

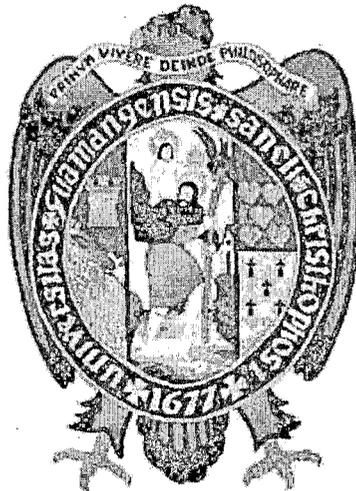
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN**

**PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN PROCESOS INDUSTRIALES**

**ÁREA DE PROCESOS ALIMENTARIOS Y AGROINDUSTRIALES**



**Informe final**

**TITULO:** "Modelamiento del comportamiento de calidad en postcosecha del tumbo (*Passiflora mollissima* Bailey)"

**Responsable:** M. Sc. Alberto Luis, HUAMANI HUAMANI

**Ayacucho – Perú**

**2015**

## ÍNDICE GENERAL

Nº	CONTENIDO	Pag.
	<b>RESUMEN</b>	
	<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA ACTUAL	2
1.2.3	Formulación del problema	4
1.2.4	Problemas específicos	4
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	Objetivo General	4
1.2.2	Objetivos Específicos	5
1.3	IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN	5
1.4	HIPÓTESIS	7
1.4.1	Hipótesis General	7
1.4.2	Hipótesis específicos	7
1.5	VARIABLES	7
	<b>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1.1	Estudios científicos de <i>Passiflora mollissima B.</i>	8
2.2	TUMBO SERRANO	11
2.3	MARCO CONCEPTUAL DE CALIDAD EN FRUTAS	13
2.3.1	Calidad fisiológica	15
2.3.2	Calidad organoléptica	15

2.3.3	Calidad nutricional	17
2.4	MARCO TEÓRICO DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES	18
2.4.1	Efecto de la Temperatura	18
2.4.2	Efecto de la Humedad relativa	20
2.4.3	Efecto de la respiración y maduración	29
2.4.4	Efecto de la composición del gas	31
2.5	MODELAMIENTO DE TRANSFERENCIA DE MASA EN POSTCOSECHA	31
2.6	VIDA ÚTIL	33

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1	Lugar de ejecución	35
3.2	Enfoque	35
3.3	Modalidad básica de la investigación	36
3.4	Nivel o tipo de investigación	36
3.5	Población y muestra	37
3.5.1	Población	37
3.5.2	Muestra	38
3.6	Operacionalización de variables	38
3.7	Metodología experimental	38
3.7.1	Sistema de adquisición de calidad del fruto en las condiciones ambientales	40
3.7.2	Estimación de vida útil	41
3.8	Procesamiento y análisis	43

### **IV. RESULTADOS**

4.1	MODELAMIENTO DE CALIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO Marchitez a 20°C en función a diferentes humedades relativas	44
4.1.1	de almacenamiento Marchitez a 10°C en función a diferentes humedades relativas	44
4.1.2	de almacenamiento Marchitez a 2°C en función a diferentes humedades relativas	45
4.1.3	de almacenamiento	46
4.2	MODELAMIENTO DE CALIDAD POR METODOLOGÍA DE SUPERFICIE RESPUESTA VIDA ÚTIL A TRAVÉS DEL DISEÑO PROBABILÍSTICO	47
4.3	DE WEIBULL	49
<b>V. DISCUSIONES</b>		
5.1	MODELAMIENTO DE CALIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO	50
5.2	MODELAMIENTO DE CALIDAD POR METODOLOGÍA DE SUPERFICIE RESPUESTA	53
5.3	MODELAMIENTO DE VIDA ÚTIL POR MÉTODO DE WEIBULL	55
<b>VI. CONCLUSIONES</b>		58
<b>VII. RECOMENDACIONES</b>		59
<b>VIII. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>		60
<b>ANEXO</b>		71

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general: Analizar y explicar la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en la cinética de pérdida de calidad y tiempo de vida útil en la conservación postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima L.*) y como Objetivos Específicos: Correlacionar la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en la cinética de pérdida de calidad postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima L.*); Correlacionar el modelamiento de la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en el tiempo de vida útil postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima L.*). El tiempo de vida útil fue determinado por el método probabilístico de Weibull usando la evaluación sensorial y correlacionando para la temperatura y humedad relativa, Para ello fue utilizado la metodología de: para la cinética de pérdida de calidad a través de la evaluación de las muestras del tumbo serrano acondicionados a diferentes temperaturas de almacenamiento y diferentes humedades relativas usándose soluciones saturadas de sales de humedad relativa conocidas, en donde se evaluaron la pérdida de calidad a través de la apariencia sensorial (marchitez) hasta un límite de 16% de pérdida de peso. Para la pérdida de calidad en función de los factores de temperatura de almacenamiento y humedad relativa se usó el diseño de superficie respuesta de 2 factores y evaluándose como respuesta la marchitez (%). Concluyéndose que la cinética de pérdida de calidad representa un modelo matemático de segundo orden en función del tiempo de almacenamiento. El tiempo de vida útil fue como sigue: a 20°C a 75,6% (3,44 días), 85,1% (4,03 días), 97,6% (5,32 días); a 10°C a 75,7% (4,83 días), 86,8% (5,71 días), 98,2% (6,41 días); a 2°C a 75,7% (6,25 días), 87,7% (7,46 días), 98,5% (9,66 días).

## ABSTRACT

This research has the general objective: To analyze and explain the influence of environmental conditions (temperature and humidity) on the kinetics of loss of quality and shelf life in conservation postharvest tumboserrano (*Passifloramollissima B.*). To this was it used methodology: for the kinetics of loss of quality by evaluating samples of cured tumbo conditioned at different storage temperatures and different relative humidities being used saturated salt solutions relative humidity known, where evaluated loss of quality through sensory appearance (wilting) up to a limit of 16% weight loss. For quality loss depending on factors storage temperature and relative humidity was used the response surface design factors and evaluated 2 response wilting (%). The lifetime was determined by the probabilistic method Weibull using sensory evaluation and mapping for temperature and relative humidity, concluding that the kinetics of loss of quality represents a mathematical model that is a function of the variables of temperature and relative humidity . The lifetime was as follows: 20 ° C to 75.6% (3.44 days), 85.1% (4.03 days), 97.6% (5.32 days); 10 ° C 75.7% (4.83 days), 86.8% (5.71 days), 98.2% (6.41 days); 2 ° C 75.7% (6.25 days), 87.7% (7.46 days), 98.5% (9.66 days).

**Key words:** Transpiration, postharvest quality, Weibull

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la demanda de frutas frescas ha aumentado significativamente debido a las ventajas que ofrecen estos productos a los consumidores, tales como la frescura, comodidad y bajo contenido calórico. Existe un recurso como el tumbo serrano poco aprovechado y que el aprovechamiento de este recurso podría generar muchos beneficios a nivel de los agricultores del ande como también a la población consumidora en general por sus beneficios funcionales y nutricionales.

El tumbo (*Passiflora mollissima* Bailey) es fruto muy perecedero, que, junto con el método tradicional de cosecha de la planta después de la abscisión, predispone a una vida útil reducida el cual sufre un deterioro rápido durante su comercialización. Una de las manifestaciones rápidas es la deshidratación del pericarpio que causa marchitamiento y hace que la fruta sea poco atractivo para los consumidores. La cutícula que recubre el fruto es completamente incapaz de contener el proceso de deshidratación rápida después de la cosecha. La turgencia de las células se pierde porque el agua del protoplasma se desplaza a través de sus membranas y por los espacios intracelulares, hasta la superficie del vegetal, para reponer la humedad que de allí ha sido retirada hacia el aire por la transpiración, al perder la turgencia el producto se vuelve flácido y blando, perdiendo su calidad de apariencia al consumidor.

Las frutas que han sufrido una pérdida significativa de agua se hace difícil su comercialización. Como las frutas y verduras contienen más de 90% de agua, una pérdida de 5% de agua o más es visualmente notable, la reducción del grado frescura del producto hace una disminución de su valor comercial. Los principales efectos de la pérdida de agua

son la reducción de peso y una apariencia marchita; también hay una reducción en el valor nutricional como la cantidad de componentes solubles en agua disminuyen cuando se libera agua, pérdida de aroma y sabor, y una mayor sensibilidad a las lesiones por enfriamiento (Maguire *et al*, 2006; Paull, 1999).

