-3.29	-1.28	-73.09	106.91	4.67
	D2	13.00	11.02	-7.72	25.26	-3.27	-1.27	-73.01	106.99	4.67
	D3	15.00	11.65	-7.91	24.93	-3.15	-1.26	-72.40	107.60	4.68
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C			Tiempo del tratamiento térmico: 20 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
3	D1	13.00	9.85	-6.17	27.75	-4.50	-1.35	-77.46	102.54	4.63
	D2	15.00	10.56	-6.01	27.48	-4.57	-1.36	-77.66	102.34	4.63
	D3	12.00	11.10	-6.20	27.17	-4.38	-1.35	-77.15	102.85	4.63
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C			Tiempo del tratamiento térmico: 30 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
4	D1	14.00	11.00	-4.80	24.23	-5.05	-1.38	-78.79	101.21	4.62
	D2	14.00	10.75	-5.06	24.14	-4.77	-1.36	-78.16	101.84	4.62
	D3	13.52	10.88	-5.39	27.34	-5.07	-1.38	-78.85	101.15	4.62
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C			Tiempo del tratamiento térmico: 40 min							
Número	Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Color			Resultados			
				a*	b*	b*/a*	tan-1(b*/a*) radianes	tan-1(b*/a*) grados	H° grados	InH°
5	D1	14.00	10.88	-3.16	26.21	-8.29	-1.45	-83.13	96.87	4.57
	D2	14.00	10.55	-3.11	25.86	-8.32	-1.45	-83.14	96.86	4.57
	D3	14.26	11.65	-3.28	25.31	-7.72	-1.44	-82.62	97.38	4.58

Fuente : Elaboración Propia

Ordenado y tabulando los valores finales como se observa en el **Cuadro 7** se tiene :

CUADRO N° 7
DEGRADACIÓN DEL L_n (ÁNGULO DE COLOR) VERSUS EL TIEMPO

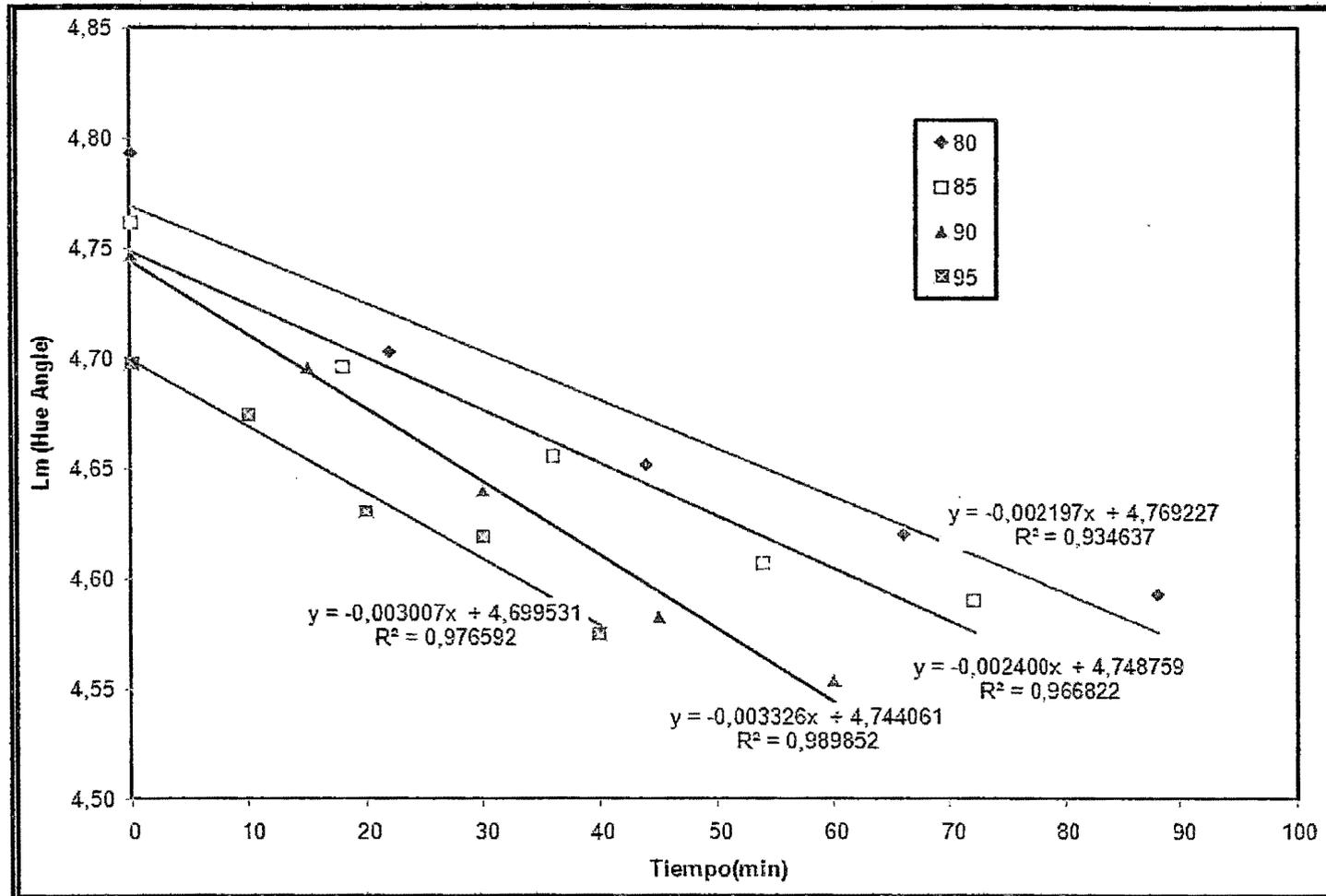
80		85		90		95	
Tiempo (min)	ln (Hue)	Tiempo (min)	ln(Hue)	Tiempo (min)	ln(Hue)	Tiempo (min)	ln(Hue)
0	4,79	0	4,76	0	4,75	0	4,70
22	4,70	18	4,70	15	4,70	10	4,67
44	4,65	36	4,66	30	4,64	20	4,63
66	4,62	54	4,61	45	4,58	30	4,62
88	4,59	72	4,59	60	4,55	40	4,58

Fuente : Elaboración Propia

Donde el **Cuadro N° 7** nos dará como consecuencia el **Gráfico N° 3** el cual se observa la degradación del color para las diferentes temperaturas.

GRÁFICO N° 3

DEGRADACIÓN DEL Ln(ÁNGULO DE COLOR) VS TIEMPO (min)



Fuente : Elaboración Propia

La degradación del color en función del logaritmos neperiano del ángulo del color vs tiempo tiene un comportamiento de primer orden contrastando con lo que mencionan Steet y Tong, (1996)

Las degradaciones de las clorofilas se dan en función a los cambios de los ángulos de color ya que los valores de a^* disminuyen a medida que aumenta el tiempo del tratamiento térmico el daría un comportamiento similar a los que se refiere Migliorisi et al. (2003) con respecto a degradación de clorofila en Puré de pimientos verdes, siguiendo el **Gráfico N° 1** se observa que la mayor degradación de la clorofila se da a 95°C en donde la conversión de clorofila a feofitina fue más significativo.

Respecto al **Cuadro N° 8** se puede mencionar la constante de velocidad aumenta a medida que las temperaturas se incrementan esto se da a mayor temperatura; mayor transferencia de calor y ocurre una mayor degradación de clorofila en los espárragos verde.

Ploteando los resultados del cuadro 8 se determinaron las constantes cinéticas a las diferentes temperaturas de trabajo el cual se realizo por triplicado obteniendo una constante cinética promedio para cada temperatura en donde los resultados sirven como base para plotear el **Gráfico N° 4** en donde se determina la constante cinética a una temperatura de referencia de 84°C, dichos análisis se realizaron por triplicado obteniendo el $k_{ref} = 0,0025 \pm 0,0 \text{ min}^{-1}$ con una energía de activación (E_a) de $10,5 \pm 1,1 \text{ Kcal/mol}$ como se muestra en el **Cuadro N° 9** en donde la E_a se encuentra cercano a los valores de 15 y 22 kcal/mol para las hortalizas y vegetales reportados según Shivhare et al. (2000) en

okra; Steet y Tong (1996) en habas; Canjura et al. (1991) en espinacas, Weemaes et al. (1999)

CUADRO N° 8

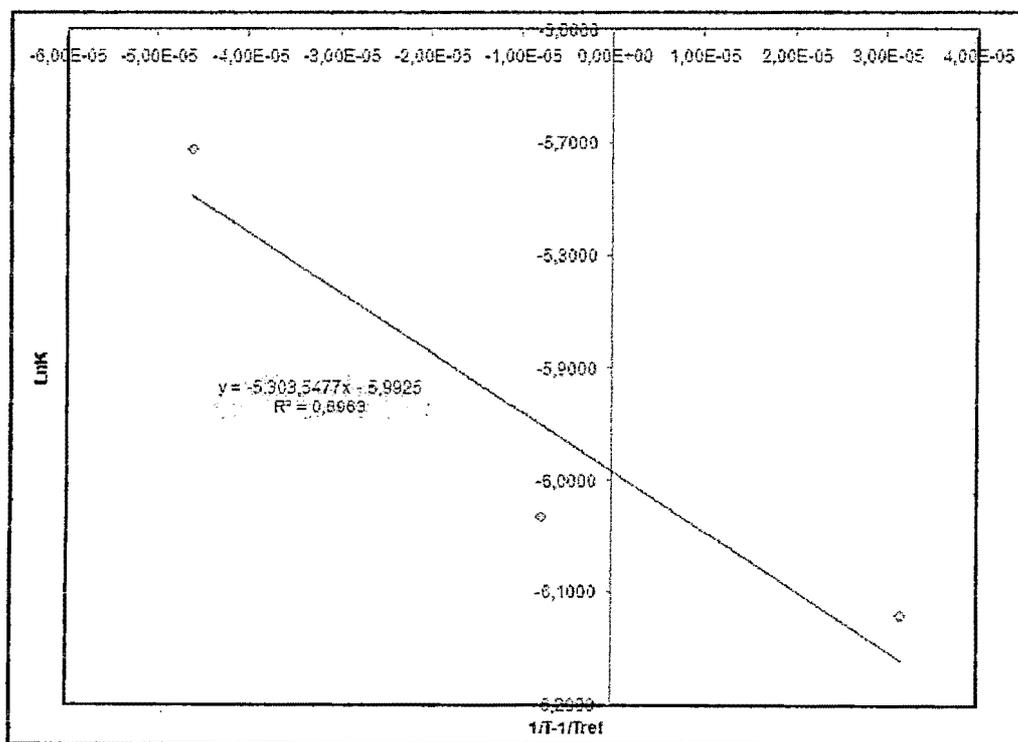
CAMBIOS DE CONSTANTES CINÉTICAS EN FUNCIÓN DEL COLOR A LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA

T (Kelvin)	K _{Prueba 1} (min ⁻¹)	K _{Prueba 2} (min ⁻¹)	K _{Prueba 3} (min ⁻¹)	K _{promedio} (min ⁻¹)
353,15	0,0022	0,0022	0,0022	0,0022 ± 0,0000
358,15	0,0023	0,0025	0,0024	0,0024 ± 0,0001
363,15	0,0035	0,0033	0,0032	0,0033 ± 0,0002
368,15	0,0030	0,0029	0,0031	0,0030 ± 0,0001

Fuente : Elaboración Propia

GRÁFICO N° 4

PLOTEO DEL LnK DEL COLOR vs 1/T



Fuente : Elaboración Propia

CUADRO N° 9

VALORES DE ENERGÍA DE ACTIVACIÓN Y LA CONSTANTE CINÉTICA A TEMPERATURA DE 84°C

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
E_{ac} (Kcal /mol)	11,6	10,6	9,4	10,5 ± 1,1
k_{ref} (min ⁻¹)	0,0025	0,0025	0,0025	0,0025 ± 0,0

Fuente : Elaboración Propia

4.3. CINÉTICA DE LA VARIACIÓN DE LA TEXTURA

Una vez medido el color a los turiones se procede a medir la textura con el medidor de textura como se observa en la **Figura 7**; luego se correlacionaron con la **Ecuación (2)** los diferentes ordenes para cinética del cambio de textura como se observa en el **Cuadro N° 10** y dando como resultado una cinética de primer orden para todos los casos de las temperaturas planteadas en función al r^2 más cercano a uno. Rodrigo et al. (1997) mencionaron que el orden de la cinética de los espárragos es de primer orden lo que contrasta Lau y Tang, (2002) en espárragos pasteurizados en vinagre. Según los autores anteriores se contrasta el orden de la cinética del cambio de textura dando una cinética de primer orden.

CUADRO N° 10**ORDEN DE LA CINÉTICA DE LA TEXTURA EN FUNCIÓN AL r^2 A LAS TEMPERATURAS DE 80, 85, 90 Y 95°C**

T	n=0	n=0.5	n=1	n=2
80	0,9809	0,9696	0,9539	0,9121
85	0,8994	0,9247	0,9461	0,9733
90	0,9266	0,9356	0,9384	0,9245
95	0,8941	0,9307	0,9531	0,9542

Fuente : Elaboración Propia

Los resultados de los tratamientos cinéticos de los cambios de la textura con una cinética de primer orden y las mediciones de los esfuerzos de corte se reportan en los Cuadros N° 11, 12, 13 y 14

CUADRO N° 11

TRATAMIENTO DE DEGRADACIÓN DE TEXTURA A 80°C

Número		Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Área (m ²)	Fuerza (g)	Presión (Pa)	LnP
Temperatura del tratamiento térmico: 80°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 0 min								
1 Corrida	D1	12.36	9.35	0.0000687	4406.00	314441.80	12.66	
	D2	12.00	10.50	0.0000866	5419.00	306661.72	12.63	
	D3	12.00	10.65	0.0000891	5704.00	313761.25	12.66	
Temperatura del tratamiento térmico: 80°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 22 min								
2 Corrida	D1	12.00	9.45	0.0000701	4019	280784.67	12.55	
	D2	12.00	10.10	0.0000801	4508	275714.86	12.53	
	D3	14.00	10.45	0.0000858	4941	282293.76	12.55	
Temperatura del tratamiento térmico: 80°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 44 min								
3 Corrida	D1	14.30	10.00	0.0000785	4002	249687.09	12.43	
	D2	13.00	10.52	0.0000869	4386	247261.30	12.42	
	D3	13.00	10.00	0.0000785	4005	249874.26	12.43	
Temperatura del tratamiento térmico: 80°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 66 min								
4 Corrida	D1	13.00	10.21	0.0000819	3785	226534.01	12.33	
	D2	14.00	10.00	0.0000785	3619	225791.50	12.33	
	D3	14.00	10.50	0.0000866	4082	231000.76	12.35	
Temperatura del tratamiento térmico: 80°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 88 min								
5 Corrida	D1	14.00	11.90	0.0001112	3888	171297.62	12.05	
	D2	14.00	11.00	0.0000950	3459	178354.55	12.09	
	D3	13.00	10.72	0.0000903	3272	177640.80	12.09	

Fuente : Elaboración Propia

CUADRO N° 12

TRATAMIENTO DE DEGRADACIÓN DE TEXTURA A 85°C

Número		Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Área (m ²)	Fuerza (g)	Presión (Pa)	LnP
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C Tiempo del tratamiento térmico: 0 min								
1 Corrida	D1	12.00	10.00	0.0000785	4803.00	299661.94	12.61	
	D2	13.00	11.55	0.0001048	6385.00	298617.97	12.61	
	D3	15.00	12.85	0.0001297	7975.00	301330.74	12.62	
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C Tiempo del tratamiento térmico: 18 min								
Número		Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Área (m ²)	Fuerza (g)	Presión (Pa)	LnP
2 Corrida	D1	14.00	10.90	0.0000933	4253.00	223337.37	12.32	
	D2	14.00	10.00	0.0000785	3621.00	225916.28	12.33	
	D3	15.00	11.56	0.0001050	4907.00	229097.00	12.34	
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C Tiempo del tratamiento térmico: 36 min								
Número		Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Área (m ²)	Fuerza (g)	Presión (Pa)	LnP
3 Corrida	D1	14.00	12.35	0.0001198	3312	135480.07	11.82	
	D2	14.00	10.80	0.0000916	2479	132601.37	11.80	
	D3	15.00	12.35	0.0001198	3310	135398.26	11.82	
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C Tiempo del tratamiento térmico: 54 min								
Número		Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Área (m ²)	Fuerza (g)	Presión (Pa)	LnP
4 Corrida	D1	14.00	12.00	0.0001131	2693	116679.05	11.67	
	D2	12.00	10.65	0.0000891	2145	117990.51	11.68	
	D3	14.00	10.00	0.0000785	1845	115110.62	11.65	
Temperatura del tratamiento térmico: 85°C Tiempo del tratamiento térmico: 72 min								
Número		Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Área (m ²)	Fuerza (g)	Presión (Pa)	LnP
5 Corrida	D1	14.00	11.25	0.0000994	1993	98247.44	11.50	
	D2	14.00	10.85	0.0000925	1893	100325.23	11.52	
	D3	14.90	13.60	0.0001453	2952	99576.66	11.51	

Fuente : Elaboración Propia

CUADRO N° 13
TRATAMIENTO DE DEGRADACIÓN DE TEXTURA A 90°C

Número		Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Área (m ²)	Fuerza (g)	Presión (Pa)	LnP
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C Tiempo del tratamiento térmico: 0 min								
1 Corrida	D1	14.30	11.30	0.0001003	5147.00	251487.43	12.44	
	D2	15.00	12.80	0.0001287	6757.00	257307.82	12.46	
	D3	15.00	12.75	0.0001277	6495.00	249274.47	12.43	
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C Tiempo del tratamiento térmico: 15 min								
2 Corrida	D1	14.00	11.00	0.0000950	4579	236104.51	12.37	
	D2	13.00	11.25	0.0000994	4740	233664.27	12.36	
	D3	15.00	11.80	0.0001094	5262	235779.39	12.37	
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C Tiempo del tratamiento térmico: 30 min								
3 Corrida	D1	13.00	10.66	0.0000892	2545	139730.88	11.85	
	D2	14.00	11.06	0.0000961	2663	135825.06	11.82	
	D3	14.00	10.10	0.0000801	2284	139692.27	11.85	
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C Tiempo del tratamiento térmico: 45 min								
4 Corrida	D1	15.00	13.20	0.0001368	2167	77594.34	11.26	
	D2	15.00	11.32	0.0001006	1630	79362.21	11.28	
	D3	14.00	11.50	0.0001039	1737	81945.13	11.31	
Temperatura del tratamiento térmico: 90°C Tiempo del tratamiento térmico: 60 min								
5 Corrida	D1	14.00	12.00	0.0001131	1650	71489.20	11.18	
	D2	15.00	12.55	0.0001237	1800	71302.39	11.17	
	D3	14.00	11.40	0.0001021	1550	74411.66	11.22	

