

35



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

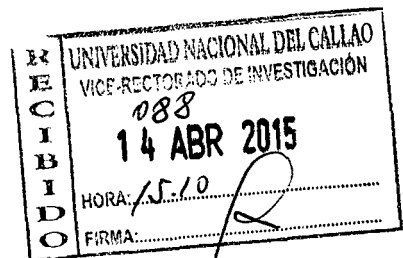
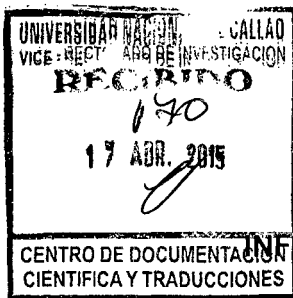
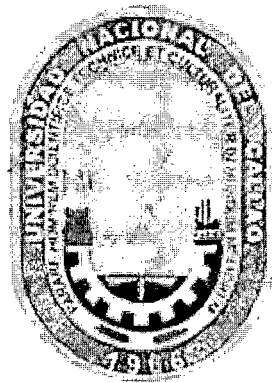
FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE

ABR 2015

ALIMENTOS

INSTITUTO DE INVESTIGACION DE LA FACULTAD DE

INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACION

CENTRO DE DOCUMENTACION  
CIENTIFICA Y TRADUCCIONES

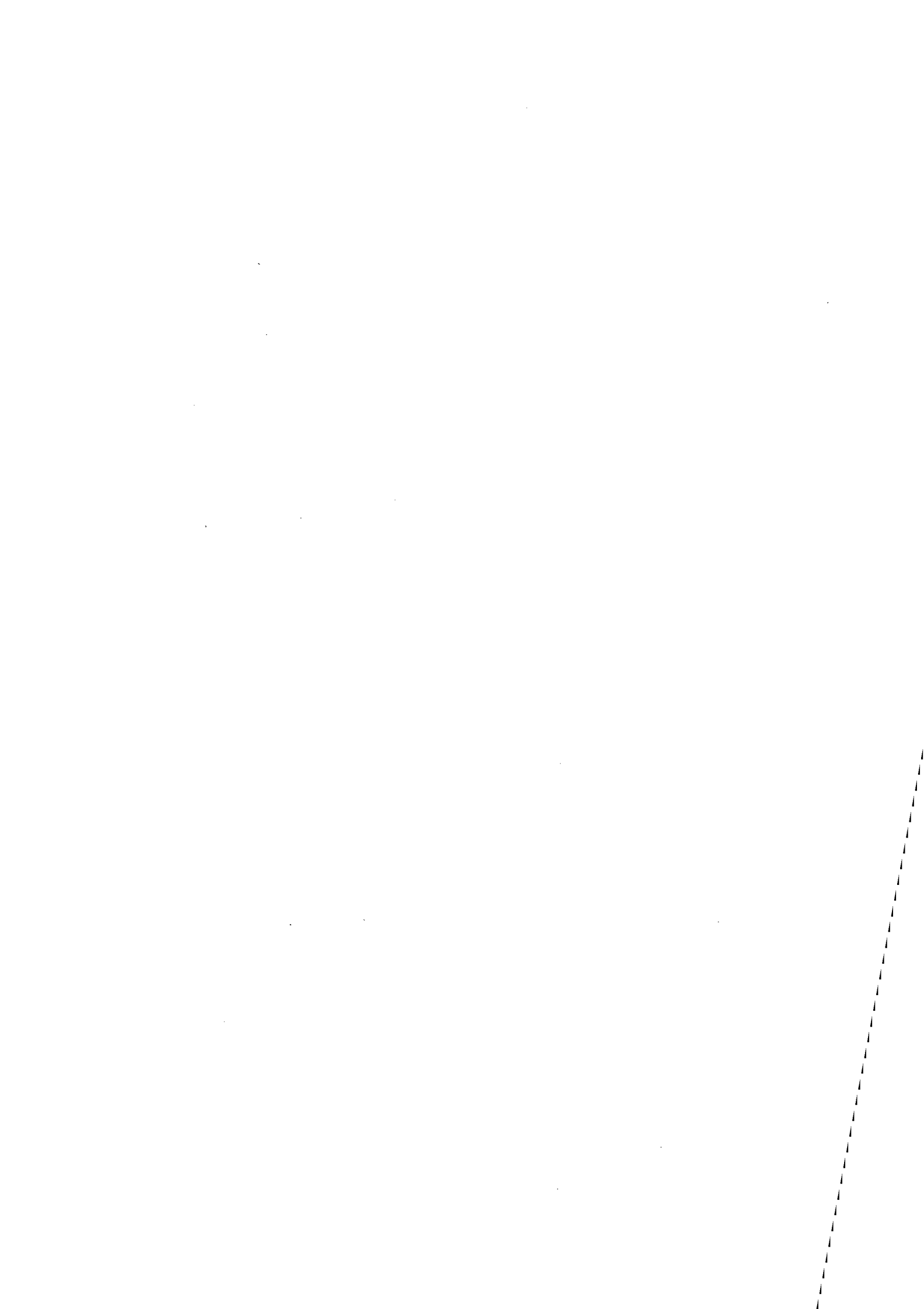
“ESTUDIO DE LA VIDA ÚTIL DE GALLETA SALADA MEDIANTE LA  
ECUACIÓN DE ARREHNIUS”

AUTOR: ING. BRAULIO BUSTAMANTE OYAGUE

(PERIODO DE EJECUCIÓN DEL 01 DE ABRIL DEL 2013 AL 31 DE MARZO DEL  
2015)

(Resolución Rectoral N°384-2013 R. del 29 de Abril de 2013)

Callao, 2015



## INDICE

	PAGINA
a) INDICE	1
b) RESUMEN	3
c) INTRODUCCIÓN	4
c.1.Planteamiento del problema de investigación	4
c.2. Objetivos y alcances de la investigación	5
c.3. Importancia y justificación de la investigación	6
d) MARCO TEORICO	8
d.1 Antecedentes	8
d.2. Base Teóricas	9
e) MATERIALES Y METODOS	23
e.1 Lugar de ejecución	23
e.2 Materiales y Métodos de análisis	23
e.3 Determinación del Universo	24
e.4 Técnicas de recopilación de datos	24
e.5 Técnicas estadísticas	25
f) RESULTADOS	26
g) DISCUSION	35
h) REFERENCIALES	37
i) APENDICE	39

## INDICE DE CUADROS

	PAGINA
Cuadro N°01	
Resultados del variación de los porcentaje de humedad de las galletas a 30°C, 40°C y 50°C	27
Cuadro N°02	
Resultados del variación de K a distintas temperaturas	31
Cuadro N°03	
Resultados del estimación de la vida útil a 20°C	33

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico N°01 Variación de humedad vs días a 30°C	28
Gráfico N°02 Variación de humedad vs días a 40°C	29
Gráfico N°03 Variación de humedad vs días a 50°C	30
Gráfico N°04 temperaturas vs constante K	31



## b) RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo estudiar la variación de humedad de la galleta salada embolsada almacenada a 03 temperaturas distintas, para poder predecir la vida útil a 20°C, mediante la ecuación de Arrhenius, los análisis se llevaron a cabo en los laboratorios de Chucuito de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional del Callao.