## 1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA ACTUAL

Actualmente existe un fruto de muchos beneficios funcionales y nutricionales no promocionados por el ministerio de agricultura como es el tumbo serrano (*Passiflora mollissima Bailey*), en cuanto a su producción y comercialización, en los mercados locales del ande es de manera muy precaria, la producción es a nivel de huertos domésticos, expuestos para su venta en los suelos de los mercados sin la debida protección. El tumbo serrano es muy perecedero al medio ambiente, donde se observa marchitamientos notorios y con ello la apariencia poco deseable. Para su mejor aprovechamiento de producción, comercialización y generación de recursos económicos de manera sustentable, es necesario hacer el estudio fisiológico del producto y luego el estudio tecnológico de conservación para la recomendación apropiada para su comercialización. El comportamiento fisiológico a las condiciones ambientales (Humedad relativa del ambiente) caso del tumbo serrano no es aun conocido y se desea conocer el porcentaje de pérdida de peso a las condiciones climáticas de comercialización. En la gestión poscosecha es fundamental tener en cuenta, ya que éstas continúan activas fisiológicamente aún después de cosechadas, cada fruta continúa respirando, madurando e iniciando procesos de senescencia, lo cual implica en adelante una serie de cambios estructurales y bioquímicos que son específicos de cada especie. Asimismo, el producto cosechado está constantemente expuesto a la pérdida de agua debido a la transpiración y

a otros fenómenos fisiológicos. Los frutos del tumbo serrano, en particular, presentan una serie de problemas tras su recolección derivados de la falta de aporte hídrico y de nutrientes desde la planta, quedando así a expensas de su propio metabolismo. Dando lugar a una pérdida gradual de calidad de la fruta en sus características organolépticas de apariencia (marchitez), sabor y aroma a medida que avanza su estado de senescencia, determinando finalmente la muerte fisiológica. Este tipo de metabolismo limitado a sus propias reservas coloca además al fruto en una situación de debilidad frente a la deshidratación y las agresiones físicas externas tales como: fricción, golpes o heridas y también frente a las infecciones, especialmente de tipo fúngico. Por tanto, son normalmente las alteraciones fisiológicas y patológicas las que hacen inviable su comercialización mucho antes de que cese su actividad metabólica (Cuquerella, 1990). El conocimiento de la fisiología del fruto durante la etapa postcosecha es importante para comprender el proceso de deterioro de la calidad y la aplicabilidad de las tecnológicas de conservación como: El período de conservación del tumbo puede ser prolongado, desde que se utilicen mecanismos que reducen las tasas de transpiración y la respiración de los frutos, tales como el uso bajas temperaturas de almacenamiento, uso de atmósfera modificada, uso de aditivos en su superficie, películas de plástico y uso de empaques apropiados. Esta técnica ha sido utilizada continuamente como un tratamiento para prolongar el período de almacenamiento de productos perecederos, reduciendo las pérdidas y mantener la calidad, ya que existe una respiración reducida de los frutos, inducida por la disminución de la temperatura, reduciendo así la pérdida de agua por transpiración y, en consecuencia, la marchitez, la producción y la sensibilidad al etileno (Mota *et al.*, 2003).

### **1.1.1 Formulación del problema**

¿Cuál es la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en la cinética de pérdida de calidad y tiempo de vida útil en la conservación postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima* B.)?

### **1.1.2 Problemas específicos**

1. ¿Cómo influye las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en la cinética de pérdida de calidad postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima* B.)?
2. ¿Cuál es la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en el tiempo de vida útil postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima* B.)?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo General**

Analizar y explicar la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en la cinética de pérdida de calidad y tiempo de vida útil en la conservación postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima* B.).

## 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Correlacionar la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en la cinética de pérdida de calidad postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima* B.).
2. Correlacionar el modelamiento de la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en el tiempo de vida útil postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima* B.).

## 1.3 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN

### Importancia

A nivel étnico, al tumbo serrano (*Passiflora mollissima* B.) se le atribuyen diversas propiedades etnomedicinales como el tratamiento de la hipocolesterolemia, cálculos renales, malestares urinarios y dolores estomacales, en la prevención y posible tratamiento del escorbuto. También puede contribuir en la cicatrización de heridas y detención de hemorragias; así como recomendable para mantener la belleza de la piel, eliminando arrugas y manchas, para recuperar la elasticidad (Brack, 1999). Por sus cualidades funcionales como se mencionan en los antecedentes de investigaciones mencionadas (Inocente (2015), Conde-Martines *et al.* (2014), Encina *et al.* (2011), Botero *et al.* (2007), Contreras *et al.* (2010), Rojano *et al.* (2012), Vasco *et al.* (2008), Nicolls (1970) y Edwin *et al.* (2007)); es necesario el aprovechamiento de este recurso, su

producción y comercialización, y para ello es necesario conocer el comportamiento postcosecha para fines de conservación.

### **Justificación**

El tumbo serrano tiene ventajas adaptativas a las condiciones ecológicas y de suelos predominantes en la sierra peruana; los frutos del tumbo serrano aun no son explotados y posee un alto potencial comercial y de transformación industrial debido al rápido crecimiento y fructificación temprano. La generación de valor agregado a la materia prima como a los derivados, se pueden establecer con avances tecnológicos que mejoren la calidad, productividad y rentabilidad de los cultivos, enmarcado en la generación de cadena de valor para los productos derivados del tumbo serrano (Agencia Agraria de Noticias, 2013). Sin embargo, el tumbo serrano presentar diversas desventajas técnicas y comerciales, halladas en la producción (Daga, 2013): Alta perecibilidad del fruto, no soporta transporte prolongado, nulidad en el desarrollo tecnológico de conservación y procesamiento del fruto, sobre estos problemas aun no existen trabajos de investigación.

La investigación sobre el estudio de transpiración durante postcosecha del tumbo serrano permitirá solucionar los problemas de transporte, comercialización y conservación a través del conocimiento de las propiedades fisiológicas como es la transpiración, respiración y conservación. A través de la difusión de esta investigación, se podrá motivar la producción y comercialización del tumbo serrano.

## 1.4 HIPÓTESIS

### 1.4.1 Hipótesis General

La influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) correlaciona la cinética de pérdida de calidad y tiempo de vida útil en la conservación postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima B.*).

### 1.4.2 Hipótesis específicos

1. La cinética de pérdida de calidad postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima B.*) es una correlación de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa).
2. El tiempo de vida útil postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima B.*) representa un modelamiento con las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa).

## 1.5 VARIABLES

En el proyecto se identifican variables de causa y efecto:

### - Variables independientes

- Condiciones de almacenamiento( Temperatura y Humedad relativa)

### - Variables dependientes

- Calidad: Aspecto general (marchitez); Vida util

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1 Estudios científicos de *Passiflora mollissima* B.

En nuestro país, existen pocos estudios sobre el valor nutricional y los compuestos bioactivos del tumbo serrano. Sin embargo a nivel internacional se dispone de los siguientes estudios científicos:

- Inocente (2015), en la investigación “Diseño e implementación de una cadena de valor viable y sostenible para productos alimenticios y cosméticos elaborados con extractos estabilizados de *Passiflora mollissima* B. (tumbo serrano)” en la cual las tres fases (cadena de valor como materia prima, producto desarrollado y comercialización) del proyecto hacen posible que la cadena de valor generada sea viable y sostenible por el valor agregado que se aporta en cada fase.
- Conde-Martines *et al.* (2014) investigaron los volátiles de olor activo y sabor de tumbo (*Passiflora mollissima* (Kunth) LH Bailey) identificaron por evaporación asistida de solvente los siguientes compuestos: linalol, acetato de hexilo, 1,8-cineol, acetato de butilo y los compuestos aromáticos claves de esta fruta. Otros olores relevantes por su contribución al sabor global fueron: acetato de 2-metilpropilo, (Z) -3-hexen-1-ol y (Z) -3-hexenilo acetato. Compuestos de azufre, acetato de 3-sulfanylhexyl y metional, se informó aquí con el primer equipo volátiles de olor activo en Tumbo. Por HPLC-ESI-MS análisis de las mezclas

glucosídico y GC-MS análisis de los compuestos volátiles liberados enzimáticamente con glucosidasa, (Z)-3-hexenilo  $\beta$ -D-glucopiranosido y linalilo  $\beta$ -D-glucopiranosido identificados fueron los precursores del aroma en *Passiflora mollissima*. El tratamiento térmico de la mezcla de glicosídico a un pH nativo de cis-cis y óxidos de linalol trans-furanoide, así como,  $\alpha$ -terpineol, los compuestos de que presentan notas de olor florales.

- Encina *et al.* (2011) determinaron la composición química y sus compuestos bioactivos en la pulpa de tumbo como el contenido de ácido ascórbico, carotenos totales, compuestos fenólicos, los responsables entre otros compuestos de su actividad antioxidante, determinada por los métodos DPPH y ABTS, resultados que se muestran a continuación.
- Botero *et al.* (2007) hallaron que la especie *Passiflora mollissima* L. posee mayor capacidad antioxidante comparada con 15 frutas colombianas, usando las técnicas FRAP y midiendo el potencial de ionización por voltametría cíclica.
- Contreras *et al.* (2010), han determinado mediante las técnicas de ABTS, DPPH y FRAP que existen diferencias significativas entre la capacidad antioxidante del tumbo y otras frutas colombianas.
- Rojano *et al.* (2012), han determinado que los extractos acuosos de curuba son ricos en polifenoles especialmente taninos, flavonoides y ácidos fenólicos. Además poseen una alta capacidad para atrapar las diversas especies reactivas de oxígeno, especialmente el radical ROO., con un valor ORAC más alto que la mayoría de frutas y verduras estudiadas.
- Téllez *et al.* (2007), han evaluado el comportamiento fisiológico y fisicoquímico de frutos de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) encerados y almacenados a dos temperaturas.