Fuente : Elaboración Propia

CUADRO N° 14

TRATAMIENTO DE DEGRADACIÓN DE TEXTURA A 95°C

Número		Diámetro del espárrago (mm)		Diámetro de corte del espárrago (mm)	Área (m ²)	Fuerza (g)	Presión (Pa)	LnP
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 0 min								
1 Corrida	D1	13.61	10.15	0.0000809	3904	236426.82	12.37	
	D2	13.00	10.20	0.0000817	3918	234954.14	12.37	
	D3	13.00	10.00	0.0000785	3659	228287.12	12.34	
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 10 min								
2 Corrida	D1	15.30	11.22	0.0000989	2885	142981.26	11.87	
	D2	13.00	11.02	0.0000954	2817	144724.70	11.88	
	D3	15.00	11.65	0.0001066	3069	141079.54	11.86	
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 20 min								
3 Corrida	D1	13.00	9.85	0.0000762	2049	131761.49	11.79	
	D2	15.00	10.56	0.0000876	2384	133382.06	11.80	
	D3	12.00	11.10	0.0000968	2690	136215.12	11.82	
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 30 min								
4 Corrida	D1	14.00	11.00	0.0000950	1622	83634.31	11.33	
	D2	14.00	10.75	0.0000908	1581	85355.98	11.35	
	D3	13.52	10.88	0.0000930	1542	81272.87	11.31	
Temperatura del tratamiento térmico: 95°C								
Tiempo del tratamiento térmico: 40 min								
5 Corrida	D1	14.00	10.88	0.0000930	1363	71838.47	11.18	
	D2	14.00	10.55	0.0000874	1311	73488.06	11.20	
	D3	14.26	11.65	0.0001066	1529	70286.94	11.16	

Fuente : Elaboración Propia

Ordenado y tabulando los valores finales como se observa en el **Cuadro N° 15** se tiene :

CUADRO N° 15

DEGRADACIÓN DEL Ln(ESFUERZO DE CORTE) VERSUS EL TIEMPO

80		85		90		95	
Tiempo(min)	lnP	Tiempo(min)	lnP	Tiempo(min)	lnP	Tiempo(min)	lnP
0	12,649	0	12,611	0	12,440	0	12,360
22	12,541	18	12,329	15	12,368	10	11,870
44	12,425	36	11,809	30	11,838	20	11,804
66	12,336	54	11,666	45	11,285	30	11,331
88	12,077	72	11,507	60	11,190	40	11,182

Fuente : Elaboración Propia

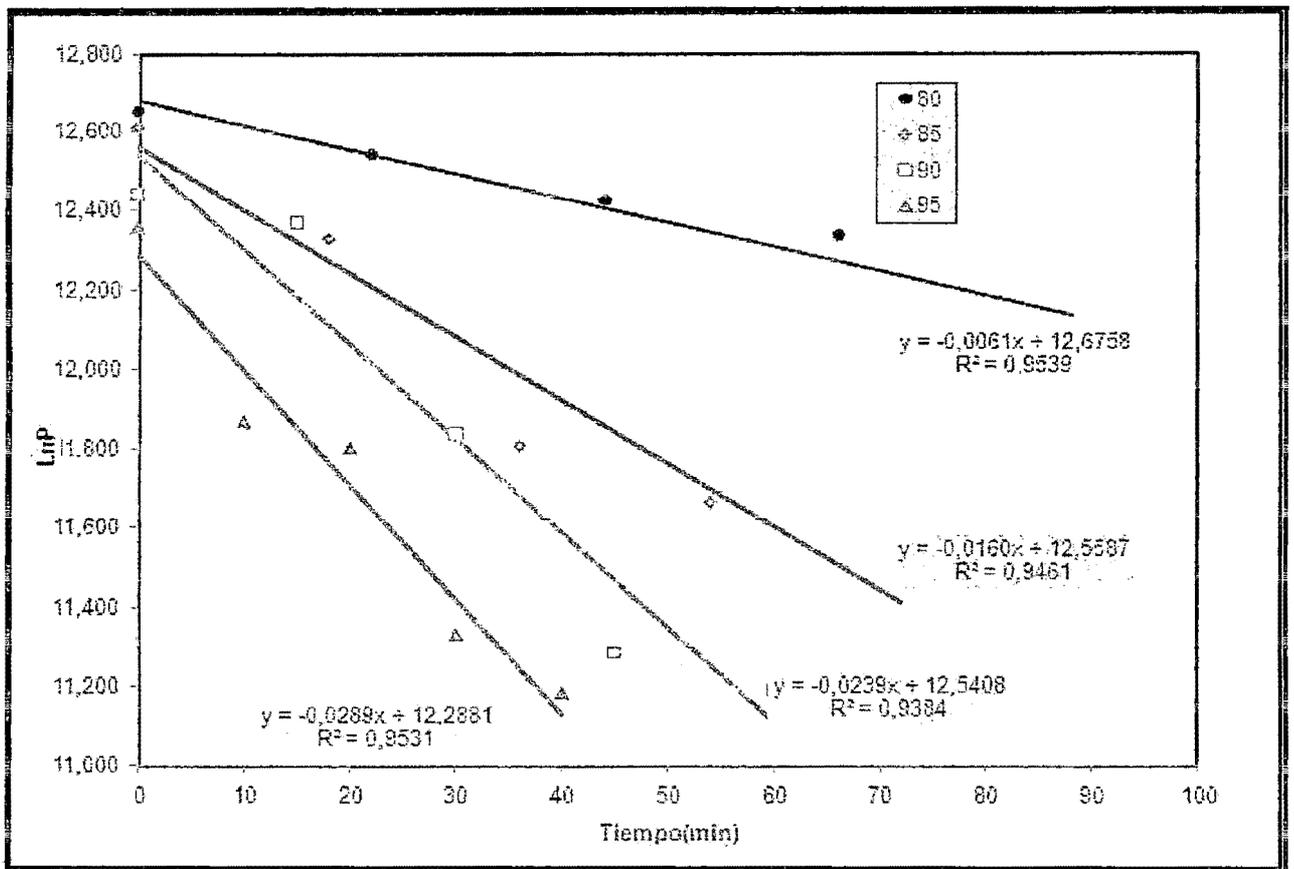
Donde el **Cuadro N° 15** nos dará como consecuencia el **Gráfico N° 5** en el cual se observa la degradación del logaritmo neperiano del esfuerzo de corte versus el tiempo de cocción.

En la **Gráfica N° 5** se ve que el logaritmo neperiano del esfuerzo de corte disminuye en función a las temperaturas de los tratamientos y más aun a tiempos más prolongados, esto nos da un indicio que la textura bajo esos tratamiento de temperaturas a tiempos prolongados va disminuyendo y mantiene una cinética de primer orden el cual se contrasta con lo mencionado por (Lau y Tang, 2000) y (Rodrigo ,1997)

Según Lau y Tang, (2000) reportaron que a medida que el tratamiento térmico es más prolongado la transferencia de calor es más intensa en consecuencia la degradación de textura aumenta lo que nos indica el **Cuadro N° 15** que a mayor temperatura mayor es

la constante cinética, teniendo en cuenta la temperatura de referencia de 84°C según mencionan Sun et al., (2007) para hortalizas pasteurizadas.

GRÁFICO N° 5
DEGRADACIÓN DEL Ln (Esfuerzo de Corte) VS TIEMPO (min)



Fuente: Elaboración Propia

CUADRO N° 16**CAMBIOS DE CONSTANTES CINÉTICAS DE TEXTURA EN FUNCIÓN A LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA**

T (Kelvin)	K _{Prueba 1} (min ⁻¹)	K _{Prueba 2} (min ⁻¹)	K _{Prueba 3} (min ⁻¹)	K _{promedio} (min ⁻¹)
353,15	0,0065	0,0058	0,0061	0,0061 ± 0,0004
358,15	0,0160	0,0157	0,0161	0,0160 ± 0,0003
363,15	0,0242	0,0243	0,0232	0,0239 ± 0,0004
368,15	0,0292	0,0285	0,0291	0,0289 ± 0,0006

Fuente : Elaboración Propia

Analizando el **Cuadro N° 15** se observa a que la constante cinética aumenta a medida que aumenta la temperatura absoluta y ploteando los valores de la inversa de la temperatura absoluta versus el logaritmo neperiano de la constante cinética como se observa en el **Cuadro N° 16** y el **Gráfico N° 6** se obtendrá valores de constante cinética a temperatura de referencia de 84°C y una energía de activación (E_a) que se muestra en el **Cuadro N° 17**