Se obtuvieron las siguientes ecuaciones:  $y = 0.0243 + 0.0006X$ ,  $y = 0.0219 + 0.0004 x$ ,  $y = 0.0219 + 0.0033 x$  a 30°C, 40°C y 50°C respectivamente Donde relaciona variación de humedad versus tiempo de almacenamiento. El análisis estadísticos de regresión lineal nos da como resultados los índice de correlación de análisis de regresión fue de  $r = 0.953$ ,  $r = 0.948$ ,  $r = 0.904$  a temperaturas de 30°C, 40°C y 50°C respectivamente, Los valores de la constante cinética K fueron de 0.0006, 0.0004 y 0.0033 a 30°C, 40°C y 50°C respectivamente, con eso valores se construyen la ecuación de Arrhenius. La ecuación de Arrhenius, obtenida fue de  $\ln K = -17.138 + 2935.6 (1/T)$

Apartir de esa ecuación se despeja la constante K a 20°C siendo esa igual a 0.009

El cálculo de la vida útil de la galleta a 20°C y tomando como un pérdida de humedad máxima de 8% (Salas, 2009). Y utilizando la ecuación de orden cero (Salas, 2009) tenemos un tiempo de vida igual a 8.1 meses siendo el valor aceptado 8 meses pero el valor recomendado 7 meses para ser colocado como fecha de vencimiento en el etiquetado de la galleta.



## c) INTRODUCCION

### c.1 Planteamiento del problema de investigación

Existen la problemática de poder evaluar la vida útil o también llamado vida en anaquel (Shelf life), el tiempo de duración de un alimentos, depende de varios factores involucrados con su deterioro físicos, químico y microbiológico, ello dependerá de su composición, en el caso de la galleta salada, es un producto fermentado y horneado donde el principales problema luego que este empacado, es la ganancia de humedad, lo que origina perdida de la textura es decir crocantes de la galleta, por lo que disminuye su calidad sensorial, ello marca la duración o la vida útil del producto, el empaque también influirá en la duración, pero por motivos de costos, ya que lo ideal sería empacarlo todas las galletas en películas de aluminio, totalmente impermeable al vapor de agua, a nivel comercial lo que se usa es película de polipropileno, para la visualización del producto por parte del consumidor, para la determinación existen varios métodos aplicado para encontrar el tiempo de vida útil, pero depende del alimentos saber cuál seleccionar, en nuestro caso usaremos el métodos de Arrhenius de mediante pruebas aceleradas, porque los experimento depende de la temperatura de almacenamiento, por determinado tiempo, en donde se monitorea la ganancia de peso y utiliza como un indicador un nivel máximo aceptable de humedad el cual fue determinado previamente mediante un análisis sensorial.

El presente proyecto tiene como finalidad determinar la vida útil comercial de la galleta salada, empacada en bolsa de polipropileno ( $0,91 \text{ gr/cm}^3$ ), para ello se evaluada las muestras de galleta salada en un tiempo determinado a diferentes



temperatura de almacenamiento, con el fin de determinar la ecuación de Arrhenius y con ello poder luego interpolar el valor de la humedad crítica para encontrar el tiempo de vida útil de la galleta embolsada a 20°C

El problema se enuncia de la siguiente manera

¿En qué medida la temperatura de almacenamiento influirá en el tiempo de vida útil de la galleta salada empacada en bolsa de polipropileno?

## **c.2 Objetivos y Alcances de la Investigación**

### **c.2.1 OBJETIVO GENERAL**

“Estudiar la variación de humedad de la galleta salada embolsada almacenada a 03 temperaturas distintas, para poder predecir la vida útil a 20°C, mediante la ecuación de Arrhenius”

#### **c.2.1.1 OBJETIVO ESPECIFICOS:**

- Determinar las ganancias de peso y sus respectivo % de humedad de las galletas saladas embolsada y almacenadas a diferentes temperaturas (30°C, 40°C y 50°C)
- Calcular la ecuación de Arrhenius utilizando valores encontrados de humedad versus tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas
- Encontrar la pendiente de la recta de predicción de la vida útil mediante la ecuación de Arrhenius
- Predecir la vida útil de la galleta salada embolsada almacenada a 20° C



## **c.2.2 Alcances**

La investigación que se emprende es de tipo aplicada, porque tiene como propósito resolver un problema de naturaleza práctica aplicando sus resultados; es explicativa, porque además de medir variables, pretende estudiar las relaciones existentes entre ellas; es cuantitativa porque se centra en la cuantificación del problema; y es experimental por que estudia observaciones dirigidas y resultados provocados manipulados y controlados

Los sectores que se verán beneficiados, con los resultados de la presente investigación, lo constituyen las empresas del sector de alimentario a la producción de galletas. Así mismo, los beneficiados colaterales lo constituyen el sector académico, profesional y técnico dedicados a la industria de alimentos.

## **c.3. Importancia y justificación de la investigación**

### **c.3.1 Importancia**

El estudio de la vida útil de la galleta salada embolsada almacenada a diferente temperatura es importante:

- a. Porque, el conocimiento de los resultados permitiría:
  - Conocer el incremento de humedad en la galleta salada durante diversos Almacenamiento a distintas temperaturas para futuras comparaciones con otras investigaciones similares





- Conocer la metodología utilizar para poder predecir la vida útil de un alimentos almacenado.

b. Permitirá conocer mejor el uso práctico de la ecuación de Arrhenius en la determinación de la vida útil de los alimentos para realizar pruebas aceleradas.

### **c.3.2. Justificación de la investigación**

Las razones que motivaron la realización del presente estudio son:

- a) Porque, no existe muchos trabajos de vida útil en nuestra realidad utilizando equipos disponibles para sus determinaciones fisicoquímicas.
- b) Porque, existe en la actualidad una necesidad de realizar estudios de vida útil en el rubro de alimentos, para poder determinar la fecha de caducidad con mayor exactitud
- c) Porque las ecuación de Arrhenius que se obtengan del presente estudio permitirán servir de base otras galletas de similar composición química.



## **d) MARCO TEORICO**

### **d.1 Antecedentes**

(Herling & Rivero, 2006). En el estudio de la vida útil para la galleta con la siguiente composición química: harina de huiro 16%, Harina de arroz 16%, almidón de papa 19%, margarina 8%, huevo 10%, azúcar 4%, lecitina de soya 1,5% y agua 25,5%. Las dimensiones de la galleta corresponden a 5 cm de diámetro y 5 mm de espesor. El envase elegido correspondió a bolsas impresas de polipropileno de 40 micrones de espesor y de medidas 20 x 15,5 cm. La vida útil de la galleta a una temperatura de almacenamiento de 20°C se determinó en 12 semanas. Para esto se envasaron bolsas de diez unidades cada una y se almacenaron a las temperaturas de 20 °C, 30 °C y 40 °C. Para mantener el producto a temperatura ambiente se introdujo en una caja aislada térmicamente (poliestireno expandido), y para hacerlo a las temperaturas superiores se usaron estufas programables

(Alexia Torres & Rosquete, 2001). En este trabajo se determinó la vida útil de una fórmula dietética para niños con síndrome diarréico, empleando la disminución de lisina disponible como indicador de deterioro. Muestras del producto fueron empacadas en envases de material multilaminado (papel-plástico-aluminio) y almacenadas a 25, 30 y 35°C, por dos meses. La lisina disponible fue medida con una frecuencia semanal y los datos fueron analizados para determinar la cinética de la reacción de deterioro y su relación con la temperatura. Al finalizar el estudio, la cantidad de lisina disponible remanente fue de 38,5% (a 25°C); 15,3 % (a 30°C) y 14,1% (a 35°C). La



cinética de la reacción de deterioro fue de orden uno, dependiente de la temperatura de almacenamiento, según la ecuación de interrelación de Arrhenius, con un valor de energía de activación de 15,17 kcal/mol, por lo que cae dentro del rango de las reacciones de oxidación de lípidos. De acuerdo a las características del producto [contenido de lípidos (17,5%), proteínas (17,3%) y una actividad de agua de 0,46, la disminución de lisina pudiera ser explicada por la interacción de productos de oxidación de lípidos con proteínas. Considerando un valor de 0,422g lis/100g producto como punto crítico, se predijo la vida útil del producto a temperaturas diferentes a las evaluadas. Condiciones de almacenamiento por debajo de 30°C, garantizan un mayor período de vida útil: hasta 9 meses a 15°C, 6 meses a 20°C y 3 meses a 28°C, en función del indicador de deterioro evaluado

## **d.2.BASE TEORICAS.**

### **d.2.1 Definición de vida útil**

(Labuza T, 1985). El término vida útil define el período de tiempo en el que un alimento mantiene características organolépticas aceptables para el consumidor o, en otras palabras, el tiempo necesario para que alcance un nivel máximo aceptable de deterioro, almacenado bajo condiciones óptimas preestablecidas. Los términos vida de anaquel, vida en estante ("shelf-life") y, en menor grado, vida o tiempo de almacenaje se utilizan regularmente como sinónimos de vida útil.



