ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Efecto de las Condiciones de Almacenamiento en el Tiempo de Vida Útil de Productos de Consumo Masivos de Baja Humedad Empacados en Películas Plásticas"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

Vivian Desiree Álvarez Álvarez

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2006

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

A la M.Sc. Fabiola Cornejo, Directora de Tesis, por su invaluable ayuda y guía en el desarrollo de la Tesis, a mis Padres por su amor y paciencia y, a todos las personas que de uno u otro modo colaboraron en la finalización de este trabajo.

D E D I C A T O R I A

A Dios primeramente por darme la vida y contar con su ayuda cada mañana. A mis Padres por su amor, dedicación y paciencia.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DE TESIS

Ing. Andrés Rigaíl C.
VOCAL

MAE. Mariela Reyes.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio de la misma a la **ESCUELA SUPERIOR POLITËCNICA DEL LITORAL**"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

Vivian Desiree Álvarez Álvarez

RESUMEN

Nuestro país tiene una diversidad climática que favorece a la agricultura y desarrollo de cultivos para la subsistencia económica de la comunidad. Sin embargo esta variedad climática afecta de diversas maneras las condiciones de almacenamiento, empaquetamiento y estabilidad de algunos productos alimenticios debido a la acción de la humedad relativa del ambiente sobre el empaque.

En la actualidad, muchas empresas venden sus productos sin realizar un estudio sobre como predecir el tiempo de vida útil del producto con respecto al uso de empaques plásticos en diferentes condiciones ambientales. Y la importancia de involucrar al Industrial del área de Alimentos y de Plásticos en la habilidad de realizar estos estudios.

El presente trabajo se basa en estudiar el **Efecto de las Condiciones de Almacenamiento en el Tiempo de Vida Útil de Productos de Consumo Masivos de Baja Humedad Empacados en Películas Plásticas.**

Los productos elegidos fueron Fideos, Harina (Colada Multivítaminica) y Condimentos (Caldo Soluble de Gallina), por las siguientes razones: son alimentos que tienen un bajo contenido de humedad y se ven altamente afectados por un exceso de humedad que puede presentarse en las condiciones de almacenamiento o distribución. Adicionalmente, estos productos son de consumo masivo por su asequibilidad de precio en el

mercado. Por ejemplo, en el caso de los Fideos, su textura y crujencia se ven afectados.

En este estudio, se determinará cual es el comportamiento de los productos al ganar humedad en condiciones ambientales de Guayaquil y Quito; para el efecto, se determinaran Isotermas de Absorción a dos condiciones de Humedad Relativa y Temperatura.

Se expondrán los resultados de los experimentos realizados; cuantificando la Humedad Crítica en donde los productos pierden sus características organolépticas como color, olor, textura y crujencia.

Esta Humedad Crítica se determinara mediante una Evaluación Sensorial, análisis microbiológicos y análisis físico-químicos. Adicionalmente se determinará la Humedad de Equilibrio en las dos condiciones ambientales.

Conjuntamente, se analizará la relación que tienen los empaques con los productos con respecto a la transmisión de vapor de agua máxima que puede soportar un producto durante el almacenamiento y distribución. Se cuantificará el tiempo de vida útil de los productos con diferentes barreras de empaque, sencillos de una sola lámina como polietileno, polipropileno o empaques multicapas como laminados.

Por lo tanto, se realizaran pruebas en base a un Diseño de experimentos con diferentes tipos de empaque plásticos que contengan los productos. Estos serán sometidos a la Humedad relativa de Guayaquil (80% HR) y a condiciones extremas de almacenamiento (97-100% HR). Se considerará el

efecto de la mala manipulación del empaque a condiciones extremas en la "vida útil" del producto.

Y finalmente se podrán establecer conclusiones y recomendaciones con respecto al tipo de empaque que se puede utilizar para beneficiar el tiempo de vida útil en percha del producto a diferentes condiciones ambientales.

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN……..II

INDICE GENERAL……....V

ABREVIATURAS……..IX

INDICE DE FIGURAS……...X

INDICE DE TABLAS……XI

INTRODUCCION……...1

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES Y DEFINICIONES……4

1.1 Fideos……...4

1.1.1 Defectos por el exceso de humedad en las Pastas Alimenticias……7

1.2 Tapioca (Colada Shake)……8

1.2.1 Estructura……..8

1.2.2 Defectos por el exceso de humedad en la Colada……..10

1.3 Ranchero (Caldo soluble de Gallina)……10

1.3.1 Defectos por el exceso de humedad en Rancheros……11

1.4 Relación del agua en los Alimentos……..12

1.4.1 Humedad Relativa……14

1.4.2 Actividad de Agua……..14

1.4.3 Isoterma de Adsorción……17

1.5 Empaques……22

1.5.1 Permeabilidad en Empaques……...25

1.5.2 Medición de la Velocidad de Transmisión del Vapor de Agua……26

1.5.3 Tipos de empaques usados en la Industria Alimenticia…..28

CAPITULO 2

2. MATERIALES Y METODOS……..32

2.1 Materiales……32

2.1.1 Materias Primas……32

2.1.2 Películas Plásticas……33

2.2 Métodos……35

2.2.1 Determinación de Humedad Inicial……36

2.2.2 Determinación de Isotermas de Absorción……37

2.2.3 Determinación de Humedad Crítica……42

2.2.3.1 Evaluación Sensorial……..43

2.2.3.2 Análisis Microbiológico……...44

2.2.4 Elaboración de Empaques de Prueba……45

2.2.4.1 Determinación de la relación Volumen producto versus Empaque……46

2.2.4.2 Determinación de Permeabilidad del empaque a la transmisión de vapor de agua máximo permitido……47

2.2.4.3 Determinación de Tiempo de Vida útil……50

CAPITULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS ……52

3.1 Isotermas de Absorción a 2 diferentes Temperaturas……52

- Fideo……..53
- Harina (Colada)……55
- Condimento (Caldo de Gallina)…….....56

3.2 Determinación de Humedad Crítica……59

3.2.1 Evaluación Sensorial……..59

3.2.2 Análisis Microbiológicos…….67

3.2.3 Pruebas Físico-Químicas……..71

3.2.3.1 Texturización del Fideo……71

3.2.3.2 Gelatinización de los Almidones de la Tapioca……72

3.2.3.3 Ganancia de Peso del Ranchero……76

3.3 Análisis de Películas Plásticas……..77

3.3.1 Permeabilidad de Humedad del Ambiente hacia los Empaques plásticos…….77

3.3.2 Obtención de Gamma Crítico……85

3.3.3 Efecto de manipulación del Empaque plástico……...86

3.3.4 Predicción del Tiempo de Vida Útil de los Productos Alimenticios…….91

3.3.4.1 Fideos…….91

3.3.4.2 Tapioca……...93

3.3.4.3 Rancheros……..94

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMEndaciones ……96

APÉNDICES

BIBLIOGRAFIA

ABREVIATURAS

Aw o a_w	Actividad de Agua.
P	Presión de agua del alimento a una temperatura t.
p_o	Presión de agua pura a una temperatura t.
PCA	Plate count Agar.
PDA	Potato Dextrosa Agar.
Ufc/g	Unidades formadoras de colonias por gramo de alimento.
HR	Humedad Relativa
Θc	Tiempo Crítico de Vida Útil.
Ln p_c	Tendencia de Permeabilidad a una humedad crítica

SIMBOLOGÍA

A	Área
Θc	Tiempo crítico de vida útil.
P_c	Tendencia crítica de permeabilidad del empaque.
$\Delta W/\Delta\theta$	Cantidad de vapor que pasa a través del empaque.

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Cortes de un extrusor de un solo tornillo……6
Figura 1.2 Efecto de la aw sobre algunos procesos de degradación de un alimento……..16
Figura 1.3 Isoterma de Absorción……19
Figura 3.1 Isoterma de Absorción de Humedad para Fideos en Condiciones Ambientales de Guayaquil y Quito……53
Figura 3.2 Isoterma de Absorción de Humedad para Colada Condiciones Ambientales de Guayaquil y Quito……55
Figura 3.3 Isoterma de Absorción de Humedad para el Caldo Condiciones Ambientales de Guayaquil y Quito……57
Figura 3.4 Superficie de absorción del agua sobre un material Cristalino……...58
Figura 3.5 Gelatinización y retro-degradación de los almidones presentes en la colada “tapioca”……73
Figura 3.6 Retro-degradación en la gelatinización de los almidones en la muestra D……..75
Figura 3.7 Comportamiento de empaques de prueba para Fideos en condiciones ambientales de Guayaquil……..78
Figura 3.8 Comportamiento de empaques de prueba para Fideos en condiciones ambientales extremas……79
Figura 3.9 Comportamiento de empaques de prueba para Tapioca en Guayaquil……81
Figura 3.10 Comportamiento de empaques de prueba para Tapioca en Condiciones extremas……...82
Figura 3.11 Comportamiento de los empaques de prueba para el caldo soluble de gallina en Guayaquil……..83
Figura 3.12 Comportamiento de Empaques de Prueba para caldo soluble de gallina en condiciones extremas…….84
Figura 3.13 Comportamiento de empaques de prueba manipulados Para fideos en condiciones extremas (100%, 32ºC)…….88
Figura 3.14 Comportamiento de empaques de prueba manipulados Para Tapioca en condiciones extremas……..89
Figura 3.15 Comportamiento de empaques de prueba manipulados para caldo soluble en condiciones extremas ……90

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Composición de películas plásticas para Fideo……30
Tabla 2 Composición de películas plásticas para Tapioca……30
Tabla 3 Composición de películas plásticas para Rancheros……...31
Tabla 4 Actividades de agua de Sales usadas en el Método Isopiesto……....38
Tabla 5 Concentración Final de Agua en Guayaquil y Quito para Fideos……..….40
Tabla 6 Concentración Final de Agua en Guayaquil y Quito para Colada "Tapioca"……..……...41
Tabla 7 Concentración Final de Agua en Guayaquil y Quito en caldo soluble de gallina……..…...41
Tabla 8 Monocapa de humedad (g/100 gramos de humedad en base seca)…….….54
Tabla 9 Contenidos d e humedad para las pruebas de determinación de la Humedad Crítica para Fideos. ……...59
Tabla 10 Sumatoria y promedio de las apreciaciones de los panelistas para los fideos……...60
Tabla 11 Resultado de la Evaluación sensorial para el fideo……61
Tabla 12 Contenidos de humedad para las pruebas de determinación de la Humedad Crítica para tapioca……...62
Tabla 13 Sumatoria y promedio de las apreciaciones de los panelistas para la tapioca……...63
Tabla 14 Resultados de la evaluación sensorial para la tapioca……...63
Tabla 15 Contenidos de humedad para las pruebas de determinación de Humedad Crítica para el caldo soluble……..65
Tabla 16 Sumatoria y promedio de las apreciaciones de los panelistas para el caldo soluble de gallina……..66
Tabla 17 Resultados de la evaluación sensorial para el Caldo Soluble de Gallina……66
Tabla 18 Crecimiento de aerobios en los diferentes contenidos de humedad del fideo……...67
Tabla 19 Crecimiento de aerobios en los contenidos de humedad para la Tapioca……..……..68
Tabla 20 Crecimiento de Aerobios para Caldo Soluble de Gallina……...69
Tabla 21 Análisis microbiológico para el caldo soluble de gallina con su contenido de agua original……...69
Tabla 22 Resultado microbiológico con respecto a mohos y levaduras en el Caldo soluble de gallina……..…70
Tabla 23 Análisis de mohos y levaduras al contenido de humedad original en el Caldo Soluble de Gallina……70

Tabla 24 Características presentadas en la cocción de las diferentes muestras de Fideos……71
Tabla 25 Afectaciones físicos - químicas de la Tapioca……72
Tabla 26 Ganancia de peso del Caldo soluble de gallina……76
Tabla 27 Contenido de Humedad de los productos (g/100 g Contenido de humedad en Base seca)……...85
Tabla 28 Gamma Crítico……86
Tabla 29 Razón de permeabilidad de vapor de agua para empaques de prueba para fideos (g H_2O/ m^2 día mm Hg)……92
Tabla 30 Tiempo de Vida útil del fideo……92
Tabla 31 Razón de permeabilidad de vapor de agua para empaques propuestos para tapioca (g H_2O/ m^2 día mm Hg)……93
Tabla 32 Tiempo de vida útil para Tapioca……93
Tabla 33 Razón de permeabilidad de vapor de agua para empaques propuestos para caldo soluble de gallina (g H_2O/ m^2 día mm Hg)……94
Tabla 34 Tiempo de vida útil del caldo soluble de gallina……94

INTRODUCCION

La tecnología de empacado se ha introducido en el mundo moderno, produciendo un avance positivo en la higiene y almacenamiento de los alimentos.

El presente trabajo trata sobre el Efecto de las Condiciones de Almacenamiento en el Tiempo de Vida Útil de Productos de Consumo Masivos de Baja Humedad Empacados en Películas Plásticas.

Los objetivos principales de este estudio son: Primero, determinar la máxima humedad permitida en el cual el producto pierde parte de sus características organolépticas haciéndolo inaceptable al gusto del consumidor. Segundo, analizar las permeabilidades de vapor de agua en empaque plásticos. Estos empaques serán sometidos a dos condiciones ambientales distintas (80 y 100%HR) en conjunto con los productos (Fideos, Tapioca y Caldo Soluble de Gallina) a la misma temperatura.

En la actualidad, la Industria de Plásticos no realiza un estudio en conjunto con la Industria de Alimentos con respecto a elaborar un empaque en el cual se pre-defina el tiempo de vida útil según las condiciones ambientales de distribución. De esta manera la interrogante existe referente a la reducción del tiempo de vida útil que sufre el producto por la cantidad de humedad o vapor de agua absorbido del ambiente hacia el empaque plástico. Así mismo, es importante determinar el efecto que se produce cuando el material de empaque ha tenido una previa manipulación.

Para realizar éste estudio se determino el contenido de humedad inicial de los productos y se procede a la construcción de Isotermas de absorción aplicando el Método Isopiesto, de manera que se predice el comportamiento del alimento a diferentes humedades relativas, así como determinar la Humedad Crítica del alimento a través de Evaluaciones sensoriales, pruebas microbiológicas y físico-químicas, observando los defectos que se producen en los productos por el ingreso de vapor de agua como cuarteos y blanqueamientos en los fideos, una retro-degradación en los almidones de la tapioca reduciendo su viscosidad, afectando la gelatinización del producto al prepararlo y la solubilidad del caldo soluble de gallina con el incremento microbiológico por el aumento de humedad.

Se obtiene una tendencia de permeabilidad de los productos mediante una gráfica en la que se expresa la ganancia de humedad por un período de días, la cual nos ayuda a observar el comportamiento de absorción de humedad del empaque-producto a dos condiciones ambientales (80 y 100%HR, 32ºC).

Y la predicción de vida útil del alimento (θc), considerando la ganancia de vapor de agua por día, el área de empaque, el peso seco del alimento, la presión circundante del ambiente y Ln P_c que es una tendencia de permeabilidad que involucra el contenido de humedad inicial, crítico y de equilibrio dependiendo la Humedad relativa circundante. Observando que algunos de tipos de empaques podrían ser usados en vez de los actuales tal

como el Polietileno de Alta densidad en vez del Polipropileno, que permitiría una estabilidad, dependiendo de las condiciones ambientales expuestas.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

En el presente estudio, los productos alimenticios analizados tienen la característica de un bajo contenido de humedad lo que implica muchas ventajas técnico-económicas en el almacenamiento y costos de transportación, en la preservación del producto al asegurar y aumentar su vida útil muy superior al del material fresco original, no requieren refrigeración. Otro aspecto a considerar con respecto a su vida útil seria el material de empaque del alimento, sus características mecánicas y barreras de humedad que garantizaría el tiempo de vida, definido según el producto.

1.1. Fideos

Las principales empresas productoras de Fideos o Pastas alimenticias en el país son Sumesa, Doña Petrona y Fideos Oriental. Los fideos son productos de consumo masivo debido a su asequibilidad por su bajo costo y diversa manera de preparación para el mercado consumidor.

Las pastas alimenticias son productos no fermentados, obtenidos por la mezcla de agua potable con harina y otros derivados del trigo aptos para el consumo humano como Harina de trigo fortificada, sémola de trigo durum, agua y beta caroteno , sometidos a un proceso de laminación y/o extrusión y a una posterior desecación. Deben presentar un aspecto homogéneo, caracteres organolépticos normales y tener una humedad máxima de 14%, según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 375:2000 (Primera revisión).

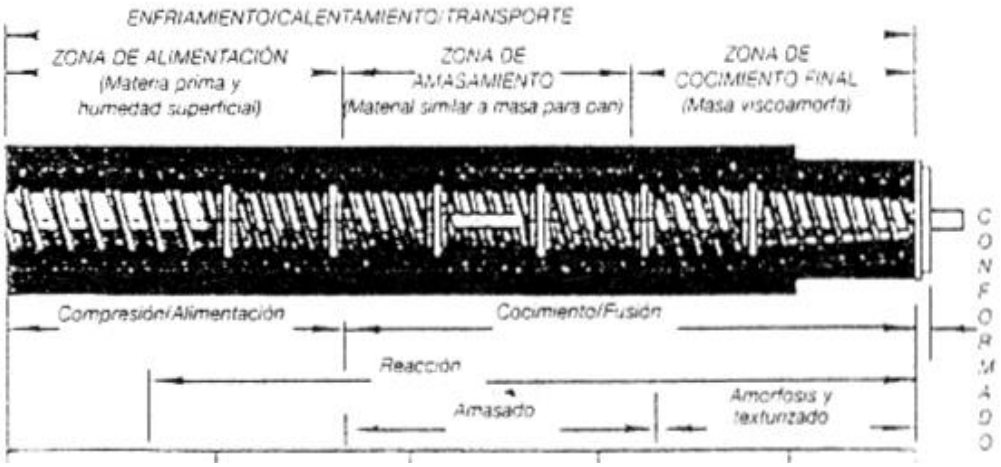
La operación para la fabricación de los fideos es la extrusión, que se caracteriza por un proceso de corta duración a base de temperaturas altas capaz de generar temperaturas de hasta 180ºC y presiones altas de hasta 200 libras/pulg^2 manométricas y velocidades de corte relativamente altas de 10 a 200 $s^{-1.}$ Los tiempos de permanencia en los extrusores van desde 5 segundos a 3 minutos (17). El cocimiento por extrusión es un proceso en el cual biopolímeros de almidón o proteínas se hacen plásticos mediante la adición de agua y se cuecen con un alto grado de corte mecánico. Un extrusor para cocimiento incluye varias operaciones unitarias: destrucción de microorganismos, desnaturalización de proteínas y enzimas, gelatinización de almidón, polimerización o despolimerización de proteínas, texturización y conformación del producto final en forma deseable (17).

En el caso de pastas alimenticias usaremos un extrusor de un solo tornillo o monotornillo, en la cual existe una zona de alimentación que ingresa la

materia prima con su humedad superficial, después se traslada a una zona de amasamiento, donde su apariencia es como la masa para pan y al final a una zona de cocimiento final o secado donde se presenta una masa viscoamorfa, y se produce la expansión de la masa sus respectivos cortes longitudinales. Para hacer la masa, se mezcla un 75% - 85% de sémola o semolina con un 15% - 25% de agua.

Figura 1.1

Cortes de un extrusor de un solo tornillo



Fuente: SHARMA S., MULVANEY S., RIZVI S., Ingeniería de Alimentos (17)

En condiciones de ambiente normales, la pasta seca guarda un tiempo largo de vida útil, sin necesitar cualquier preservante o requisitos de almacenamiento en particular.

La humedad e insectos son las preocupaciones principales, aunque el empaquetamiento sea bueno y un lugar del almacenamiento conveniente no son suficientes para guardar de estos peligros.

La pasta tiene normalmente una humedad promedio aproximada de 25-28% (dependiendo del tipo de masa). Es considerado seco cuando su volumen de humedad es 12.5% o 14% como limite máximo.

La temperatura de extrusión de la pasta puede ser alta (70ºC - 90ºC) o muy alta (90ºC - 120ºC), se ve la ventaja de que así se eliminan los microbios, con lo que la pasta se puede conservar mucho más tiempo. La pasta larga se seca en seis horas.

1.1.1 Defectos por el exceso de humedad en las pastas alimenticias (fideos).

La pasta necesita ser "**estable**", dentro de ciertos límites climáticos medioambientales (la temperatura aérea y humedad).

El exceso de humedad afecta las características de calidad del producto presentando cambios de color (blanqueos), cuarteos en su apariencia, crecimiento de ácaros, mohos y levaduras a diferentes condiciones de humedad, reduciendo su tiempo vida útil en percha.

Las altas humedades del ambiente en diversas estaciones del año en diversas zonas del Ecuador son un problema para productos de bajo contenido de humedad, por lo tanto debería analizarse cuales deben ser las características del material de empaque a usarse. En la provincia del Oro, donde los fideos de la Industria Alimenticia Sumesa son distribuidos, se encontró el crecimiento de ácaros y mohos, lo que no sucedió en otras

provincias, por lo tanto los productos fueron rechazados y devueltos, significando perdidas para la Industria.

Las condiciones ambientales son diferentes en cada lugar, en algunos lugares existirá mayor humedad relativa que en otros y se requerirá una barrera de ingreso de vapor en el empaque para el producto.

1.2 Tapioca (Colada shake)

Un producto vitamínico para niños en crecimiento elaborado con **Almidón de maíz y almidón de yuca enriquecida con vitaminas y colorantes permitidos**, existen diferentes sabores en el mercado (frutilla, durazno, mora, etc.).

Hay una variedad de Industrias en diferentes regiones del Ecuador que elaboran Coladas vitamínicas para niños en proceso de crecimiento o personas con regimenes especiales.

1.2.1. Características de su estructura

Es un alimento con un alto contenido de almidones que proporcionan la viscosidad a través de la gelatinizatión. Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría debido a su estructura organizada por sus dos polisacáridos constituyentes amilosa y amilopectina. Cuando el calor es aplicado al alimento, la molécula de almidón empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas amorfas que son las menos organizadas y accesibles, debido a que los

enlaces de puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas que son secciones y enlaces más organizados. Al aumentar la temperatura, se retiene más agua y la molécula empieza a hincharse y a aumentar su volumen. Cuando la parte amorfa se ha hidratado completamente, la cristalina empieza algo semejante pero se necesita más energía para llevar este proceso a cabo. Al llegar a una cierta temperatura, el gránulo alcanza su volumen máximo, perdiendo ciertas propiedades como birrefrigerancia y difracción de rayos x, si se administra más calor, el gránulo hinchado, incapacitado para retener líquido, se rompe parcialmente y la amilosa y amilopectina, fuertemente hidratadas se dispersan en la disolución, este proceso conocido como Gelatinización, la transición de un estado ordenado (cristalino) a otro desordenado en el que absorbe calor y alcanza su máxima viscosidad. La temperatura a la cual la gelatinizatión ocurre es 51 – 65ºC, conteniendo un 82% de Amilopectina y 18% de Amilosa (1).

Otros efectos varían con el tipo de almidón. La tapioca y almidones de la patata son resistentes a la oxidación y desarrollo fuera de sabor, debido a la baja cantidad de lípidos y volúmenes de la proteína. El maíz ceroso da un nivel alto de claridad porque consiste en amilo pectina. Los almidones Amilosa contenido en el maíz y tapioca proporcionan la opacidad. La amilosa, teniendo una estructura lineal, tiende a ser más sujeto al retro-degradación.

De vez en cuando se usan las proteínas en las mezclas secas para proporcionar viscosidad. Porque ellos tienden a ser más caros que otros

estabilizadores, generalmente sirven las funciones adicionales, como la fortificación de la proteína. Ellos exhiben las propiedades hidrófilas e hidrófobas, para que no sólo tengan la capacidad de ligar el agua, sino también toman el papel de excelentes emulsores.

Según los valores de la USDA, los frijoles secos, granos, y harinas deben contener como máximo un 13% humedad o menos para su durabilidad, conservación de sus propiedades (NTE INEN 1 513).