CUADRO N° 16

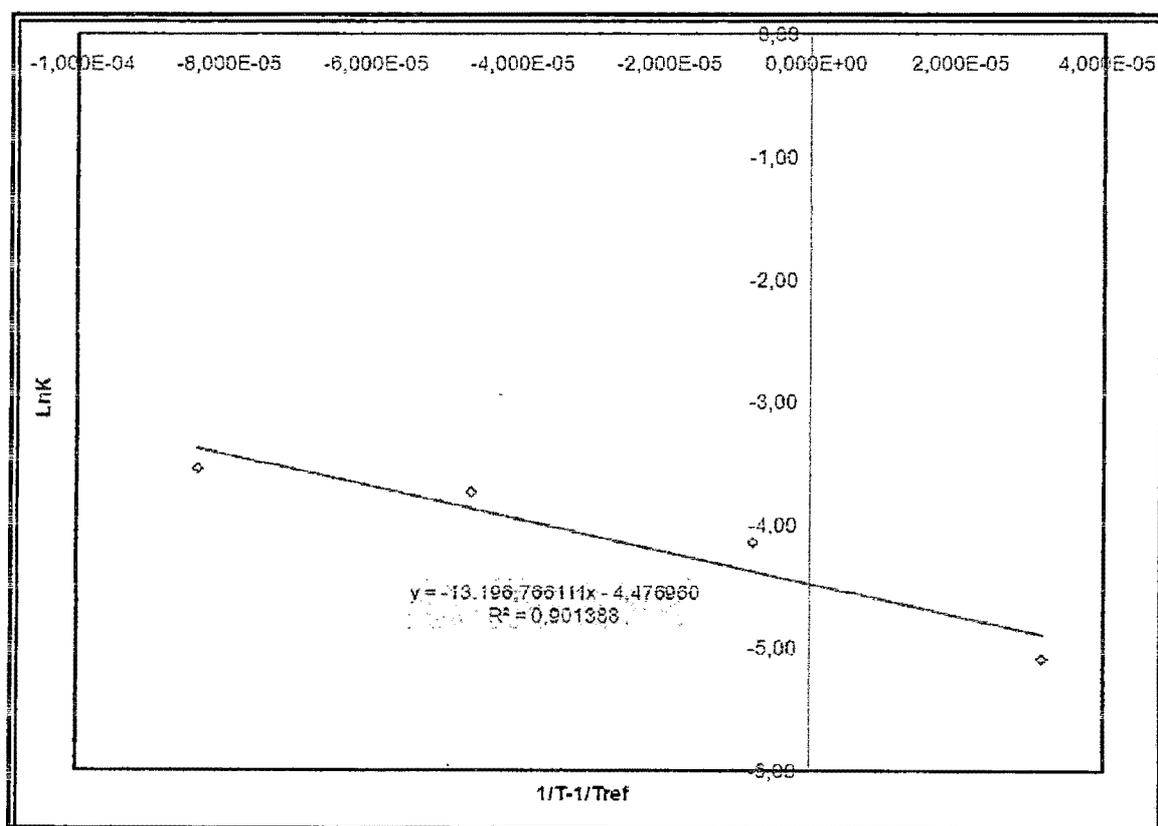
CAMBIOS DE CONSTANTES CINÉTICAS DE TEXTURA EN FUNCIÓN A LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA

T(Kelvin)	1/T-1/Tref (1/K)	k (min-1)	Ln(k (min-1))
353,15	3,171E - 05	0,0061	-5,09
358,15	-7,818E - 06	0,0160	-4,14
363,15	-4,626E - 05	0,0239	-3,73
368,15	-8,366E - 05	0,0289	-3,54

Fuente: Elaboración Propia

GRÁFICO N° 6

PLOTEO DEL LnK DE LA TEXTURA vs 1/T



Fuente: Elaboración Propia

CUADRO N° 17

ENERGÍA DE ACTIVACIÓN Y CONSTANTE DE CINÉTICA DE REFERENCIA CON LAS TRES REPETICIONES

	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Ea (Kcal /mol)	25,5	27,0	26,2	26,2 ± 0,8
$K_{84^{\circ}\text{C}}(\text{min}^{-1})$	0,0117	0,0111	0,0113	0,0114 ± 0,0003

Fuente: Elaboración Propia

Según el **Gráfico N° 6** se calculó la energía de activación con un valor de $26,2 \pm 0,8$ Kcal/mol en promedio sobre las repeticiones con una constante cinética de degradación de textura a una temperatura de referencia de 84°C igual á $0,0114 \pm 0,0003 \text{ min}^{-1}$ en promedio como se observa en el **Cuadro N° 17**

La energía de activación es próximo a los valores de 20,43 Kcal/mol cercano a lo que reportaron por Rodrigo *et al.* (1997) en donde utilizaron la célula de Kramer como medidor de textura y el valor de 23,41 Kcal /mol utilizando como medidor de textura cutting wire, en ambos casos la cinética fue de primer orden. Otros estudios reportaron la cinética de primer orden y una Energía de activación de 24,5 Kcal/mol en espárragos pasteurizados medidos con una analizador de textura TA.XT2 obteniendo una constante cinética de la degradación de textura con una temperatura de referencia de 84°C el valor de $0,0228 \pm 0,0018 \text{ min}^{-1}$ (Lau y Tang, 2002).

Por otro lado los cambios de textura que se representan en el **Gráfico N° 7** donde se observan las fuerzas de cortes, el cual nos representa la dureza de la muestra

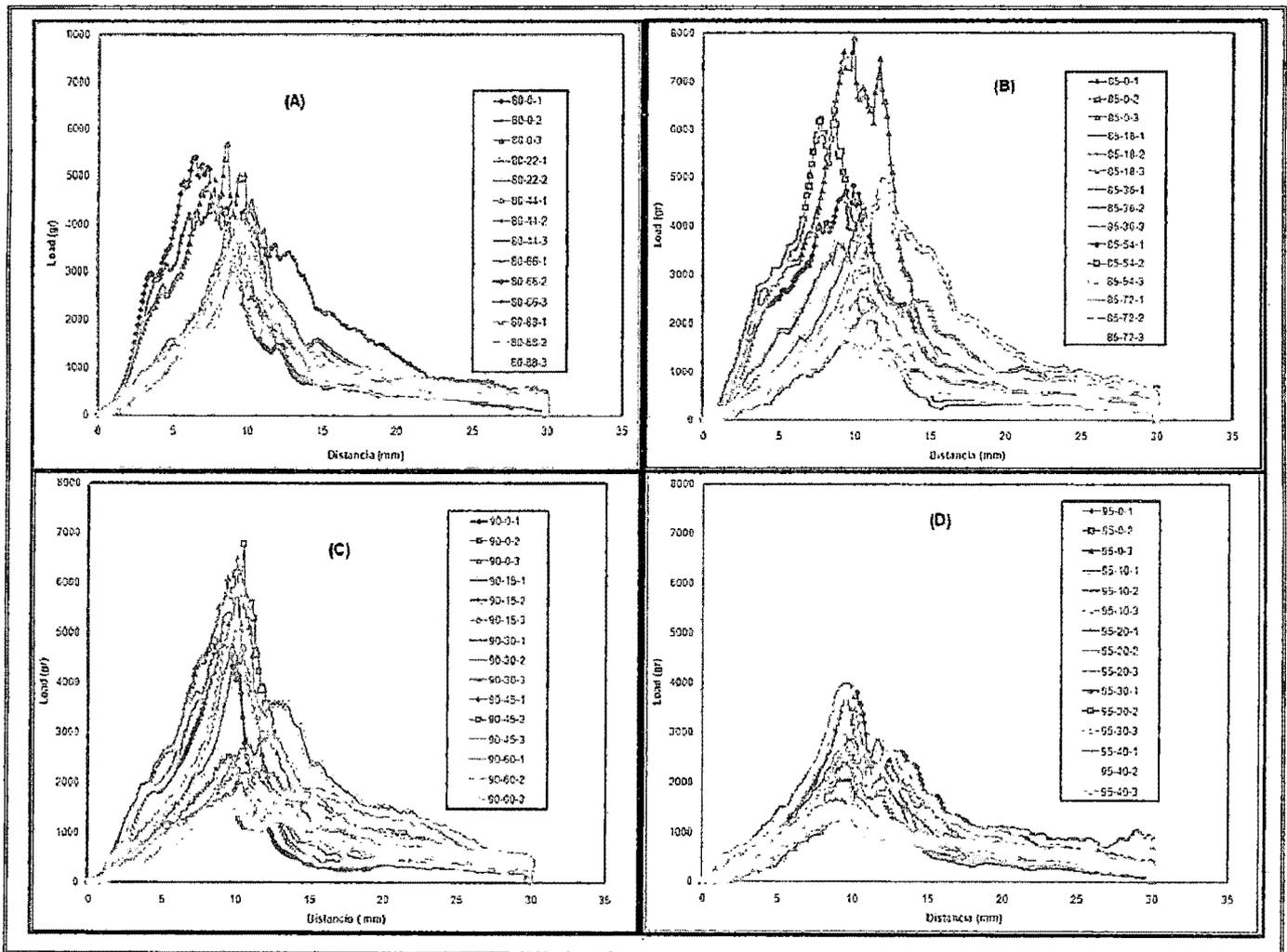
seleccionada con referencia al diámetro donde va a hacer cortado por la cuchilla luego del los tratamiento térmico dados a diferentes temperaturas y tiempos establecidos.

Según Achaerandio y Pujolá, (2007) y Toivonen y Brummell, (2008) mencionan que las degradaciones de textura por acción de los tratamientos térmicos modifican los planos de fractura de las células reduciendo la adhesión intercelular dando como consecuencia separaciones entre célula y célula obteniendo grupos de células separadas lo que hace que se ablande el tejido y tenga una menor resistencia al corte de cizalla. Sila *et al.* (2008) nos hacen referencia que en los vegetales procesados térmicamente se atribuyen cambios en la composición y la estructura de de la pectina lo que hace que el tejido de los vegetales se ablande.

Según Rodrigo *et al.* (1997) mencionan que a degradación de textura es más intensa a medida que el tratamiento térmico es más severo o más prolongada dando como consecuencia deformación en las curvas de corte de cizalla realizadas en el experimento y teniendo como mayor deformación en la curva del **Gráfico 7-d** en un tiempo de 40 min.