- Vasco *et al.* (2008) han evaluado la cantidad de ácido ascórbico, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en los frutos de *Passiflora mollissima* cultivados en Ecuador, cuyos resultados son: 63-93 mg/100 g de ácido ascórbico/fruta fresca,  $1010 \pm 198$  mg/ 100 g de compuestos fenólicos expresados en ácido gálico/fruta fresca y una capacidad antioxidante de  $70 \pm 4$   $\mu$ mol Trolox/g fruta fresca.
- Goykovic *et al.* (1993), han determinado los parámetros de rendimiento en jugo del fruto de tumbo en dos tipos de extracciones: centrifugación y succión. Los resultados del rendimiento en jugo del fruto en la extracción por succión fueron mayor que la extracción por centrifugación.
- Edwin *et al.* (2007), han comprobado la actividad hipoglucemiante del extracto etanólico de *Passiflora mollissima* L. en ratas diabéticas inducidas por aloxano. Obtuvieron como resultado que una dosis de 100 mg/kg y 200 mg/kg redujeron el nivel de azúcar en las ratas.
- Nicolls (1970), ha comprobado la actividad antifúngica utilizando la planta entera de *Passiflora mollissima* L., a excepción de los frutos que presentaron nula actividad frente a hongos.
- Foehlich *et al.* (1989), han determinado la presencia de compuestos volátiles (30 alcanos, alkeno, compuestos aromáticos y terpenos); 4 aldehídos, 11 cetonas, 36 alcoholes; 4 lactonas, 5 ácidos grasos, 47 ésteres.
- Olafsdottir *et al.* (1997), han encontrado glicósidos cianogénicos como linamarina en *Passiflora mollissima* L.

## 2.2 TUMBO SERRANO

El tumbo serrano (*Passiflora mollissima*), es una especie frutal nativa de América distribuida desde Colombia, Ecuador, Brasil, Perú y Bolivia. Es una planta trepadora, que crece muy bien a altitudes incluso cercanas a los 3500 m.s.n.m., produce frutos de forma elipsoidal, su cascara es suave y el interior está lleno de semillas redondeadas, cubiertas de un mucilago anaranjado de pulpa jugosa, aromática y de sabor dulce-acido. Se propagan por semillas y suelen crecer sobre cercos y paredes de las viviendas. El nombre mollissima, que significa muy suave, muy blando, hace referencia a sus frutos blandos y al vello delicado que cubre todos los órganos vegetativos de la planta (Hoyos, 1989).

Las zonas de producción del tumbo serrano se ubican de 1000 a 3500 msnm, en las regiones de Ancash, Junín, Moquegua y Huancavelica. Crece en valles interandinos, con temperaturas que van de 18°C a 24°C, cultivándose mayormente bajo lluvia (Brack, 1999)

En relación a la curuba (llamada también tumbo serrano), Daga sostuvo que existe un mercado con un enorme potencial para este tipo de frutas (refiriéndose al europeo y asiático) del cual se benefician países como Bolivia, Ecuador, Colombia y Brasil, por ser una fruta oriunda de los andes (debido a que su habitad natural es entre 2000 y 3200 msnm). Asimismo, el especialista informó sobre el crecimiento de las exportaciones de granadilla y maracuyá –principalmente- en jugos y concentrados, que se han visto impulsadas por una mayor demanda de USA (220%), Holanda (125%), Chile (120%) y Sudáfrica (100%), pero que aún en volúmenes no es significativa, “existe un mercado interno insatisfecho que se debería aprovechar para incrementar el consumo de la fruta y luego pensar en potenciar las exportaciones” (Agencia Agraria de Noticias, 2014).

Por su forma en algunos frutos, similar al plátano, en muchos mercados se le identifica como “banano de la pasión”. Se consume la pulpa, semilla, incluso cascara de los frutos maduros, en forma cruda, en jugos, en mermeladas, tragos y otras formas; en algunas zonas se elabora un vino delicioso (Brack, 1999).

Desde las culturas pre-incas era el fruto ideal no solo para calmar la sed de forma apetitosa y contribuir a mantener la piel bien nutrida e hidratada, sino por sus nutrientes esenciales que revitalizan el organismo. Por esta razón, el tumbo serrano (*Passiflora mollisima*) como otras frutas que tienen alto contenido en vitamina C como maracuyá, naranjas y tóronjas, son recomendables para consumirlos en la temporada veraniega, como parte de las dietas hipocalóricas (Brack, 1999).

El tumbo serrano “*Passiflora mollisima*” pertenece a la familia *Passifloraceae* y su taxonomía es la siguiente:

Reino:	Plantae
Division:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Violales
Familia:	Passifloraceae
Genero.	Passiflora
Especie:	<i>Passiflora mollisima</i>

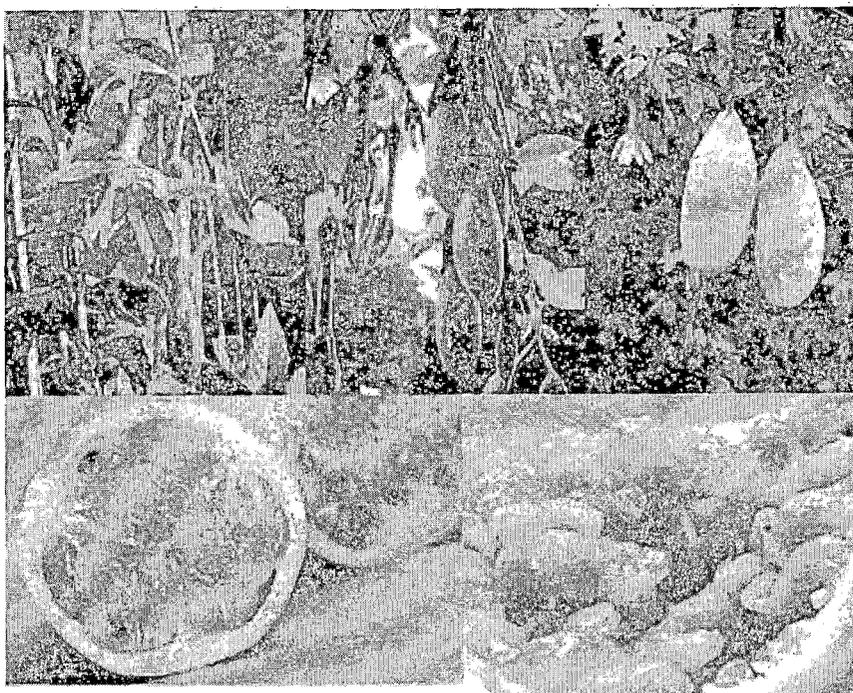


Figura 2.1: Fruto del tumbo serrano

### 2.3 MARCO CONCEPTUAL DE CALIDAD EN FRUTAS

La calidad es un término usado con frecuencia por los investigadores, productores, manipuladores, vendedores y consumidores, pero su significado varía en función del usuario. Shewfelt (1999) distingue la "calidad orientada al producto" de la "calidad orientada al consumidor." En la definición anterior, que corresponde a una serie de atributos que se pueden medir con precisión para evaluar el efecto de las gestiones culturales, las selecciones de cultivares, las técnicas de manipulación, o tratamientos post-cosecha. Esta última definición de la calidad está vinculada a las actitudes de los consumidores y la aceptabilidad del producto, que varían de acuerdo a las perspectivas culturales y demográficas. Por ejemplo, las peras pueden ser consumidas firmes o

blandos, dependiendo de la preferencia del consumidor. Calidad abarca varios puntos indicados en la Figura 2.2.

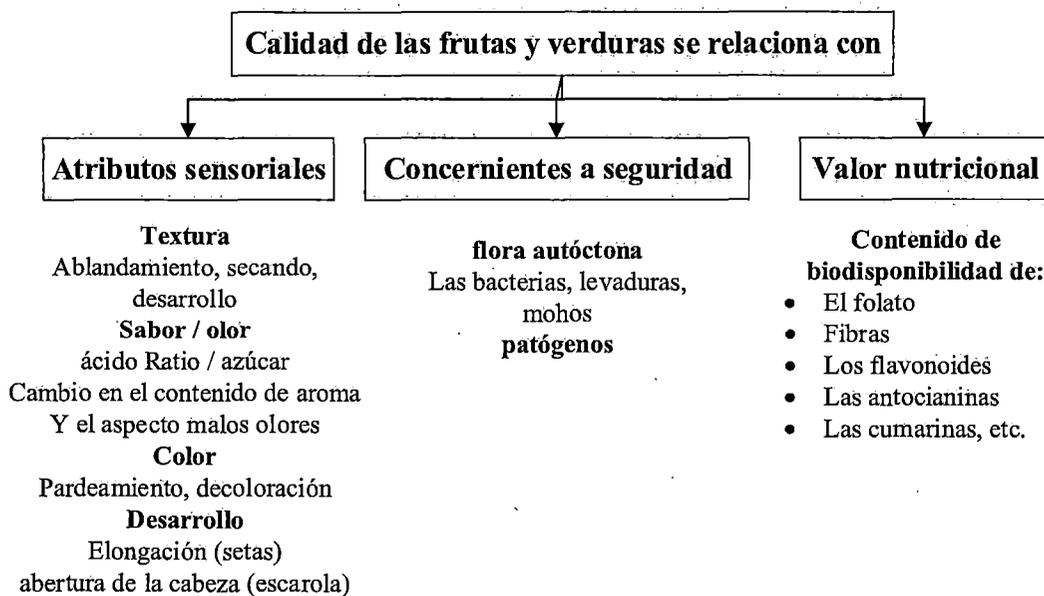


Figura 2.2: Cambios de calidad en frutas y vegetales

El término “*calidad*” es definido por la Norma ISO 9001:2010 como el conjunto de características del producto que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades del cliente tanto explícitas como implícitas (Müller y Steinhart, 2007).