La importancia de conocer la vida de anaquel o vida útil de un alimento procesado puede enfocarse tanto desde el punto de vista del consumidor, como desde el punto de vista del fabricante. Para el consumidor, el tiempo de vida útil debe garantizar un nivel aceptable en la calidad del producto al momento de su compra y/o consumo. Asimismo, puede indicarle la fecha a partir de la cual el producto podría presentar deficiencias notables en sus características de calidad. Para el fabricante, el tiempo de vida útil constituye una manera de garantizar la satisfacción del consumidor hacia su producto, si éste es consumido antes de la fecha que marca la terminación de su vida útil. Por otro lado, definiendo el tiempo de vida del producto, el fabricante puede minimizar la incidencia de reclamos relacionados con la calidad del mismo. Los estudios de vida útil son además una herramienta empleada en actividades relacionadas con el desarrollo o la reformulación de productos.

(Labuza, 1999). Generalmente, los estudios de vida de anaquel, como muchas otras actividades en el campo de los alimentos, se realizan en forma empírica y aleatoria, con muy pocas consideraciones científicas. Lo más frecuente es hacer las pruebas de vida útil basándose en lo que otros han hecho, sin tener en cuenta los objetivos específicos del experimento ni los fundamentos químicos que gobiernan las reacciones que causan el deterioro del producto y su calidad. Consideraciones ambientales, tales como niveles de humedad, temperatura y oxígeno son determinantes en un estudio de vida útil, siendo de suma importancia controlar su influencia sobre el producto y el sistema empaque-producto, para evaluar y evitar efectos insospechados.



#### **d.2.2 Factores que la afectan**

(Biblioteca.uns.edu.pe). Puesto que la calidad de cualquier producto alimenticio se ve afectada por los distintos factores ambientales a su alrededor, su vida útil también se verá influenciada por dichos factores. Estos factores incluyen principalmente temperatura, humedad, nivel de oxígeno y luz. Los distintos métodos de procesamiento de alimentos, y los sistemas de empaque en que son colocados, determinan en buena medida los períodos de vida útil de los mismos. Sin embargo, los factores ambientales mencionados interactúan con dichos sistemas pudiendo acelerar o disminuir procesos de deterioro tales como crecimiento y actividad microbiana, reacciones físico-químicas en la maduración de frutas y verduras, actividad enzimática, rancidez (oxidación lípida), degradación de vitaminas, especialmente A y C, y cambios en color y otras características físicas de los distintos productos. Esto hace entonces, que dichos factores deban mantenerse en niveles óptimos de acuerdo a las características de los alimentos y sus empaques, con el fin de minimizar su impacto sobre la calidad de los productos y garantizar la vida útil previamente definida para los mismos. Man y Jones (1997), mencionan que, durante el almacenamiento y distribución, el alimento se expone a una gran gama de condiciones medioambientales.

Factores Medioambientales como la temperatura, humedad, oxígeno y la luz, que pueden activar varios mecanismos de reacción que pueden llevar a la



degradación del alimento. Como consecuencia de estos mecanismos, pueden alterarse alimentos a magnitudes semejantes a la que son rechazados por el consumidor, o pueden causar daños a la persona que los consume. Es por consiguiente indispensable que se entienda bien las diferentes reacciones que causan la deterioración del alimento lo que conlleva a desarrollar procedimientos específicos para la evaluación de la vida útil de los alimentos. Los cambios Químicos, físicos y microbiológicos son las causas principales de deterioración de un alimento.

#### **d.2.2.1 Cambios Físicos**

(Biblioteca.uns.edu.pe). Los cambios físicos son causados por el maltrato de los alimentos durante la cosecha, procesamiento y distribución; estos cambios llevan reducir la vida útil de los alimentos. El magullado de las frutas y verduras durante la cosecha y post cosecha son los que inducen al desarrollo de la putrefacción. El aplastado de los alimentos deshidratados durante su distribución afecta seriamente su calidad. Las verduras tuberosas y hortalizas pierden agua cuando se mantienen en atmósferas con baja humedad y se marchitan. Los Alimentos secos cuando están en contacto con alta humedad puede absorber humedad y se rehidratan. En el caso de alimentos congelados, a fluctuaciones de temperaturas se destruyen más fácilmente, por ejemplo, las temperaturas fluctuantes causan la recristalización del helado que tiene a una textura arenosa indeseable. El quemado por congelación es un defecto de la calidad en alimentos congelados a temperaturas fluctuantes. Si las fluctuaciones son mayores y el alimento sufre un cambio de fase entonces hay



cambios indeseables más notorios, por ejemplo cambios causados en el descongelado y recongelado del alimentos. Semejantemente, el cambio de fase de la fusión y solidificando de hecho es perjudicial a la calidad de dulces y otro lípidos que contienen productos de confitería.

## **El agua**

(Biblioteca.uns.edu.pe). Xiong y Hernandez (2002), mencionan que reconocidamente la  $A_w$  (**actividadde agua**) está en correlación con la proporción del crecimiento microbiano y muchas reacciones degradativas como la hidrolisis enzimática, oxidación, reacción de Millard, pérdida de vitamina, etc., y es un indicador útil de la estabilidad del producto y de la actividad microbiana. Además en alimentos sensibles a la humedad está constituye un parámetro de calidad por lo que conociendo las condiciones de fabricación y almacenamiento es posible predecir la vida útil. Kilcast y Subramaniam(2000), indican que además del concepto de actividad de agua, los recientes adelantos en el área del estado físico de los alimentos han introducido el concepto de **transición vítrea**. La temperatura de la transición vítrea ( $T_g$ ) es muy importante en la estabilidad de alimentos meta estables amorfos, como las frutas y verduras liofilizadas, porque se conoce para limitar la movilidad molecular y por consiguiente, las reacciones dependientes de la difusión.  $T_g$  se ha relacionado a menudo a los diferentes mecanismos de deterioración, como oxidación de lípidos, difusión de compuestos de sabor, pardeamiento no enzimático y textura, para los diferentes tipos de alimentos.



La humedad juega un papel predominante en las propiedades físicas y químicas de los alimentos secos, así como en los mecanismos que controlan su deterioración. La importancia del agua es explicada por los siguientes aspectos:

- Es el solvente más importante para los solutos polares y actúa como un Plastificador para los componentes poliméricos;
- Es altamente volátil a condiciones normales del alimento procesado y almacenado y obicuo en la atmósfera. Por consiguiente se requieren medidas extraordinarias si el intercambio de agua (ganancia o pérdida) es controlado. Algo de agua es indispensable para la actividad biológica de agentes deteriorativos.

Generalmente, la velocidad que limita el paso en las reacciones químicas involucra lograr la orientación molecular apropiada o superar algún tipo de barrera de activación. Sin embargo, cuando se restringe la movilidad los contenidos de humedad bajan o la viscosidad es muy alta, la movilidad translacional, la habilidad del reactante para difundirse a través de un sistema, puede llegar a limitar la velocidad. Estos conceptos con relación al rol del papel del agua en la estabilidad del alimento pueden ser explicados desde el punto de vista tanto una actividad de agua y una teoría de transición vítrea.