GRÁFICO Nº 7

FUERZA DE CORTE DE CIZALLA EN LA PÉRDIDA DE TEXTURA EN EL TEXTURÓMETRO QTS TEXTUREPRO BROOKFIELD A TEMPERATURAS DE 80 °C (A), 85°C (B), 90°C, (C) Y 95°C (C)



Fuente : Elaboración Propia

4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA CINÉTICA DEL COLOR Y DE TEXTURA DE LOS ESPÁRRAGOS VERDES TRATADOS TÉRMICAMENTE

El análisis estadístico indica un modelo de ajuste lineal respecto a las degradaciones del color en las cuatro temperaturas establecidas de la investigación respecto al tiempo de tratamiento térmico como se observan en los **Gráficos N° 8, 9, 10 y 11**

De los análisis de varianzas se observa que las regresiones para las cuatro temperaturas respecto al logaritmo neperiano del ángulo de color versus el tiempo de proceso tienen un $P_{\text{value}} < 0,05$ lo que contrasta la linealidad de las cinéticas según los **Cuadros N° 18, 19, 20 y 21**

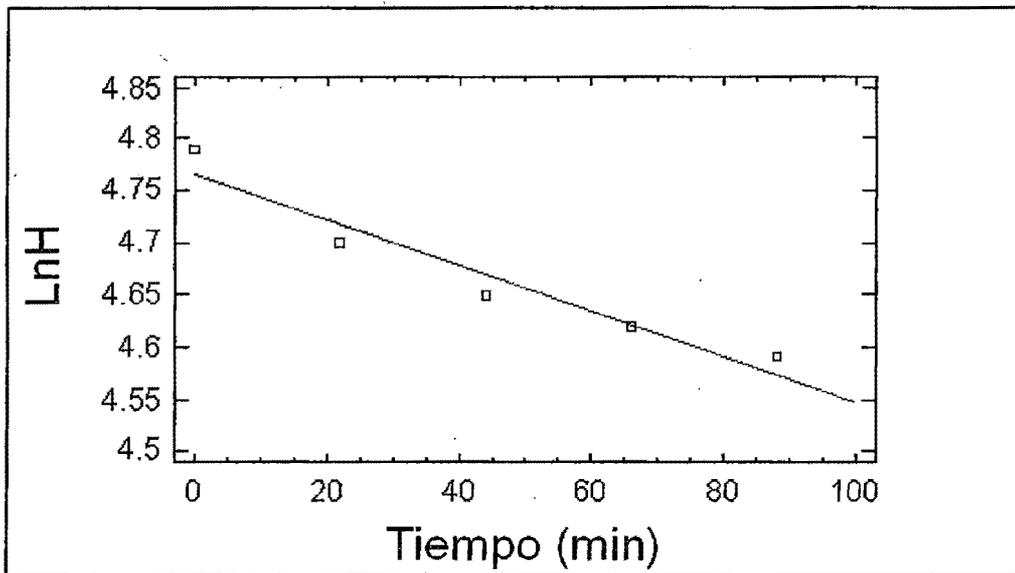
Con respecto al **Gráfico N° 12** y el **Cuadro N° 22** se observa que el $P_{\text{value}} < 0.05$, lo que contrasta la linealidad y la dependencia del logaritmo neperiano de las constantes cinéticas de la degradación del color respecto a la inversa de la temperatura absoluta, en donde el software arroja la siguiente **Ecuación (7)**

$$\text{Ln}k = - 5.9926 - \frac{5303.34}{T} \dots\dots\dots (7)$$

Donde T esta en grados Kelvin y el modelo tienen un ajuste del $R^2 = 89.6253\%$ y existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%.

GRÁFICO N° 8

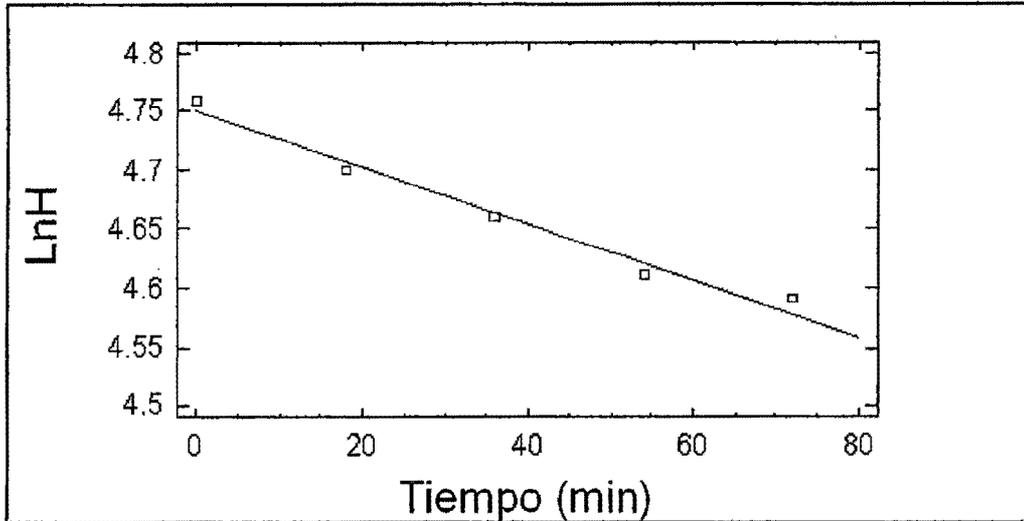
CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DEL COLOR A 80°C



Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

GRÁFICO N° 9

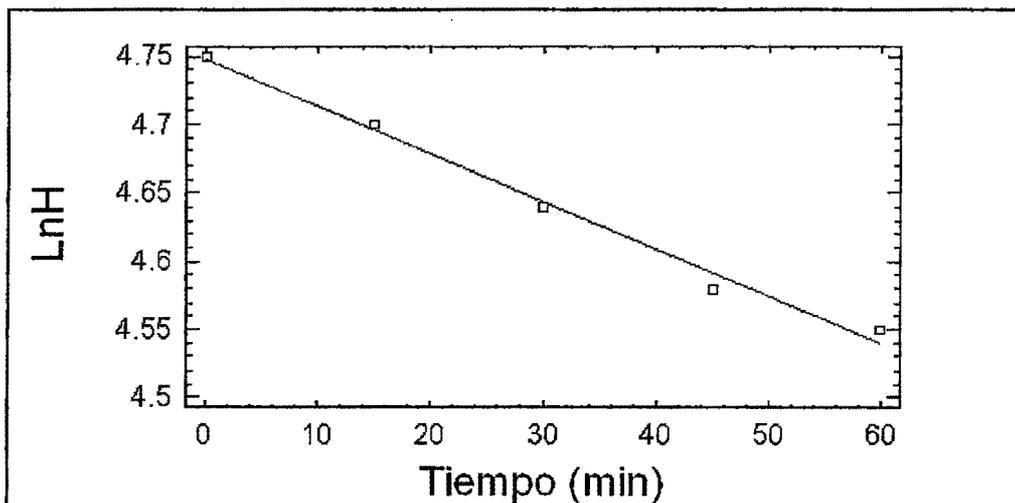
CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DEL COLOR A 85°C



Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

GRÁFICO N° 10

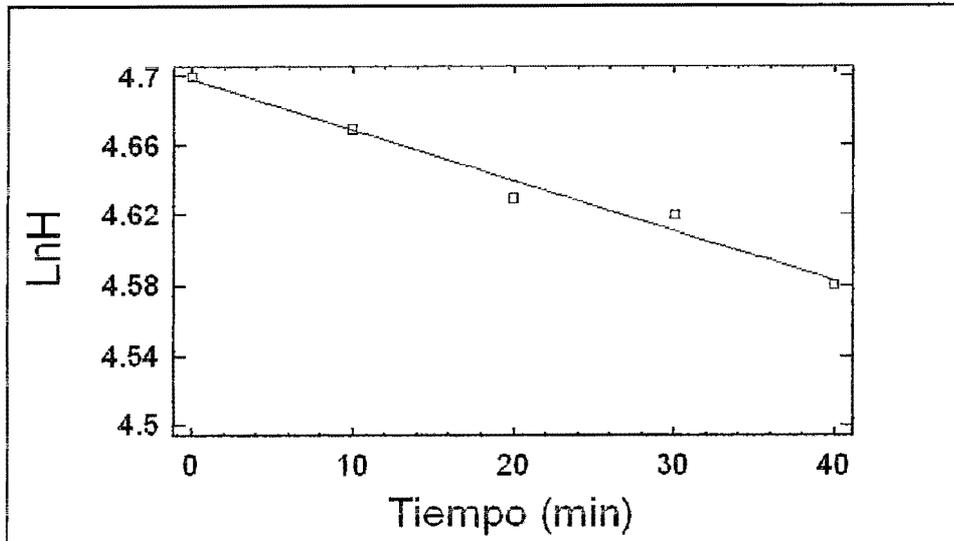
CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DEL COLOR A 90°C



Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

GRÁFICO N° 11

CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DEL COLOR A 95°C



Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO N° 18

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CINÉTICA DE COLOR A 80°C

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0.02304	1	0.02304	44.31	0.0069
Residuo	0.00156	3	0.00052		
Total (Corr.)	0.0246	4			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO N° 19**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CINÉTICA DE COLOR A 85°C**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0.01849	1	0.01849	129.00	0.0015
Residuo	0.00043	3	0.000143333		
Total (Corr.)	0.01892	4			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO N° 20**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CINÉTICA DE COLOR A 90°C**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0.02704	1	0.02704	289.71	0.0004
Residuo	0.00028	3	0.000093333		
Total (Corr.)	0.02732	4			