La calidad de un alimento es una percepción compleja de muchos atributos que son evaluados simultáneamente en forma objetiva y subjetiva por el consumidor. El concepto de calidad involucra aspectos variados tales como propiedades físicas, componentes químicos, propiedades funcionales, valor nutritivo, propiedades sensoriales, propiedades microbiológicas, entre otros (Luning y Marcelis, 2007; Chiesa *et al.*, 2005; Abbott, 1999; Moinár, 1995) citados por **Viccoria (2011)**.

La calidad de productos hortícolas es definida como la combinación de atributos, propiedades y características que determinan su valor para el consumidor (Kader, 2008; Kader, 2002b). De hecho, la calidad depende del cultivar, prácticas culturales pre-cosecha, condiciones climáticas, madurez o grado de desarrollo al momento de la cosecha, método de cosecha, entre otros.

La velocidad de este deterioro depende del tipo de producto, condiciones de cultivo y otros factores pre-cosecha, pero principalmente de la manipulación durante el acondicionamiento, comercialización y procesamiento y de las condiciones ambientales a las que se expone el producto (Kader, 2002b). Los cambios que ocurren en la post-cosecha no pueden ser detenidos, pero sí pueden ser demorados, dentro de ciertos límites (López Camello, 2003).

### **2.3.1 Calidad fisiológica**

Los cambios post-cosecha de los productos hortícolas están asociados a cambios en su fisiología, tales como modificaciones en los patrones de respiración, de transpiración, de producción de etileno, entre otros. Uno de los aspectos fisiológicos más importantes a considerar es la madurez o grado de desarrollo del producto al momento de realizar la cosecha. Esta característica tiene un profundo impacto en la calidad y extensión de la vida útil del producto y afecta el modo en que los productos son manejados, transportados y comercializados (Reid, 2002).

### **2.3.2 Calidad organoléptica**

La preferencia del consumidor por el producto alimenticio está determinada en gran medida por la percepción sensorial. La evaluación sensorial depende de tres consideraciones principales. En primer lugar, están las características relacionadas con la apariencia del producto incluyendo color, forma, tamaño, integridad,

consistencia. En segundo lugar, aparecen las características texturales (sensación al paladar, mordida, masticabilidad, cuerpo, jugosidad, crocancia, rigidez, entre otros). La tercera consideración a realizar incluye el sabor y aroma (Singhal *et al.*, 1997).

Atributos sensoriales son dependientes del tiempo y se refieren principalmente a la textura, el sabor y el olor, el color y el desarrollo visual de los productos, todos los cuales evolucionan con la maduración y el envejecimiento de los productos. El ablandamiento de los productos frescos se debe a la solubilización y la despolimerización de pectinas por la acción de las enzimas pectolíticas, y la deshidratación de los productos con la pérdida de turgencia puede conducir a una textura harinosa. La degradación del almidón y la descarboxilación de ácidos orgánicos inducen modificación de sabor, donde la relación entre el dulzor y la acidez es importante. Aromas se sintetizan a partir de alcohol y los ácidos con la actividad enzimática de acuerdo con el aumento de la etapa de madurez. El cambio de color se atribuye a la degradación (o formación de clorofila en el caso de la achicoria, por ejemplo) así como la síntesis de compuestos coloreados tales como antocianinas o del caroteno o pardeamiento enzimático. La importancia de estos cambios puede variar en función del producto particular (Viccoria, 2011).

La calidad organoléptica de las frutas está relacionada estrechamente con su composición. Así, el contenido de pigmentos, de compuestos azucarados, amargos y sulfurosos y de compuestos volátiles determinan el aroma, color y sabor, mientras que los contenidos de fibra, agua y almidón, contribuyen a la textura. La composición de la fruta se genera durante su crecimiento antes de la cosecha y va cambiando en la post-cosecha. Por consiguiente, los factores de pre- y postcosecha afectarán la formación y cambio, respectivamente, de las características sensoriales (Viccoria, 2011).

### **2.3.2.1 Apariencia**

Incluye tamaño (dimensiones, peso y volumen), forma, color (uniformidad, intensidad), brillo, defectos externos e internos (morfológicos, fisiológicos, mecánicos o patológicos). Los defectos pueden originarse antes de la cosecha como resultado del daño por insectos, enfermedades (como la conocida con el nombre de “tipburn” que es un desorden fisiológico relacionado con la carencia de calcio) y situaciones de estrés. Durante la post-cosecha pueden ocurrir marchitamientos, daño mecánico como puntos, cortes, grietas, magulladuras y rajaduras (Viccoria, 2011).

### **2.3.3 Calidad nutricional**

Los alimentos son necesarios para el mantenimiento de una salud normal de adultos y proveer un estándar de crecimiento en niños. Por lo tanto, la calidad nutritiva de los alimentos debe ser evaluada para caracterizar este aspecto de los mismos, y puede ser medida en términos del contenido de nutrientes, tales como proteínas, vitaminas, minerales, fibra.

Desde el punto de vista nutritivo, las hortalizas no son suficientes para satisfacer los requerimientos nutricionales diarios, esencialmente por su bajo contenido de materia seca. Poseen un alto contenido de agua y bajo de carbohidratos (exceptuando batata, papa, yuca y otros órganos subterráneos), de proteínas (salvo las leguminosas y algunas crucíferas) y de lípidos (excepto palta), pero son, en general, una buena fuente de minerales y vitaminas. La vitamina más importante para la nutrición humana presente en hortalizas es la vitamina C (Lee y Kader, 2000). Más del 90 % de la vitamina C en la dieta humana es suministrada por las frutas y hortalizas. Los vegetales de hoja constituyen una fuente valorable de vitamina C, especialmente cuando son consumidos frescos (Konstantopoulou *et al.*, 2010). La vitamina C es utilizada

frecuentemente para caracterizar la calidad nutritiva de hortalizas de hoja (Moreira *et al.*, 2003; Kader, 2002b).

## **2.4 MARCO TEÓRICO DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES**

El ambiente al que son expuestos los vegetales frescos recién cosechados tiene un efecto altamente significativo sobre la vida útil de estos productos (Paull, 1999). La temperatura (T) y la humedad relativa (HR) de la atmósfera que rodea al producto hortícola son los dos factores principales que están involucrados en su conservación post-cosecha y que afectan en gran medida su calidad organoléptica (Nunes *et al.*, 2009). En consecuencia, la aceptabilidad por parte del consumidor es afectada por las dos variables mencionadas.

### **2.4.1 Efecto de la Temperatura**

El efecto de la temperatura sobre la calidad de los vegetales es bien conocido: las bajas temperaturas son usualmente recomendadas durante la manipulación del producto fresco, recomendándose una temperatura óptima de almacenamiento para cada fruta en particular. La reducción de la temperatura es una práctica comúnmente conocida y aceptada y constituye la manera más simple y fácil para retrasar el deterioro del vegetal (Nunes *et al.*, 2009; Paull, 1999).

Es bien sabido que la temperatura es uno de los principales factores que afectan a la vida útil de los productos frescos y necesita ser controlado positivamente durante la manipulación y la comercialización de tales productos (Brecht *et al.*, 2003). La respiración de frutas y verduras crudas aumenta de 2 a 3 veces para cada 10 °C de aumento

de Temperatura dentro del rango de temperatura, generalmente encontrado en la cadena de distribución y comercialización (4 -30 ° C) (Exama *et al*, 1993;. Varoquaux y Ozdemir, 2005; Zagory y Kader, 1988). En el caso de los productos listos para consumir, este factor puede aumentar en un 3.4 - a 8,3 veces (Watada y Qi, 1999). Al disminuir la temperatura, la velocidad de las reacciones enzimáticas y la respiración se reduce según la relación de Arrhenius. Para las frutas climatéricas, almacenamiento después de la cosecha a bajas temperaturas puede ser necesario para permitir la maduración, como por algunas peras (Lelièvre *et al.*, 1997; Morin *et al.*, 1985) o podría acelerar su capacidad para producir etileno, como por ejemplo kiwis (Jobling *et al*, 1991; Knee *et al*, 1983). Aunque la refrigeración parece ser el método más adecuado para la conservación de productos frescos, no siempre es fácil de conseguir en la distribución al por menor. Además, no es conveniente para todas las mercancías según lo observado por el desarrollo de lesiones por frío (por ejemplo, a ras del núcleo o escaldaduras suave observada en las frutas más exóticas) que a menudo se combinan con un aumento de la tasa de respiración (Marcelino, 1992).