1.2.2 Defectos por el exceso de humedad en la tapioca.

Los defectos presentados en la Tapioca, son el apelmazamiento y la intensificación de los pigmentos que le otorgan el color.

Por la adherencia de agua al producto, esta afecta la viscosidad de preparación del producto para ser consumido, teniendo una consistencia más ligera, sin llegar al nivel de espesamiento o gelatinización que proporcionan los almidones al producto.

1.3 Ranchero (Condimento "Caldo de Gallina de Pollo")

Este producto es elaborado por la Industria de Alimentos "**Sumesa**" en Perú, en dos categorías con aroma de Gallina y Carne, usado para sazonar comidas y carnes en general. Es una mezcla de especies, se encuentra formado por una algunos potenciadores de sabor como Glutamato Monosódico y proteína vegetal hidrolizada, además de otros aromatizantes,

antioxidantes natural (Cúrcuma), colorantes, estabilizantes (almidón de maíz) y saborizantes.

Para observar los ingredientes de su preparación ver apéndice 1.

1.3.1. Defectos por el exceso de humedad en rancheros.

El ranchero, contiene Glutamato Monosódico que potencia el sabor en alimentos ricos en proteínas, carece de una actividad antioxidante y por ello no impide el **enranciamiento**. No enmascara los sabores no deseados que se hayan desarrollado en el producto debido al ingreso de oxigeno y de vapor en el producto empacado, durante el almacenamiento. Las especies mucho tiempo almacenadas o con ingreso de oxigeno pierden parte de su aceite etéreo y no condimentan efectivamente sino con un sabor desagradable llevándose a cabo una reacción de auto oxidación, también disminuye su poder bactericida, son mas sensible al ataque de microorganismos, que se trasladan luego a los alimentos que se les incorpora. De todo esto debe tener conocimiento el fabricante, pues la alteración de estos productos por la contaminación indicada termina por perjudicarle económicamente. En este caso, los rancheros son condimentos elaborados libres de grasa, por tanto no se vería afectado con problemas de oxidación de grasas. Pero existirían problemas microbianos por el incremento de humedad y apelmazamiento, perdida de olores.

El glutamato ejerce su óptima actividad entre pH 5 y 7.

El Ranchero, es encontrado en el mercado en una presentación de 5,00 gramos por unidad. El tiempo de consumo detallado en el empaque es de 1 año.

1.4. Relación del agua con respecto a los productos

El agua es el más abundante e individual constituyente por peso en la mayoría de los alimentos. Es un importante componente aún en aquellos alimentos en los cuales la proporción de agua ha sido reducida deliberadamente durante su manufactura o procesamiento, en razón de cambiar las propiedades o ayudar a su preservación. De acuerdo a la proporción de agua contenida se los clasifica en las siguientes categorías: Alimentos secos, alimentos de humedad intermedia y alimentos húmedos.

Dentro de la estructura propia del alimento se puede definir dos tipos de agua; agua libre y agua ligada.

El **agua libre** o **no ligada,** se define como el agua del alimento que se comporta como agua pura. El agua libre se elimina durante un periodo de velocidad constante de secado o por una evaporación, porque no se encuentra firmemente enlazada en la estructura del alimento y es la única disponible para el crecimiento de microorganismos o para intervenir en las transformaciones hidrolíticas, químicas y enzimáticas.

En cambio, el **agua ligada** podemos definirla como el agua que esta unida a la superficie sólida y no puede intervenir en los procesos anteriores (1). Dentro del agua ligada podemos encontrar el agua absorbida que está asociada físicamente como una monocapa sobre la superficie de los constituyentes de los alimentos y el agua combinada que está unida en alguna forma química como agua de cristalización o como hidratos en el alimento.

El agua ligada se encuentra fuertemente enlazada en la estructura de los enlaces hidrófilicos propios del alimento, teniendo una menor presión de vapor, menor movilidad y reduce el punto de congelación de modo más elevado que el agua pura o libre. Las moléculas de agua ligada tienen un comportamiento diferente a las moléculas comunes de agua.

Se ha establecido, que la estructura terciaria de las proteínas es la responsable de las propiedades enlazantes del agua. Los aminoácidos hidrofóbicos están localizados cercanos al interior de la molécula de la proteína, y los aminoácidos hidrófilicos se encuentran mayoritariamente en la superficie de la proteína solubles en agua. La superficie de las proteínas posee puntos en que los enlaces de hidrógeno son estables y permite interacciones con otras moléculas, especialmente con el agua.

Los productos analizados tienen un alto contenido de almidones que mantienen una estructura enlazante de captación de agua.

Estos alimentos (Pastas, Tapioca, Caldo Soluble de Gallina), tienen hasta una cierta permeabilidad o nivel de captación de agua en las cuales no son afectadas sus características sensoriales (apariencia, color, textura, sabor, crujencia), cuando este nivel de permeabilidad de agua es superado, el producto se convierte inaceptable microbiológicamente, sensorialmente, denominado punto de **Humedad Critica,** que depende del medio ambiente circundante que este expuesto el alimento.

1.4.1. Humedad Relativa

Un aspecto importante en definir es la **Humedad relativa**, que es la razón entre la presión parcial del vapor de agua (P) en el sistema y la presión parcial del vapor de agua ($P_{saturación}$) en condiciones de saturación a la misma temperatura a la que se halla el sistema.

1.4.2. Actividad de Agua

La actividad de agua es un factor determinante en el estudio de estabilidad de productos secos y se define como la relación entre la humedad de un alimento y la humedad relativa de equilibrio de la atmósfera que le rodea, también se puede definir como la razón de la presión de vapor de agua dentro de un alimento y la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura (4).

Teniendo la actividad de agua y la humedad relativa de equilibrio el mismo valor dentro de un sistema a las mismas condiciones, con una diferencia relativa de 0.2% a las temperaturas ambientes y presiones (2). Existiendo una similitud entre la Humedad relativa y la Actividad de agua a condiciones de saturación.

El contenido de agua no provee información sobre la cantidad de agua disponible para reacciones físicas, químicas y biológicas, pero la actividad de agua puede ser usada como un parámetro o indicador de correlación con el crecimiento microbiano y la proporción de reacciones químicas (3).

De la Actividad de agua (Aw) dependen las propiedades reológicas y de textura de los mismos, como se menciono es responsable de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas, que son las tres principales causas del deterioro de un producto (1).

$$\mathbf{Aw} = \frac{P}{Po} = \frac{HR}{100}$$

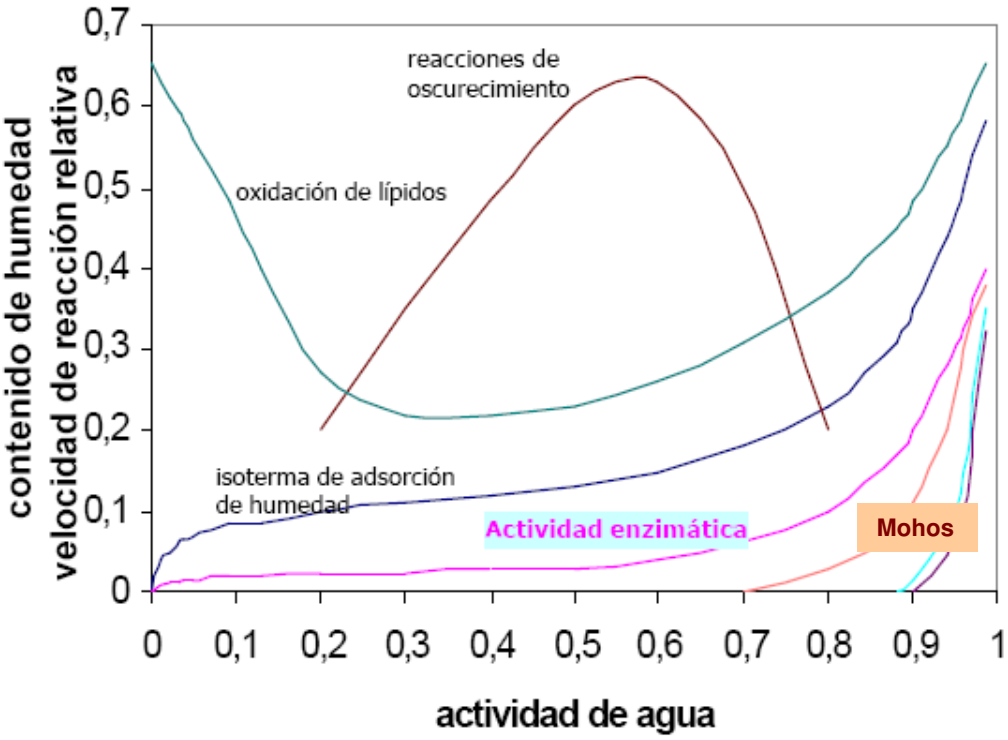
Donde, **P** es la presión de vapor del agua del alimento a una temperatura T y **Po** es la presión de vapor del agua pura a T y **HR** significa Humedad Relativa.

La actividad de agua, es un factor primordial en el crecimiento microbiano, la producción de toxinas, las reacciones enzimáticas y no enzimático. En la curva Estabilidad versus Actividad de Agua, se muestra como se producen

las reacciones de degradación en la estructura del alimento a medida que aumenta la actividad de agua (1).

Figura 1.2

Efecto de la aw sobre algunos procesos de degradación de un alimento



Fuente: Rockland L. y Stewart G., Water Activity: Influences on Food Quality, Academic Press, 1981(2)

La mayoría de las bacterias se encuentran inhibidas a una Aw menor a 0.90 factor regulados por la FDA.

Los alimentos tienen determinado su contenido de Humedad Inicial en la cual no habría crecimiento de microorganismos patógenos como niveles máximos aceptables de humedad.

1.4.3. Isoterma de adsorción

La Actividad de agua es una propiedad intrínseca, la relación entre el contenido de humedad y la correspondiente actividad de agua en un intervalo de valores a una temperatura constante produce una isoterma de adsorción de humedad (1) y (4).

Existen diferentes compilaciones en las estructuras de la isoterma de absorción (2):

1. Modelo de localización de la monocapa, solo describe el punto convexo en el que se define el valor de la monocapa.
2. Absorción a nivel de multicapas.
3. Modelos de absorción desde la ciencia de los Polímeros.
4. Modelos de absorción y construcción de ecuaciones de la ingeniería aplicada en los alimentos y la agricultura.

En nuestro objeto de estudio, identificaremos el valor de la monocapa para estudios posteriores y el comportamiento de la isoterma a diferentes condiciones ambientales.

La absorción de agua puede ser influenciada por la superficie y porosidad del material alimenticio, y este efecto puede ser determinado por Isotermas de Absorción.

El punto de inflexión de la isoterma indica el cambio de la capacidad de ligabilidad de agua o la cantidad relativa de libertad de agua (4).

La isoterma de absorción de un producto representa la cinética con la que adsorbe humedad del medio que la rodea. Es importante determinar la cinética de adsorción en polvos, porque con base a ella se tiene que diseñar cada empaque y determinar las condiciones de almacenamiento, cada producto se hidrata de diferente manera.

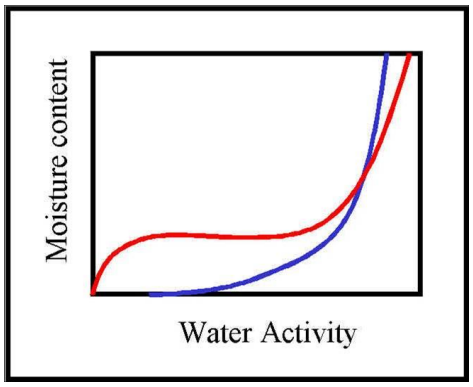
Con el conocimiento de las isotermas de adsorción es de gran importancia porque brinda información útil en la optimización en el proceso de secado y el diseño de secadores, así como la selección del material de empaquetamiento, la predicción de vida útil del producto y la evolución de humedad durante el almacenamiento para poder determinar la estabilidad de un gran numero de alimentos tales como granos, frutas, hortalizas, cárnicos, etc. (1)

El contenido de humedad juega un papel determinante en las propiedades de los alimentos tales como sabor, textura y tiempo de vida en percha.

En el siguiente gráfico se muestra un modelo de Isoterma de Adsorción, en el cual se muestra en el eje **x**, un orden de Actividades de agua, y en el eje **y** el contenido de humedad, definiendo en los diferentes valores de Aw el comportamiento del alimento.

Figura 1.3

Isoterma de Absorción



Fuente: Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use (5)

Rango I

Dentro de la estructura del alimento, debido a la presencia de compuestos como polisacáridos, proteínas, entre otros, que accionan una estructura enlazante del agua. Algunos de los limites de Actividades de agua no están disponibles para muchas reacciones o actividades microbianas y no pueden ser fácilmente removidas. Este rango generalmente actúa entre 0 – 0.2 de Aw.

Rango 2

Este rango representa una fracción de agua menos firmemente ligada con respecto a la primera. La entalpía de vaporización en este rango es un poco mayor que la entalpía de vaporización de agua pura.

Este clase de constituyente de agua puede ser observada como una etapa de transición entre el primer y tercer intervalo de actividad de agua (0.2 – 0.75) en los alimentos (2).

Las primeras moléculas de agua que interaccionan con los grupos funcionales de soluto en los alimentos son reconocidas como "**Monocapa Molecular**", es diferente para cada alimento, el agua en este punto es la más difícil de eliminar en los procesos térmicos de secado, en algunos casos se puede reducir parcialmente por una deshidratación, pero no es recomendable porque puede dañar el alimento ya que su presencia ejerce un efecto protector, excepto en las reacciones de oxidación de lípidos (1).

Podría decirse que es la mínima cantidad de agua que posee un alimento para conservar sus características físico-químicas. Actúa en un rango de 0.2 - 0.4 de Actividad de Agua (2), consideradas como las moléculas más herméticamente ligadas al alimento, que las otras capas adicionales de agua que no se encuentran tan firmemente ligadas (3).

El valor de la monocapa puede ser determinada usando el modelo de BET (5) o Isotermas de GAB, ampliamente usadas para determinar la estabilidad de los alimentos. LA ecuación de BET puede ser derivada basada en la cinética y consideraciones termodinámicas del alimento.

$$\frac{Aw}{M_w (1 - A_w)} = \frac{C - 1}{M_m . C} A_w + \frac{1}{M_m C}$$

Donde Aw es la actividad de agua a una determinada temperatura, $M_{m.}$ es el valor de la monocapa y C es una constante. El valor de la monocapa es generalmente encontrada a una actividad de agua de 0.2 – 0.4 (4) y (5). A un valor de actividad de agua 0.3, la cantidad de agua absorbida sobre la superficie dentro de la capilaridad del alimento, es suficiente para afectar en conjunto las propiedades dieléctricas; el agua puede tener un comportamiento de solvente. Las altas actividades de agua, aumentan la velocidad de las reacciones debido al aumento de solubilidad e incremento de la movilidad del agua. En el caso, de alimentos secos, un incremento de Actividad de agua en una magnitud de 0.1 implica el decrecimiento de tres veces con respecto a su tiempo de vida (5). Normalmente, una alta captación de agua a una baja actividad de agua, refleja un volumen alto de materiales macromoleculares hidrófilicos como las proteínas y polisacáridos.

Rango 3

Aquí se encuentra más o menos la mayor cantidad de agua, unida a los espacios vacíos del sistema, teniendo casi todas las propiedades similares del agua contenida, el rango que actúa es de 0.75 – 1 de actividad de agua (2).

La ecuación de GAB es uno de los modelos más ampliamente usados para alimentos en el ajuste de Isotermas, porque es determinada a través de un rango de actividades de agua desde 0.1 hasta 0.9.

La isoterma de absorción muestra la relación entre la Actividad de agua (Aw) y la humedad de equilibrio (Xe) contenida en un producto alimenticio en una temperatura y presión constante.

Las isotermas de absorción se utilizan para el estudio de procesos higroscópicos. La absorción ocurre inicialmente con la formación de la monocapa en la superficie del producto consecuentemente una absorción multicapa.

La absorción multicapas de agua consiste en la captación de agua en los poros y espacios capilares, disolución de solutos estas fases dependerían de la composición y estructura del alimento.

1.5. EMPAQUES

Los empaques, son materiales poliméricos susceptiblemente elaborados de materias orgánicas caracterizadas por su estructura macromolecular y polimérica de moldeo mediante procesos térmicos, a bajas y altas temperaturas como presiones (6), lleva a cabo dos funciones en la industria alimentaría: primera, proteger la vida de anaquel de los alimentos hasta un grado predeterminado; y segunda, atraer la atención de los consumidores (7). Los empaques flexibles deben cumplir una misión fundamental: preservar el producto en su interior desde el momento en que es empacado, durante el transporte, almacenamiento, distribución y exhibición, hasta el momento en que es abierto por el consumidor.

Los empaques tienen una serie de propiedades físicas y químicas que lo hacen ideales, son considerados impermeables pero no lo son totalmente y según su composición tienen valores de permeabilidad. Para algunos productos, un material de empaque ideal, son aquellos que proveen de perfecta barrera inerte entre el producto y el ambiente. Con una perfecta barrera inerte no se produciría un intercambio de moléculas tales como oxigeno, CO_2, agua, iones, ingredientes de los productos o componentes del material de empaque.

Los plásticos usados como empaque de los productos experimentales son considerados **Termoplásticos,** ya no hay reacción, pueden ser reutilizados mediante su granulación y su posterior proceso de remoldeo.

Las películas flexibles en general se caracterizan por tener bajos valores de permeabilidad a los gases, su absorción de humedad es menor del 0.5% no guardan, ni liberan olores ni sabores, pueden proteger el producto de la luz y los rayos UV según la composición del alimento.

Poseen un buen deslizamiento de sellado y resistencia al rasgado. Tiene buena resistencia química y buen aislante térmico.

Son necesarios los conocimientos de los valores de permeabilidad para la correcta elección del plástico para empaque de productos alimenticios, así como el tiempo que se puede conservar el producto sin sufrir alteraciones entre otros puntos.

También hay que considerar otro factor importante como la luz, es un agente que además de degradar el color de los productos produce reacciones de descomposición, por lo tanto es necesario conocer la cantidad de luz permitida sin afectar el producto

Definimos algunas características importantes de los plásticos necesarias para productos de bajo contenido de humedad:

Baja Densidad: Por el peso específico de los plásticos los empaques tienen grandes ventajas por su costo original, transporte y almacenamiento.

Flexibilidad: Pueden soportar grandes esfuerzos sin fractura y recobrar su forma y dimensiones originales.

Resistencia a la corrosión: Son altamente resistentes a la humedad, oxigeno, ácidos débiles y soluciones salinas.

Resistencia al impacto: Esta propiedad es muy importante porque favorece las afectaciones o presiones de fuerza que pueda sufrir el empaque-producto.

Economía: Tomando en cuenta su densidad, la materia prima del plástico es relativamente económica.

Higiene: Un diseño adecuado del envase en cuanto a materias primas y hermeticidad hacen a los envases plásticos altamente higiénicos.

1.5.1 Permeabilidad en Empaques

El empaque constituye una barrera entre el alimento y el ambiente: controla la transmisión de luz y la transferencia de calor, humedad y gases (7). Las velocidades del movimiento de la humedad o el oxígeno controlan la vida útil de los alimentos deshidratados y son las propiedades más importantes de los materiales de empaque. El vapor de agua o los gases como oxígeno, nitrógeno o dióxido de carbono, son capaces de atravesar los materiales de empaque pasando por poros microscópicos o por medio de difusión activa originada por gradientes de concentración. La permeabilidad de los gases o el vapor para una difusión unidimensional se calcula utilizando la ley de difusión de Fick.

$$J = - D_{g.} A \frac{dc}{dx}$$

Donde J= velocidad de difusión (mol/s), A = área superficial (m^2), D_g = difusividad del gas (m^2 / s), c= concentración del gas (mol/m^3), x= distancia en dirección de la difusión (m) (7).

Según la ley de Henry, c = S. P

Donde S = solubilidad del gas (mol/ $Pa.m^3$) y P= presión parcial del gas (Pa).

En otras palabras, $J = -Dg\ S.A \frac{dP}{dx}$

El coeficiente de permeabilidad se define como el producto del coeficiente de difusividad por la solubilidad:

B = Dg. S [mol- mm de espesor / m^2 s Pa o (mol/s .Pa. m)]

Esto puede definirse como la cantidad de gas que atraviesa una unidad de grosor de película por unidad de tiempo por unidad de área superficial de empaque y por unidad de diferencia de presión entre el ambiente y el material envasado (7).

Uno de los factores que ha de observarse dentro del empaque es el microclima propio, regulado por la presión de vapor de la humedad del alimento a temperatura de almacenamiento. Los cambios de humedad dependen de la velocidad de transmisión del vapor de agua del envase. Es importante, controlar el intercambio de humedad, para evitar la condensación en el interior dentro del empaque, que podría resultar en el crecimiento de hongos, ácaros. Es necesario, seleccionar la permeabilidad del vapor de agua en el material de empaque, así como el área superficial y el espesor del material, tomando en cuenta el almacenamiento y el tiempo de vida útil (Shelf life) que se desea (7).

1.5.2 Medición de la Velocidad de transmisión del vapor de agua.

La velocidad de transmisión del vapor de agua, la permeación del vapor de agua y la permeabilidad al vapor de agua describen las características de

transmisión de vapor de agua (WVTR) se define como el gramo de vapor de agua transmitido desde $1m^2$ de área de película en 24 horas.

$$WVTR = \frac{24\ m}{t.\ A}$$

Donde m= ganancia o pérdida de vapor de masa (g), t= tiempo (h), A= área superficial de la película (m^2) (7).

La Permeación del vapor de agua se define como el gramo de vapor de agua transmitido a través de 1 m^2 de área de película en 24 horas.

Permeación del vapor de agua = WVTR / ($P_1 – P_2$)

Donde P_1 y P_2, son diferenciales de Presión de Vapor.

Entonces, la permeabilidad al vapor se define como un gramo de vapor de agua que pasa a través de 1 m2 de área de película en 24 horas cuando la diferencia de presión de vapor es 1 mm de mercurio y el espesor de la película es 1 cm:

$$\textbf{Permeabilidad al vapor de agua} = \frac{\text{Permeación del vapor de agua}}{\text{Espesor de la película (cm) (7)}}$$

1.5.3 Tipos de Empaques Usados en la Industria Alimentaría.

La industria alimentaría usa diversas gamas de empaques elaborados de diversos materiales poliméricos o mezclas de algunos de ellos.

Polietileno de Alta Densidad (PEAD), el fabricante lo puede ajustar entre diferentes densidades.

La película de polietileno es un envase flexible y transparente que tiene como funciones: proteger al producto del oxígeno y humedad, preservar el aroma del mismo, darle estabilidad, resistencia a los agentes, resistencia a los agentes químicos y atmosféricos y a la radiación, resistencia a la tracción, estiramiento y desgarramiento, facilidad para abrirse y cerrarse, portabilidad susceptible de reciclarse; bajo costo del envase en su transportación y almacenamiento higiénico evitando la contaminación con microbios y olores desagradables (6)

Hay dos tipos de polietilenos: de baja o alta densidad, pero los fabricantes empaques flexibles deben cumplir una misión fundamental: preservar el producto en su interior desde el momento en que es envasado, durante el transporte, almacenamiento, distribución y exhibición, hasta el momento en que es abierto por el consumidor. Los fabricantes pueden hacer una mezcla según las especificaciones del comprador según su beneficio.

Otros tipos de empaques son, Polipropileno Orientado, blanco y opaco. Es útil para los mercados de galletas, alimentos y confitería, debido a su naturaleza impermeable al aire cuando se le cierra en forma hermetica y Polipropileno Biorientado, tiene la densidad más baja de todas las películas comerciales, tiene una buena barrera contra grasas, no cambia las características de protección en climas extremos.

Existe otro tipo de empaque como laminados, los cuales son una mezcla de de dos o más películas con adhesivos. De esta manera obtendremos una sola lámina (6) por ejemplo: Laminaciones con aluminio con diferente materiales como poliéster, polipropileno y poliamicida, BOPP, poliamida, alcohol polivinilo y polietileno modificado.