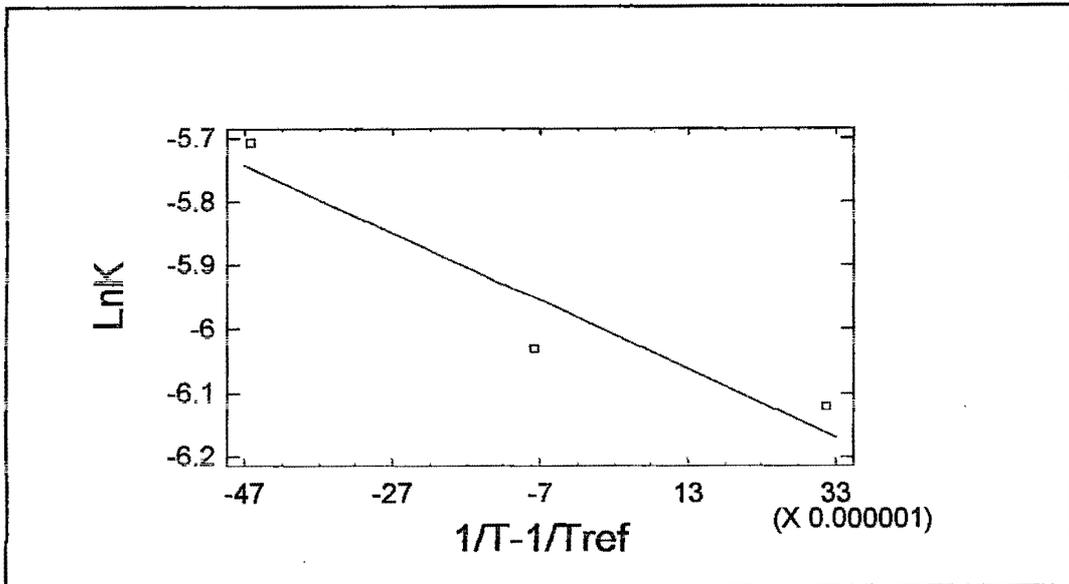
Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO N° 21**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CINÉTICA DE COLOR A 95°C**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0.00841	1	0.00841	132.79	0.0014
Residuo	0.00019	3	0.000063333		
Total (Corr.)	0.0086	4			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

GRÁFICO Nº 12

CONSTANTES CINÉTICAS DEL CAMBIO DE COLOR RESPECTO
A LA INVERSA DE LA TEMPERATURA (K)

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO Nº 22

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS CONSTANTES CINÉTICAS DEL CAMBIO
DEL COLOR RESPECTO A LA INVERSA DE LA TEMPERATURA (K)

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0.0855623	1	0.0855623	18.08	0.0483
Residuo	0.00985852	1	0.00985852		
Total (Corr.)	0.0954208	2			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

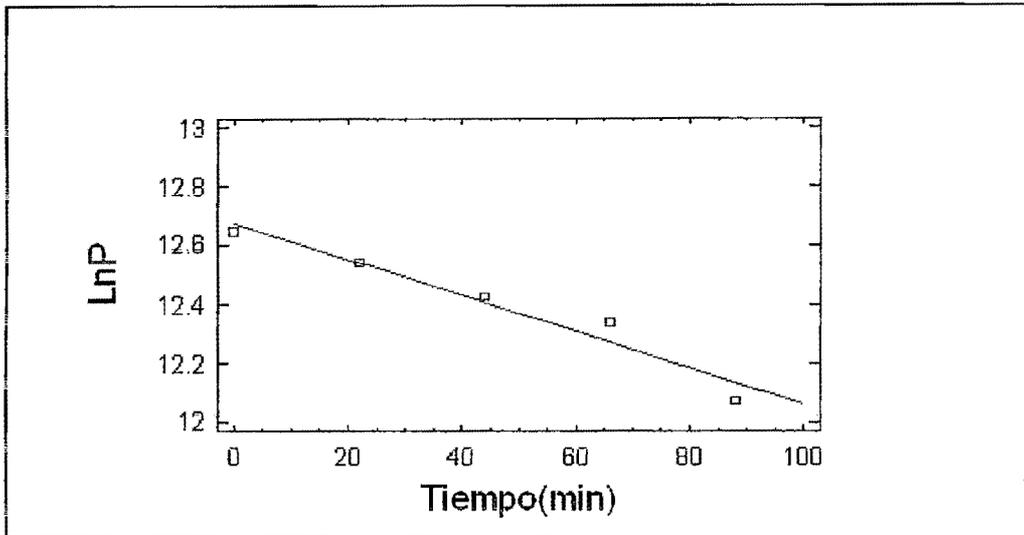
En el caso de los análisis estadísticos respecto a la degradación de la textura, se pueden observar en los **Gráficos N° 13, 14, 15 y 16** que los puntos del logaritmo neperiano de los esfuerzo de corte respecto al tiempo de cocción de los tratamiento térmicos establecidos tiene un $P_{value} < 0,05$ lo cual indica un comportamiento lineal según los **Cuadros N° 23, 24, 25 y 26**, lo que contrasta que existe la suficiente evidencia estadística para aceptar la linealidad.

De manera similar en el **Gráfico N° 17** y el **Cuadro 27** se observa que el P_{value} determinado por el ANVA tiene un valor menor á 0,05, el cual resalta la significancia entre los puntos aportando el conocimiento de una linealidad entre ellos.

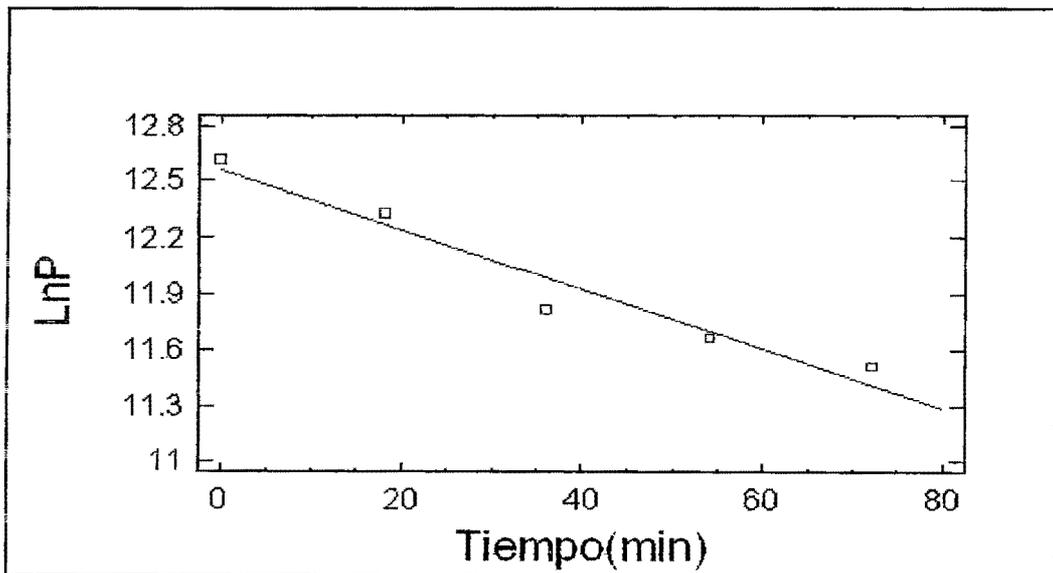
El análisis estadístico de de las constantes cinéticas respecto a la temperatura absoluta (K) arroja un modelo lineal como la **Ecuación (8)**

$$\text{Lnk} = - 4.47518 - \frac{13210.9}{T} \dots\dots\dots (8)$$

Donde T esta en grados Kelvin y el modelo tienen un ajuste del $R^2 = 90,1388\%$ y existe relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 95%.

GRÁFICO N° 13**CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE LA TEXTURA A 80°C**

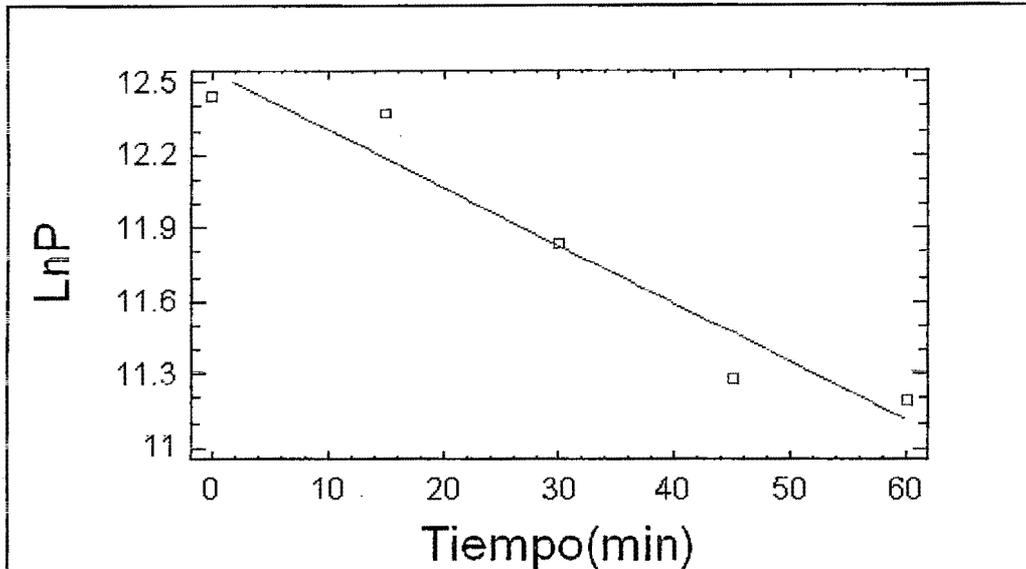
Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

GRÁFICO N° 14**CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE LA TEXTURA A 85°C**