El efecto de la temperatura sobre la transpiración, está muy relacionada con la humedad relativa; al aumentar la temperatura la presión de vapor de agua en el interior del producto aumenta produciendo una diferencia mayor con respecto a la presión de vapor del aire, resultando un incremento en la intensidad de transpiración. Las estomas se abren cada vez más hasta los 25-30°C, Viccoria (2011)

La temperatura también modifica la presión de vapor que ejerce el aire saturado, el déficit de presión de vapor se incrementa si la temperatura aumenta. Al elevarse la temperatura el agua tiene mayor capacidad para evaporarse. Una fruta que está a una temperatura

ambiente de 15°C con una HR de 90% transpirará más que si está a 5°C con la misma humedad relativa (90%). Se recomienda para el almacenamiento de productos vegetales una humedad relativa de 85-95%. Las altas temperaturas favorecen la evaporación de agua y las bajas temperaturas reducen la transpiración. Se ha observado que la aplicación de cubiertas cerosas reduce en buena medida la pérdida de peso por transpiración (Viccoria (2011)).

#### **2.4.2 Efecto de la Humedad relativa**

Por su parte, también es conocido que la HR del ambiente tiene una relación directa con la pérdida de agua del producto durante el almacenamiento (Nguyen *et al.*, 2007). Como la HR es función de la temperatura, ambientes con iguales condiciones de HR pero con distinta temperatura pueden generar pérdidas de agua diferentes. Esto hace necesaria la utilización del concepto de déficit o diferencia de presión de vapor (DPV), que es independiente de la temperatura y constituye la verdadera fuerza impulsora para la pérdida de agua del producto. EL DPV es equivalente a la diferencia o gradiente de presión de vapor de agua entre el espacio interno (intercelular) del tejido y el ambiente que lo rodea (Hertog *et al.*, 2004; Maguire *et al.*, 2001) ya que normalmente se asume que el aire contenido en los espacios intercelulares del tejido está saturado (Paull, 1999). Cuando el producto es expuesto a ambientes con altos DPV, ocurren pérdidas de agua desde el producto y, en consecuencia, pérdidas de peso y turgencia, marchitamientos, entre otros efectos (Nguyen *et al.*, 2007). En los últimos años se han llevado a cabo numerosos estudios sobre la evolución de distintos índices de calidad de vegetales expuestos a condiciones de almacenamiento con altos DPV. Sin embargo, la mayoría de ellos utilizaron como objeto de estudio frutas (manzana, higo, frutilla, etc.) y hortalizas

(zanahoria, tomate, cebolla, etc.) diferentes a las hortalizas de hoja (Ogweno *et al.*, 2009; Mahajan *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2007; Nguyen *et al.*, 2007; Guevara *et al.*, 2006; Guevara-Arauz *et al.*, 2006; Hertog *et al.*, 2004; Veraverbeke *et al.*, 2003; Shibairo *et al.*, 2002) citados por Viccoria (2011)

La exposición de las hortalizas de hoja a ambientes que favorecen la pérdida de agua resulta muy perjudicial para la calidad de las mismas debido a que la pérdida de agua es un fenómeno superficial (Mahajan *et al.*, 2008) y estos productos presentan una alta relación superficie a volumen. Es por esto que la HR recomendada para su almacenamiento post-cosecha es por encima del 95 % (Cantwell, 2002). Sin embargo, durante las prácticas habituales de manipulación de lechuga desde la cosecha hasta el consumidor, no suelen tomarse medidas para controlar este factor, exponiendo a los vegetales a ambientes con HR menores (sub-óptimas) a las recomendadas. Como esta hortaliza es transportada en vehículos sin protección, abiertos al ambiente y sin control de humedad, es muy común encontrar condiciones de baja temperatura y baja HR durante la distribución del producto. Adicionalmente, durante la venta al por menor, el producto es expuesto al ambiente sin protección alguna.

La pérdida de agua produce una disminución en la presión de turgencia de las células así como degradación de la pared celular (Abbot y Harker, 2008) que afecta los atributos de calidad tales como textura, turgencia y color, produciendo cambios detrimentales y pardeamiento enzimático durante el almacenamiento postcosecha. En consecuencia, Las mediciones del status de agua de la planta son esenciales durante La postcosecha. EL estudio del status de agua del tejido, permite conocer los movimientos de agua en diferentes condiciones de almacenamiento en respuesta a los cambios ambientales. Las

investigaciones sobre el status de agua de plantas se han enfocado generalmente en estrategias adaptativas de los cultivares bajo regímenes de disponibilidad de agua contrastantes en la pre-cosecha (Martínez et al., 2007; Bacelar et al., 2006; Bal et al., 2006; Eltel et al., 2006; Romero y Botía, 2006; Rodríguez et al., 2004; Diallo et al., 2001; Yamasaki y Rebello Dillenburg, 1999) citados por Viccoria, (2011). Sin embargo, son pocos los estudios que han abarcado el efecto de las condiciones postcosecha y su influencia en los índices de agua.

Estos autores encontraron que el desarrollo del pardeamiento fue precedido por pérdida de agua y descensos en el potencial de agua en espinas y piel. Burdon y Clark (2001) examinaron los efectos de la pérdida de agua post-cosecha en el status de agua de kiwi variedad 'Hayward' durante 14 días luego de la cosecha mientras era expuesto a condiciones de deshidratación. En este caso, el descenso en el peso fresco de la fruta estuvo acompañado por un descenso en el contenido de agua, en el RWC y en el potencial de agua (parámetro que cuantifica la tendencia del agua a moverse de un área a otra de la planta debido a ósmosis, gravedad, presión mecánica o acción capilar).

Tal como se mencionó previamente, la pérdida de agua del producto no sólo afecta el estado hídrico del mismo sino también los demás índices de calidad. La pérdida de agua provoca una considerable pérdida de peso y disminución del volumen del producto durante el almacenamiento. Estos hechos, sumados a los cambios en el color, impactan directamente sobre la calidad organoléptica del producto. También es posible que la calidad nutricional del producto expuesto a condiciones perjudiciales se vea afectada, en particular el contenido de ácido ascórbico, que es considerado uno de los compuestos nutricionales más sensibles a cualquier tipo de estrés (Shin *et al.*, 2007; Glannakourou y

Taoukis, 2003; Nunes *et al.*, 1998) citados por Viccoria, (2011).. Otro fenómeno básico que confronta la extensión de vida útil de vegetales frescos es la proliferación de microorganismos. El conocimiento de la microflora nativa del vegetal fresco y su evolución bajo diferentes condiciones de almacenamiento es de importancia fundamental cuando el producto es comercializado como una hortaliza fresca en donde los microorganismos juegan un papel primordial en el mantenimiento de la calidad (Ponce *et al.*, 2002). Además, hay que tener presente que la pérdida del agua redonda en pérdidas económicas importantes cuando las mercaderías hortícolas son vendidas por peso (Nunes y Emond, 2007; Kays y Paull, 2004; Herppelch *et al.*, 1999) citados por Viccoria (2011)...

En asociación con la respiración aeróbica, el vapor de la humedad se produce y la deshidratación natural ocurre, causada por la difusión de vapor de humedad de los compartimientos de concentración alto en producto fresco a la baja concentración en el medio ambiente circundante. Comercialización de artículos que han sufrido una pérdida significativa de agua se hace difícil. Como las frutas y verduras contienen más de 90% de agua, una pérdida de 5% o más de agua es visualmente notable, la reducción del grado del producto y, lo que resulta en una disminución de su valor comercial. Los principales efectos de la pérdida de agua son la reducción de peso y una apariencia marchita; también hay una reducción en el valor nutricional como la cantidad de componentes solubles en agua disminuye cuando se libera agua, una pérdida de aroma y sabor, y una mayor sensibilidad a las lesiones por enfriamiento (Maguire *et al.*, 2006; Paull, 1999). En el caso de frutos climatéricos, la pérdida de agua puede acelerar la crisis climaterio como se observa en los aguacates (Adato y Gazit, 1974). Aunque la deshidratación excesiva no se recomienda que sea en el producto, deshidratación moderada puede ser beneficioso para

algunos vegetales tales como bombillas o setas comunes (Barron *et al*, 2002; Roy *et al*, 1996).

La humedad relativa es el principal factor que afecta la transpiración. Si el aire que rodea el producto tiene una humedad relativa baja, esto significa, que la presión de vapor del aire esta baja con respecto a la máxima presión de vapor de agua que se pueda lograr a esta temperatura, este máximo valor siempre está muy cerca al de la presión de vapor del agua en la superficie del producto, lo que hace fluir el vapor de agua hacia el aire; entre más grande sea la diferencia entre las presiones del vapor, mayor será el flujo de agua.

El efecto de la transpiración es consecuencia de un déficit de presión de vapor (DPV), originada por una diferencia entre la presión del producto y la del aire que los rodea, la cual puede determinarse por la siguiente relación:

- Los métodos que controlan la pérdida de agua del producto involucran: bajar la capacidad que tiene el aire para tomar la humedad del producto, lo cual puede lograrse bajando la temperatura ó acondicionando vapor de agua al ambiente. Si se eleva la HR del aire que rodea al producto se reduce la deficiencia de presión de vapor entre el producto y el aire.
- Es relativamente fácil incrementar la HR, se pueden utilizarse humidificadores ó simplemente rociar agua en el suelo para que ésta se evapore e incremente la humedad del aire. Actualmente la literatura recomienda humedades relativas del 85% al 95% para almacenamiento, dependiendo del producto que se trate.

Efectos de la HR del ambiente de almacenamiento: Efectos físicos ( pérdida de agua); la pérdida de agua es proporcional a la diferencia de presiones de vapor de agua entre

el tejido y la presión de vapor del ambiente, este genera la marchitez del fruto y en consecuencia la pérdida de calidad sensorial (apariciencia).