En el caso de empaque laminados, son una conformación de varios plásticos, Poliéster, Polipropileno, Polietileno y sus respectivos adhesivos en sus capas de unión, espesor y gramaje.

El uso de materiales plásticos en envases y embalajes para alimentos debe cumplir unas normas básicas de seguridad para evitar posibles contaminaciones o la transferencia o migración de compuestos que alteren las propiedades o seguridad del contenido.

En el caso de los productos a estudio las siguientes tablas muestran la composición del material de empaque usado y su respectivo gramaje, generalmente para:

Tabla 1

Composición de Películas Plásticas para Fideos

Estructura del Empaque	**Gramaje g/m^2**
Polipropileno Bioriental	18.2
Impresión	2.0
Adhesivo	2.0
Capa de Polipropileno	22.5

Referencia: Industria de Alimentos “Sumesa”

Tabla 2

Composición de Películas Plásticas para Tapioca (Colada Shake).

Estructura del Empaque	**Gramaje g/m^2**
Polipropileno Bioriental	27.3
Polietileno pigmentado Blanco	25.0
Adhesivo	3.0
Tinta	2.0

Referencia Industria de Alimentos “Sumesa”

Tabla 3

Composición de Películas Plásticas para Rancheros “Caldo Soluble de Gallina”

Estructura del Empaque	**Gramaje g/m^2**
Poliéster	16.80
Tinta	3.50
Adhesivo	3.50
Polipropileno	15.50
Adhesivo	3.30
Polietileno	36.88

Referencia: Industria de Alimentos “Sumesa”

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y METODOS

2.1 Materiales

En esta sección, se describe las condiciones de la materia prima y de las películas plásticas utilizadas para la experimentación.

2.1.1 Materia Prima

Para la realización de este análisis, se utilizo productos alimenticios de baja humedad. Los productos son fideos Spaghetti, Harina (Tapioca) y con respecto a condimentos se utilizo caldo soluble de gallina (Ranchero), productos pertenecientes a la **Industria de Alimentos Sumesa**.

El fideo usado para el análisis es Cabellini o Spaghetti, el contenido original de humedad en el producto empacado es 14.07% Norma INEN 1 375:2000 Primera revisión, como límite máximo permisible para pastas alimenticias (Fideos secos).

Para el análisis, se utilizo fideo con un contenido inicial de humedad de 4.702%, debido a que es recomendable reducir el porcentaje de humedad inicial para observar el comportamiento de permeabilidad del producto en diferentes Humedades Relativas. En algunas experimentaciones se utiliza materia prima totalmente seca o hasta 1 gramo/ 100 gramos de contenido de humedad en base seca que significa la reducción del 50% del peso seco de la materia prima (5).

El contenido de humedad usado para la experimentación del fideo, lo obtuvimos de la siguiente manera, primero realizamos un pre-secado del producto a 55 - 60ºC por dos días, se escogió esta temperatura porque es la temperatura ideal para que el producto reduzca su contenido de humedad sin dañar su estructura y características organolépticas.

Este mismo procedimiento lo aplicamos para Tapioca y el caldo soluble de gallina, iniciando las isotermas con un contenido de humedad de 2.04% y 2.5%, respectivamente.

La materia prima es obtenida en Supermercados y se ajusta a los parámetros de calidad establecidos en la Norma INEN, especificada en el capitulo anterior

2.1.2 Películas Plásticas

Las películas plásticas usadas en la experimentación de Empaques de Pruebas, más adelante definida son:

Laminado de Polipropileno para Fideos, cuya constitución de empaque esta formada por diversas láminas de películas plásticas:

1. Polipropileno
2. Impresión
3. Adhesivo
4. Capa de Polipropileno

Laminado 1, esta formado por capas de diferentes películas plásticas. Este tipo de Empaque es usado en productos como Frescosolo y Yupi.

1. Polietileno
2. Adhesivo
3. Aluminio
4. Adhesivo
5. Tinta
6. Polipropileno

Laminado 2, el siguiente empaque también presenta varias capas de diferentes láminas plásticas, este tipo de Empaque es usado en productos como Caldo Soluble de Gallina “Ranchero”.

1. Poliéster
2. Tinta
3. Adhesivo

4. Polipropileno
5. Adhesivo
6. Polietileno

Papel Laminado, el cual esta formado por capas de:

1. Papel
2. Adhesivo
3. Aluminio

Y empaques sencillos como Polietileno de Alta Densidad y de Baja Densidad.

2.2 Métodos

Para el desarrollo de la Tesis, usamos algunos métodos para el análisis de la influencia de la "**Humedad Relativa del Ambiente al Empaque y su Contenido**".

Primero la determinación de Isotermas de Absorción. Existen diversas maneras de desarrollar isotermas de absorción y desorción, pero en este caso lo realizaremos por el método Isopiesto.

Para ello se colocan muestras de alimentos dentro de cámaras cerradas en cuyo interior se generan atmósferas controladas, con humedades relativas conocidas y estables a una temperatura constante (1), definida más adelante. Con la ayuda de técnicas de experimentación se determinó la

Humedad Inicial y Crítica del Alimento, así mismo la captación de vapor de agua hacia el producto con diferentes empaques de prueba.

2.2.1 Determinación de Humedad Inicial

Para obtener la cantidad de humedad de un alimento es necesario cuantificar el peso seco de un alimento que es, la suma de todos los componentes no volátiles del mismo.

Se incluyen aquí principalmente lípidos, carbohidratos, proteínas y minerales, entre otros. El peso seco se determina generalmente por secado de la muestra y pesaje del residuo hasta un peso constante. La diferencia entre el contenido en sustancia seca y el 100% se denomina, **Contenido de agua**. El método usado para esta determinación es el Gravimétrico (10) Norma INEN 518.

Este método sólo será aplicable en alimentos que no sufren ninguna transformación durante el secado térmico. En algunos casos, en el proceso de secado se producen reacciones químicas como la Reacción de Maillard, que se observa a plena instancia debido al cambio de coloración de la muestra a café-pardo que conducirá a un contenido acuoso mayor.

- **Secado directo**

La desecación variará dependiendo del tipo de material y tamaño de los fragmentos (3-4 horas) hasta pesaje constante. Se pesan 2 a 3 gramos de

muestra aproximadamente en una cápsula de vidrio de pesaje, se secan 2–3 horas a 110ºC, hasta que el peso de la muestra sea constante.

El contenido de sustancia seca **SS** expresado como porcentaje se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$SS\ (\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} * 100 \quad (1)$$

Donde, $\mathbf{m_1}$ peso en seco de la cápsula de la pesa sustancias.

$\mathbf{m_2}$ peso de la cápsula o pesa sustancias más la muestra en gramos.

$\mathbf{m_3}$ masa de la cápsula o pesa sustancias en gramos más la muestra Después del secado.

$(m_2 - m_1)$= peso de la muestra

El contenido de agua, expresado en porcentaje de humedad, se calcula de la siguiente manera: **(%)** = 100 (%) – SS (%) (10)

2.2.2 Determinación de Isotermas de Absorción

Las Isotermas de absorción fueron construidos a partir de la ecuación de GAB (20), por la combinación del contenido de humedad (g/100 gramos en Base seca) de producto y un rango de Humedades Relativas definidas por la saturación de las sales usadas en el "**Método Isopiesto"**, mediante una regresión del programa Origin 6 (5).

Método Isopiéstico (12)

Para la aplicación este Método es necesario la selección de Sales que generen un rango de Actividades de Agua o Humedades Relativas.

Tabla 4. Actividades de Agua de Sales usadas en el Método Isopiesto.

Sales (QP)	Actividad de Agua
Hidróxido de Sodio	0.07
Acetato de Potasio	0.21
Cloruro de Magnesio	0.328
Carbonato de Potasio	0.432
Nitrato de Magnesio	0.529
Ioduro de Potasio	0.67
Cloruro de Sodio	0.753
Cloruro de Potasio	0.843
Sulfato de Potasio	0.973

Fuente: MOISTURE SORPTION: PRACTICAL ASPECTS OF ISOTHERM MEASUREMENT AND USE.

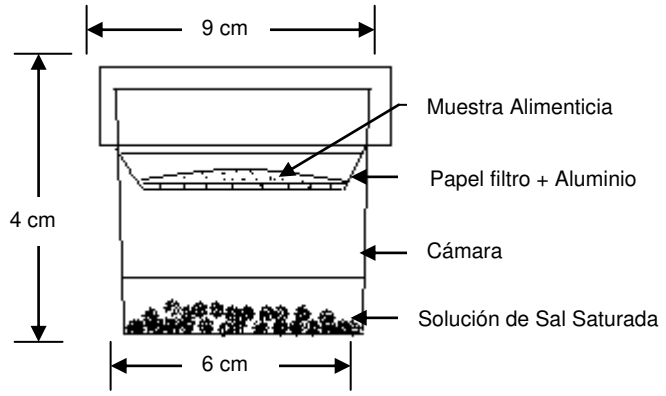
Procedimiento (12):

1. Llenar cada recipiente hermético con una solución de sal saturada. La sal debe permanecer en este estado pastoso para notar la saturación.

Escoger las sales, que representan un amplio rango de humedades relativas para la construcción de las Isotermas.

2. Coloque los recipientes ensamblados dentro de una incubadora a la temperatura conveniente de la isoterma, en este experimentación estaremos trabajando con dos temperaturas diferentes 32º C y 15º C para la región Costa y región Sierra, respectivamente.

3. Coloque 2 – 2.5 gramos de muestra alimenticia dentro de los recipientes. La muestra alimenticia se coloca previamente después de un proceso de secado, para la determinación del contenido de humedad ganado.



4. Realice un pesaje por los próximos días (recomendable 21 días) hasta obtener un peso constante, observando el aumento de peso por la ganancia de humedad hasta que la muestra no gane más peso, debido a la saturación de la capilaridad o porosidad del alimento.

Para la construcción de la isoterma de absorción en Quito y Guayaquil, es necesario especificar como punto principal la temperatura de referencia, que se aplica en este caso 15ºC y 32ºC, respectivamente. La isoterma consta en

el eje **x**, de un rango de valores de actividades de agua desde 0.07 hasta 0.973, los valores del eje **y** están representados por el contenido de humedad (g/100 gramos de Base seca), estos valores se obtuvieron a partir de la determinación de Concentración final de agua captada por el alimento hasta pesaje constante en cada Humedad Relativa.

Para obtener este valor necesitamos los siguientes datos: Masa inicial del producto, concentración inicial de agua, cantidad de agua ganada, masa final del producto.

Realizamos un balance de materia con la siguiente fórmula:

Mo (Xo) + Agua ganada = M final (Xf) **(2)**

Obtenemos la Concentración final de agua (X_f) con la fórmula anterior, en este caso para el Fideo:

Tabla 5

Concentración Final de Agua en Guayaquil y Quito para Fideos

Sales	$\%X_{f\ (Gye)}$	$\%X_{f\ (Quito)}$
Hidróxido de Sodio	4.86	5.17
Acetato de Potasio	5.39	5.63
Cloruro de Magnesio	6.47	6.94
Carbonato de Potasio	7.86	10.03
Nitrato de Magnesio	8.93	13.01
Yoduro de Potasio	10.51	15.03
Cloruro de Sodio	16.22	15.44
Cloruro de Potasio	17.09	18.74
Sulfato de Potasio	29.08	30.77

Tabla 6

Concentración Final de Agua en Guayaquil y Quito para Colada “Tapioca”

Sales	$\%X_{f\ (Gye)}$	$\%X_{f\ (Quito)}$
Hidróxido de Sodio	2.40	3.34
Acetato de Potasio	2.75	5.08
Cloruro de Magnesio	4.11	6.61
Carbonato de Potasio	5.56	7.29
Nitrato de Magnesio	5.90	10.11
Yoduro de Potasio	6.43	13.04
Cloruro de Sodio	13.76	13.09
Cloruro de Potasio	15.98	18.07
Sulfato de Potasio	27.57	29.04

Tabla 7

Concentración Final de Agua en Guayaquil y Quito en caldo soluble de gallina

Sales	$\%X_{f\ (Gye)}$	$\%X_{f\ (Quito)}$
Hidróxido de Sodio	2.99	3.44
Acetato de Potasio	3.47	3.69
Cloruro de Magnesio	3.71	5.77
Carbonato de Potasio	3.72	10.18
Nitrato de Magnesio	4.42	15.33
Yoduro de Potasio	24.08	20.51
Cloruro de Sodio	41.10	31.81
Cloruro de Potasio	41.66	49.96
Sulfato de Potasio	59.75	61.18

Con los porcentajes obtenidos de contenido final de agua, realizamos la conversión del Contenido de humedad a g/ 100 g Base seca con la siguiente fórmula:

$$\textbf{g/ 100 g Base Seca} = \frac{\%\ X_{f\ H2O}}{100 - \%\ X_{f\ H2O}} * 100 \qquad \textbf{(3)}$$

Los datos de la isoterma están basados sobre el contenido de humedad de una muestra con su respectiva Actividad de Agua o Humedad Relativa.

Es recomendable completar el equilibrio entre la muestra y la solución de sal saturada, es decir la saturación de las porosidades de la muestra, con la formación de nuevos enlaces de agua, esto se observa cuando la muestra no gana más peso después de tres consecutivos pesajes, entonces se considera el Contenido de Humedad de Equilibrio del alimento (13).

2.2.3 Determinación de Humedad Crítica

Mientras la muestra es sometida a diferentes humedades relativas, se puede observar diferentes degradaciones que sufre el producto, se define como **Humedad Crítica,** el punto en el cual el alimento no es aceptable según las características sensoriales o microbiológicas.

En otras palabras, características por las cuales el consumidor lo puedo clasificar no apto para su compra o consumo.

- **Procedimiento para determinar la Humedad Crítica**

1. Armar un sistema, usando un desecador de vidrio. Dentro del mismo, elaboramos una base con una malla que contenga agua en vez de desecante, dentro del recipiente.
2. Se coloca sobre la malla la caja petri con el producto, cerrar.
3. Llevar el sistema dentro de una incubadora a una temperatura de 32 – 34 ºC, de manera que se crea una atmósfera para determinar la Humedad Crítica, por determinados lapsos de tiempo procedemos a pesar y observar la apariencia del producto, hasta determinar que el producto no es aceptable sensorialmente.

2.2.3.1 Evaluación Sensorial.

La evaluación sensorial fue realizada mediante una Prueba de Comparaciones Múltiples, en esta prueba, se emplea una muestra de referencia o muestra estándar rotulada R y presentada al panelista junto con 4 muestras codificadas. Al panelista se le pregunta que compare cada muestra codificada con la muestra de referencia en base a alguna característica mencionada en el caso de Fideos fue la Textura, para la Harina (Tapioca) fue la Grumosidad y Apariencia al igual que el Ranchero.

El número de panelistas que participaron en la evaluación sensorial fueron 30 personas, la mayoría fueron alumnos correspondientes a la carrera de Ingeniería de Alimentos, un panel semi-entrenado. Apéndice 2

2.2.3.2 Análisis Microbiológico

A través de una Evaluación Sensorial se determina la Humedad Crítica del producto, el siguiente paso es comprobar desde que contenido de humedad ganada en las muestras es inaceptable microbiológicamente, dando como resultado crecimientos de aerobios, mohos y levaduras.

Las pruebas fueron realizadas en agar de PCA para aerobios mesófilos y PDA para mohos y levaduras, son agares que contienen suplementos nutritivos que fomentan el crecimiento específico de las colonias que se desea cuantificar y observar.

Por cada muestra se realizo dos diluciones 10^{-1} y 10^{-2} en PCA y PDA. Para observar el crecimiento de colonias, en el caso de Aerobios se necesita un periodo de Incubación de 24 a 48 Horas, para Mohos y Levaduras es de 3 a 5 días.

Adicionalmente, se comprueba la humedad crítica del alimento con un análisis físico-químico; en el caso del fideo, son sometidos a cocción en un mismo intervalo de tiempo de 6 a 8 minutos en agua hirviendo para verificar su textura y consistencia; para la tapioca, se prepara una solución con cada contenido de humedad propuesto en la evaluación sensorial con el mismo volumen de agua hasta llegar a la temperatura de Gelatinización 51ºC, se enfría a temperatura ambiente y se procede a refrigerar a 5ºC durante 5 días.

Después de este intervalo de días se procede a descongelar a temperatura ambiente y observar la retro-degradación de la gelatinización de los almidones.

Y por último, se procede a determinar la pérdida de peso del Caldo soluble de gallina, tomando como referencia una cantidad de diez gramos de producto, mediante un balance de sólidos conociendo la X_f de sólidos de cada muestra, determinamos la pérdida de peso del producto, debido a la ganancia de humedad del ambiente.

2.2.4 Elaboración de Empaques de Prueba (6)

Las pruebas son las formas de constatar las características del empaque. A través de ellas se comprueban si el empaque es realmente el conveniente para el producto que contendrá, o si responderá a diferentes condiciones de uso y de consumo, de almacenamiento, de transporte y de manejo, etc.

Existen una gran variedad de pruebas realizadas para empaques, tales como dimensión, resistencia al impacto, tracción y elongación, rigidez, transmisión de gases, resistencia a la explosión, compresión, permeabilidad a la grasa, transparencia, absorción de agua, entre otras. Las pruebas realizadas para nuestra experimentación fueron: Transmisión de vapor de agua para empaques plásticos y rasgado para papel, películas flexibles, y laminados.

2.2.4.1 Determinación de la relación Volumen producto versus Empaque

1. Con los diferentes tipos de películas plásticas sencillas y laminadas descritas anteriormente, elaboramos empaques de prueba, de menor volumen que el original.
2. Determinamos la densidad de cada producto a ocupar dentro del empaque de la siguiente manera, con una probeta llenamos hasta un volumen de 50 centímetros cúbicos y registramos el valor de masa de ese determinado volumen.
3. Una vez, registrado su masa y el volumen, aplicamos la formula gravimétrica:

$$\textbf{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \quad \textbf{(4)}$$

4. El volumen del producto, dentro del empaque es del 75% o 75 cc. Cuantificamos la masa de cada producto en el empaque de la siguiente manera:

Masa = densidad * Volumen

La densidad de cada producto, determinada en el paso 3 para un volumen de 75 centímetros cúbicos

5. Llenamos cada empaque con la cantidad de producto determinada en el paso 4, y sellamos.

La longitud de los lados de los empaques de prueba para los fideos son 6 cm de ancho y 14 cm de altura, representando un área de $8{,}4.10^{-3}$ m^2, para la Harina (Tapioca) la altura del empaque es 6 cm y el ancho 8 cm por lo tanto el área es 0.0048 m^2 y las dimensiones del empaque de prueba del Ranchero son 6 cm de largo y 6.5 cm de ancho con un área de 0.0039 m^2.

2.2.4.2 Determinación de Permeabilidad del Empaque a la Transmisión de Vapor de Agua Máximo Permitido.

En esta sección se analiza, la razón de transferencia de humedad a través de una membrana semipermeable en este caso empaques o películas plásticas para alimentos, para determinar el Contenido de humedad total encerrado dentro de un material de empaque bajo condiciones ambientales controladas (20).

El microclima dentro de un envase es regulado por la Presión de vapor de humedad del alimento a la temperatura de almacenamiento. Es necesario el control del intercambio de humedad para evitar la condensación en el interior del empaque, que tiene como resultado el crecimiento de hongos (7).

La Velocidad de movimiento del vapor de agua del ambiente a través del empaque; controla la vida de anaquel de los alimentos deshidratados y son una de las propiedades más importantes en las películas plásticas a analizar (7). Para la siguiente experimentación es necesario crear 2 condiciones

ambientes diferentes, el primero para Guayaquil (80% HR) y Extremo (97-100% HR).

El Procedimiento es el siguiente:

1. Colocamos los empaques de prueba, dentro de los ambientes modificados por duplicado. Esta experimentación fue realizada con un diseño de experimentos en cual se usaron 3 diferentes películas plásticas, para cada producto Fideos, Tapioca y Ranchero (Caldo Soluble de Gallina) a 2 condiciones ambientales diferentes.
2. A partir de las 24 Horas, empezamos a tomar los pesos consecutivamente de cada uno de los empaques de prueba, para poder realizar una gráfica con respecto a la Permeabilidad de Vapor de Agua versus el tiempo, el intervalo para tomar cada peso es de 24 – 48 Horas.

El objetivo es medir la cantidad de vapor de agua que pasa a través del material de empaque hacia al producto. La unidad de medida es el vapor de agua que pasa por 1 m^2 de material durante 24 horas a temperatura y humedades específicas.

También se quiere medir la cantidad de vapor de agua absorbido en materiales de empaque que han sufrido una mala manipulación, es decir que el empaque esta arrugado o rayado. Realizamos el mismo procedimiento

descrito anteriormente. Es importante saber que en base a la isoterma de adsorción; es posible utilizar sencillas ecuaciones, para estimar la ganancia o la pérdida de humedad retenida en una membrana semipermeable.

Una vez determinados los contenidos de humedad (m) en un período de 24 días, se realiza una conversión de m a ln ק, que representa una tendencia de permeabilidad de vida útil del empaque con el producto según la ganancia de humedad que ha tenido la película plástica.

Podemos utilizar la siguiente ecuación que sirve para predecir un cambio de peso en alimentos secos empacados.

$$\text{Ln } ק = \ln \frac{m_e - m_i}{m_e - m} \quad (5)$$

La humedad relativa de Guayaquil y Condiciones ambientales extremas fueron simuladas usando una sal saturada de Cloruro de Potasio (80% HR) y Agua (100% HR), respectivamente.

2.2.4.3 Determinación de Tiempo de Vida útil

La vida de anaquel de los alimentos empacados, son regulados por propiedades como Actividad de agua, pH, susceptibilidad al deterioro enzimático y microbiológico, así como las propiedades de barrera del empaque al oxígeno, la luz, la humedad y el bióxido de carbono. La pérdida o la ganancia de humedad es uno de los factores más importantes que controlan la vida de anaquel de los alimentos (7).

Para realizar la predicción del tiempo de vida útil del empaque en conjunto con el producto necesitamos como primer requerimiento la cantidad de humedad absorbida por día por cada película plástica utilizada en la experimentación.

Las condiciones ambientales para este análisis son 80 y 97-100 %HR a 32ºC. Es importante definir el valor de la Presión que se encuentra en el medio circundante a estas condiciones climáticas.

Hay que considerar la presión interna del alimento, se la obtiene por la relación que tiene con la Actividad de agua ya anteriormente definida:

$$Aw = \frac{P_{alimento}}{P_{externa}}$$

El valor de la actividad de agua que actúa en el Fideo y la Harina es 0.5 y en el caso del Ranchero es 0.3.

Para poder calcular la razón de permeabilidad del vapor de agua a través del empaque es importante conocer la siguiente ecuación:

$$\frac{\Delta W}{\Delta \theta} = \frac{g\ H_2O}{día} = \frac{\mathbf{k}\ A\ (p_{ext.} - p_{int})}{\mathbf{x}} \quad (6)$$

$\Delta W / \Delta \theta$ es la cantidad de vapor de agua que pasa a través del empaque por día, este valor difiere de cada película plástica por la composición que tenga cada empaque y las condiciones ambientales que este expuesto.

Para determinar el tiempo crítico de vida útil del empaque-producto ($\boldsymbol{\theta_c}$) a estas condiciones es necesario aplicar la siguiente fórmula:

$$\Theta c = \frac{\text{Ln } \bar{p}_c}{(k/x)^* (A/Ws)^* (Po/b)} \quad (7)$$

Donde utilizamos la razón de permeabilidad de vapor de agua del empaque por día (k/x), el área de los empaques de prueba (A), el peso seco del producto contenido (Ws), la presión externa del empaque (Po), b es la tangente entre la Humedad crítica y la Humedad inicial del comportamiento del empaque-producto con sus respectivas actividades de agua.