### **El oxígeno y el CO<sub>2</sub>**

(Labuza, 1999).menciona que la composición de gas es un factor adicional que puede jugar un papel significante en algunas reacciones de pérdida de calidad. La disponibilidad de oxígeno es muy importante para las reacciones oxidativas y puede afectar la velocidad y el orden de reacción que depende en si son limitados o en exceso. También afecta la velocidad de respiración y la





senescencia de los materiales de los vegetales y el crecimiento microbiano que dependen del potencial redox. El empaçado al vacío y con nitrógeno se basan en reducir la velocidad de reacciones indeseables limitando la disponibilidad de O<sub>2</sub>. Por otro lado, la presencia y cantidades relativas de otros gases, sobre todo del dióxido de carbono, afectan las reacciones biológicas y microbianas de la carne fresca, frutas y verduras. El modo de acción de CO<sub>2</sub> no ha sido completamente estudiado pero se ha relacionado con la aparición de la acidificación superficial. Diferentes productos tienen diferentes niveles óptimos de O<sub>2</sub> - CO<sub>2</sub> - N<sub>2</sub>, composición de gas necesarios para una máxima vida útil.

(Labuza, 1999) El exceso de CO<sub>2</sub> en muchos casos es perjudicial. Otros gases importantes son el etileno y CO. El empaçado en atmósfera controladas/modificadas se basan en estos principios. La selección de un material de empaque con las propiedades de la permeancia deseables, la concentración de gases y la Humedad Relativa dentro del empaque puede controlarse dentro de los límites permitidos. Los modelos de transporte del gas que incorporan la captación del oxígeno y la generación del CO<sub>2</sub> por el alimento permiten el cálculo de los requisitos de empaçado. Desgraciadamente muy pocos, si cualquiera, las películas del polímero satisfacen los requisitos para controles de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Alternativamente, un control activo puede ejercerse a través del uso de indicadores enzimáticos o químicos, como un nuevo concepto. Estos pueden agregarse en el sistema en forma de sachets o pueden integrarse en el material del empaçado.



#### **d.2.2.2.Cambios Químicos**

(Biblioteca.uns.edu.pe). Man y Jones (1997), describen que durante el proceso y almacenamiento de los alimentos, ocurren varios cambios químicos donde están involucrados los componentes internos del alimento y los factores medioambientales externos. Estos cambios pueden causar la deterioración del alimento y pueden reducir la vida útil. Los cambios químicos más importantes son asociados con la acción enzimática, reacciones de oxidación, particularmente oxidación de los lípidos que altera el sabor de muchos alimentos, y el pardeamiento no-enzimático que causa cambios en la apariencia. A temperaturas favorables, como temperatura del ambiente, muchas enzimas reaccionan a velocidades más rápidas que alteran los atributos de calidad del alimentos. Por ejemplo, las frutas al cortarlas tienden a pardearse rápidamente debido a la reacción de la fenolasa con los electrones de la célula que se liberan al cortar el tejido en presencia de oxígeno. Enzimas como lipoxigenasa, si no son desnaturalizadas durante el proceso de blanqueando, puede influir en la calidad del alimento incluso a temperaturas sub enfriadas. Además de la temperatura, otros factores medioambientales como el oxígeno, el agua y el pH inducen cambios defectuosos en alimentos que son catalizados por enzimas. La presencia de ácidos grasos insaturados en los alimentos son la primera razón para el desarrollo de la rancidez durante el almacenamiento cuando hay oxígeno disponible. Mientras la pérdida de sabores son notables en los alimentos rancios, la generación de radicales libres durante el proceso de auto catálisis se lleva a cabo otras reacciones indeseables, por ejemplo, la pérdida de vitaminas, alteración de color, y



degradación de proteínas. Las velocidades de oxidación de un lípido son influenciadas por varios factores. La temperatura medioambiental es una variable importante. La presencia de oxígeno en los alrededores del alimento llevan a aumentar las velocidades de oxidación. Semejantemente, el agua juega un papel importante; la oxidación de los lípidos ocurre más rápido a actividad de agua muy bajas. En la determinación de la vida útil de un alimento que contiene lípidos, es importante conocer los mecanismos y velocidades de reacción. Además de la oxidación del lípido, hay otras reacciones químicas que son inducido por la luz, y otros factores.

#### **d.2.2.3 Deterioro Microbiológico**

(Nickerson & Sinskey, 1972). Los microorganismos constituyen un mecanismo importante por lo cual muchos Alimentos, especialmente frescos, pierden su calidad. Esto es porque los microbios son ubicuos en el ambiente, y pueden crecer rápidamente. El principio básico de conservación está en controlarlos o destruirlos. Mucho controles semejantes son empleados como los que se usan para las enzimas:

- i) Baja temperatura retarda el crecimiento,
- ii) Alta temperatura para eliminarlos,
- iii) Remover o disminuir el agua  
para retardar o impedir su crecimiento,
- iv) Bajar el pH para retardar o detener su crecimiento agregando ácido o mediante la fermentación,



v) Control del nivel de O<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub> para controlar su multiplicación, vi) Manipular la composición alimentaria para remover los nutrientes necesarios para los microorganismos.

#### **d.2.3 Consideraciones básicas en una prueba de vida útil**

(Labuza T, 1985). Aunque hay una serie de consideraciones que deben tomarse en cuenta en el diseño y desarrollo de una prueba para determinar la vida útil de un producto alimenticio, se pueden mencionar las tres siguientes como muy importantes y básicas:

1. Identificar o conocer las formas de deterioro que afectan la calidad del producto
2. Establecer las formas de medición de los cambios del deterioro.
3. Definir los niveles de calidad que se consideran mínimos de aceptación.

#### **d.2.4 Tipos y mecanismos de deterioro de los alimentos**

(Fennema, 2000). Los alimentos son sistemas complejos desde el punto de vista de su composición química, biológica y física. Mientras que la mayor parte de las investigaciones realizadas sobre reacciones químicas han sido hechas en modelos simples de uno, dos o pocos reactantes, la situación en los alimentos es mucho más compleja y difícil de elucidar, ya que muchas reacciones son interactivas e interdependientes. De todos es sabido que los



alimentos, particularmente los de origen biológico, se cosechan o benefician cuando llegan a su punto óptimo de maduración, y que muchos de los procesos vitales continúan, causando inexorablemente una degradación de los productos. La tecnología de alimentos no es otra cosa que hacer esfuerzos para que el deterioro se detenga o disminuya; es decir, lo que conocemos como conservación de alimentos. Sin embargo, es importante reconocer que la conservación de alimentos tiene límites y que el deterioro continúa causando daños económicos. En general, se clasifican los tipos de deterioro de los alimentos en cuatro grandes categorías: biológicos, químicos, físicos y nutricionales, los cuales se describen brevemente a continuación:

**-Biológicos:** Causados por agentes biológicos exógenos, pre y postcosecha, crianza o sacrificio, como insectos, pájaros, roedores y otras plagas, y por microorganismos.

**-Químicos:** Incluyen reacciones como oxidación, rancidez, hidrólisis, cambios enzimáticos, encafecimiento no-enzimático, polimerizaciones y condensaciones.

**-Físicos:** Cambios de humedad, endurecimiento, ablandamiento, apelmazamiento, migración de grasas, cristalización, retrogradación de almidones (físico-químico), cambios de color (asociado a cambios químicos), sinéresis, coalescencia de emulsiones y otros.



**-Nutricionales:** Reducción de la potencia vitamínica (oxidación, reducción de funcionalidad, hidrólisis), formación de complejos anti nutricionales, formación de subproductos de reacción dañinos.