Tabla 2.1: Humedades relativas de diferentes sales saturadas a diferentes temperaturas

t (°C)	% HR										
	Floruro de Cesio	Bromuro de Litio	Cloruro de Litio	Acetato de Potasio	Cloruro de Magnesio	Carbonato de Potasio	Bromuro de Sodio	Yoduro de Potasio	Cloruro de Sodio	Cloruro de Potasio	Sulfato de Potasio
5	-	7.4 ± 0.8	13	-	33.6 ± 0.3	43.1 ± 0.5	63.5 ± 0.8	73.3 ± 0.4	75.7 ± 0.3	87.7 ± 0.5	98.5 ± 1.0
10	-	7.1 ± 0.7	13	23.4 ± 0.6	33.5 ± 0.3	43.1 ± 0.4	62.2 ± 0.6	72.1 ± 0.4	75.7 ± 0.3	86.8 ± 0.4	98.2 ± 0.8
15	4.3 ± 1.4	6.9 ± 0.7	12	23.4 ± 0.4	33.3 ± 0.3	43.2 ± 0.4	60.7 ± 0.6	71.0 ± 0.3	75.6 ± 0.2	85.9 ± 0.4	97.9 ± 0.7
20	3.8 ± 1.1	6.6 ± 0.6	12	23.1 ± 0.3	33.1 ± 0.2	43.2 ± 0.4	59.1 ± 0.5	69.9 ± 0.3	75.5 ± 0.2	85.1 ± 0.3	97.6 ± 0.6
25	3.4 ± 1.0	6.4 ± 0.6	11.3 ± 0.3	22.5 ± 0.4	32.8 ± 0.2	43.2 ± 0.4	57.6 ± 0.4	68.9 ± 0.3	75.3 ± 0.2	84.2 ± 0.3	97.3 ± 0.5
30	3.0 ± 0.8	6.2 ± 0.5	11.3 ± 0.3	21.6 ± 0.6	32.4 ± 0.2	43.2 ± 0.5	56.0 ± 0.4	67.9 ± 0.3	75.1 ± 0.2	83.6 ± 0.3	97.0 ± 0.4
35	2.7 ± 0.7	6.0 ± 0.5	11.3 ± 0.3	-	32.1 ± 0.2	-	54.6 ± 0.4	67.0 ± 0.3	74.9 ± 0.2	83.0 ± 0.3	96.7 ± 0.4
40	2.4 ± 0.6	5.8 ± 0.4	11.2 ± 0.3	-	31.6 ± 0.2	-	53.2 ± 0.5	66.1 ± 0.3	74.7 ± 0.2	82.3 ± 0.3	96.4 ± 0.4
45	2.2 ± 0.5	5.7 ± 0.4	11.2 ± 0.3	-	31.1 ± 0.2	-	52.0 ± 0.5	65.3 ± 0.3	74.5 ± 0.2	81.7 ± 0.3	96.1 ± 0.4
50	2.1 ± 0.4	5.5 ± 0.4	11.1 ± 0.3	-	30.5 ± 0.2	-	50.9 ± 0.6	64.5 ± 0.3	74.5 ± 0.9	81.2 ± 0.4	95.8 ± 0.5
55	2.0 ± 0.4	5.4 ± 0.3	11.0 ± 0.3	-	29.9 ± 0.2	-	50.2 ± 0.7	63.8 ± 0.4	74.5 ± 0.9	80.7 ± 0.4	-
60	2.0 ± 0.4	5.3 ± 0.3	11.0 ± 0.3	-	29.3 ± 0.2	-	49.7 ± 0.8	63.1 ± 0.4	74.4 ± 0.9	80.3 ± 0.5	-
65	2.1 ± 0.5	5.3 ± 0.3	10.9 ± 0.3	-	28.5 ± 0.3	-	49.5 ± 1.0	62.5 ± 0.4	74.2 ± 0.9	79.9 ± 0.5	-
70	2.2 ± 0.6	5.2 ± 0.3	10.8 ± 0.4	-	27.8 ± 0.3	-	49.7 ± 1.1	61.9 ± 0.4	74.1 ± 0.9	79.5 ± 0.6	-
75	2.4 ± 0.7	5.2 ± 0.2	10.6 ± 0.4	-	26.9 ± 0.3	-	50.3 ± 1.3	61.4 ± 0.5	74.0 ± 0.9	79.2 ± 0.7	-
80	2.6 ± 0.8	5.2 ± 0.2	10.5 ± 0.5	-	26.1 ± 0.4	-	51.4 ± 1.5	61.0 ± 0.5	73.9 ± 0.9	78.9 ± 0.8	-

Fuentes: CENAM, 2012.

El mayor componente de las frutas y las hortalizas es el agua, siendo en realidad estos vegetales el empaque natural de este líquido, que con otras sustancias nos da un producto con características sensoriales muy singulares. Este empaque tan especial en su conjunto forma un sistema que facilita la aproximación del equilibrio del vapor de agua interna con el vapor de agua del aire que rodea el vegetal, normalmente se produce un flujo de vapor de agua del vegetal hacia el medio ambiente ocasionando una pérdida de agua, que en postcosecha no tiene posibilidades de recuperación.

La turgencia de las células se pierde porque el agua del protoplasma se desplaza a través de sus membranas y por los espacios intracelulares, hasta la superficie del vegetal, para

reponer la humedad que de allí ha sido retirada hacia el aire por la transpiración, al perder la turgencia el producto se vuelve flácido y blando, luego llega el marchitamiento.

Este proceso depende en especial énfasis de la humedad del aire que rodea al vegetal, esta es la humedad relativa (HR) la cual expresa el contenido de agua del aire. Se define como el cociente de la presión del vapor de agua en el aire y la presión máxima de vapor de agua a igual temperatura, expresada en porcentaje. El aire saturado tiene una humedad relativa del 100% es la máxima que se puede tener. A la humedad relativa al alcanzar el equilibrio se le denomina humedad relativa de equilibrio (HRE), el agua líquida tiene una HR igual al 100%.

La velocidad de transpiración depende principalmente de la magnitud del déficit de presión de vapor que exista. La transpiración ocurre durante el crecimiento y desarrollo de las frutas, sin embargo, la cantidad de agua perdida siempre se recupera y las frutas manifiestan una ganancia de agua que las hace aumentar de volumen.

Después de la cosecha la transpiración continúa, pero ahora el agua ya no es recuperada por la fruta (o cualquier otro órgano de la planta) → pérdida real de peso del fruto, denominada “pérdida fisiológica de peso”.

Pallardy, (2008), manifiesta que la medida de la pérdida de peso en plantas enteras sembradas en maceteros fue inicialmente realizada por Stephen Hales (1727) quien midió la pérdida de peso en árboles de manzana, limón y otras plantas herbáceas. Varios estudios fueron realizados durante la segunda mitad del siglo XIX, de los cuales los más conocidos son las de Von Höhnel, publicado en 1881 y 1884. La pérdida de peso está

relacionada con la tasa de transpiración, que hace referencia a la difusión del agua y otras sustancias volátiles de las frutas, producto de la naturaleza de su metabolismo (respiración, transpiración), los gases se difunden en el aire que rodea el vegetal, debido al movimiento de moléculas de zonas de mayor concentración a zonas de menor concentración, hasta que se alcanza la condición de equilibrio, las estructuras a partir de las cuales ocurre este proceso son; los hidátodos, estomas, lenticelas y la cutícula (Kader, 2002).

La pérdida de agua en forma de vapor y otras sustancias volátiles en las frutas se produce a través de la epidermis, esta difusión metabólica de los gases la describe la primera ley de Fick, que establece que el flujo de un gas a través de una barrera de tejido es proporcional al gradiente de concentración (Lammertyn *et al.* 2003).

Durante el transporte y almacenamiento la pérdida de agua puede constituir un serio problema, ya que la fruta pierde peso, se arruga, se marchita, se deshidrata → deterioro de la vida útil del producto. Es la pérdida de agua en forma de vapor desde los tejidos vivos hacia la atmósfera circundante.

Pérdida de agua en forma de vapor debida a un déficit de presión de vapor. El agua se evapora y escapa al aire a través de los poros, lenticelas, estomas, o cualquier otra apertura en la epidermis del fruto. Esto sucede cuando existe una diferencia entre la presión de vapor del aire y la presión de vapor del producto estableciéndose una diferencia denominada “déficit de presión de vapor”.

La pérdida de agua puede ser una de las principales causas de deterioro ya que da por resultado no solo pérdidas comerciales, sino también causa pérdidas en apariencia debido al arrugamiento por disminución en la turgencia de las estructuras celulares, la calidad textural se ve afectada por ablandamiento, flacidez y falta de firmeza de las frutas. El sistema dérmico juega un papel importante en la regulación de la pérdida de agua de los vegetales, presentando “barreras naturales” que permiten controlar o contrarrestar las pérdidas de agua, por ejemplo la presencia de una gruesa cutícula como en frutas de patilla (*Citrullus lanatus Thunb*) y melón (*Cucumis melo L.*), pelos unicelulares o vellosidades epidérmicas (kiwi y durazno), falsas espinas o rudimentos estilares (guanábana) (Reina, 1998; García y Praderes, 2009).