Sabiendo que:

$$W_{\text{seco sólido}} = (W_{\text{inicial}} - W_{\text{empaque}}) * (\%\ \text{sólidos}\ /100) \quad (8)$$

CAPÍTULO 3

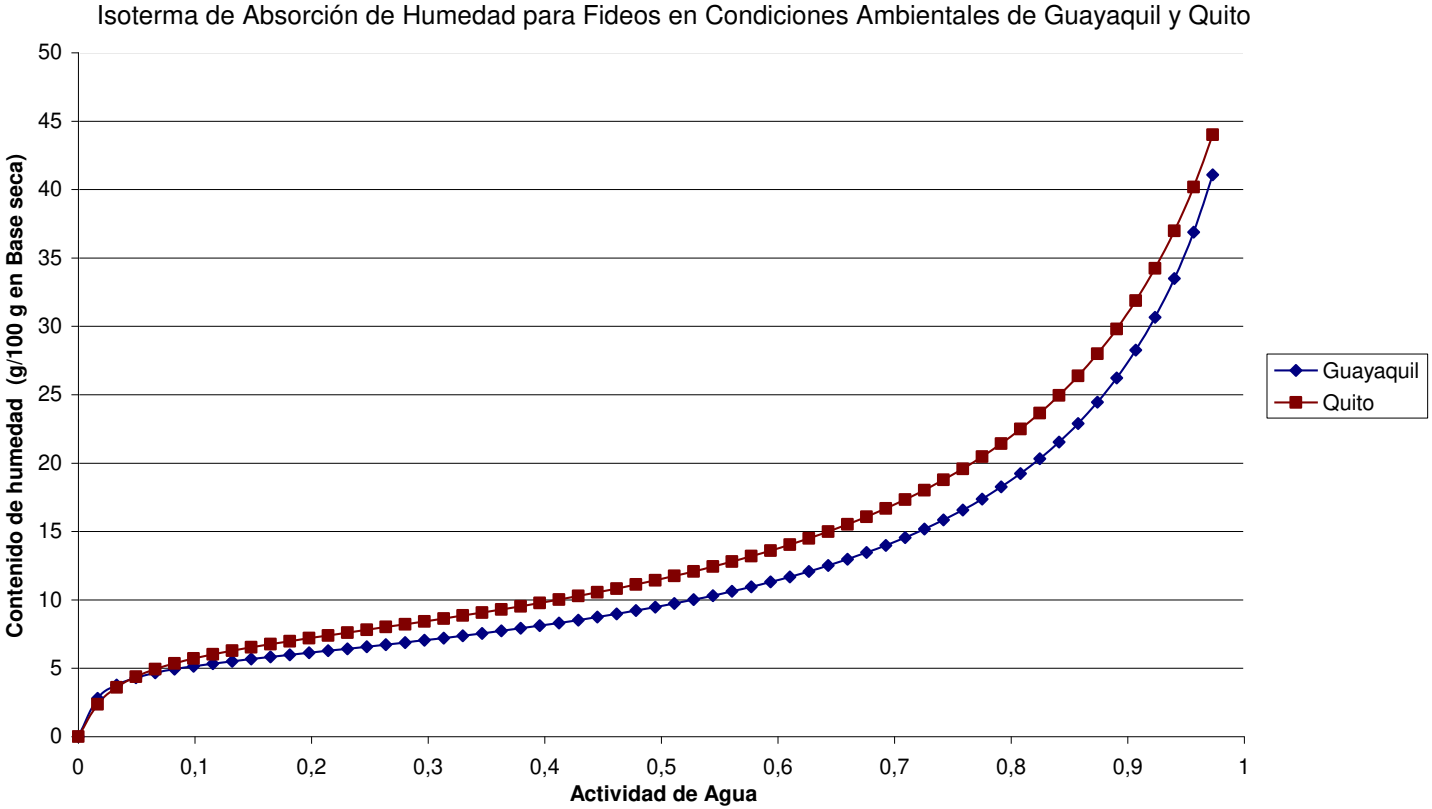
ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Isotermas de Absorción a dos diferentes Temperaturas.

De la figura 4 a la figura 6 se muestran las isotermas de absorción de cada producto, y el efecto que tiene la temperatura sobre las mismas en condiciones de Guayaquil y Quito, respectivamente:

Se puede observar en la figura 4, que la forma de la isoterma de absorción de fideos tanto en condiciones de Guayaquil como Quito es una "**S alargada**". Este comportamiento se debe a la estructura semi-porosa del alimento, característico de productos que contienen almidón en su estructura. Los alimentos que siguen este modelo de isoterma contienen menos agua a las temperaturas más altas que a las más bajas. Se acepta ampliamente que un aumento en la temperatura produce una humedad de equilibrio menor en los alimentos.

Figura 3,1


Isoterma de Absorción de Humedad para Fideos en Condiciones Ambientales de Guayaquil y Quito
Contenido de humedad (g/100 g en Base seca)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
Actividad de Agua
Guayaquil
Quito

Si se eleva la temperatura el valor de la Aw también se incrementa al igual que la presión de vapor, esta tendencia se observa en la mayoría de los alimentos (1), mostrando una mayor elevación de

la curva a una alta actividad de agua. Se puede observar además el efecto de las condiciones ambientales (ºT) en la ligabilidad del agua.

Los valores de monocapa de humedad determinados para Quito y Guayaquil de los diferentes productos se encuentran en la tabla 8. Estos valores se encuentran influenciados por la temperatura y actividad de agua del alimento. Y nos indican que a bajas temperatura (ºT Quito) existe una mayor estabilidad de los productos a mayores humedades relativas ambientales. Esta diferencia se debe a la temperatura, que conlleva una mayor disponibilidad de agua a una menor temperatura. A pesar de esto, la composición del alimento no se ve afectada debido a que no se produce un incremento en la humedad relativa que rodea el producto.

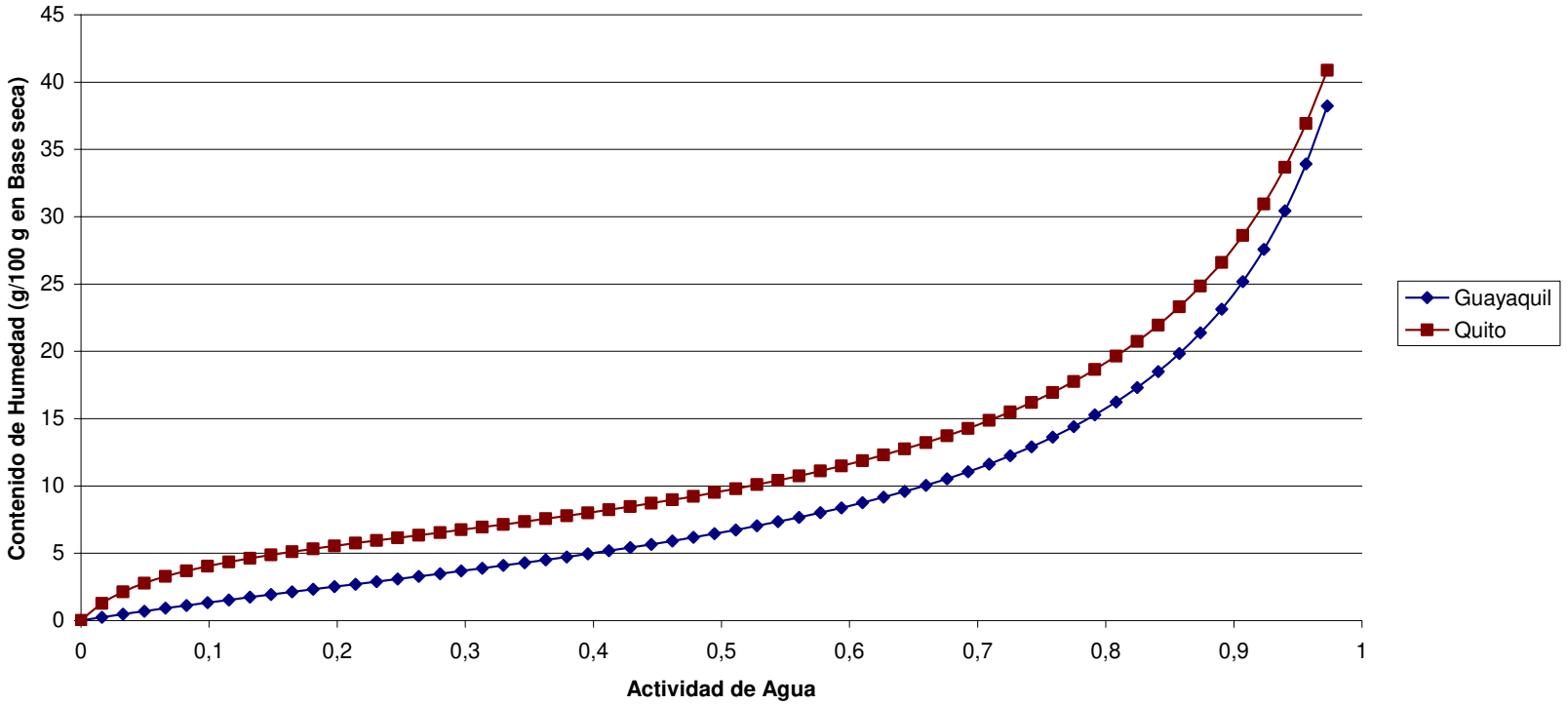
Tabla 8

Monocapa de humedad (g/100 gramos de humedad en base seca).

	Guayaquil		**Quito**	
	Monocapa	**Aw**	**Monocapa**	**Aw**
Fideos	5,375	0,119	6,733	0,163
Tapioca	4,903	0,27	5.698	0,3
Caldo Soluble de Gallina	15,08	0,34	21.50	0,467

Figura 3,2

Isoterma de Absorción de Humedad para Colada "Tapioca" en Condiciones Ambientales de Guayaquil y Quito



Si se observa la figura 3.2, que representa la isoterma de la tapioca se puede observar que la forma es muy similar a la Isoterma del Fideo, debido a la presencia de almidones.

Entonces se puede concluir que los alimentos con alto contenido de almidones (fideos, tapioca) presentan la misma forma sigmoidal de la isoterma. Los almidones son los constituyentes más afectados por la captación de agua debido a su hinchamiento y retro-degradación en la gelatinización. El almidón de maíz presenta un menor hinchamiento en su estructura que los otros almidones tales como los almidones de papa, sorgo céreo y los modificados (1).

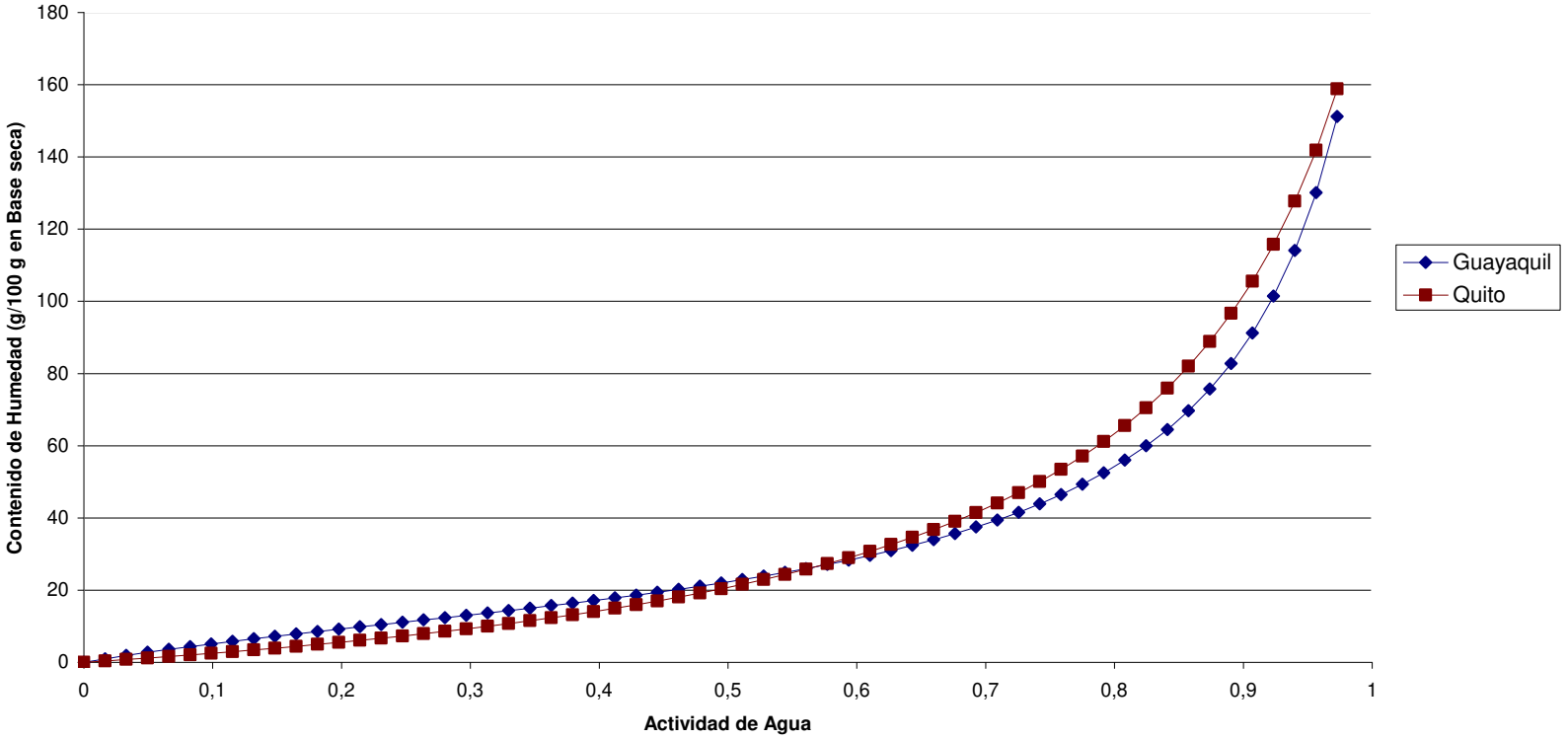
Condimento (Caldo Soluble de Gallina "Ranchero")

La Isoterma de Absorción del Caldo soluble de gallina difiere en su forma de las isotermas del fideo y tapioca. En este producto, la isoterma presenta una forma semi-parabólica con tendencia creciente, indicando una alta captación de agua en la estructura del alimento.

Este modelo de isoterma es característico de las substancias cristalinas como por ejemplo el azúcar. En la figura 6 se observan pequeñas ganancias de humedad hasta que llega a una actividad de agua de 0,7 – 0,8, donde se presenta una tendencia de incremento. Este fenómeno se debe a que el único efecto que produce el agua, es la vinculación de los hidrógenos a los grupos oxhidrilos –OH que se adhieren a la superficie del cristal.

Figura 3,3

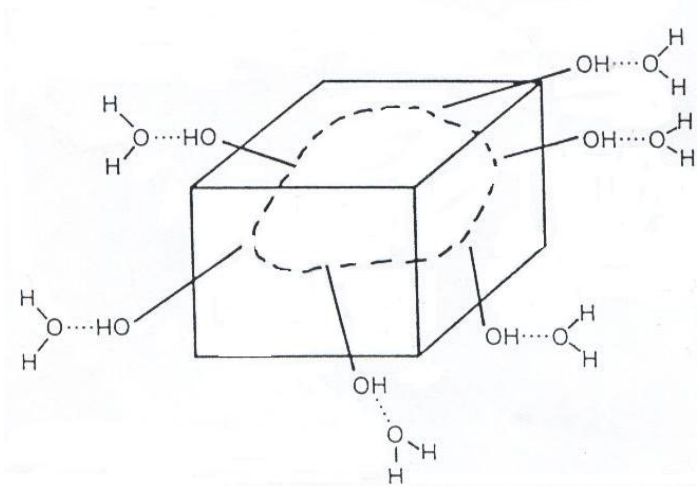
Isoterma de Absorción para el Caldo Soluble de Gallina en Condiciones Ambientales de Guayaquil y Quito



Luego en actividades de agua de 0.7 a 0.8, el agua empieza a ingresar hacia la estructura interna del cristal, rompiendo así su forma. (fig. 3.4).

Figura 3.4

Superficie de absorción del agua sobre un material cristalino



Fuente: Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use, (5).

A una baja actividad de agua, el efecto dieléctrico del agua no es lo suficiente fuerte para romper la interacción entre las moléculas del producto. Sin embargo a medida que se incrementa la actividad de agua, la interacción de los cristales del producto con el agua global es suficiente para causar la disociación de molécula-molécula. De esta manera el agua comenzará a penetrar dentro del cristal, disolviendo la moléculas del producto y mostrando una nueva superficie o estructura (5), provocando así elevación instantánea de agua libre a Aw de 0.7 – 0.8.

3.2 Determinación de Humedad Crítica

Para determinar la Humedad Crítica de los productos se lo realizo mediante una Evaluación Sensorial, un Análisis microbiológico y Pruebas Físico-Químicas, en las cuales la metodología fue descrita en el capitulo 2.

3.2.1 Evaluación Sensorial

- **Fideos**

En conjunto con la Isoterma de Absorción, se realizo una evaluación sensorial de fideos a diferentes contenidos de humedad (Tabla 9).

Para determinar el punto de Humedad Crítica en el cual, el producto empieza a perder sus características organolépticas, el factor evaluado en los fideos es la textura y el apelmazamiento; también se definió un contenido de humedad como inaceptable, donde el fideo se deforma totalmente presentando cuarteos, blanqueamientos y forma irregular.

Tabla 9

Contenidos de humedad para las pruebas de determinación de la Humedad Crítica para Fideos.

Contenido de Humedad	%Xf	g/100 g Base Seca
A	14.077	16,383
B	14.247	16,615
C	14.671	17,194
D	16.211	19,348
Inaceptable	20.50	25.792

Los fideos utilizados en la determinación de la Humedad Crítica contienen humedades mayores a 14% en base húmeda, el cual es el porcentaje que tiene todos los fideos como límite permisible para su distribución.

Los contenidos de humedad seleccionados corresponden a una Aw entre 0.7 - 0.8, son valores en los cuales el fideo comienza a tener un cambio físico en su estructura.

La evaluación sensorial fue realizada mediante una Prueba de Comparaciones Múltiples, cuyo objetivo es determinar la diferencia significativa que representa cada porcentaje de humedad respecto a la humedad inicial del fideo. Es decir el grado de afectación del fideo por medio de un análisis de varianza

En esta prueba se muestra la sumatoria y promedio de las calificaciones otorgadas por los panelistas según la escala definida (ver apéndice 2):

Tabla 10

Sumatoria y promedio de las apreciaciones de los panelistas para los fideos.

Muestras	Sumatoria	Promedio
A	115	3.833
C	89	2.967
B	87	2.900
D	45	1.500

Tabla 11

Resultado de la Evaluación sensorial para el fideo.

Muestras	DM	>	DS
A - C	0,867	>	0,540153
A – B	0,933	>	0,540153
A – D	2,333	>	0,540153
B - C	0,067	>	0,540153
C - D	1,467	>	0,540153
B - D	1,400	>	0,540153

Se puede observar que el valor de la diferencia media (DM) obtenida por la calificación de los panelistas es menor a la Diferencia significativa (DS) en la sustracción de las muestras B y C, lo que indica que éstas muestras son muy similares entre sí, pero son significativamente diferentes a la muestra A y D, debido a que la diferencia encontrada por los panelistas (DM) no es aparentemente visible con respecto al factor evaluado.

En las muestra B y C, se observa un ligero apelmazamiento y deformación en los fideos, en cambio la muestra D presenta un apelmazamiento y deformación más notoria que las otras tres muestras, el contenido de humedad se elevo hasta un 16,21%. Por consiguiente definimos en este punto la **Humedad Crítica** de los fideos. En base a la Evaluación sensorial del fideo, se determino que la humedad crítica se encuentra en una Aw de 0.808.

Para determinar la humedad crítica del fideo en Quito, se localiza esta actividad de agua en la figura 5 e interceptamos la curva de la isoterma y nos prolongamos hacia el eje y donde se encuentra el contenido de humedad crítico en condiciones ambientales de Quito.

- **Tapioca**

La siguiente tabla muestra el porcentaje de humedad en base seca de las muestras seleccionadas para el estudio.

Tabla 12

Contenidos de humedad para las pruebas de determinación de la Humedad Crítica para tapioca

Contenido de Humedad	% Xf	g/100 g Base seca
A	10,84	12.1622
B	11,11	12.4975
C	12,58	14.39722
D	13,25	15.2776
Inaceptable	15,15	17.8567

También se definió un contenido de humedad como inaceptable en el cual el producto presenta una mayor grumosidad y pérdida de aromas (18).

Para realizar la evaluación sensorial, se presentaron cuatro contenidos de humedad de Tapioca diferentes. Los valores obtenidos en la evaluación sensorial se analizaron mediante un Análisis de Varianza:

Tabla 13

Sumatoria y promedio de las apreciaciones de los panelistas para la tapioca.

Muestras	Sumatoria	Promedio
C	218	7,3
D	205	6,8
A	168	5,6
B	157	5,2

Se realiza una diferencia entre los promedios de las muestras y se los compara con la DS obtenido por Tabla (observar Apéndice B).

Tabla 14

Resultados de la evaluación sensorial para la tapioca

Muestras	DM	>	DS
C – D	0.4	>	0.6004
C – A	1.7	>	0.6004
C – B	2,0	>	0.6004
D – A	1.2	>	0.6004
D - B	1,6	>	0.6004
A - B	0.4	>	0.6004

Se observa que entre las muestras C y D no hay diferencia significativa por lo tanto son similares entre si, debido a que el valor de la Diferencia media obtenida de la evaluación de los panelistas no es mayor a la Diferencia significativa obtenida por tabla (observar Apéndice B).

Esto también se puede observar en las muestras A y B; por consiguiente se concluye que los contenidos de humedad ganados entre la muestra C y D son significativamente diferentes a las muestras A y B.

Las primeras dos muestras son muy parecidas en apariencia a la muestra Original, la grumosidad se empieza a observar ligeramente en la C pero más notoria en la muestra D. El panel determino que a partir de la muestra C ocurría una perdida de aromas con respecto al original y se sentía un olor más a Harina.

La muestra D tiene una apariencia más desagradable y grumosa comparada con las otras muestras, se puede decir que a partir de la muestra C se define la Humedad crítica sensorialmente.

Para determinar los efectos de la cantidad de humedad ganada más adelante se realizó un experimento con respecto a la Gelatinización en otras palabras el efecto de la humedad en la viscosidad de la Tapioca. Sensorialmente definimos que la Humedad crítica en Guayaquil es 14.3872 g/100 gramos Contenido de Humedad en Base Seca y se encuentra en una Aw de 0.78 o 78% de HR.

- **Caldo Soluble de Gallina (Ranchero)**

Un requerimiento importante es determinar el punto de Humedad Crítica en el cual el producto no es aceptable sensorialmente o microbiológicamente. Por tanto, realizamos el mismo procedimiento de los productos anteriores, como se puede observar en la tabla 15, cada muestra presenta una diferente contenido de humedad, partiendo de un contenido inicial de 5.04%.

Tabla 15

Contenidos de humedad para las pruebas de determinación de Humedad Crítica para el caldo soluble de gallina

Contenido de humedad	% Xf	g/100 g Base seca
A	6,338	6.7668
B	6,707	7.1889
C	7,534	8.1481
D	8,33	9.0874
Inaceptable	12,619	13.875

A medida que el contenido de humedad aumenta se ve afectada la apariencia del producto. En el caso, del contenido de humedad inaceptable, se indica que a este porcentaje de humedad sucede un apelmazamiento severo y el producto se empieza a agolpar a la superficie que lo contenga.

En la tabla 16 y 17 se muestra el resultado de la evaluación sensorial.

Tabla 16

Sumatoria y promedio de las apreciaciones de los panelistas para el caldo soluble de gallina.