Para una mayor comprensión de los mecanismos del deterioro se deben considerar dos aspectos:

1. La velocidad de las reacciones de deterioro, y
2. Los aspectos organolépticos y afectivos del deterioro de los alimentos.

En el tema de velocidad de las reacciones deben tomarse en cuenta:

- el orden de las reacciones,
- la temperatura (concepto de  $Q_{10}$ ),
- la energía de activación de la reacción, ( $E_a$ ),
- los efectos de la humedad ( $a_w$ ), e. la tensión de oxígeno y. el pH.

#### **d.2.5 VIDA DE ANAQUEL ACELERADA**

(Labuza & Riboh, 1982). Uno de los modelos más utilizados en la determinación de la vida de anaquel de un producto es el Modelo de Arrhenius. La relación de Arrhenius, desarrollada teóricamente para reacciones químicas moleculares reversibles, ha sido experimentalmente aplicada a un número de reacciones químicas complejas y fenómenos físicos. Las reacciones de pérdida de calidad de los alimentos han mostrado que siguen un comportamiento de Arrhenius con la temperatura



(Nuñez, 1991). El contenido de humedad y la actividad de agua pueden influenciar los parámetros cinéticos ( $E_a$ ,  $K_0$ ), las concentraciones de los reactantes y en algunos casos el orden de reacción aparente. Modelos matemáticos que incorporen el efecto de la actividad de agua como un parámetro adicional pueden ser usados para predicciones de vida de anaquel de alimentos sensibles a la humedad. También la vida de anaquel acelerada puede ser usada para predecir la vida de anaquel a condiciones normales, basada en datos recolectados a altas temperaturas y altas condiciones de humedad relativa; o por medio de una ecuación que involucre la energía de activación, como es el caso de la relación de Arrhenius. La cinética de deterioro de los alimentos se puede expresar matemáticamente por medio de ecuaciones de relación. Aplicando principios fundamentales de la cinética química, los cambios en la calidad de los alimentos pueden, en general, expresarse como una función de la composición de los mismos y de los factores medioambientales:

$$-\frac{dA}{d\theta} = k^n$$

En donde A es la variable de calidad bajo estudio,  $\theta$  el tiempo,  $k$  constante dependiente de la temperatura y la actividad del agua ( $A_w$ ) y  $n$  es el orden de reacción, que define si la tasa de cambio de A en el tiempo depende o no de la cantidad de A presente. Si la ecuación se refiere a pérdidas lleva un signo negativo, pero si por el contrario expresa la aparición de productos no deseados es positiva.. El empleo de la reacción de orden cero se aplica en pérdidas de humedad en galletas, pardeamiento no enzimático.



### d.2.5.1 Reacción de Orden Cero.

(Labuza & Riboh, 1982). Una disminución lineal del atributo implica que su variación con respecto al tiempo es constante y que, por lo tanto, la pérdida de dicho atributo no depende de la concentración del atributo de calidad. La relación lineal entre atributo y tiempo se obtiene cuando la reacción es de orden cero (Figura 1).

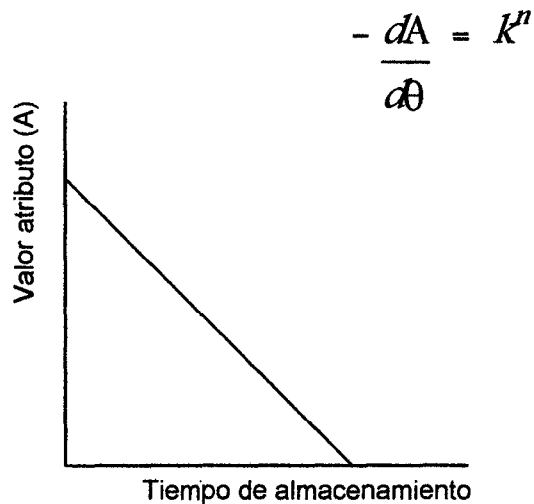


Figura 1: Disminución de un atributo de calidad durante el almacenamiento  
Reacción de orden cero.

(Singh, 2000). Un estudio de VU se realiza hasta lograr un deterioro apreciable en las muestras (o sea, hasta conseguir un rechazo por parte del consumidor). Por ese motivo es muy importante definir cuál es el tiempo máximo de almacenamiento con el que se va a trabajar. Normalmente en las empresas se conoce un tiempo estimado de deterioro de las muestras, en condiciones normales de almacenamiento; sin embargo, cuando se plantean estudios acelerados de VU, esta información no siempre se conoce previamente. Por lo





tanto, es interesante hacer algún tipo de ensayo preliminar, en las condiciones de ensayo seleccionadas, que permita fijar dentro de márgenes amplios, el tiempo en el que la muestra sufre un deterioro importante.

### **Selección de los tiempos de muestreo**

(Guillermo & Susana, 2014). Siempre se debe seleccionar un mínimo de seis tiempos de muestreo; si se

Ensayan menos tiempos, la confianza en la determinación de la VU disminuye.

Existen diversas posibilidades:

a) Seleccionar intervalos de tiempo de muestreo iguales. Por ejemplo, un

Producto que se va a tener almacenado durante 21 días, se puede muestrear

los días 0; 3; 6; 9; 12; 15; 18 y 21.

b) Incrementar el número de muestras en el período durante el cual sea más

Probable que el producto falle. Por ejemplo, un producto que se va a tener

Almacenado durante 6 meses, se puede muestrear los meses 0; 1,5; 3; 4; 4,5;

5; 5,5 y 6.

### **e) MATERIALES Y METODOS**

#### **e.1 Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los laboratorios de Chucuito de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional del Callao.

#### **e.2 Materiales y métodos de análisis**

Los materiales utilizados fueron placas Petri, el métodos fue por gravimetría utilizando balanza con 4 decimales para realizar las pesadas



### **e.3 Determinación del Universo**

El universo de estudio lo constituye las galletas saladas tipo cream crackes de la marca "FIELD" ubicados en la provincia del Callao, producidos en el periodo del mes Junio, que conformada luego las unidades experimentales

#### El tipo de muestra

Aleatorio

Tamaño muestral estuvo conformada por un 36 paquetes de galletas saladas, cada paquete de 37.5 gramos contienen 04 unidades de galletas de salada que conformaron las unidades experimentales.

Donde cada unidad experimental estuvo constituida por 01 galleta de un peso 9.375 grs cada uno aproximadamente

### **e.4 Técnicas de recopilación de datos**

La fuente bibliográfica revisada y las pruebas experimentales realizadas mediante los métodos estándar de laboratorio. Se determinó la variación del contenido de humedad de las galletas mediante la diferencias de pesos iniciales y finales de las unidades experimental evaluadas, para lo cual se tomó una galleta previamente pesada(9.3750grs+/-0.0003), se embolso en bolsas



de polipropileno luego fueron selladas mediante un sellador eléctrico, y se almacenaron en estufas previamente acondicionadas a las temperaturas de trabajo seleccionadas ( 30°C, 40°C y 50°C)

El diseño experimental de estudio comparativo:

Análisis de humedad de las galletas → evaluación 03 temperaturas →

Análisis estadístico → Ecuación de Arrhenius → predecir a 20°C

El almacenamiento se realizó en estufa donde se colocó una bandeja de agua para obtener una humedad relativa cercana al 100% de vapor de agua, para simular las condiciones de humedad relativa en la provincia de Callao, el cual comprende el rango de 90 -100% (Senamhi)

#### **e.5 Técnicas Estadísticas**

La evaluación estadística, se realizó una ANOVA de dos factores y el análisis de regresión lineal, con un nivel de significancia "α" y "K" grados de libertad (ta,k). se utilizó el paquete estadístico Minitab 15

## **f) RESULTADOS:**

### **f.1. Análisis de variación de humedad a diferentes temperaturas de almacenamiento**

Se acondiciono las tres estufas a temperaturas de 30, 40 y 50°C, donde se calibro mediante un termómetro externo, y se colocó un bandeja de agua para acondicionar la humedad relativa, la cual también se midió mediante un higrómetro, comprobando que la HR% estaba alrededor del 90-100% en las tres estufas.