La pérdida fisiológica de peso se puede medir cuantificando el índice de pérdida de peso tras los días poscosecha, por gravimetría utilizando una balanza analítica (Villamizar, 2001).

Algunos investigadores han evaluado la pérdida fisiológica de peso en diferentes vegetales durante su etapa de poscosecha. El efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la pérdida de peso en frutos de maracuyá ha sido estudiado (Gómez, 2008). En ciruelas mexicanas (*Spondias purpurea L.*) se ha evaluado la pérdida fisiológica de peso en frutas almacenados durante 4 días a 20°C, encontrando un porcentaje de pérdida de 17,6% con respecto al peso inicial (Pérez *et al.* 2004). En frutas de chicozapote almacenadas durante 8 días a 21°C y 65% de HR se perdió el 10% de su peso inicial (Bautista *et al.* 2005). En cidra [*Sechium edule (Jacq) Sw*], se ha encontrado que almacenada 9 días a 20°C luego de haber sido guardada durante 28 días en refrigeración, perdió el 11,4% de su peso inicial (Cadena-Iniguez *et al.* 2006). Frutas de tomate de árbol

(*Cyphomandra betacea* S.) almacenadas a 23°C y 65% de HR durante 14 días presentaron pérdidas del 12% de su peso inicial (Márquez *et al.* 2007).

La Tabla 2.2 muestra el porcentaje de pérdida fisiológica de peso que hace algunos vegetales inviables comercialmente (Thompson *et al.*, 1998).

Tabla 2.2. Pérdida fisiológica de peso que afecta la calidad comercial en vegetales

Producto	Pérdida fisiológica de peso (% de peso fresco)	Razón de pérdida comercial
Brócoli	4	Sabor, marchitamiento
Chile verde	8	Encogimiento
Col de bruselas	8	Marchitamiento, amarillamiento
Durazno	11	Encogimiento
Espinaca	3	Marchitamiento
Lechuga	4	Marchitamiento, deterioro
Manzana	7	Encogimiento
Nabo	4	Marchitamiento
Pera	6	Encogimiento
Repollo	6	Encogimiento
Uva	5	Encogimiento
Zanahoria	8	Marchitamiento

Fuente: Thompson *et al.* 1998

### 2.4.3 Efecto de la respiración y maduración

Las frutas y verduras son productos vivientes que obtienen todos los nutrientes que necesitan para su crecimiento cuando se conecta a la planta madre. Una vez separado de ella, estos órganos cosechados tienen que recurrir a sus propias reservas para alcanzar la respiración aeróbica y mantener su integridad celular. Durante la respiración, los hidratos de carbono almacenados se descomponen en glucosa, que se oxida a CO<sub>2</sub>, agua y energía a través de varias etapas enzimáticas. Tan pronto como estos sustratos se convierten en

otros recursos que no están disponibles, gaseosas que podrían ser esenciales, tales como proteínas o lípidos de membrana constitutivos, se utilizan, lo que lleva a la muerte del órgano cosechado.

Por lo tanto, el potencial de vida útil de frutas y verduras está estrechamente relacionado con su tasa de respiración, expresada como la cantidad de O<sub>2</sub> consumido (o CO<sub>2</sub> liberado) por unidad de tiempo y por unidad de masa de los productos. Una relación hiperbólica ha sido demostrada para verduras (Marcellin, 1975) y frutas exóticas (Paull, 1994): cuanto menor es la tasa de respiración, mayor será el potencial de vida útil.

La tasa de respiración es específico de un órgano cosechado en particular, en términos de especies y variedades, pero puede variar dependiendo de su madurez, sobre todo en frutas climatéricas. Las frutas se clasifican como climatéricos (melocotones, manzanas, kiwis, etc.) y no climaterio (cítricos, pequeños frutos rojos, etc.) de acuerdo a su capacidad de sintetizar la hormona de crecimiento de etileno de una manera autocatalítica o no, respectivamente (Robertson, 2006). Para las frutas climatéricas, un aumento en la respiración se asocia con un aumento en etileno: cuando la velocidad de respiración alcanza un valor máximo (la denominada crisis respiración) la producción de etileno también alcanza su máximo (la denominada crisis climaterio). Durante la biosíntesis de etileno, el producto madura y se producen varios cambios bioquímicos y estructurales, tales como el ablandamiento debido a la degradación de las pectinas (Soda *et al.*, 1987) o pardeamiento interno causado por la oxidación enzimática de los compuestos fenólicos (Mayer, 1987).

#### **2.4.4 Efecto de la composición del gas**

Otro factor que afecta la respiración y la calidad en consecuencia, el total de los productos frescos es la composición del gas y está bien presentado por Varoquaux y Ozdemir (2005). Por lo general, la reducción del nivel de O<sub>2</sub> es realmente eficaz en la reducción de la respiración, pero anoxia (un interruptor para el catabolismo anaeróbico y el crecimiento de la flora anaerobia que producen indeseable malos sabores y malos olores) debe evitarse (Nguyen y Carlin, 1994; Varoquaux y Ozdemir, 2005) y puede limitar la producción de etileno como se observa en los kiwis (Rothan y Nicolas, 1994) o inhibir su producción, como se observa en los tomates (Rothan *et al.*, 1997). Los altos niveles de CO<sub>2</sub> inducen un efecto bacteriostático sobre las bacterias aeróbicas, pero podría llevar al desarrollo de la flora anaerobia.

### **2.5 MODELAMIENTO DE TRANSFERENCIA DE MASA EN POSTCOSECHA**

El modelado de la evolución de la calidad de las hortalizas y la predicción de la extensión de la vida útil de las mismas, es una tarea compleja debido a la gran variedad de atributos (químicos, físicos, microbiológicos, fisiológicos, nutricionales y sensoriales) que impactan sobre la vida útil de estos productos (Osvold y Stirn, 2008; Lukasse y Polderdijk, 2003). Además, es necesario considerar que la dinámica de cada uno de estos atributos tiene características particulares que dependen de las condiciones de almacenamiento (Tijskens y Polderdijk, 1996). Por lo tanto, para realizar un seguimiento de los índices de calidad es necesario determinar la frecuencia de muestreo (qué es función de la expectativa de vida útil del producto y de la severidad de las condiciones de

almacenamiento) y determinar experimentalmente el valor que adquiere cada índice en cada tiempo de muestreo.

Esta información experimental puede representarse matricialmente (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Matriz de datos experimentales.

Tiempo de almacenamiento	Criterio 1	Criterio 2	...	Criterio <i>i</i>	...	Criterio <i>p</i>
0	$C_{10}$	$C_{20}$	...	$C_{i0}$	...	$C_{p0}$
1	$C_{11}$	$C_{21}$	...	$C_{i1}$	...	$C_{p1}$
2	$C_{12}$	$C_{22}$	...	$C_{i2}$	...	$C_{p2}$
...	...	...	...	$C_{i}$	...	$C_{p}$
<i>j</i>	$C_{1j}$	$C_{2j}$	$C_{.j}$	$C_{ij}$	$C_{.j}$	$C_{pj}$
...	...	...	...	$C_{i}$	...	$C_{p}$
<i>m</i>	$C_{1m}$	$C_{2m}$	$C_{.j}$	$C_{im}$	$C_{.j}$	$C_{pm}$

Cada dato en la matriz experimental es representado por  $C_{ij}$  que es el valor medido experimentalmente para el criterio de calidad *i* luego de un tiempo de almacenamiento *j*; siendo *m* el tiempo de almacenamiento total y *p* el número total de criterios de calidad empleados.

Luego, el análisis de los datos recolectados puede ser llevado a cabo mediante una descripción de la variación de cada criterio a lo largo del almacenamiento detectando tendencias o patrones de cambio. Adicionalmente, para aquellos criterios de calidad en los que se detectaron claros patrones de comportamiento puede aplicarse el modelado matemático que permite estudiar la cinética de degradación de calidad mediante modelos del tipo

$$\frac{dA}{dt} = kA^n$$

Donde  $A$  es el valor medido en el tiempo  $t$  para el criterio de calidad seleccionado,  $n$  es el orden aparente de reacción y  $k$  es la constante de velocidad. Para la mayoría de los productos alimenticios el orden de reacción de los procesos de deterioro generalmente es 0 o 1 (Achour, 2006).

Con el objetivo de determinar la calidad total del alimento, es necesario cuantificar y evaluar muchos índices y estudiar la importancia relativa de cada uno de ellos para cada situación particular (producto, mercado, tendencias) (Zwietering *et al.*, 1993). Este trabajo, requiere un gran número de determinaciones experimentales que consumen no solo tiempo, sino también mano de obra y recursos. La mayoría de los enfoques se basan en que para cada producto hay una característica líder que puede ser usada en los modelos de predicción de la calidad (Rong *et al.*, 2009). Sin embargo, cuando se quieren tener en cuenta varios aspectos del producto, este enfoque de seguimiento de un único criterio por vez, resulta inadecuado.

## 2.6 VIDA ÚTIL DE FRUTAS Y VEGETALES

Por ser una fruta altamente perecedera, el fruto después de ser desprendida de la planta sufre pérdidas de peso y deterioro significativos en la cadena de comercialización y reducción de su vida útil por efecto del acelerado proceso de maduración, desmejorando su apariencia y calidad. Las pérdidas aumentan debido al manejo inadecuado que recibe el producto (Martínez *et al.*, 2005) lo que conlleva la búsqueda de alternativas que permitan aumentar el tiempo de vida útil y la calidad de preservación de los frutos.