Muestra	Sumatoria	Promedio
D	237	7,9
C	236	7,87
B	161	6,37
A	155	5,17

Tabla 17

Resultados de la evaluación sensorial para caldo soluble de gallina

Muestras	DM	>	DS
D – C	0.03	>	0.5205
D – B	1.53	>	0.5205
D – A	2.73	>	0.5205
C – B	1.50	>	0.5205
C - A	2.70	>	0.5205
B - A	1.20	>	0.5205

Se puede observar en la tabla 17 que el valor de la diferencia media entre la muestras C y D obtenida por los panelistas, no es mayor al valor de la Diferencia significativa, por lo tanto se concluye que estas muestras son similares entre sí, pero diferentes a las Muestra A y B debido a que el contenido de humedad captado en las muestras C y D es mayor

reflejándose claramente en el grado de apelmazamiento comparado con las otras muestras

3.2.2 Análisis Microbiológicos

- **Fideos**

Adicionalmente de la evaluación sensorial, se analizó microbiológicamente la humedad crítica del producto. Se definió como inaceptable, al crecimiento de aerobios, mohos y levaduras.

Para los análisis microbiológicos se tomo los contenidos de humedad B, C y D; por la diferencia que existe en su textura y contenido de agua con respecto a la muestra de original. En cambio la muestra A tiene un aspecto muy similar al original y el contenido de agua ganado no es significativo con respecto a la muestra original.

Tabla 18

Crecimiento de aerobios en los diferentes contenidos de humedad del fideo.

Muestra	Dilución	Resultado
B	10^{-1}	1 ufc/g
B	10^{-2}	1 ufc/g
C	10^{-1}	1 ufc/g
C	10^{-2}	1 ufc/g
D	10^{-1}	1 ufc/g
D	10^{-2}	1 ufc/g

Los resultados de los análisis indican que el crecimiento de mesófilos no es significativo en ninguno de las muestras porque se encuentra dentro de los

requisitos microbiológicos para las pastas alimenticias o fideos secos. En el caso de las siembras microbiológicas en PDA no produjeron ningún crecimiento con respecto a Mohos y levaduras por lo tanto, la Humedad crítica esta definida principalmente por el análisis sensorial en el cual se evalúa la textura y la apariencia.

- **Tapioca**

Se realizo el mismo procedimiento que en el fideo. El análisis se realiza a las muestras B, C y D., los resultados obtenidos muestran que el crecimiento de mesófilos es aceptable en las muestras B, C y D con respecto a la norma INEN 2 051:95.

En el análisis de Mohos y Levaduras no se obtuvo crecimiento de estos microorganismos en las muestras analizadas. Por lo tanto el producto es aceptable microbiológicamente a estas humedades.

Tabla 19

Crecimiento de aerobios en los contenidos de humedad para la tapioca.

Muestra	Dilución	Resultado
B	10^{-1}	3 ufc/g
B	10^{-2}	1 ufc/g
C	10^{-1}	1 ufc/g
C	10^{-2}	1 ufc/g
D	10^{-1}	6 ufc/g
D	10^{-2}	1ufc/g
D	10^{-3}	1ufc/g

- **Caldo Soluble de Gallina (Ranchero)**

En este caso se observo el crecimiento de aerobios totales en cada uno de los contenidos de humedad definidos.

Tabla 20

Crecimiento de Aerobios para Caldo Soluble de Gallina.

Muestra	Dilución	Resultado
B	10^{-1}	4 ufc/g
B	10^{-2}	2 ufc/g
B	10^{-3}	0 ufc/g
C	10^{-2}	13 ufc/g
C	10^{-1}	1 ufc/g
C	10^{-3}	0 ufc/g

Por lo tanto se realizo un análisis con respecto a una muestra de caldo soluble con su contenido original de agua.

Tabla 21.

Análisis microbiológico para el caldo soluble de gallina con su contenido de agua original.

Contenido de humedad	Dilución	Resultado
Original	10^{-1}	15 ufc/g
Original	10^{-2}	7 ufc/g

Los resultados indicaron que el producto contiene alta carga microbiana esto se debe a que son mezclas de especies que se pueden contaminar durante

el empacado. Adicionalmente el consumo de este producto es en caliente pudiendo eliminar los microorganismos presentes en el alimento.

En el análisis de las muestras en PDA se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 22

Resultado microbiológico con respecto a mohos y levaduras en el Caldo soluble de gallina.

Muestra	Dilución	3 días	6 días
B	10^{-1}	1 espora	2 esporas
B	10^{-2}	1 espora	2 esporas
B	10^{-3}	2 esporas	4 esporas
C	10^{-2}	3 esporas	incontables
C	10^{-1}	3 esporas	incontables
C	10^{-3}	2 esporas	incontables

Y también se realizo un análisis con su contenido original de agua para observar su crecimiento de mohos y levaduras:

Tabla 23

Análisis de mohos y levaduras al contenido de humedad original en el Caldo soluble de gallina.

Muestra	Dilución	3 días	6 días
Original	10^{-1}	1 espora	Incontables
Original	10^{-2}	2 esporas	incontables

Y se observo el crecimiento de mohos y levaduras, aún en el producto con su contenido original de agua.

3.2.3 Pruebas Físico-Químicas

Ahora se realizan pruebas que evalúan el grado de afectación de los productos en sus características organolépticas y sensoriales. (Ver Cáp. 2)

3.2.3.1 Texturización del Fideo.

La Prueba de texturización del fideo se realizo con cuatro diferentes contenido de humedad y la Muestra Original para realizar una comparación. Se observo que la textura del fideo original al ser cocinado, tiene una mejor apariencia de soltura y firmeza con respecto a las muestras B, C y D.

Tabla 24

Características presentadas en la cocción de las diferentes muestras de Fideos

Muestras	Apariencia
A	Apariencia Normal, similar al original
B	Inicio de cambio de coloración (Pálido) y la textura menos firme.
C	Color Pálido y textura similar a la muestra B
D	Blanqueada y la textura pegajosa y chiclosa (HC).

3.2.3.2 Gelatinización de los Almidones de la Tapioca.

La prueba de Gelatinización de los almidones presentes en la Tapioca se realizo con las 4 muestras definidas en la Evaluación Sensorial (19) y (20).

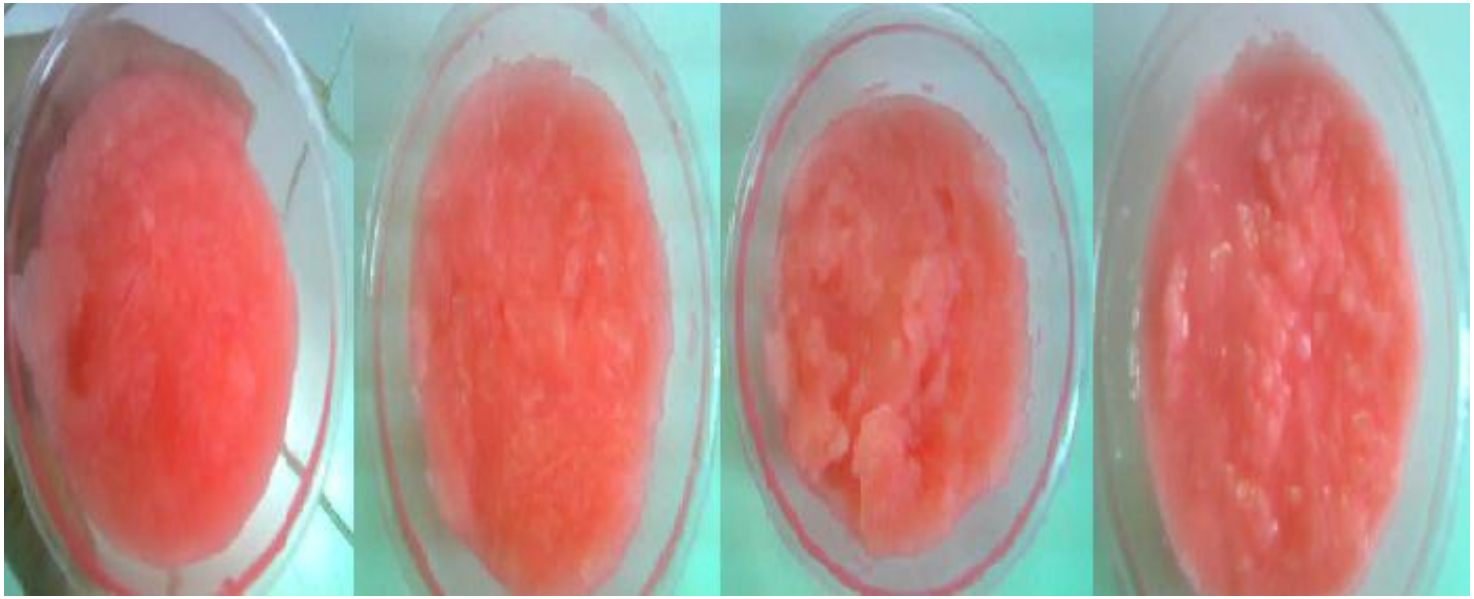
Tabla 25

Afectaciones físicos - químicas de la Tapioca.

Muestras	Resultados
A	• Presento una forma de gel • Una pequeña exudación de agua. • No sufrió daños en su estructura.
B	• Presento una forma de gel • Exudación notoria de agua aplicando presión sobre la superficie • Pérdida de Color.
C	• Empieza una ruptura en la formación del gel. • Exudación más notoria sin aplicar presión el la superficie • Pérdida de Color.
D	• Alta exudación de agua • Pérdida de color y olor • No presento Gelatinización • Retro-degradación de Almidones.

FIGURA 3.5

GELATINIZACION Y RETRO-DEGRADACIÓN DE LOS ALMIDONES PRESENTES EN LA COLADA “TAPIOCA”



Este fenómeno sucede porque los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero poseen una estructura altamente organizada debido a la interacción que existe entre sus dos polisacáridos constituyentes (amilosa-amilopectina). A medida que se incrementa la temperatura, los gránulos empiezan a hincharse e incrementar su volumen debido a la retención de agua. Este proceso se denomina Gelatinización y es una transición de un estado ordenado a otro desordenado por la adición de calor (1).

Se da el nombre de temperatura de Gelatinización cuando la muestra alcanza su máxima viscosidad.

Es importante indicar que al final de este fenómeno se genera una pasta en la que existen cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los otros gránulos (1). Este efecto se puede observar en las muestras porque contienen diferente grado de Aw que genera una viscosidad diferente en cada una de ellas.

Mientras menos cantidad de humedad captada del ambiente tenga la muestra más rápida será su gelatinización y menor será su retro-degradación, esto también puede observarse en el efecto que tiene la viscosidad de la muestra cuando se enfría.

Pero cuando la muestra es refrigerada y descongelada a temperatura ambiente se puede observar una exudación de agua en la superficie o en la estructura interna del gel, esto se denomina Retro-degradación de los

almidones del producto, que se define como la insolubilización y precipitación espontánea de los enlaces cristalinos de los polisacáridos (1).

En el caso de la Muestra A y B se puede observar una apariencia similar y la formación de un gel con menor proporción de exudación de agua, debido a que tiene menor cantidad de humedad ganada del ambiente.

En la muestra C, se puede empezar a ver un cambio en la estructura de retro-degradación de los almidones.

En cambio, en la muestra D se puede ver una degeneración completa en la estructura lineal y ramificada de los almidones, con una exudación más notoria de agua en los alrededores y superficie de la muestra.

Figura 3.6

Retro-degradación en la gelatinización de los almidones en la muestra D.

3.2.3.3 Ganancia de peso del Ranchero.

En el caso del Caldo Soluble de Gallina "**Ranchero**" se evalúo la ganancia de peso del caldo soluble de gallina debido a la exposición de la humedad relativa del ambiente, produciéndose la solubilización del producto.

El porcentaje de humedad del producto original es 5.02%.

Tabla 26.

Ganancia de peso del Caldo soluble de gallina

Muestras	% Humedad adquirido
A	6,34 %
B	6,71 %
C	7,53 %
D	8,33%

Se puede concluir que el peso del caldo soluble aumenta a medida que capta humedad o vapor de agua del ambiente, de manera que se produce una solubilización de las moléculas del producto, dando como resultado formación de Grúmulos notorios en la superficie del producto. La Humedad crítica del producto esta definida en la muestra **B**, sensorial y microbiológicamente.

3.3 Análisis a Películas Plásticos

Para el siguiente análisis, realizamos un experimento que involucra la cantidad de humedad absorbida a través de la película plástica hacia el interior del empaque donde se encuentra el producto.

3.3.1 Permeabilidad de Humedad del ambiente hacia los Empaques Plásticos.

Los empaques fueron sometidos a 2 diferentes condiciones ambientales, primero para Guayaquil con 80% de HR y a condiciones atmosféricas extremas con 97 - 100% HR a 32ºC

En este parte, nos enfocaremos en la permeabilidad al vapor de agua de los diferentes tipos de empaques (Laminado 1, Polietileno, Polipropileno), escogidos.

En base a estas permeabilidades de vapor de agua, se nos permitirá realizar una gráfica en la cual se puede observar la tendencia del empaque (ln P_i) con el producto versus el tiempo a través del empaque hacia el producto, observar Cáp. 2.

A continuación se observa en las figuras 3.7 y 3.8; la tendencia de permeabilidad del vapor de agua para el fideo en función de un intervalo de días con cada película plástica con respecto a 80 y 97-100 %HR a 32ºC. Y Se observo el comportamiento de cada película plástica, al cambio de condiciones ambientales de Guayaquil (80%HR) a Condiciones extremas atmosféricas (97 – 100% HR).

Figura 3.7

Comportamiento de empaques de prueba para fideos en Condiciones ambientales de Guayaquil

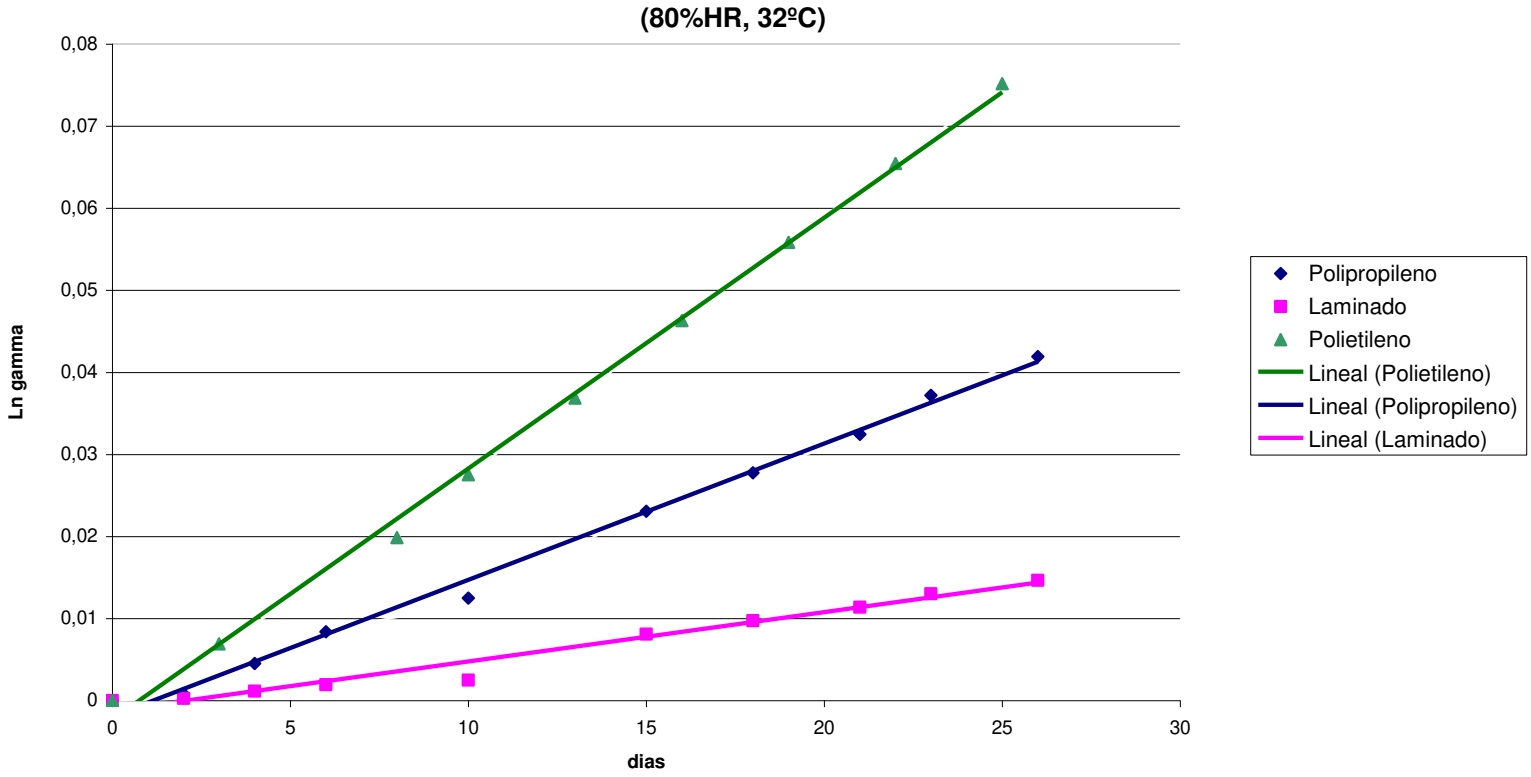
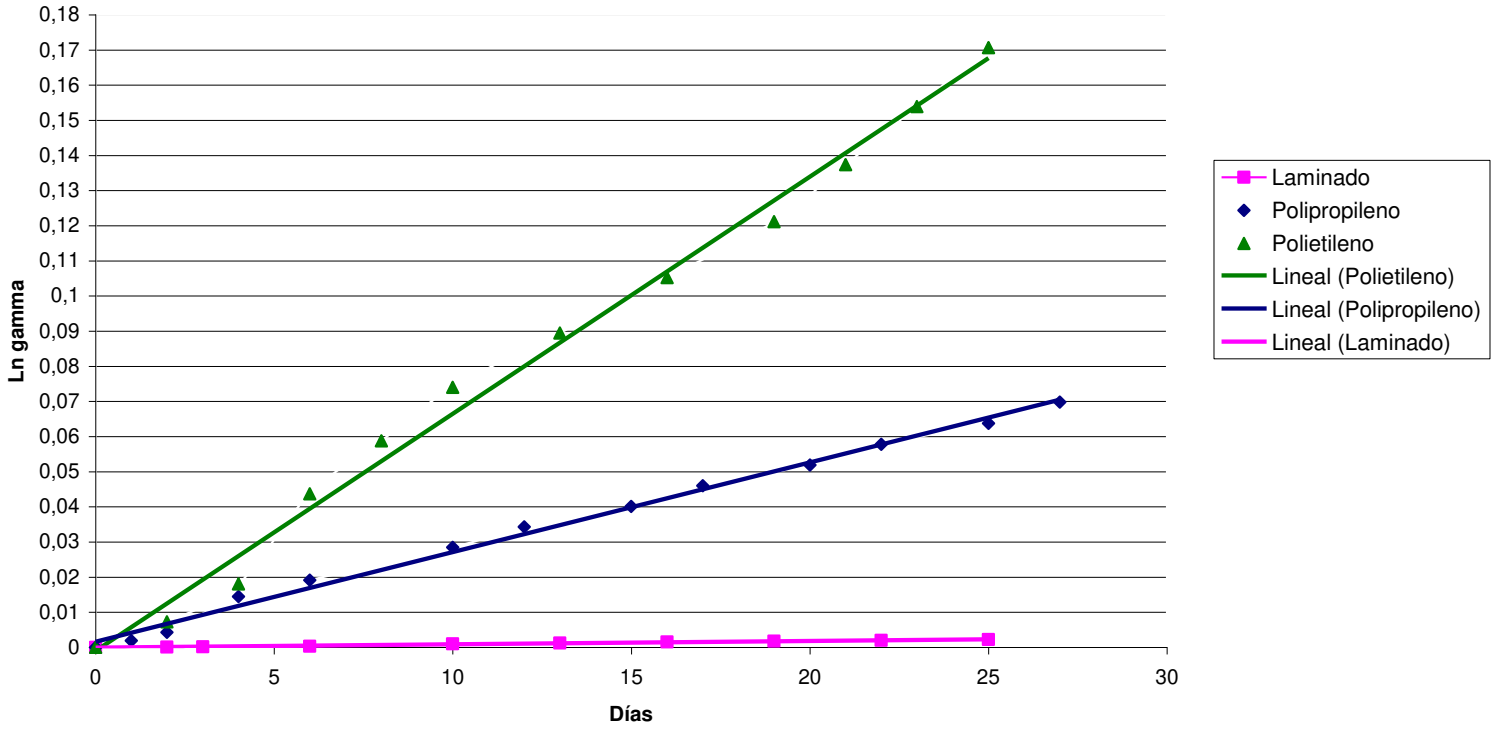


Figura 3.8

Comportamiento de empaques de prueba para fideos en condiciones ambientales extremas.



La película plástica de menor permeabilidad al vapor de agua es el empaque laminado en ambas condiciones ambientales debido a que es un empaque que esta formado por la unión de varias películas plásticas descritas en el Cáp.2, tales como polietileno, aluminio y polipropileno son una barrera en contra del vapor de agua, permitiendo una variación de ingreso promedio de 0.0015 por día dependiendo las condiciones ambientales.

La tendencia intermedia de permeabilidad para Guayaquil y condiciones extremas fue el empaque de Polipropileno, este tipo de empaque se encuentra constituido por una base de polipropileno y se respectivo adhesivo además de una capa de polipropileno adicional, que proporciona una defensa al vapor de agua del ambiente y la mayor tendencia de permeabilidad la obtuvo el Polipropileno para ambas condiciones atmosféricas, debido a que es un empaque sencillo, que podría ser utilizado en condiciones de Guayaquil, más adelante observaremos el tiempo de vida útil de estos empaques con respecto a las condiciones ambientales definidas.

En el caso de la colada Tapioca las figuras 3.9 y 3.10 muestran el comportamiento de los empaques de prueba - producto en condiciones ambientales de Guayaquil y Extremas con respecto a la tendencia de permeabilidad por un período de tiempo de 15 días.

En ambas condiciones se pudo observar que la menor tendencia de permeabilidad o ganancia de agua la tiene el empaque 1) Laminado 1,

proveyendo mayor tiempo de vida útil en percha del producto; 2) Laminado 2, este empaque también esta formado por varias películas plásticas pero no posee una capa de aluminio tal como el laminado 1; y 3) el Polietileno de Alta densidad, que presento una mayor permeabilidad por ser un empaque sencillo. Y por último para el caldo soluble de gallina, las figuras 3.11 y 3.12 muestran el comportamiento de permeabilidad de los empaques de prueba y se observo la tendencia de menor a mayor permeabilidad: 1) Laminado 1, 2) Laminado 2, 3) Papel laminado y 4) Polietileno de baja densidad, el orden de permeabilidad en los empaques se mantiene a las dos condiciones ambientales.

3.3.2 Obtención del Gamma Crítico

Siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo dos, se definió para el fideo, la tapioca y el caldo soluble de gallina la humedad de equilibrio, la humedad inicial y la humedad crítica de los productos.

Tabla 27

Contenido de Humedad de los productos

(g/100 g Contenido de humedad en Base seca).

Productos	$m_{inicial}$	$m_{critica}$	$m_{equilibrio\ 80\%HR}$	$m_{equilibrio\ 100\%HR}$
Fideos	16.28	19.34	21.53	41.06
Tapioca	11.94	14.38	18.89	49.43
Caldo soluble	5.29	7.19	20.24	39.31

El siguiente paso es definir el gamma crítico para cada producto:

Tabla 28

Gamma Crítico

Producto	Ln ¡7c Guayaquil	Ln ¡7c extremo
Fideos	0,87513	0,1319
Tapioca	0,43454	0,0675
Ranchero	0,13566	0,0497

Con el cálculo de Gamma Crítico se procede a realizar una Predicción de Vida útil de los productos en función de la razón de permeabilidad de cada empaque propuesto, que se realizará más adelante.

3.3.3 Efecto de la manipulación del Empaque plástico.

En este análisis, se establecen condiciones ambientales extremas (97-100%HR) y el empaque ha sufrido una previa manipulación, antes de empacarse el producto. Las películas plásticas han sido arrugadas y rayados tanto externamente como internamente para comprobar la eficacia del empaque con respecto a la protección del ingreso de humedad y poder cuantificar el tiempo de vida útil a esas condiciones.