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

GRÁFICO Nº 15

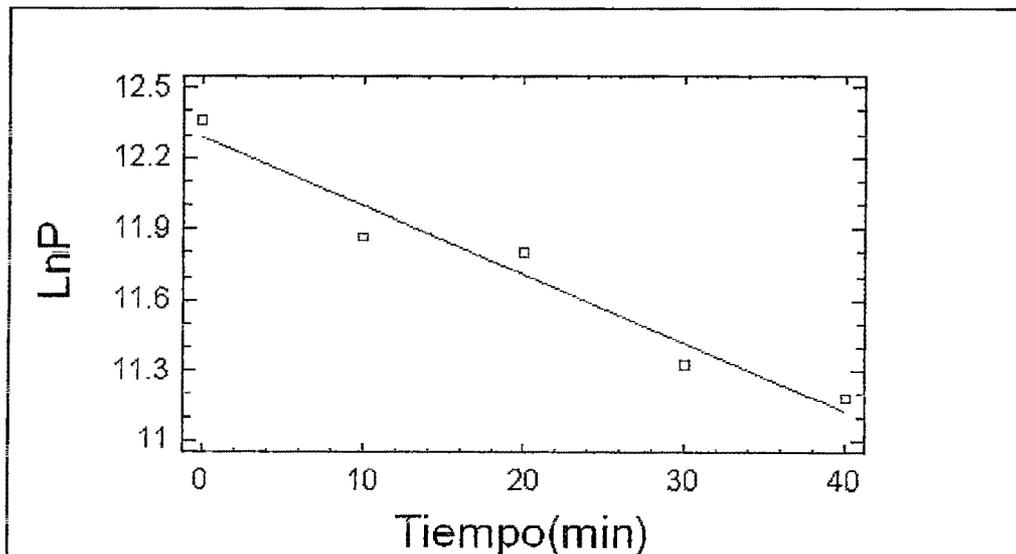
CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE LA TEXTURA A 90°C



Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

GRÁFICO Nº 16

CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE LA TEXTURA A 95°C



Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO Nº 23**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CINÉTICA DE TEXTURA A 80°C**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0.18198	1	0.18198	62.07	0.0043
Residuo	0.0087951	3	0.0029317		
Total (Corr.)	0.190775	4			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO Nº 24**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CINÉTICA DE TEXTURA A 85°C**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0.824264	1	0.824264	52.43	0.0054
Residuo	0.0471671	3	0.0157224		
Total (Corr.)	0.871431	4			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO Nº 25**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CINÉTICA DE TEXTURA A 90°C**

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	1.28379	1	1.28379	45.70	0.0066
Residuo	0.0842759	3	0.028092		
Total (Corr.)	1.36806	4			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO N° 26

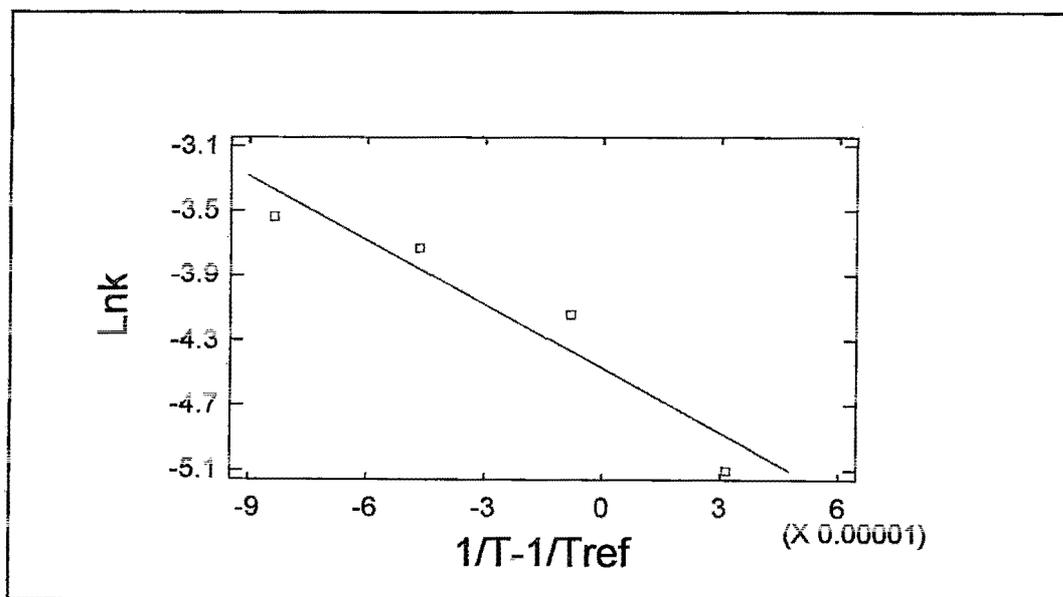
ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA CINÉTICA DE TEXTURA A 95°C

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	0.838102	1	0.838102	60.94	0.0044
Residuo	0.0412567	3	0.0137522		
Total (Corr.)	0.879359	4			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

GRÁFICO N° 17

CONSTANTES CINÉTICAS DEL CAMBIO DE TEXTURA RESPECTO A LA INVERSA DE LA TEMPERATURA (K)



Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

CUADRO N° 27

ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS CONSTANTES CINÉTICAS DEL CAMBIO DE TEXTURA RESPECTO A LA INVERSA DE LA TEMPERATURA (K)

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	1.29066	1	1.29066	18.57	0.0499
Residuo	0.139037	2	0.0695183		
Total (Corr.)	1.4297	3			

Fuente : SOFTWARE STATGRAPHICS VERSIÓN 5.1

Finalmente de acuerdo a los objetivos planteados se proponen los siguientes modelos matemáticos para la cinética de la variación del color y de textura en función de la temperatura el cual se basan en las **Ecuaciones (2), (3) y (4)**

El modelo matemático para la cinética de la variación del color del espárrago verde (*Asparagus Officinalis L.*) en función de la temperatura se da en las **Ecuaciones (9) y (10)** y el modelo matemático para la cinética de la variación de la textura del espárrago verde (*Asparagus officinalis L.*) en función de la temperatura se da en la **Ecuaciones (11) y (12)**

$$k(T) = 0.0025 \times e^{\left[-\frac{10538.1 \frac{\text{Cal}}{\text{mol}}}{1.987 \frac{\text{Cal}}{\text{mol.K}}} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{357.15} \right] \right]} \text{min}^{-1} \quad \dots\dots (9)$$

$$\frac{\partial H}{H} = -0.0025 \times e^{\left(-\frac{10538.1 \frac{\text{Cal}}{\text{mol}}}{1.987 \frac{\text{Cal}}{\text{mol.K}}} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{357.15} \right] \right)} \cdot \partial t \quad \text{..... (10)}$$

$$k(T) = 0.0114 \times e^{\left(-\frac{26222 \frac{\text{Cal}}{\text{mol}}}{1.987 \frac{\text{Cal}}{\text{mol.K}}} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{357.15} \right] \right)} \text{min}^{-1} \quad \text{..... (11)}$$

$$\frac{\partial P}{P} = -0.0114 \times e^{\left(-\frac{26222 \frac{\text{Cal}}{\text{mol}}}{1.987 \frac{\text{Cal}}{\text{mol.K}}} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{357.15} \right] \right)} \cdot \partial t \quad \text{..... (12)}$$

Donde T esta en grados Kelvin y el tiempo (t) en minutos.

V. CONCLUSIONES

- 1) Los valores a^* son negativos ya que existe una degradación de clorofila transformándose en feofitina, en consecuencia los colores cambian de verde a un marrón amarillento.
- 2) Dentro de la investigación se observa que el mayor cambio de los espárragos verdes sobre la textura y el color ocurre a temperaturas de 95°C, teniendo como líquido de cubierta el agua destilada.
- 3) Para la cinética de la variación del color y la cinética de variación de la textura en función a los tiempos de los tratamientos térmicos se establece una cinética de primer orden según los resultados del análisis estadístico.
- 4) Los cálculos de los parámetros cinéticos para la variación del color durante el tratamiento térmico de los espárragos verdes en agua destilada arrojan valores de $E_a = 10,5 \pm 1,1$ kcal/mol y con un $k_{84^\circ\text{C}}$ de $0,0025 \pm 0,000005$ min⁻¹.
- 5) Los cálculos de los parámetros cinéticos para la variación de la textura durante el tratamiento térmico de los espárragos verdes en agua destilada arrojan valores de $E_a = 26,2 \pm 0,8$ kcal/mol y con un $k_{84^\circ\text{C}}$ de $0,0114 \pm 0,0003$ min⁻¹.

- 6) Los resultado obtenidos en las todas las regresiones arrojan valores de $P < 0,05$; lo cual indica que hay suficiente evidencia estadística para que la regresión sea del tipo lineal.

- 7) Los modelos matemáticos establecidos de las cinéticas de la variación del color y de la textura durante los tratamientos térmicos teniendo como líquido de cubierta el agua destilada sirven como base para un estudio mas enfatizado de los tratamientos térmicos de los espárragos en conserva.

VI. RECOMENDACIONES

- 1)** Realizar la calibración correcta de los turiones de los espárragos según la metodología planteada.
- 2)** Antes de efectuar la medición del color del espárrago verde tratado térmicamente se procede a calibrar de manera correcta el colorímetro a usar.
- 3)** Tener en cuenta del tipo de accesorio a utilizar para medir la textura de lo contrario tratar de encontrar accesorios de la misma característica y que tengan igual funcionamiento.
- 4)** Al realizar el corte de los turiones mediante el texturómetro se tienen que calibrar la velocidad de corte ya que a mayor velocidad tendrá menor fuerza de corte y a menor velocidad tendrá mayor fuerza de corte.
- 5)** Si la medición de los turiones fuera diferentes a lo planteado, tener en cuenta que la fibrosidad del turión del espárrago aumenta de la punta hacia el tallo del turión.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- 1) **ACHAERANDIO MARIA I.; CUNILL MONTSERRAT P.** 2007. Estudio del efecto de la temperatura de cocción en la calidad nutricional y la textura en un proceso de V Gama Esterilizado a partir de Judías verde (*Phaseolus vulgaris* var. perona). Facultad de Industria Alimentarias. Escuela superior de agricultura. De Barcelona. Barcelona- España.
- 2) **AOAC.** 1998. Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- 3) **AVANZA, J; COL, J.**1979. Investigaciones sobre la tecnología de la yerba mate, *APRYMA*, (4):182-211
- 4) **ARPADIA M. L.; KADER A. A.** 2008. Espárrago verde. *Rev. Postharvest Technology*.
- 5) **BARTH, M.M.; PERRY, A.K.; SCHMIDT, S.J.; KEIN, B.P.** 1992. Misting Affects Market Quality and Enzyme Activity of Broccoli During Retail Storage. *J. Food Sci.* 47(4): 954-957
- 6) **CANJURA, F.L.; SCHWARTZ, S.J.; NUNES, R.V.** 1991. Degradation Kinetics of Chlorophylls and Chlorophyllides. *Journal of Food Science.* 56, 1639-1643