Las muestras de galletas se tomaron los pesos iniciales, en una balanza con cuatro decimales, luego se procedió a embolsar en bolsa de polipropileno, luego se realizó un muestreo, realizando un total de 10 a lo largo de la evaluación, en intervalos de días 0, 4, 7, 11, 14, 17, 20, 24, 27 y 31 donde se tomó 01 paquete y se realizó el pesado respectivo de las 4 unidades experimentales para obtener un promedio de los pesos. Entre intervalos de días se determinó la variación de humedad de las galletas almacenadas en las tres estufas a 30°, 40° y 50°C tal como se puede apreciar en el Cuadro N° 01

La humedad inicial promedio de las galletas fue de 2.88%

### Cuadro N° 01

#### Variación de los porcentajes de humedad de las galletas a 30°C, 40°C y 50°C

N° muestreo	Días	Muestras Pesos gramos	Variación de Humedad (%) 30°C	Muestras Pesos gramos	Variación de humedad (%) 40°C	Muestras Pesos gramos	Variación de humedad (%) 50°C
1	0	9.3750	-	9.3750	-	9.3750	-
2	4	9.3770	0.023	9.3773	0.025	9.3778	0.030
3	7	9.3771	0.023	9.3774	0.026	9.3780	0.032
4	11	9.3772	0.024	9.3775	0.027	9.3782	0.035
5	14	9.3772	0.024	9.3776	0.028	9.3783	0.036
6	17	9.3773	0.025	9.3776	0.028	9.3786	0.039
7	20	9.3773	0.025	9.3776	0.028	9.3788	0.041
8	24	9.3773	0.025	9.3777	0.029	9.3793	0.046
9	27	9.3774	0.026	9.3777	0.029	9.3797	0.051
10	31	9.3774	0.026	9.3777	0.029	9.3808	0.062

Fuente:

Elaboración

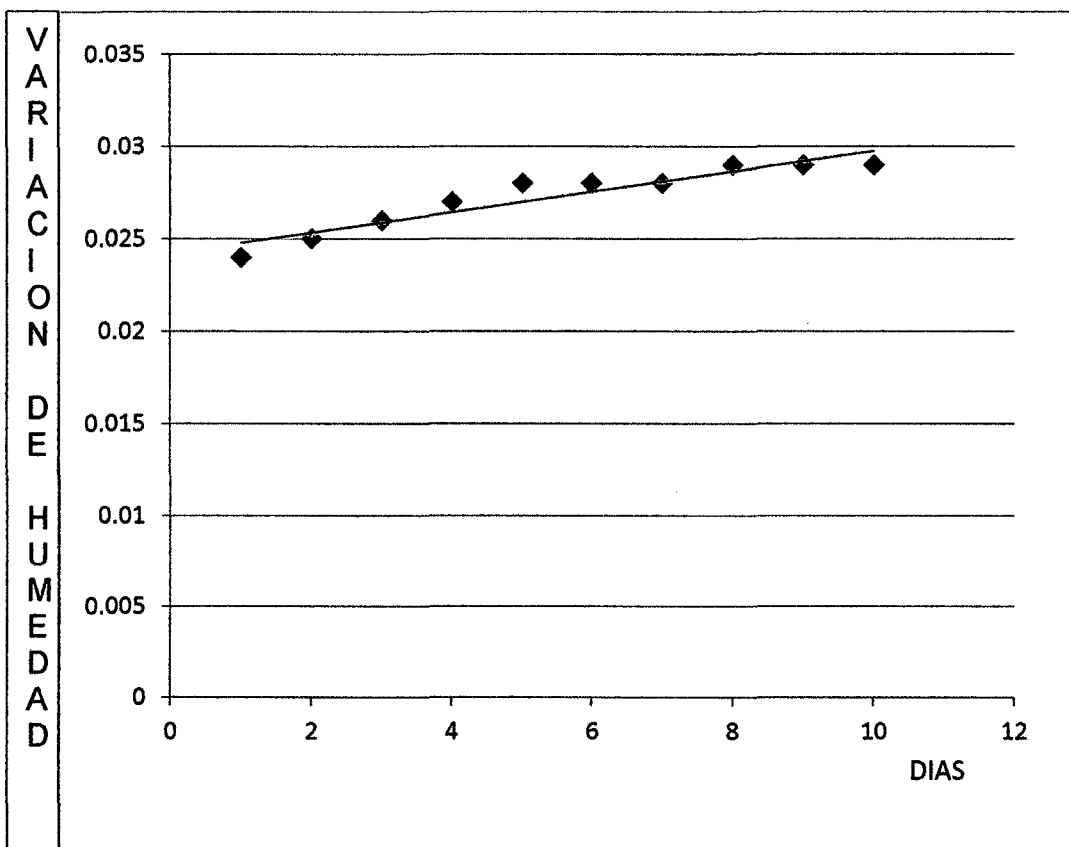
propia (2014)



Con la información recolectadas de las variaciones de peso se procedió a realizar los cálculos matemáticos aplicando la ecuación de arrehinus debiéndose primero calcular el valor K de las rectas a 30°C, 40°C, y 50°C y luego se tabulo la recta de valor K vs las temperaturas de almacenamiento. En la gráfica N°01, N°02 y N°03 se muestra la variación de humedad versus días a 30°C, 40°C y 50°C respectivamente.