La figura 3.13, indica el comportamiento de cada empaque con respecto a las condiciones externas ambientales para Fideo, el intervalo de tiempo en que se tomo los valores fue de 26 días, la figura 3.14 y 3.15 muestra la Tendencia

de los empaques propuestos para la Tapioca y Caldo soluble de gallina, respectivamente.

Como resultado se puede observar desde la figura 3.13 a la 3.15, que el tiempo de vida útil del producto además de ser afectado por las condiciones ambientales de almacenamiento también se ve afectado por la manipulación de los empaques, reduciendo el tiempo de vida útil y aumentando el ingreso de vapor a través de la película plástica, esto se observara con más detalle en el siguiente ítem.

Figura 3.13

Comportamiento de empaques de prueba manipulados para fideos en condiciones extremas.

(100%HR,32ºC)

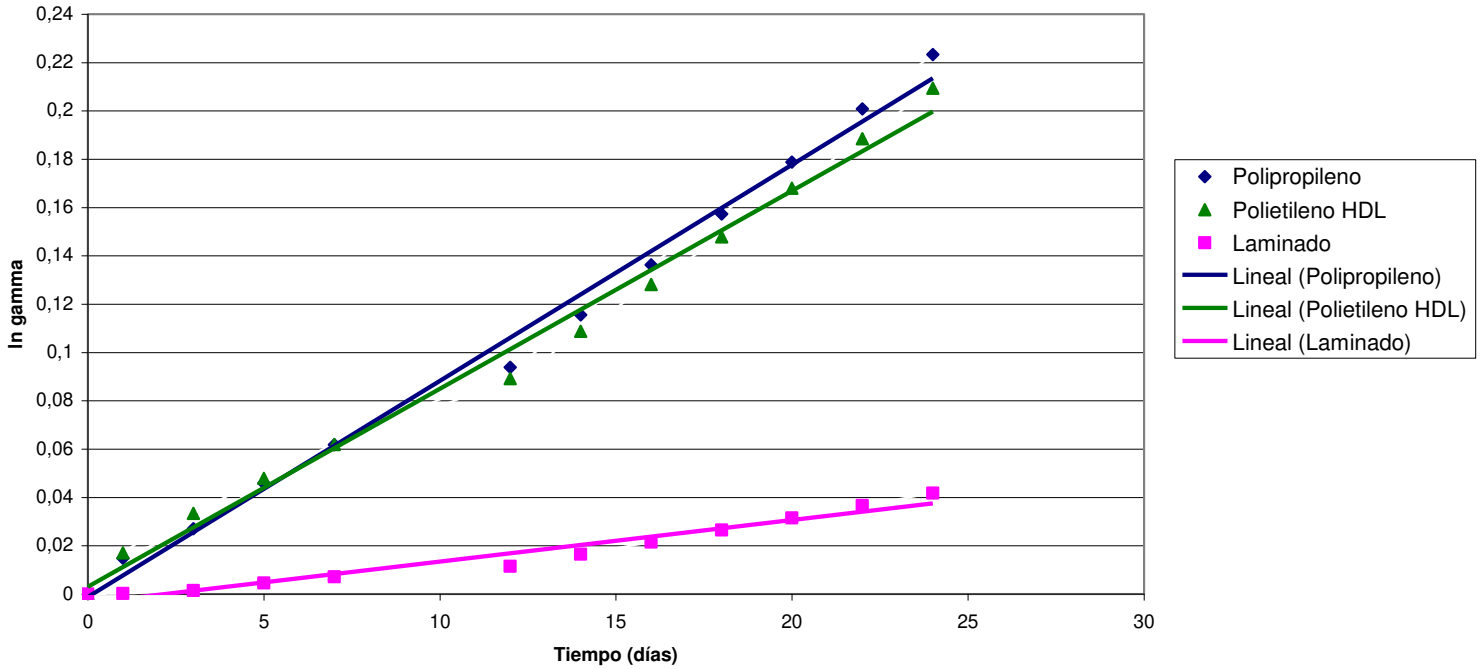


Figura 3.14

Comportamiento de Empaques de prueba manipulados para Tapioca en condiciones extremas.

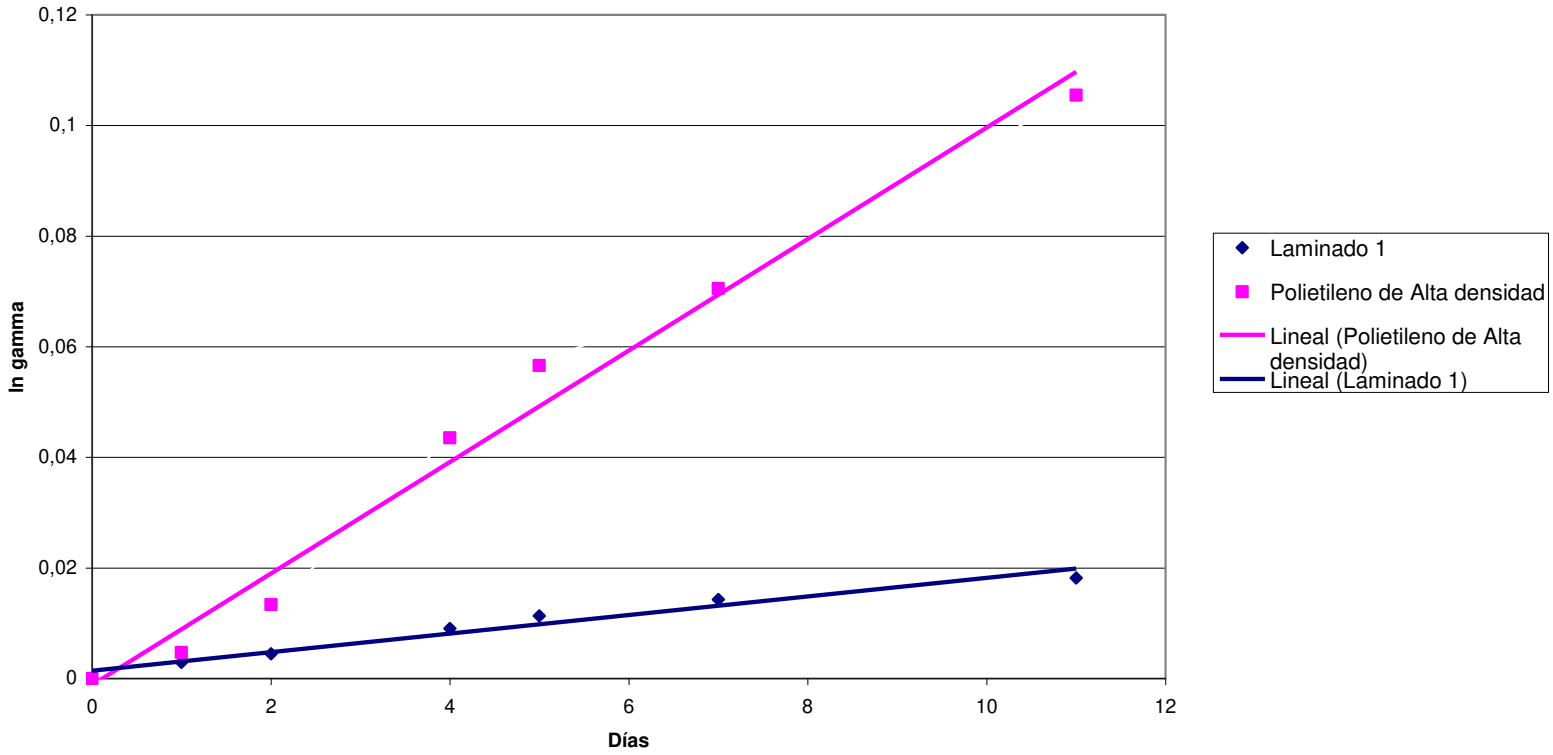
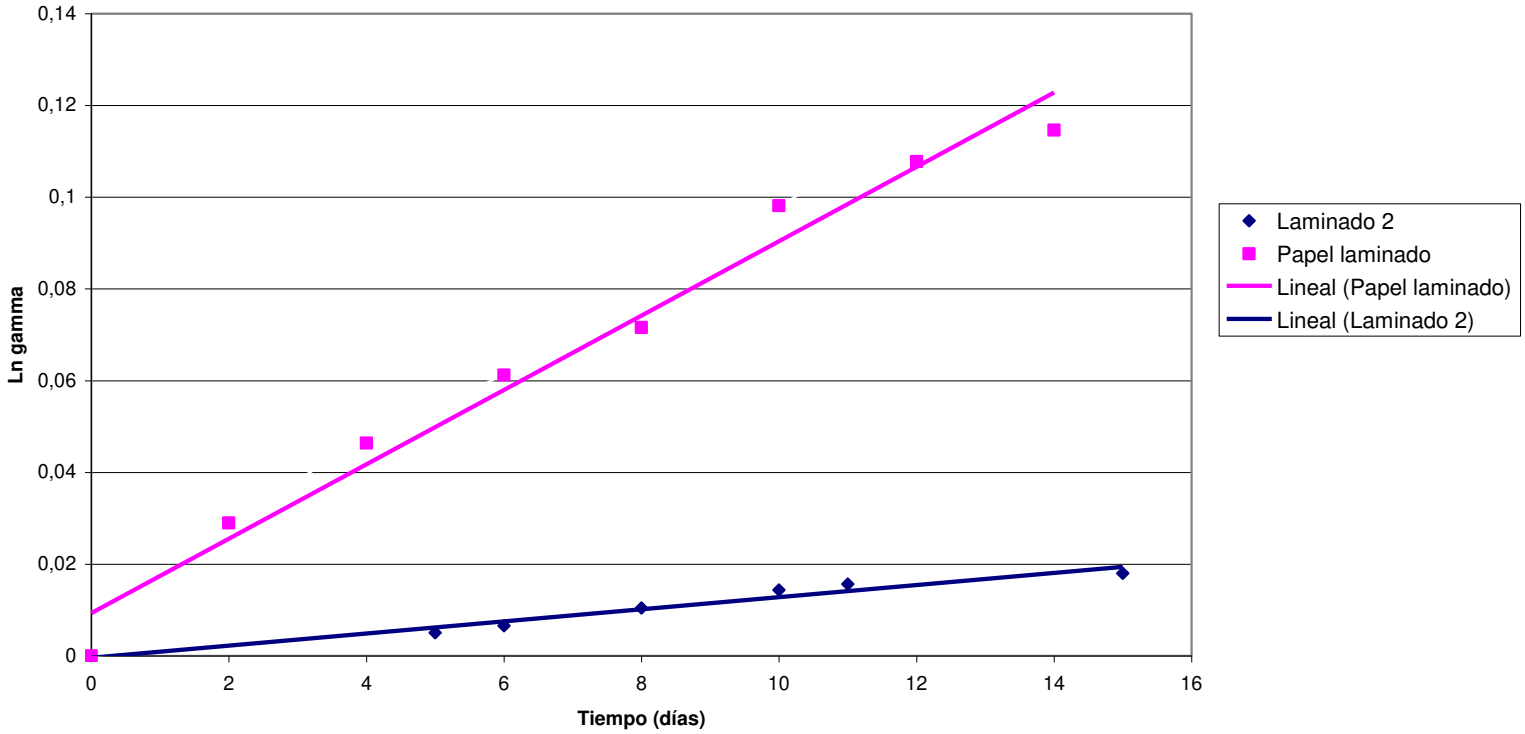


Figura 3.15

Comportamiento de Empaques de Prueba Manipulados para Caldo Soluble en condiciones extremas



3.3.4 Predicción del Tiempo de Vida Útil de los Productos Alimenticios.

Para realizar la predicción de vida útil de los productos, primero se definen las condiciones ambientales para este análisis 80 y 100%HR a 32ºC. El valor de la Presión del medio circundante es 29.33 mmHg a 80% HR y 36.66 mm Hg a 100% HR.

- **Fideo**

El valor de Aw que actúa en el fideo es 0.5, considerando la ecuación 1 obtenemos que la presión del alimento es 14.67 mm Hg.

El diferencial de presión que existe entre el ambiente externo y el interno con respecto al producto es 14.67 mm Hg.

Para poder calcular la razón de permeabilidad del vapor de agua a través del empaque en el fideo usamos la ecuación 6.

En el caso del **Polipropileno**, la permeabilidad transmitida (**k/x**) es 0.0126 g H_2O/ día, cuantificado en la experimentación de permeabilidades de empaque-producto con respecto a las condiciones externas. El área de los empaques de prueba es $8.4.10^{-3}$ m^2. Por consiguiente utilizando la ecuación 6, definimos que el valor de **k/x** es **0.10226 g H_2O/ m^2 día mm Hg**.

Para determinar el tiempo crítico de vida útil del empaque-producto (θ_c) usamos la ecuación 7.

$$\Theta c = \frac{0.875135}{(29.9679 \text{ mm Hg} / 0.54605) * 0.10226 \frac{\text{g } H_2O}{m^2 \text{ día mm Hg}} * (8.4.10^{-3} \text{ } m^2 / 29.3457 \text{ g})}$$

Θc = 544 días equivalente a un año y cinco meses usando empaque de Polipropileno.

Tabla 29

Razón de permeabilidad de vapor de agua para empaques de prueba para fideos (g H_2O/ m^2 día mm Hg)

Empaques	**k/x 80%HR**	**k/x 100%HR**	**k/x Manipulados**
Polipropileno	0.10226	0.07	0.07384
Polietileno	0.03141	0.0945	0.1319
Laminado 1	0.00446	0.01211	0.02717

Una vez determinado la razón de permeabilidad de vapor de agua de cada empaque, con la ecuación 7 se procede a determinar el tiempo de vida de cada producto con su respectivo empaque.

Tabla 30

Tiempo de Vida útil del fideo.

Empaques	**80%HR** (Nuevo)	**100%HR**(Nuevo)	**100%HR**(Manipulado)
Polipropileno	544 días	100 días	95 días
Polietileno	593 días	52 días	34 días
Laminado 1	4695 días	1571 días	258 días

Se puede observar una reducción del tiempo de vida útil a medida que las condiciones ambientales se vuelven más agresivas y también considerando una previa manipulación al empaque.

- **Tapioca**

Se realizo el mismo procedimiento anterior para determinar el tiempo de vida útil del producto- empaque.

Tabla 31

Razón de permeabilidad de vapor de agua para empaques propuestos para tapioca (g H_2O/ m^2 día mm Hg).

Empaques	**k/x 80%HR**	**k/x 100%HR**	**k/x Manipulados**
Laminado 1	0.02234	0.0672	0.02312
Laminado 2	0.1573	0.1393	0.1073
Polietileno	0.15456	0.13306	0.1330

Por lo tanto, utilizando la ecuación 7 se determina el tiempo de vida en percha de la tapioca.

Tabla 32

Tiempo de vida útil para Tapioca.

Empaques	**80%HR** (Nuevo)	**100%HR**(Nuevo)	**100%HR**(Manipulado)
Laminado 1	1144 días	487 días	470 días
Laminado 2	237 días	101 días	75 días
Polietileno HDL	88 días	82 días	17 días

- **Caldo soluble de gallina**

En esta experimentación se utilizo 4 diferentes películas plásticas para determinar el tiempo de vida útil crítico.

Tabla 33

Razón de permeabilidad de vapor de agua para empaques propuestos para caldo soluble de gallina (g H_2O/ m^2 día mm Hg).

Empaques	k/x 80%HR	k/x 100%HR	k/x Manipulados
Laminado 1	0.02234	0.00323	0.01789
Laminado 2	0.1573	0.0098	-
Polietileno	0.15456	0.0672	0.0725
Papel laminado	0.0771	0.0473	0.09655

Por lo tanto, se cuantifica el tiempo de vida útil del empaque-producto:

Tabla 34

Tiempo de vida útil del caldo soluble de gallina.

Empaques	80%HR (Nuevo)	100%HR(Nuevo)	100%HR(Manipulado)
Laminado 1	240 días	147 días	27 días
Laminado 2	159 días	40 días	-
Polietileno LDL	14 días	6 días	3 días
Papel laminado	19 días	7 días	4 días

De esta manera obtenemos el tiempo de vida útil de los productos en conjunto con el empaque.

Se puede observar la influencia que tiene humedad del ambiente sobre el empaque en la reducción de su vida útil, alrededor de un 50 a 60% según como varíen las condiciones ambientales, especialmente cuando el empaque ha sufrido una previa manipulación aún en los empaques resistentes al vapor de agua como las películas plásticas laminadas.

Si las condiciones donde se almacena el producto no son las adecuadas incluyendo temperatura, humedad relativa del ambiente y si no se considera un empaque resistente a tales condiciones, se observara una reducción en el tiempo de vida útil del producto, por lo tanto dependiendo del producto debería realizarse un estudio donde se considere la sensibilidad del producto dependiendo de las condiciones de almacenamiento, el tiempo de vida que se espera que tenga el producto, el tipo de empaque a utilizar.

En el caso de fideos se observo una alta durabilidad del producto en empaques laminados, pero podría usarse el empaque de Polietileno de Alta Densidad que brinda una barrera al vapor de agua y reduciría el costo del empaque, considerando un buen manejo al empaque antes del empaquetamiento y después de contener el producto.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Con los resultados se puede concluir que:

1. La isoterma de absorción es indispensable para predecir el comportamiento del alimento a diferentes Humedades Relativas y determinar el tiempo de vida útil según la cantidad de vapor de agua captada por el alimento a una temperatura especifica.

2. Los alimentos analizados son productos de baja humedad, y su isoterma de absorción se diferencia por la composición de la estructura del alimento, tal como se observó en fideos y tapioca en forma de **S** por la presencia de almidones en cambio en el caldo soluble de gallina presentó una forma creciente semi-parabólica característico de substancias cristalinas.

3. El valor de la monocapa y la actividad de agua aparece a una menor actividad de agua en Guayaquil a diferencia de Quito, existiendo mayor disponibilidad de agua en temperaturas bajas que altas.

4. El principal constituyente que se ve afectado en la Tapioca, por el aumento de actividad de agua es el almidón, produciendo una retro-degradación en la gelatinización de los almidones, lo cual no permite que gelatinize a la temperatura ideal (53ºC), sino que la temperatura de gelatinización disminuye cuando el contenido de humedad aumenta, afectando la viscosidad del alimento (Muestra D).

5. Un factor importante a controlar son las condiciones de almacenamiento (HR y ºT) debido a que el tiempo de vida útil en el alimento se reduce por el aumento de permeabilidad de vapor de agua, en el empaque hacia el producto, tal como se puede observar en el tiempo de vida útil de fideos, tapioca y caldo soluble de gallina.

6. La permeabilidad del empaque no es la misma cuando el empaque ha sido previamente manipulado ya sea arrugado o rayado, ya que esta aumenta permitiendo mayor ganancia de humedad y reduciendo el tiempo en percha del alimento en un 60%, esto pudo observarse en empaques laminados.

7. El tiempo de vida útil de cada producto difiere debido al gradiente de presión que existe entre el ambiente circundante del empaque y la presión interna del alimento dentro del mismo.

8. En el caso de crecimiento de ácaros en fideos, en zonas húmedas se puede concluir que la permeabilidad de humedad no fue la condición suficiente para la proliferación de ácaros; Sino una mala manipulación del empaque-producto más las condiciones de almacenamiento y la Humedad Relativa del ambiente superior a 75% que favoreció su crecimiento.

9. En Guayaquil, uno de los principales factores a considerarse deben ser las condiciones de almacenamiento del producto, debido a que si la humedad relativa del ambiente es alta y las estructura física de almacenamiento no es la adecuada (espacio cerrado sin ventilación), traerá como consecuencia un deterioro en el producto debido a la agresividad que estará expuesto el producto; los productos de baja humedad son considerados estables pero no inmunes a las condiciones ambientales. En productos como el fideo, el material de empaque es el polipropileno pero podría utilizarse el Polietileno de alta densidad como una opción en Guayaquil, con la adición de alguna película plástica sencilla que proporcione que proporcione mayor firmeza en el empaque.

10. En el caso de la Tapioca, el mayor tiempo de vida útil fue proporcionado por el empaque laminado 1, que es un empaque multicapa que presenta una alta barrera de humedad, pero un empaque recomendado en condiciones de Guayaquil para este producto puede ser un laminado de Polipropileno, con alguna película que proporcione propiedades mecánicas a la manipulación del producto.

11. Y para el Caldo Soluble de Gallina, el mejor empaque recomendado sería el laminado (polipropileno, aluminio, polietileno), debido a la alta sensibilidad del producto en la parte microbiológica y se necesita una efectiva barrera de vapor para evitar una proliferación de microorganismos.

Recomendaciones

1. El mejor empaque que presento una mayor barrera en contra de la humedad en los productos propuestos fue el empaque Laminado 1, pero debido a su alto costo no es factible para las industrias de alimentos, pero en el caso del fideo el polietileno de alta densidad en conjunto con algún otra película plástica que le otorgue mayor resistencia a la tracción puede ser una opción que disminuiría el valor del costo en el empaque. .

2. La mala manipulación de empaques disminuye el tiempo de vida útil de los productos, por lo tanto es recomendable distribuir en óptimas condiciones de almacenamiento o tener precaución con el manejo de la película, porque permite un mayor ingreso de vapor cuando el empaque ha sido previamente manipulado.

BIBLIOGRAFIA

1. SALVADOR BADUI DERGAL, Química de los alimentos, Pearson Educación, Editorial Alhambra Mexicana S.A, 1999

2. ROCKLAND L. Y STEWART G., Water Activity: Influences on Food Quality, Academic Press, 1981

3. CHINACHOTI PAVINEE, WATER ACTIVITY, Chapter 3:21-34, 1995

4. LABUZA T. AND RAHMAN M., Handbook of Preservation of Food, Chapter 1: 339-375

5. THEODORE P. LABUZA, Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use, American Association of cereal Chemists St. Paul Minnesota, 1984

6. VIDALES GIOVANNETTI MA. DOLORES, EL MUNDO DEL ENVASE: Manual para el Diseño y Producción de Envases y Embalajes, Azcapotzalco GG/México, Ediciones G.Gili, S.A. de CV, 2000.

7. ROBERT H. DRISCOLL AND JANET L. PATERSON, Packaging and Food Preservation, Chapter 23:687-723, 1998

8. DR. URRICH GERHARDT, Especias y Condimentos, Editorial Acribia, 1975 Pág.108-115

9. MATISSECK.SCHENEPEL.STEINER, Análisis de los Alimentos (Fundamentos-Métodos-Aplicaciones), Editorial Acribia S.A, 1996

10. ANTONIO ANZALDÚA-MORÁLES, La Evaluación sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica, Editorial Acribia S.A, España, 2000

11. MC CUNE, Standard Operating Procedure (SOP) for aw calculation based on method from Mc Cune et al, Journal of Food Science, 1981.

12. G. V BARBOSA Y H. VEGA-MERCADO, Deshydration of Foods, Capitulo 2, Editorial Acribia, autorizado por Aspen Publishers 2000

13. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 375:2000, PASTAS ALIMENTICIAS O FIDEOS. REQUISITOS Primera Edición

14. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 051:95, GRANOS Y CEREALES, 1era Edición.

15. L.L DIOSADY, S.S.H. RIZVI, W. CAI and D.J.JAGDEO, Moisture Sorption Isotherms of Canola Meals, and Application to Packaging, 204-Journal of Food Science- Volume 61, No. 1,1996

16. WENGER MANUFACTURING, INC., COCIMIENTOS DE LOS ALIMENTOS POR EXTRUSIÓN, Cáp.17: 269-289

17. Q.LIU, G. CARLET, S. YELLE, J. ARUL, Phase transition in potato starch-water system, I. Starch gelatinization at high moisture level, Food Research International, 2001.

18. Y. VODOVOTZ and P. CHINACHOTI, Glassy-Rubbery Transition and Recrystallization during Aging of Wheat Starch Gels, Food Science

Department, Universityu of Massachussets, Amherst, Volume 46, Number 2, Pages 446-453.