- 7) **CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. ESPÁRRAGO.** Producción y comercio. Serie Técnica No. 3. Bogotá. 1999. 7 – 9 p.
- 8) **CLAUDE ALAIN R.** Reología y análisis de la textura de los alimentos. Editorial Acribia S. A. Zaragoza España. Primera Edición. 2005. 207 p.
- 9) **FENNEMA, O.** Química de los Alimentos, Editorial Acribia S.A. Edición en Lengua Española. 2000. 967 pp.
- 10) **GARCÍA P.; SEGOVIA, A; BELLO, J.; MARTÍNEZ M.** 2008. Textural properties of potatoes (*Solanum tuberosum* L., cv. Monalisa) as affected by different cooking processes. *Journal of Food Engineering* 88, 28 – 35
- 11) **GROSS, J.** 1991. Pigments in Vegetables. *Journal Food Sci.* 55(6): 1574 – 1578
- 12) **GUEVARA A.** 2005. Procesamiento Agroindustrial del espárrago. Módulo Integrado de Alcachofa y Espárrago. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- 13) **GUPTE, S. M.; ELBISI, H. M.; FRANCIS, F. J.** 1964. Kinetics of thermal degradation of chlorophyll in spinach puree. *Journal of Food Science*, 29, 379 – 382
- 14) **INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA IICA.** 2007. Guía práctica para la exportación de espárragos a EE.UU. Colombia.

- 15) **MANRESA G.; VICENTE I.** 2007. El color en la industria de los alimentos. Editorial Universitaria. Ciudad de La Habana. Cuba. 74 pp.
- 16) **MARTENS M., SCHEERLINK N., BELIE N., BAERDEMAEKER J.** 2001. Numerical model for the combined simulation of heat transfer and enzyme inactivation kinetics in cylindrical vegetables. *Journal of Food Engineering*, 47: 185 – 193
- 17) **MIGLIORISI L. S.; MONTIEL G. M.; SGROPPO S. C.; AVANZA J. R.** 2003. Degradación Térmica de clorofila en puré de pimientos verdes. Cátedra de Bromatología. Laboratorio de Tecnología Química. FACENA. UNNE. Argentina.
- 18) **MONTIEL, G.M.; AVANZA, J.R.** 1996. Estabilidad del color en yerba mate elaborada – Reunión de comunicaciones Científicas y Tecnológicas- Actas- Tomo IV- Ciencias Exactas y Tecnológicas (7) :121 – 124
- 19) **LAU M.H.; TANG J.** 2002. Pasteurization of pickled asparagus using 915 MHz microwaves”. *Journal of Food Engineering*, 51: 283 – 290
- 20) **LITTLE, A. C.** 1975. Off on a tangent – colorimetry in food science. *Journal of Food Science*, 40, 410 – 411
- 21) **RIZVI A. F; TONG C. H.** 1997. Fractional Conversion for Determination Texture Degradation Kinetics of Vegetables. *Journal Food Science*, 62 (1): 1 – 7

- 22) **RODRIGO C.; MATEU A.; ALVARRUIZ A.; CHINESTA F.; RODRIGO M.** 1998. Kinetics Parameters for thermal degradation of green asparagus texture by unsteady – state method. *Journal of Food Science*, 63: 126 – 129
- 23) **PORTAL AGRARIO** .2007. Espárrago Comercio mundial. Disponible en: <http://www.portalagrario.gob.pe>. Accesado 3 – 06 – 2008
- 24) **RODRIGO C.; RODRIGO M.; FISZMAN S.; SANCHEZ T.**1997. “Thermal degradation of green asparagus texture. *Journal of Food Protection*, 60: 315 – 320
- 25) **ROSENTHAL A. J.; BTECH A.** Textura de los Alimentos Medida y percepción. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza España. Primera Edición. 2001. 293 p.
- 26) **SILA DANIEL N. ; DUVETTER THOMAS ; ROECK ANS DE ; VERLENT ISABEL; SMOUT CHANTAL; MOATES GRAHAM K.; HILLS BRIAN P.; WALDRON KEITH K.; HENDRICKX MARC; LOEY ANN VAN.** 2008. Texture changes of processed fruits and vegetables: potential use of high – pressure processing. *Trends in Food Science & Technology* 19; 309 – 319
- 27) **SHIVHARE, U.S.; GUPTA, A.; BAWA, A.S.; AND GUPTA, P.** 2000. Drying Characteristics and Product Quality of Okra. *Drying Technology*. 18(1): 409 – 419

- 28) **SCHMALKO, M.E.; ALZAMORA, S.M.** 2000. Color, Chlorophyll, Caffeine, and Water Content Variation During Yerba Maté Processing. *Drying Technology*, 19(3&4): 599 – 610
- 29) **STEET, J.A.; TONG; C.H.** 1996. Degradation Kinetics of Green Color and Chlorophylls in Peas by Colorimetry and HPLC. *J. Food Sci.* 61(5): 924 – 927
- 30) **SUN T., TANG J.; POWERS J. R.** 2007. Antioxidant activity and quality of asparagus affected by microwave – circulated water combination and conventional sterilization”. *Food Chemistry*, 100: 813 – 819
- 31) **TAN C.T.; FRANCIS F.J.** 1962. Effect of processing temperature on pigments and color of spinach. *J Food Sci* 27(9): 232 – 241
- 32) **TARAZONA G.** 2005. Valor Nutricional del Esparrago y alcachofa. Módulo Integrado de Alcachofa y Esparrago. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- 33) **VELEZMORO C.** 2002 Copias del Curso de Tratamiento Térmico. Maestría en Tecnología de Alimentos. UNALM. Lima Perú.
- 34) **WEEMAES, C.A.; OOMS, V.; VAN LOEY, A.M; HENDRICKX, M.E.**1999. Kinetics of Chlorophyll Degradation and Color Loss in Heated Broccoli Juice. *J. Agric. Food Chem.*, 47: 2404 – 2409

VIII ANEXOS

ANEXO 1

REGRESIÓN SIMPLE

El análisis de regresión lineal simple trata el problema de predecir o estimar una variable llamada respuesta, a partir de otra variable llamada predictora o explicativa. El modelo poblacional de regresión lineal simple es el siguiente :

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i$$

Donde Y_i es la variable dependiente, X_i es la variable independiente; α y β son parámetros desconocidos llamados coeficientes de regresión y ε_i son los errores del modelo independiente y normalmente con media cero y varianza σ^2 , esto es $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

Estimación del modelo

Dada una muestra de n observaciones binarias (X, Y) , el modelo estimado es el siguiente:

$$Y_i = a + bX_i + e_i \quad i = 1 \dots n$$

Donde a es el estimador de α y b es el estimador de β .

Los parámetros del modelo son estimados por el método de mínimos cuadrados. Este método permite obtener los valores estimados de α y β de modo que la suma de los errores al cuadrado sea mínimo; es decir de lo que se trata es calcular a y b de modo que minimice la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a - bX_i)^2$$

Análisis de Variancia

El análisis de variancia permite evaluar si el modelo es o no significativo (si X explica o no a Y).

Hipótesis:

$H_0: \beta = 0$

$H_1: \beta \neq 0$

Cuadro de Análisis de Variancia (Cuadro ANVA):

Las hipótesis anteriores son evaluadas a través del análisis de la variancia de Y . Dado el modelo $Y_i = a + bX_i + e_i$, la variancia de Y es explicada por la regresión (bX_i) y por el error (e_i). El término a no participa del análisis ya que es una constante.

El cuadro de análisis de variancia es el siguiente:

Fuentes de variación	gl	SC	CM	F_c
Regresión	1	$b \text{ SP}(XY)$	$\frac{\text{SC(Reg)}}{\text{gl(Reg)}}$	$\frac{\text{CM(Reg)}}{\text{CM(Error)}}$
Error	$n - 2$	$\text{SC}(Y) - b \text{ SP}(XY)$	$\frac{\text{SC(Error)}}{\text{gl(Error)}}$	
Total	$n - 1$	$\text{SC}(Y)$		

Estadístico de Prueba:

$$F_c = \frac{\text{CM(Reg)}}{\text{CM(Error)}} \sim F_{(1, n-2)}$$

Regla de Decisión:

La hipótesis nula se rechaza con un nivel de significación α si el F_c resulta mayor que el valor de tabla $F_{(\alpha, 1, n-2)}$.

Coefficiente de Correlación y de Determinación

El coeficiente de determinación mide el porcentaje de la variabilidad de la respuesta que es explicado por la variable predictora. Su valor va de 0 a 1 y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$r^2 = \frac{\text{SC(Regresión)}}{\text{SC(Total)}}$$

El coeficiente de correlación es una medida de la asociación existente entre dos variables cuantitativas. Este coeficiente toma valores desde -1 hasta 1 . Para interpretar un coeficiente de correlación tenga en cuenta lo siguiente:

- Un valor de -1 significa una perfecta correlación negativa, es decir, todos los puntos caen sobre una línea con pendiente negativa.
- Un valor de 0 significa no correlación.
- Un valor de 1 significa una perfecta correlación positiva, es decir, todos los puntos caen sobre una línea con pendiente positiva.

El coeficiente de correlación es la raíz cuadrada del coeficiente de determinación con el signo de b (pendiente estimada).