**Grafica N° 01**

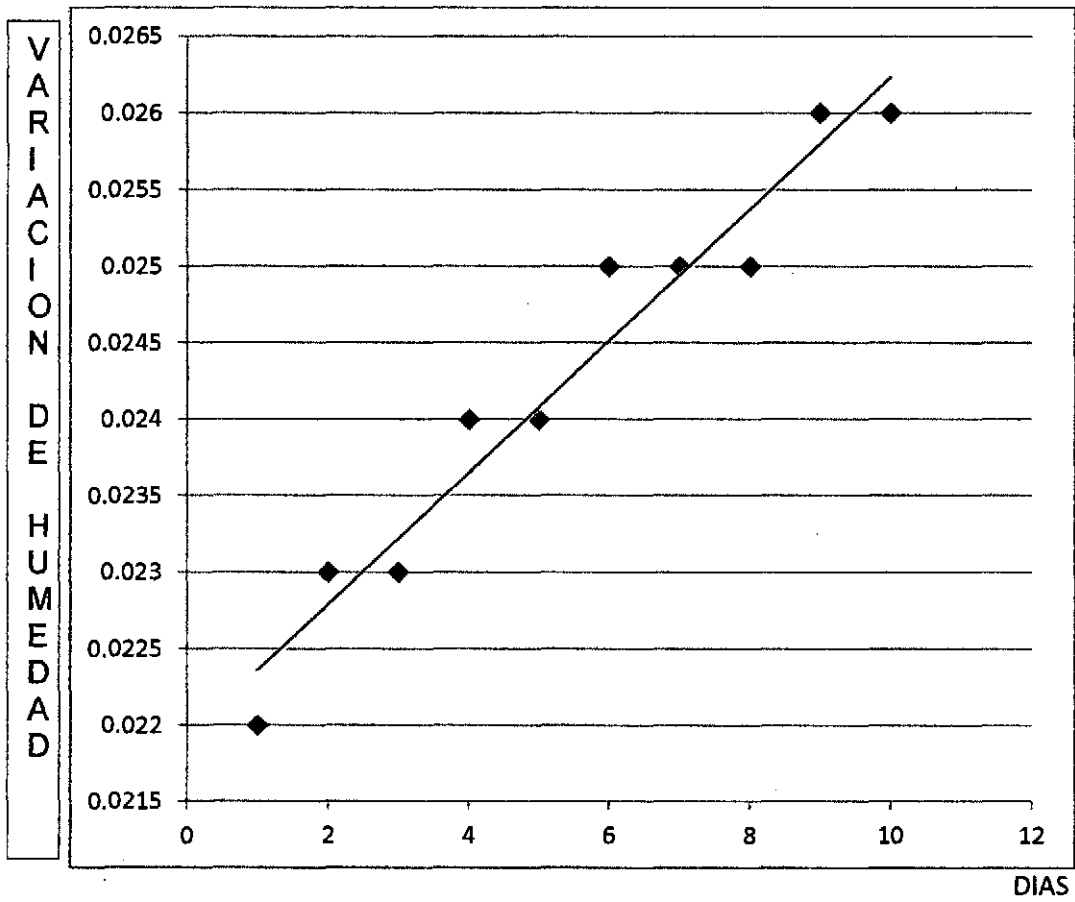
**Variación de humedad vs días a 30°C**



Fuente: elaboración propia (2014)

Grafica N° 02

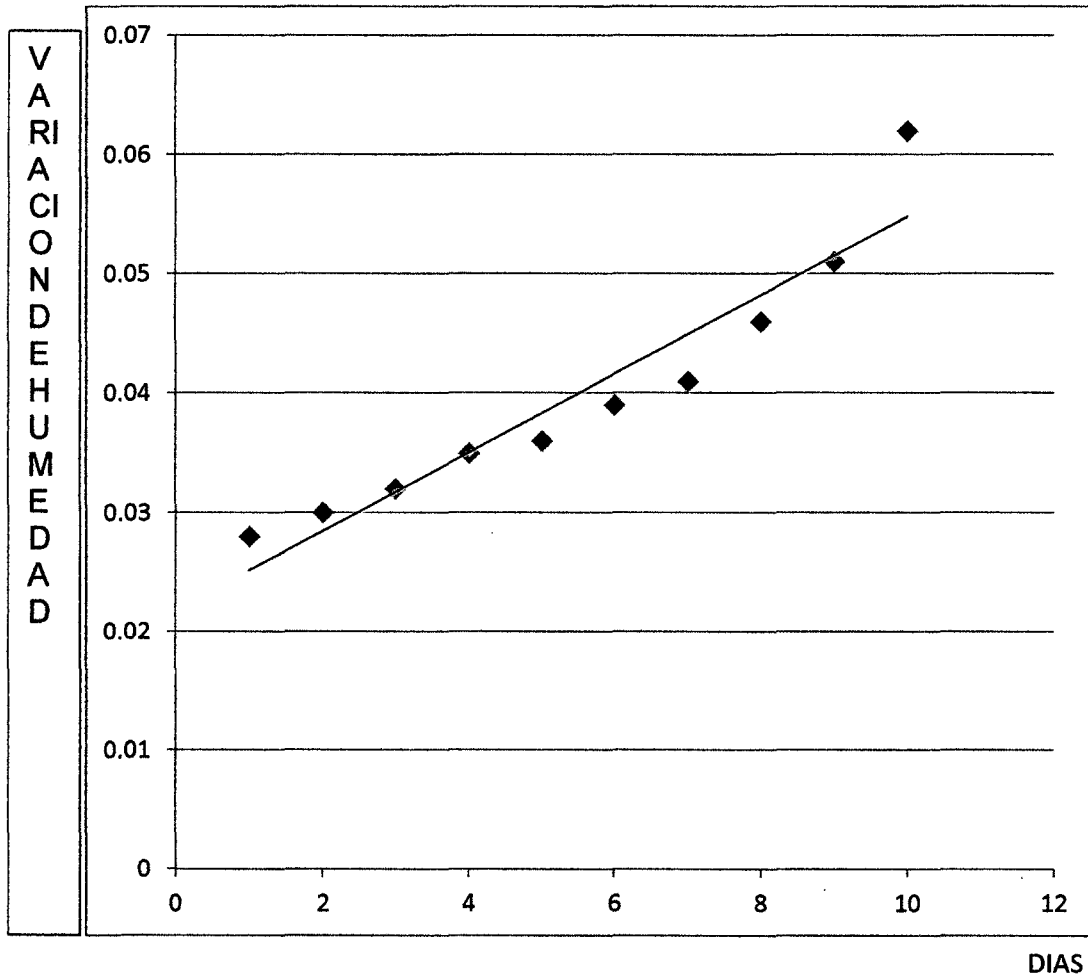
Variación de humedad vs días a 40°C



Fuente: elaboración propia (2014)

Grafica N° 03

Variación de humedad vs días a 50°C



Fuente: elaboración propia (2014)



Se puede observar que la pendiente de la rectas aumenta a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento de las galletas

**Cuadro N°02**

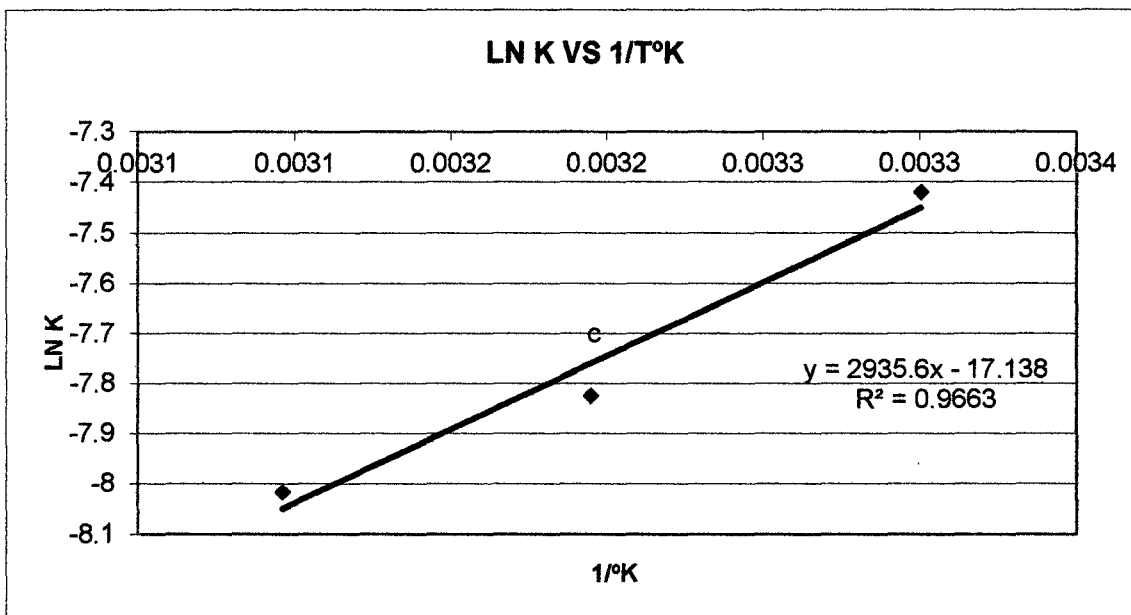
Valores de K a distintas temperaturas

1/T	T°C	k	LN K
0.0033	30	0.0006	-7.41858
0.0032	40	0.0004	-7.82405
0.0031	50	0.0003	-8.01642

Fuentes: elaboracion propia (2014)

**Grafica N° 04**

Temperaturas vs constante K



Fuentes: Elaboracion propia (2014)

Con esos resultados se calcula la ecuación de arrehinus.