19. H. A. IGLESIAS and J. CHIRIFE, Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material, 1976

20. S. G.RING, P. COLONNA and M. KALISCHEVSKY, The Gelation and Crystallisation of Amylopectin, Elsevier Science Publishers B.V 1987.

21. http:// cvu.rediris.es/pob/bscw.cgi/d311 306-5/*/*/*/*/*/normictb.htm (Condimentos y Especies).

22. http://www.professionalpasta.it/dir_3/3_techno/3_dry_/chap_1_1.htm

23. http://productosplasticos.com/ambiente/enciclopedia.asp?qry=p conceptos.

APÉNDICES

APENDICE A

INFORMACION NUTRITIVA DE LA TAPIOCA.

Cantidad por ración	de 100 gramos	
Hierro	**mg**	**65%**
Vitamina A	**mg**	**100%**
Vitamina C	**mg**	**80%**
Proteínas	**gr**	**2%**
Fósforo	**mg**	**10%**
Carbohidratos	**gr**	*
Calcio	**mg**	**1%**
Tiamina	**mg**	**69%**
Riboflavina	**mg**	**96%**
Niacina	**mg**	**43%**
Acido Fólico	**ų**	**69%**
K/calorías		*

* Valor relativo basado en una dieta de 2000 calorías.

APENDICE B

COMPOSICIÓN DEL CALDO SOLUBLE DE GALLINA

"RANCHERO"

Ranchero
• Sal
• Glutamato Monosódico
• Azúcar
• Harina de Maíz
• Aroma de Gallina
• Mezcla de especies naturales
• Almidón de maíz
• Proteína vegetal hidrolizada
• Cúrcuma
• Inosinato de Sodio
• Trifosfato de Calcio
• Riboflavina (B_2)

APENDICE C

Prueba de Comparaciones Múltiples

Los resultados de la Evaluación Sensorial calificados por los panelistas son transformados a valores numéricos:

Extremadamente más grumosa que R……..…1

Mucho más grumosa que R……..2

Moderadamente más grumosa que R…….3

Ligeramente más grumosa que R……4

No existe diferencia……5

Ligeramente menos grumosa que R……...6

Moderadamente menos grumosa que R……7

Mucho menos grumosa que R…….8

Extremadamente menos grumosa que R……...9

Cuadro de Resultados

Jueces	**A**	**B**	**C**	**D**	**Total**
1	3	5	7	6	21
2	5	4	6	7	22
.					
.					
.					
30					**TT**

Total

- Factor de Corrección:

$CF = (TT)^2 / (n*J)$

- Suma de Cuadrados Muestra:

$Ssm= (A^2+B^2+C^2+D^2)/ J – CF$

- Suma de Cuadrados Jueces:

Ssj= (21+22+…….)/n – CF

- Suma de Cuadrados Totales:

$Sst= (3^2+5^2+7^2+6^2+5^2+4^2+…….) – CF$

- Suma de Cuadrados Error:

Sse= Sst – Ssj – Ssm

- Grados de Libertad de las Muestras:

Dfm= n – 1

- Grados de Libertad de los jueces:

Dfj= J – 1

- Grados de Libertad Total

Dft= (n*J) – 1

- Grados de Libertad del Error:

Dfe= Dft- Dfj- Dfm

- Cuadrado Promedio muestra

Msm= Ssm/ (n-1)

- Cuadrado Promedio Jueces

Msj= Ssj/ (J-1)

- Cuadrado Promedio error

Mse= Sse/Dfe

- Razón de la Varianza muestra

Fm= Msm/ Mse

- Razón de la varianza jueces

Fj= Msj / Mse

Análisis de Varianza

Fuente de Varianza	Df	Ss	Ms	F
Muestras				
Jueces				
Error				
Total				

Para establecer diferencia significativa entre las muestras según la característica evaluada, se procede a comparar la $F_{experimental}$ con la $F_{tabla.,}$ si $F_{experimental}$ es mayor que F_{tabla} se dice que existe diferencia significativa entre las muestras.

Prueba de Tukey

Consiste en la sumatoria dada por los panelistas en cada una de las muestras:

Muestras	**A**	**B**	**C**	**D**
Sumatoria				
Promedio				

- Error Estándar

$SE= (Mse/J)^{1/2}$

- Diferencia significativa

DS= Valor de Tabla estunderizada * SE

Análisis de Resultados:

Muestras	**DM**	**>**	**DS**
A - C		>	
A – B		>	
A – D		>	
C – B		>	
C - D		>	
B - D		>	

Conclusión: Si la Diferencia Media entre las muestras analizadas es mayor que la Diferencia Significativa se puede decir que son diferentes entre sí, pero si la DM es menor que DS significa que ambas muestras son similares entre sí pero diferentes a las demás.

APENDICE D

TABLAS DE DISTRIBUCION F

n_1= grados de libertad para el numerador
n_2= grados de libertad para el denominador

Tabla 1. *(continuación).*

n_2 \ n_1	1	2	3	4	5	6	8	12	24	∞
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,36	2,18	1,98	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,16	1,96	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,32	2,15	1,95	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,30	2,13	1,93	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,29	2,12	1,91	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,28	2,10	1,90	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,79	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,92	1,70	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,02	1,83	1,61	1,25
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,75	1,52	1,00

APENDICE E

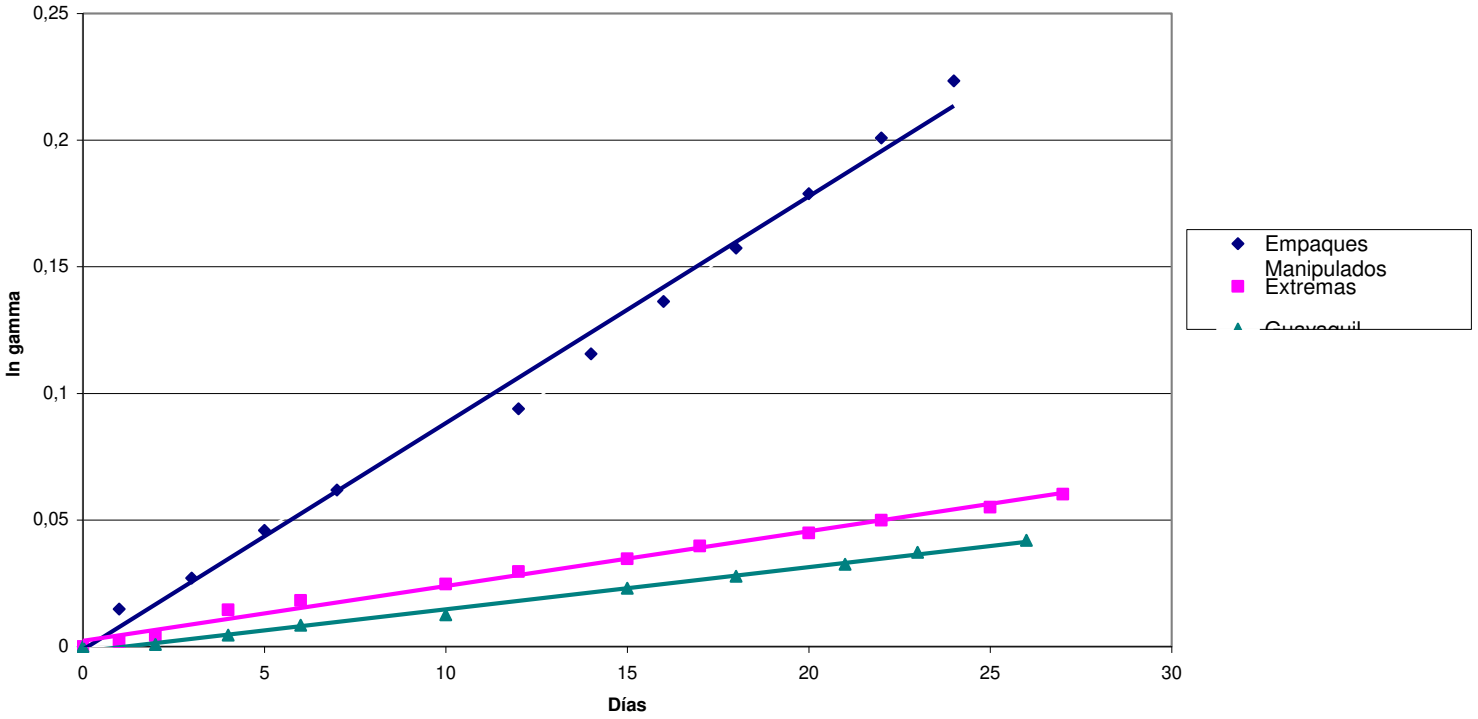
TABLA DE VAPOR DE AGUA SATURADO

Table 14.3 Saturation Vapor Pressure of Water

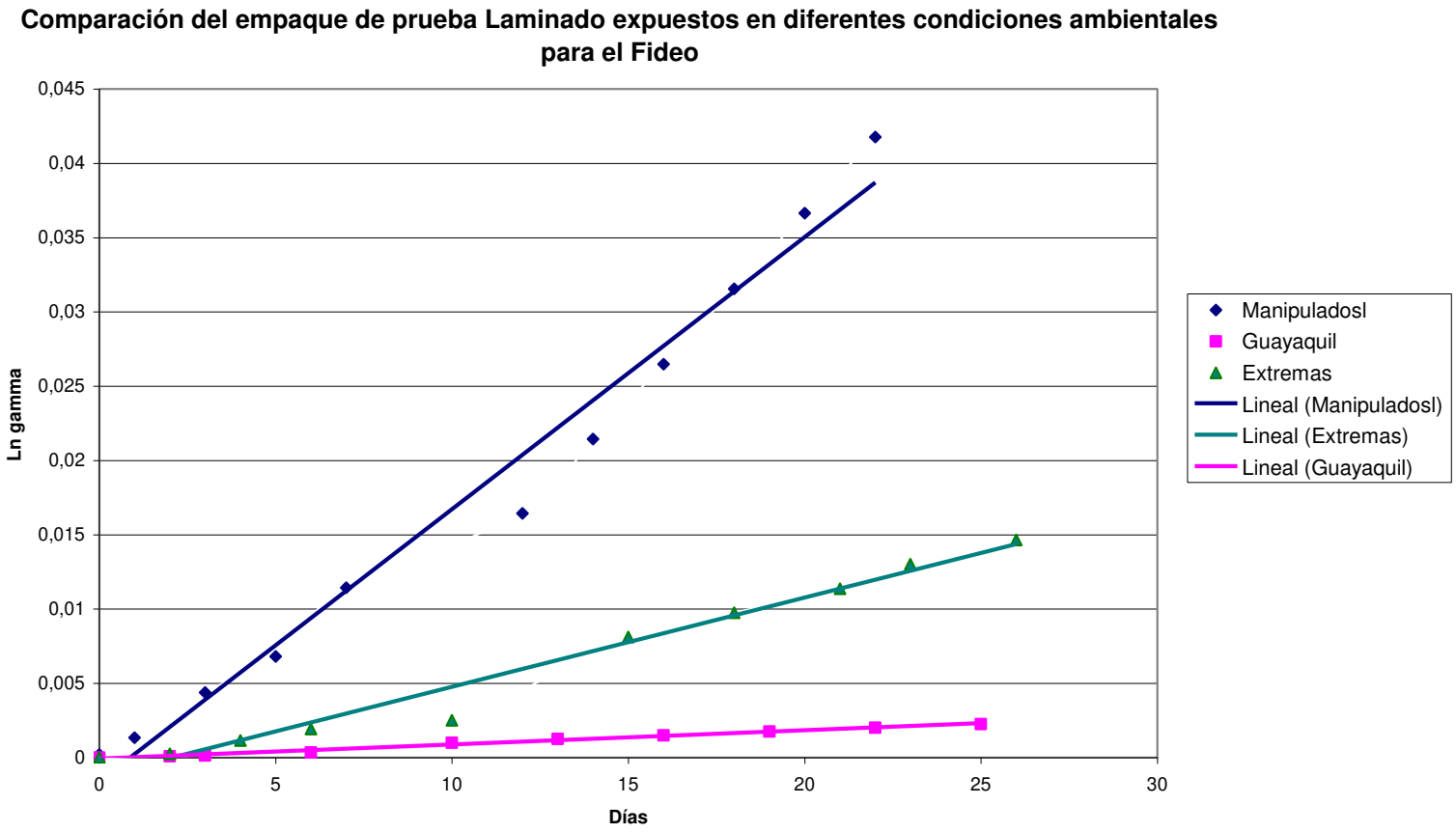
Temp °C	mm Hg	Temp °C	mm Hg	Temp °C	mm Hg
-14	1.560	21	18.640	51	97.20
-13	1.691	22	19.827	52	102.09
-12	1.834	23	21.068	53	107.20
-11	1.987	24	22.377	54	112.51
-10	2.149	25	23.756	55	118.04
-9	2.326	26	25.209	56	123.80
-8	2.514	27	26.739	57	129.82
-7	2.715	28	28.349	58	136.08
-6	2.931	29	30.043	59	142.60
-5	3.163	30	31.824	60	140.38
-4	3.410	31	33.695	61	156.43
-3	3.673	32	36.663	62	163.77
-2	3.956	33	37.729	63	171.38
-1	4.258	34	39.898	64	179.31
0	4.579	35	42.175	65	187.54
1	4.926	36	44.563	66	196.09
2	5.294	37	47.067	67	204.96
3	5.685	38	49.692	68	214.17
4	6.101	39	52.442	69	223.73
5	6.543	40	55.324	70	233.7
6	7.013	41	48.34	71	243.9
7	7.513	42	61.50	72	254.6
8	8.045	43	64.80	73	265.7
9	8.609	44	68.26	74	277.2
10	9.209	45	71.88	75	289.1
16	13.634	46	75.65	76	301.4
17	14.530	47	79.60	77	314.1
18	15.477	48	83.71	78	327.3
19	16.477	49	88.02	79	341.0
20	17.535	50	92.51	80	355.1

APENDICE F

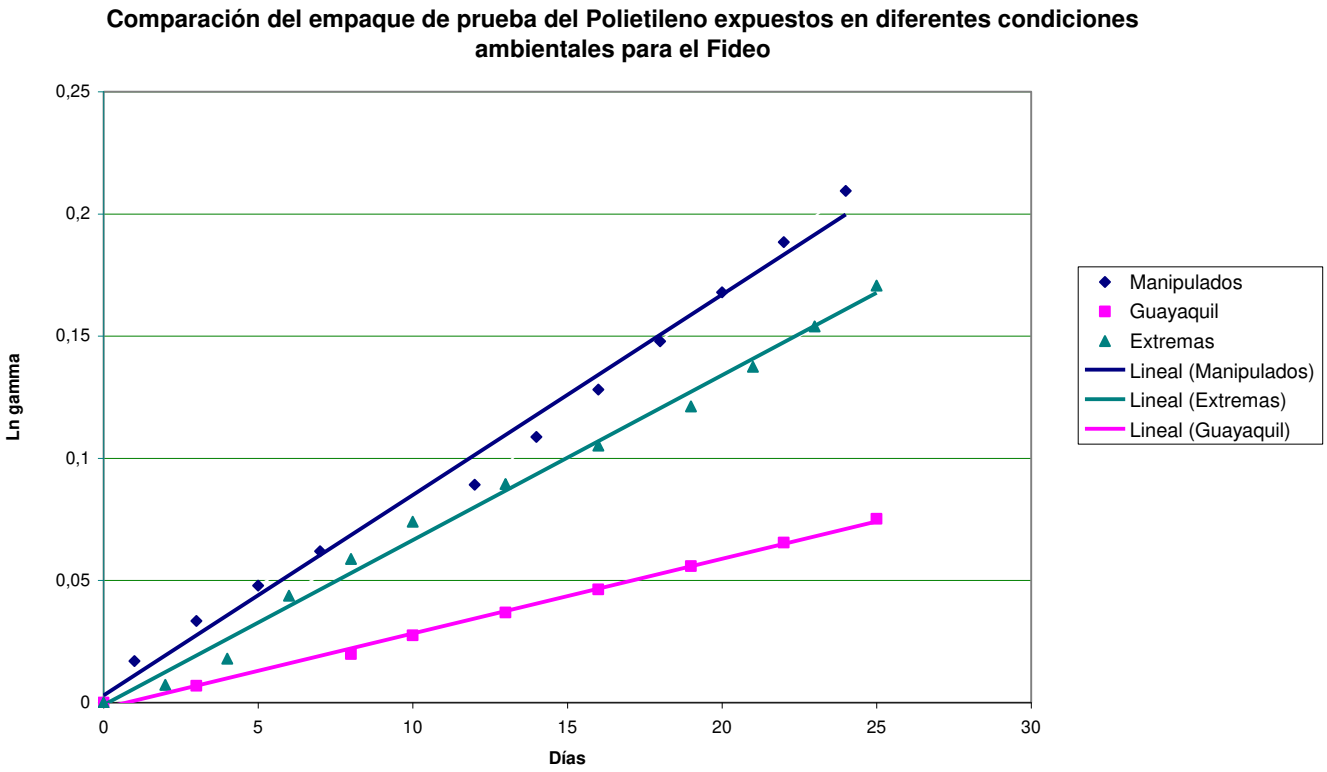
Comparación del empaque de prueba del Polipropileno expuestos en diferentes condiciones ambientales para el Fideo



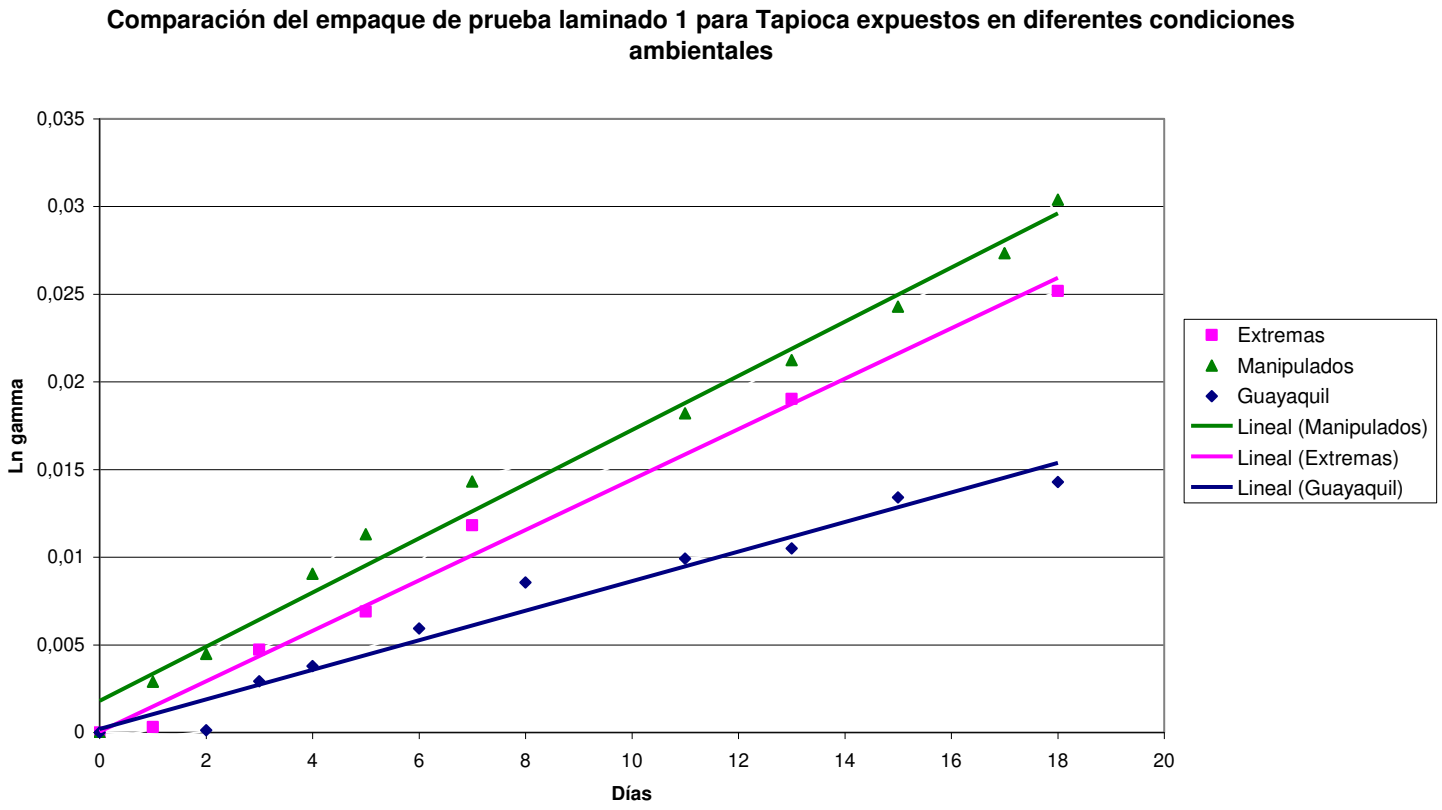
APENDICE G


Comparación del empaque de prueba Laminado expuestos en diferentes condiciones ambientales para el Fideo
Ln gamma
0,045
0,04
0,035
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
0
5
10
15
20
25
30
Días
Manipuladosl
Guayaquil
Extremas
Lineal (Manipuladosl)
Lineal (Extremas)
Lineal (Guayaquil)

APENDICE H

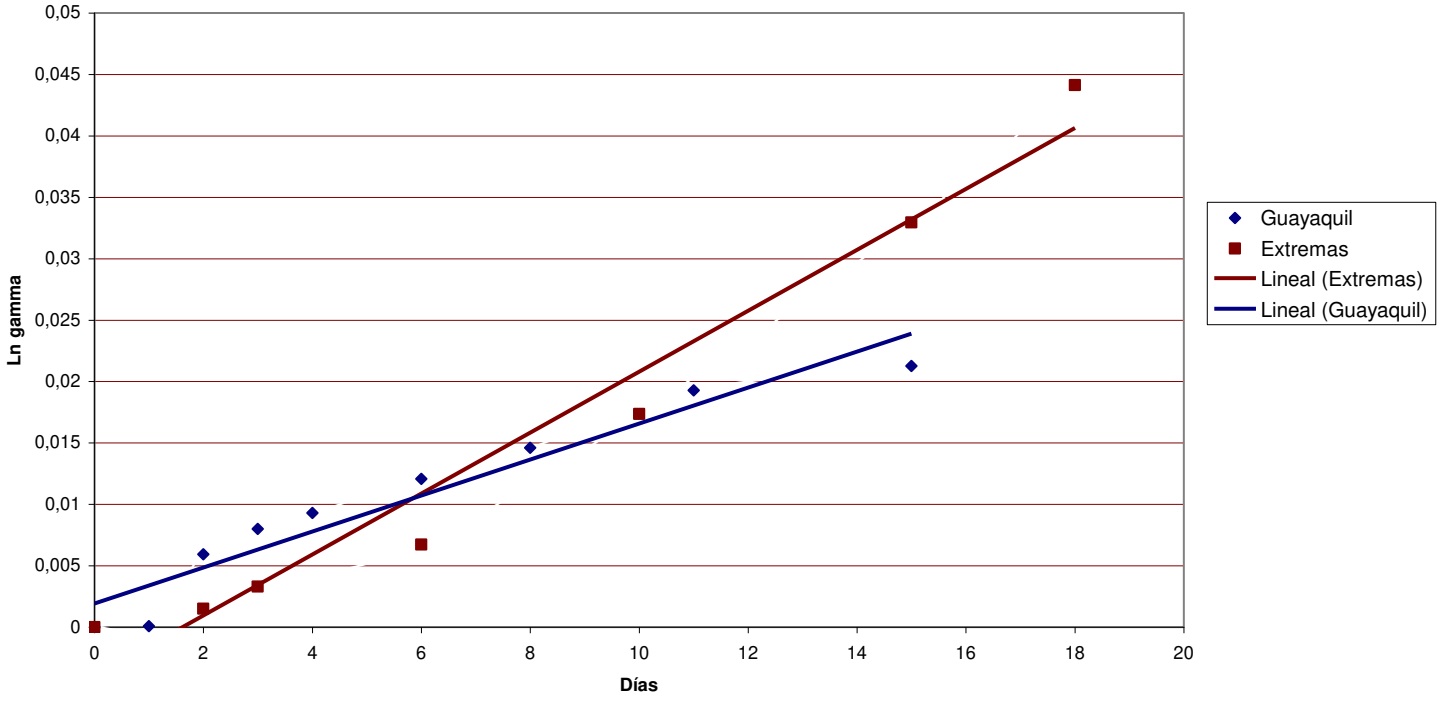

Comparación del empaque de prueba del Polietileno expuestos en diferentes condiciones ambientales para el Fideo
Ln gamma
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
5
10
15
20
25
30
Días
Manipulados
Guayaquil
Extremas
Lineal (Manipulados)
Lineal (Extremas)
Lineal (Guayaquil)

APÉNDICE I


Comparación del empaque de prueba laminado 1 para Tapioca expuestos en diferentes condiciones ambientales
Ln gamma
0,035
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Días
Extremas
Manipulados
Guayaquil
Lineal (Manipulados)
Lineal (Extremas)
Lineal (Guayaquil)

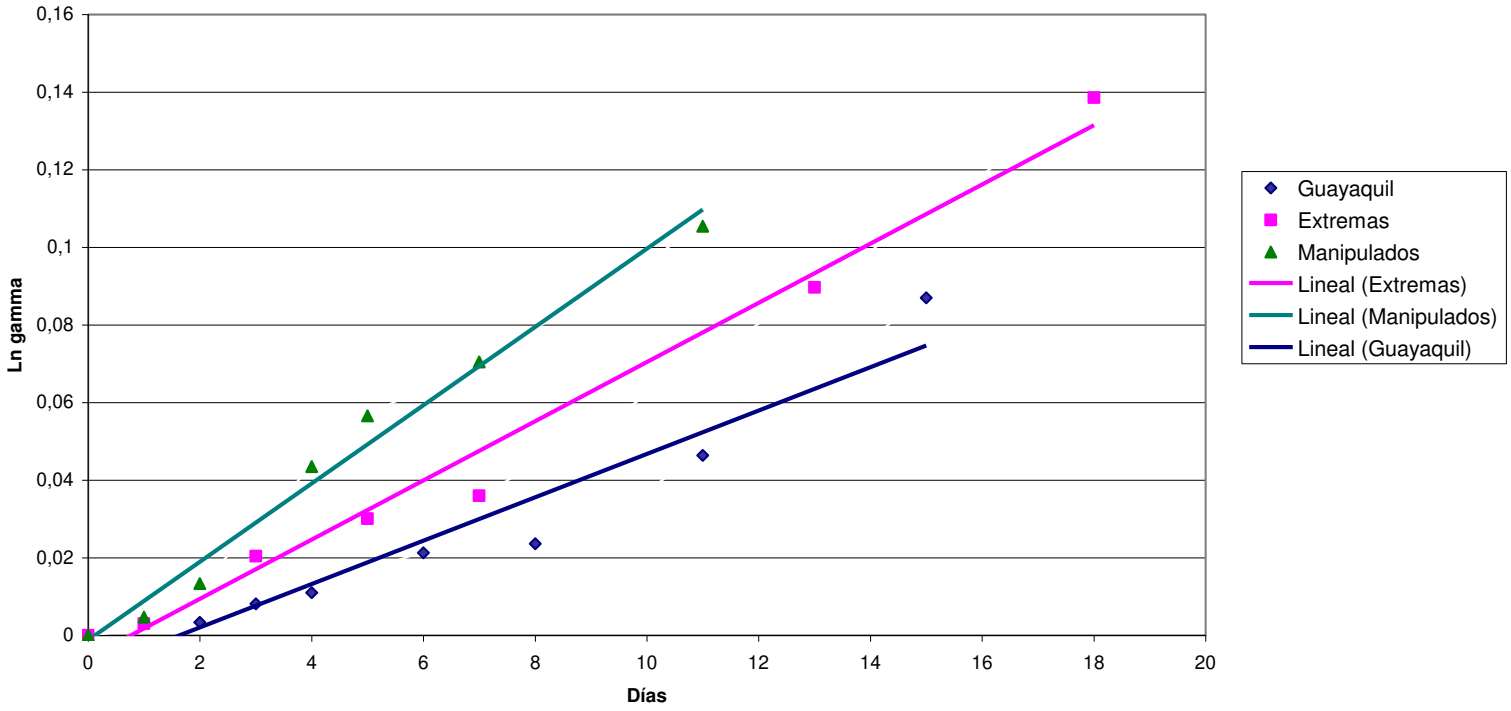
APÉNDICE J

Comparación del empaque de prueba laminado 2 para Tapioca expuestos en diferentes condiciones



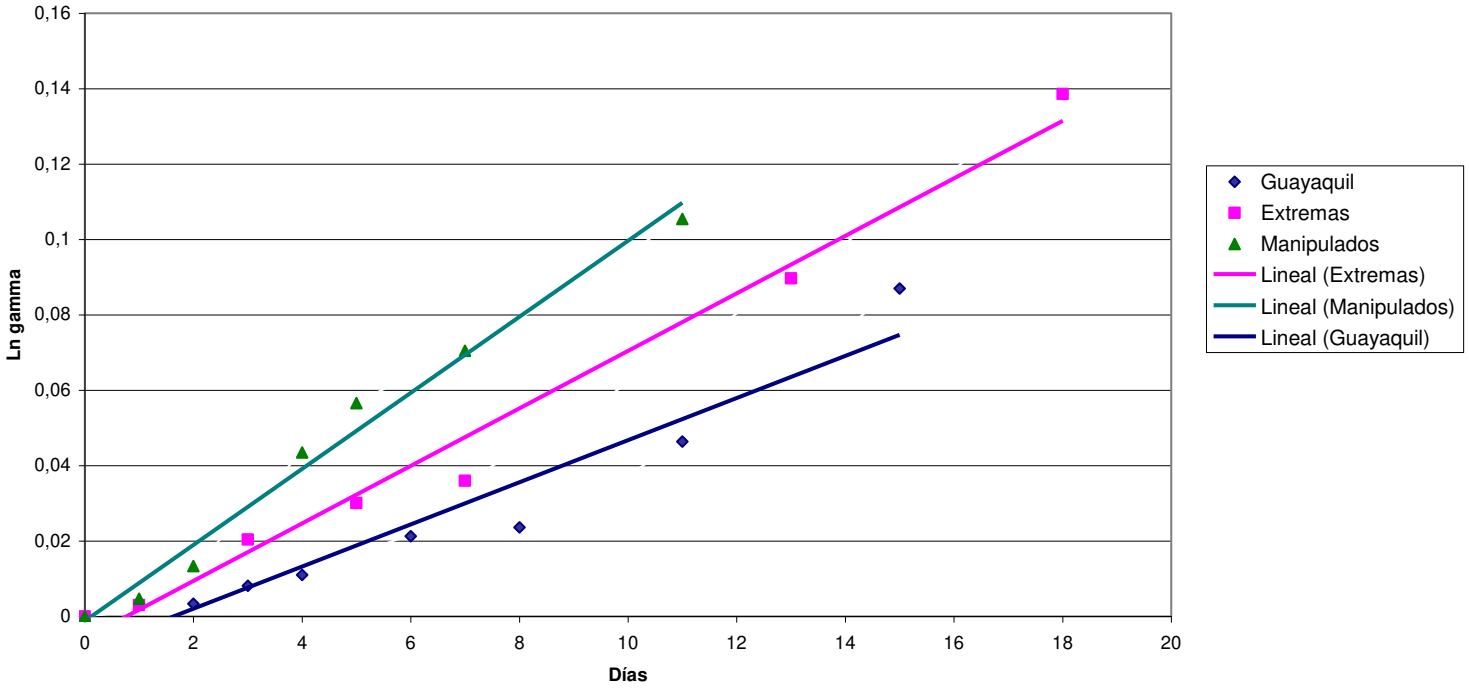
APÉNDICE K

Comparación del empaque de prueba de Polietileno de alta densidad para Tapioca expuestos en diferentes condiciones.

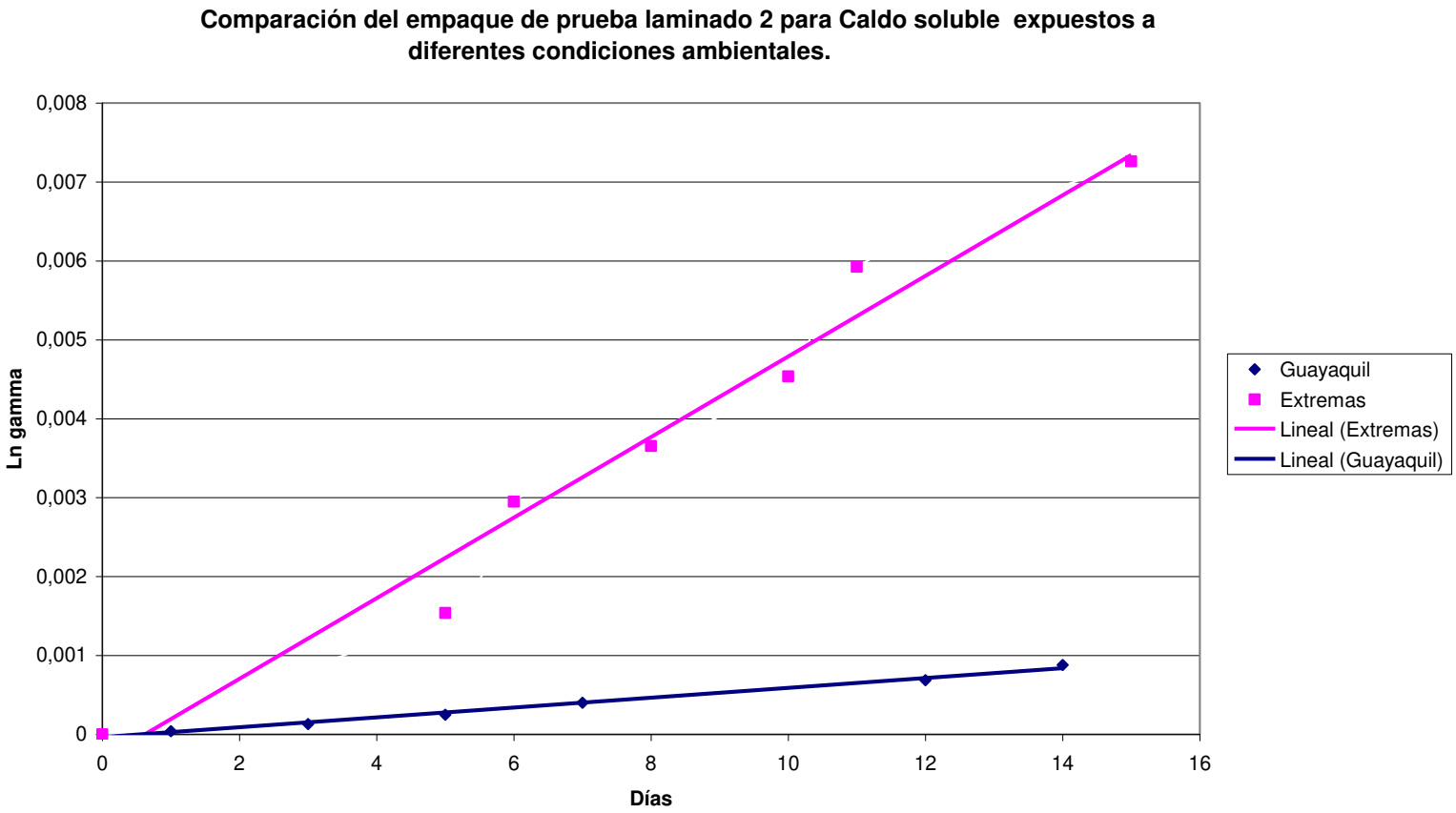


APÉNDICE L

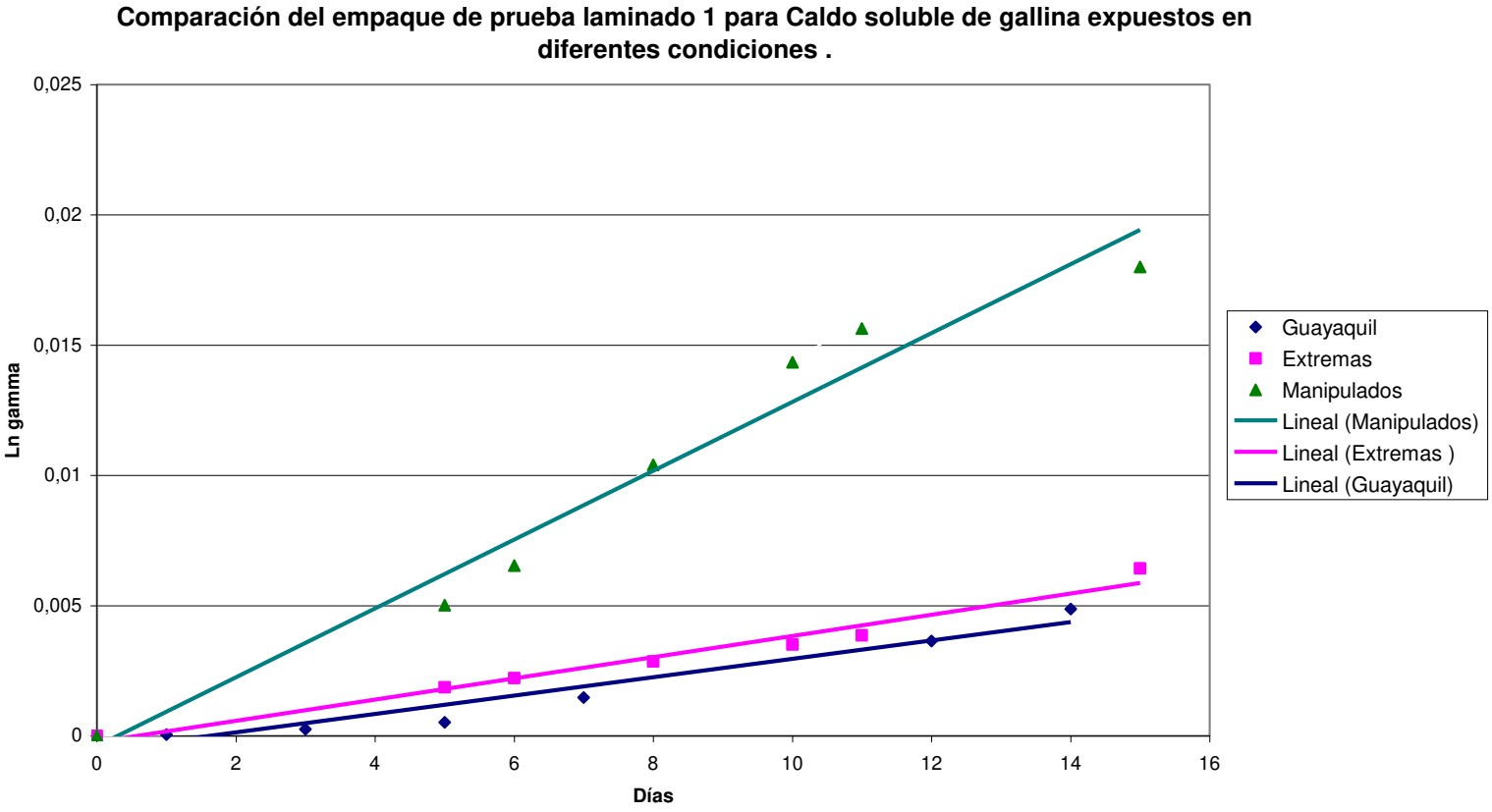
Comparación del empaque de prueba de Polietileno de alta densidad para Tapioca expuestos en diferentes condiciones.



APÉNDICE M

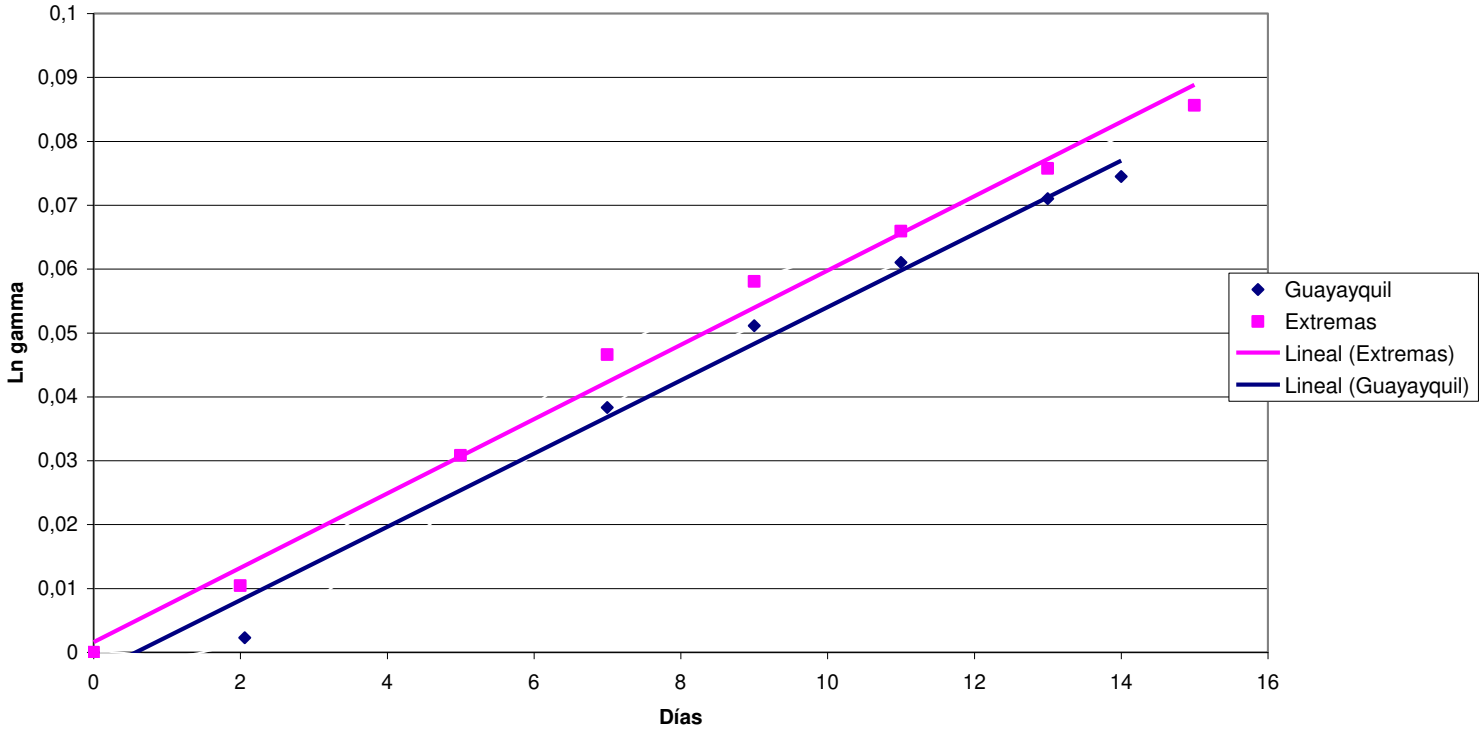

Comparación del empaque de prueba laminado 2 para Caldo soluble expuestos a diferentes condiciones ambientales.
Ln gamma
0,008
0,007
0,006
0,005
0,004
0,003
0,002
0,001
0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Días
Guayaquil
Extremas
Lineal (Extremas)
Lineal (Guayaquil)

APÉNDICE N

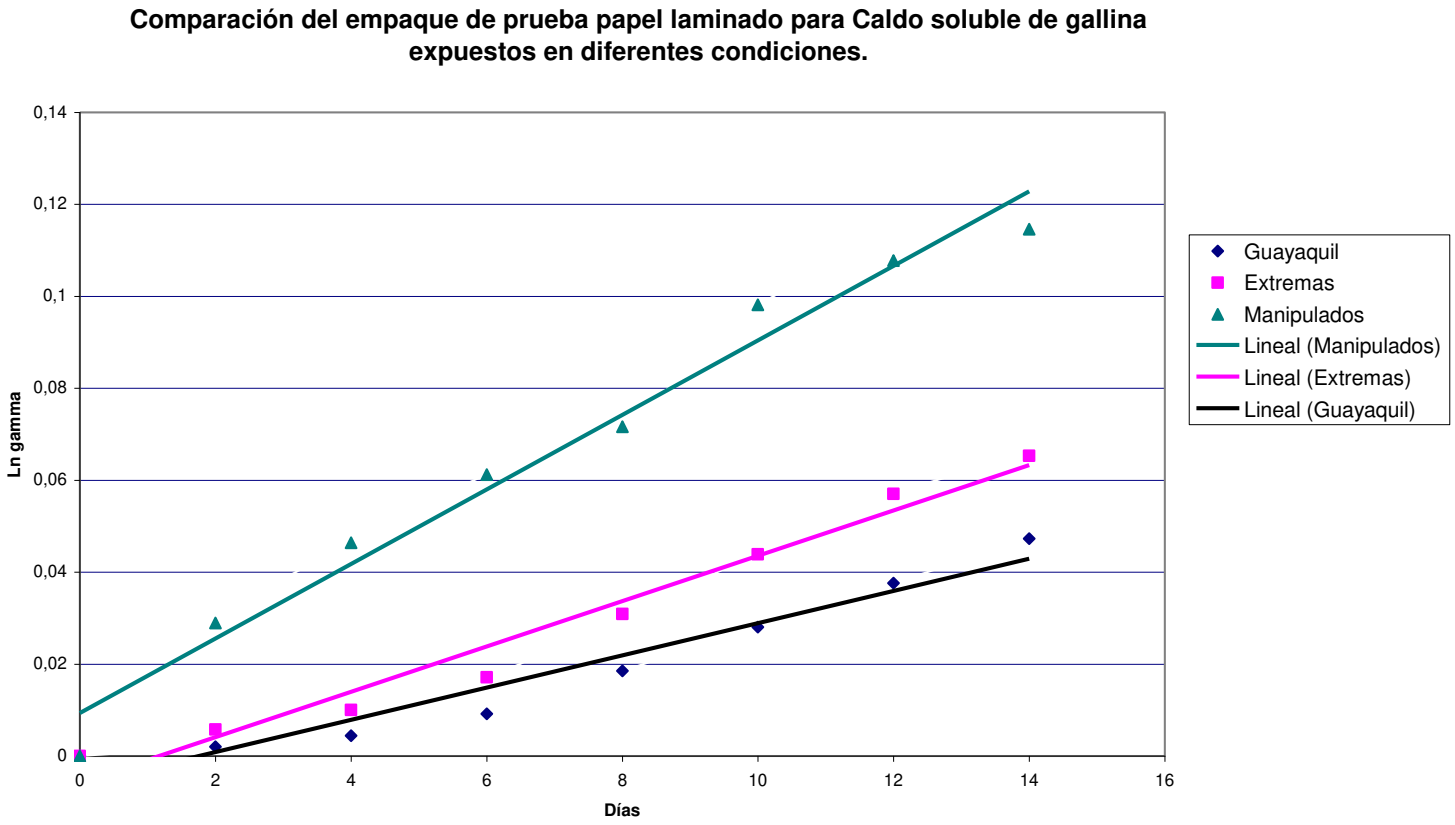

Comparación del empaque de prueba laminado 1 para Caldo soluble de gallina expuestos en diferentes condiciones .
Ln gamma
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Días
Guayaquil
Extremas
Manipulados
Lineal (Manipulados)
Lineal (Extremas)
Lineal (Guayaquil)

APÉNDICE O

Comparación del empaque de prueba de Polietileno para Caldo soluble de gallina expuestos en diferentes condiciones.



APÉNDICE P


Comparación del empaque de prueba papel laminado para Caldo soluble de gallina expuestos en diferentes condiciones.
Ln gamma
0,14
0,12
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Días
Guayaquil
Extremas
Manipulados
Lineal (Manipulados)
Lineal (Extremas)
Lineal (Guayaquil)