## f.2. Calculo de la ecuación de Arrhenius

Ecuación de Arrhenius  $K=K_0 e^{E_a/RT}$

K= constante de reacción

K<sub>0</sub>= constante de reacción inicial

E<sub>a</sub>= energía de activación

R= constante general de los gases 1.96 kJoules/mol°K

T= temperatura en grado Kelvin

Despejando tenemos:

$$\ln K = \ln K_0 - E_a/RT$$

$$\ln K = -17.138 + 2935.6 (1/T)$$

## f.3. Calculo de valor K a 20°C

Apartir de esa ecuación de la Arrhenius encontramos el valor de la constante cinética a 20°C el cual es 0.0133

Teniendo la constante cinética a 20 ° C y sabiendo que el orden de la reacción de la pérdida de humedad es de orden cero.

## f.4. Calculo del tiempo de vida a la temperatura de 20°C

Ecuación de orden cero

$$A = t_s \cdot K - A_0$$

$$t_s = (A - A_0)/K$$

Humedad inicial = A<sub>0</sub> = 2,88%

Humedad crítica de aceptabilidad comercial= A = 8%

Valores de K ( constante cinética) diferentes temperaturas = K<sub>n</sub>

Tiempo de vida útil= t<sub>s</sub>



### Cuadro N° 03

Estimación de la vida útil a 20°C

k	T°C	días	meses
<b>0.009</b>	<b>20</b>	<b>244.44</b>	<b>8.1</b>
0.006	30	516.67	17.2
0.004	40	775.00	25.8
0.003	50	1033.33	34.4

Fuentes: elaboración propia (2014)

#### f.4 ANALISIS ESTADISTICOS

Para los análisis se utilizó el programa estadístico **MINITAB 15**

**Análisis de regresión Lineal: a 30°C**

y= variación de humedad

x= Tiempo

La ecuación de regresión es

$$y = 0.0243 + 0.0006X$$

S = 2.0522 R-cuad. = 94.4% r= 0.953 índice de correlación

#### Análisis de varianza

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	10480.1	10480.	1	53.07 0.001
Error	2	987.3	197.5		
Total	4	11467.4			



### **Análisis de regresión lineal: a 40°C**

y= variación de humedad

x= Tiempo

La ecuación de regresión es

$$y = 0.0219 + 0.0004 x$$

S = 3.267 R-cuad. = 97.8. % r=0.948 índice de correlación

### **Análisis de varianza**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	11358.1	5679.06	207.81	0.000
Error	2	109.3	27.33		
Total	4	11467.4			

### **Análisis de regresión lineal: a 50°C**

y= variación de humedad

x= Tiempo

La ecuación de regresión es

$$y = 0.0219 + 0.0003 x$$

S = 2.267 R-cuad. = 90.8. % r=0.904 índice de correlación

### **Análisis de varianza**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	2	11375.2	3791.73	123.34	0.001
Error	2	92.2	30.74		
Total	4	11467.4			



## g) DISCUSIONES

También se puede observar en el cuadro N°01, que a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento, aumenta la variación de humedad de las galletas con el tiempo, eso se debe a que el aumento de la temperatura acelera el fenómeno de transferencia de masa hacia el interior del empaque por lo que provoca una ganancia de agua en las galletas.

Con los valores del cuadro N° 01 se realizó las graficas N°1, N° 2 y N°3 donde se obtuvo las siguientes ecuaciones:  $y = 0.0243 + 0.0006X$ ,  $y = 0.0219 + 0.0004 x$ ,  $y = 0.0219 + 0.0003 x$  a 30°C, 40°C y 50°C respectivamente. Donde se relaciona variación de humedad versus tiempo de almacenamiento.

En las graficas N°1, N° 2 y N°3, se puede observar que la tendencia es lineal debido a que el orden de la reacción cinética de deterioro de la pérdida de humedad en las galletas siguen un orden Cero, es decir lineal. (Salas, 2009)

El análisis estadísticos de regresión lineal nos da como resultados los índice de correlación de análisis de regresión fue de  $r = 0.953$ ,  $r = 0.948$ ,  $r = 0.904$  a temperaturas de 30°C, 40°C y 50°C respectivamente

Los valores de K fueron de 0.0006, 0.0004 y 0.0033 a 30°C, 40°C y 50°C respectivamente, con eso valores se construyen la ecuación de Arrhenius

La ecuación de Arrhenius, obtenida fue de  $\ln K = -17.138 + 2935.6 (1/T)$  con un índice de correlación de 0.9663



Esta ecuación relaciona la temperatura con la constante cinética K a diversas temperatura, de modo que se puede encontrar el parámetro K a la temperatura deseada. Siendo esa a 20°C de un valor de  $k=0.009$

El cálculo de la vida útil de la galleta a 20°C y tomando como un indicador de calidad una humedad máxima de 8%. el cual ha sido correlacionado con una evaluación sensorial elaborada por panelista entrenados (Salas, 2009)

Sabiendo que la humedad inicial del producto es 2.88% se aplica la ecuación de orden cero despejando el valor de  $t_s= 8.1$  meses por lo que el valor aceptado sería 8 meses pero el valor recomendado sería 7 meses para ser colocado como fecha de vencimiento en el empaque.



## h) REFERENCIALES

- Alexia Torres, M. G., & Rosquete, Y. (2001). Estimacion de la vida util de una Formula dietetica en funcion de la disminucion de la lisina disponible . *Ciencia y tecnologia Alimentaria Vol 21 N°02 Mayo-Agosto* , 129-133.
- Biblioteca.uns.edu.pe.* (s.f.). Recuperado el 12 de Mayo de 2013, de [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/aula\\_3\\_y4\\_de\\_la\\_iii\\_unidad.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/aula_3_y4_de_la_iii_unidad.pdf)
- Fennema, O. (2000). *Quimica de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Guillermo, H., & Susana, F. (2014). *Estimacion de la vida util Sensorial de alimentos*. Madrid: Programa CYTED.
- Herling, V. A., & Rivero, G. A. (2006). Desarrollo de una Galleta tipo snack en Base a algas comestible con enfoque al mercado asiatico. *Tesis para optar el titulo de Ingeniero de Alimentos*. Santiago, Chile.
- Labuza T, S. M. (1985). Accelerated shelf life testing of food . *Journal of Food Technology*, 57-64.
- Labuza, T. (1999). Recuperado el 14 de Abril de 2013, de <http://fscn.che.umn.edu/Ted-Labuza/tpl.html>
- Labuza, T., & Riboh, D. (1982). *Journal of food Technology*, 66-74.
- Nickerson, J., & Sinskey. (1972). *Microbiologia de los alimentos y su procesos de elaboracion*. Zaragoza: Acribia.
- Nuñez, C. y. (1991). *Determinacion de la Vida en Anaquel de productos alimenticios procesados mediante pruebas Aceleradas ( SALT)*. Lima: Centro de Investigacion de produccion industrial Universidad de Lima.
- Salas, W. F. (15 de Mayo de 2009). Valor critico de humedad de la galleta. (B. Oyague, Entrevistador)



Senamhi. (s.f.). *Portal de Senamhi*. Recuperado el 14 de abril de 2014, de  
<http://www.senamhi.gob.pe/sig.php?p=024>

Singh, R. (2000). *Scientific Principles of Shelf life Evaluation* . Gaithersburg  
Maryland.





i) APENDICES

CUADRO N°01

Acondicionamiento de las estufa

<b>Estufas</b>	<b>Temperaturas</b>	<b>Temperatura inicial de agua de la bandeja</b>	<b>Humedad relativa generada final</b>
<u>1</u>	30°C	20°C	>90-100%
<u>2</u>	40°C	20°C	>90-100%
<u>3</u>	50°C	20°C	>90-100%

Fuente: Elaboración propia( 2013)