La importancia de los modelos para estimar la vida útil de las frutas radica en el hecho que proporcionan vías objetivas para medir la calidad y determinar los límites de uso del alimento siempre y cuando se fundamenten en el conocimiento de los mecanismos de deterioro, así como en un análisis sistemático de los resultados (Salinas *et al.*, 2007). Los

métodos probabilísticos de estimación de la vida útil de los frutos se utilizan principalmente en estudios de evaluaciones sensoriales, consistentes en considerar la vida útil o 'vida de anaquel' como una variable aleatoria y describir su comportamiento mediante un modelo estadístico (Ocampo, 2003).

En función de la calidad del producto, el conocimiento de las características físicas y las propiedades mecánicas juegan un papel indispensable para lograr una buena presentación y conservación, que permite definir el manejo más adecuado del producto durante los periodos de pre cosecha, cosecha y poscosecha (Yirat *et al.*, 2009). De igual manera, el conocimiento del comportamiento de estas propiedades ante el almacenamiento del producto en diferentes condiciones, permiten establecer las mejores condiciones de conservación y de reducción de pérdidas de calidad de los mismos.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Lugar de ejecución**

El trabajo de investigación fue realizado en el laboratorio de Análisis de alimentos y Centro experimental de Jugos y Conservas de la Facultad de Ingeniería química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.

#### **3.2 Enfoque**

La presente investigación se enfocó principalmente en la metodología del paradigma cuantitativo, y complementada con la metodología cualitativa.

Al enfocarse en la investigación cuantitativa, se hace referencia a que se aplicó un método de investigación donde el objetivo fue estudiar las propiedades y fenómenos cuantitativos y sus relaciones para proporcionar la manera de establecer, formular, fortalecer, y revisar la teoría existente. La metodología cuantitativa permitió la determinación de parámetros de pérdida de calidad (apariencia general) como es la transpiración, la misma que fue cuantificada mediante la medición de la pérdida de peso, parámetro basado en teorías ya existentes y que mediante el cálculo de modelos matemáticos se pudo aceptar o no la hipótesis planteada.

La investigación se complementó con una metodología cualitativa ya que se dio una explicación a los resultados, con el propósito de explorar las relaciones sociales y describir la realidad. Se aplicó este paradigma ya que se implementó nuevas metodologías

para la solución del problema, y se realizó una búsqueda de documentos relacionados al tema propuesto, estableciendo así discusiones y conclusiones de los resultados obtenidos.

### **3.3 Modalidad básica de la investigación**

El proyecto se basó en la investigación documental, ya que se realizó consultas a través de documentos como libros, revistas, publicaciones, artículos científicos, papers o en bibliotecas virtuales, la web, entre otros. Esto con el objetivo de poseer información actualizada relacionada con el tema de estudio, necesaria para una investigación más profunda.

El desarrollo de la investigación se realizó en los laboratorio de Análisis de Alimentos y Centro Experimental de Jugos y Conservas de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la UNSCH, utilizando materiales y equipos adecuados para cumplir con los objetivos propuestos, por tal motivo, el proyecto se fundamentó también en una investigación de tipo experimental, en donde a más de identificar las características que se estudian; se controlan, alteran y manipulan las variables, con el fin de observar los resultados al tiempo que se procura evitar que otros factores intervengan en la observación.

### **3.4 Nivel o tipo de investigación**

La presente investigación utiliza los siguientes tipos de investigación:

**Investigación aplicada:** El proyecto corresponde a una investigación aplicada, ya que se acrecentó el progreso científico, así como los conocimientos teóricos, sobre los factores de almacenamiento y de su efecto frente a la transpiración y calidad de la fruta. Además, que los resultados obtenidos serán aplicados, utilizados, o mejorados en futuros estudios, para una posible producción y manejo postcosecha de tumbo serrano.

**Investigación experimental:** Este tipo de investigación facilita la obtención y determinación de la cinética de transpiración ya que se realizaron ensayos a nivel de laboratorio. El experimento realizado permitió introducir las variables de estudio, y manipularlas para controlar su aumento, disminución y así establecer los mejores parámetros, obteniendo los mejores resultados.

**Investigación descriptiva:** Se aplicó este tipo de investigación ya que se describió detalladamente la metodología a emplearse, es decir los materiales, e instrumentos utilizados en el laboratorio, que permitieron el estudio de los parámetros cinéticos de transpiración, así como la medición de las variables que influyen sobre esta y su relación.

### **3.5 Población y muestra**

#### **3.5.1 Población**

Para la presente investigación la población identificada es la "*Passiflora mollisima*".

### 3.5.2 Muestra

La muestra utilizada fue el tumbo serrano "*Passiflora mollisima*" en estado de maduración fisiológica, adquiridas en el mercado de Central de Vivanco de la Ciudad de Ayacucho.

### 3.6 Operacionalización de variables

**Tabla 3.1.** Operacionalización de la variable independiente y dependiente

Hipótesis	Variables	Indicadores	Índice
La medición de las condiciones de almacenamiento conduce al cambio de la calidad y tiempo de vida útil del tumbo serrano.	Condiciones de almacenamiento	Temperatura	°C
		Humedad relativa	%
	Calidad Vida útil	Pérdida de peso (marchitez)	Gramos
		Tiempo (días)	(días)

### 3.7 Metodología experimental

La metodología a seguir para la investigación se muestra en la figura siguiente:

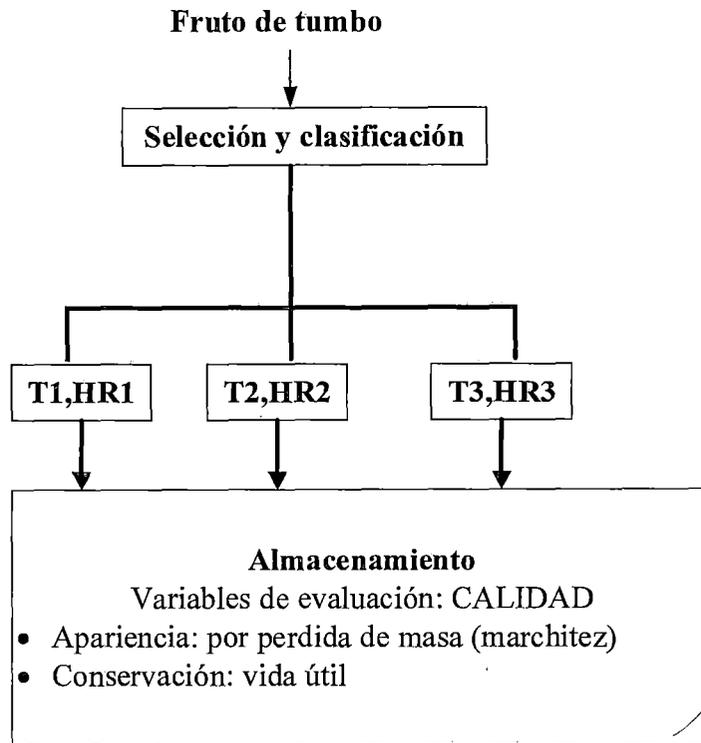


Figura 3.1: Metodología experimental a seguir

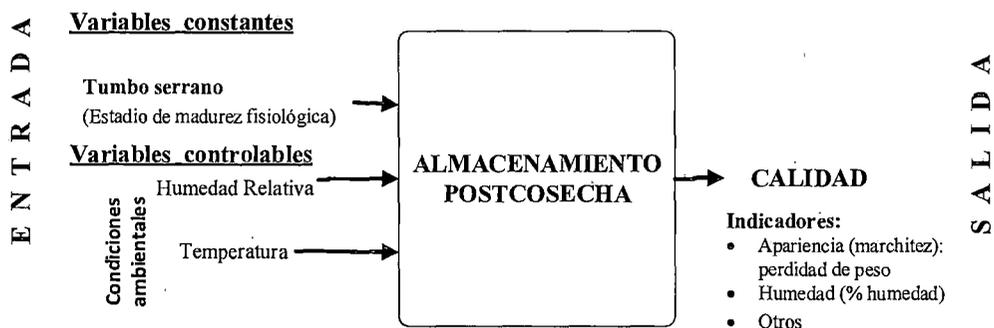


Figura 3.2: Esquema experimental para el modelamiento

Las variables independientes son:

- T1=2°C                      HR1= 75,7%; 87,7%;98,5%
- T2=10°C                    HR2=75,7%; 86,8%;98,2%
- T3= 20°C                    HR3=75,5%; 85,1%;97,6%

Las variables dependientes y sus indicadores son:

- **Calidad del fruto:** a través de su indicador de pérdida de masa (deshidratación)
- **Vida útil,** a través de la marchitez que presenta consecuencia de transpiración.

### 3.7.1 Sistema de adquisición de calidad del fruto en las condiciones ambientales

Esta metodología consiste en tomar una masa conocida de muestra (fresca), la que se deja equilibrar con la atmósfera producida por una disolución saturada de sal de humedad relativa conocida dentro de un recipiente herméticamente cerrado (Figura 3.2). Para registrar la transpiración se registraron la pérdida de peso a diferentes intervalos de tiempo de almacenamiento.

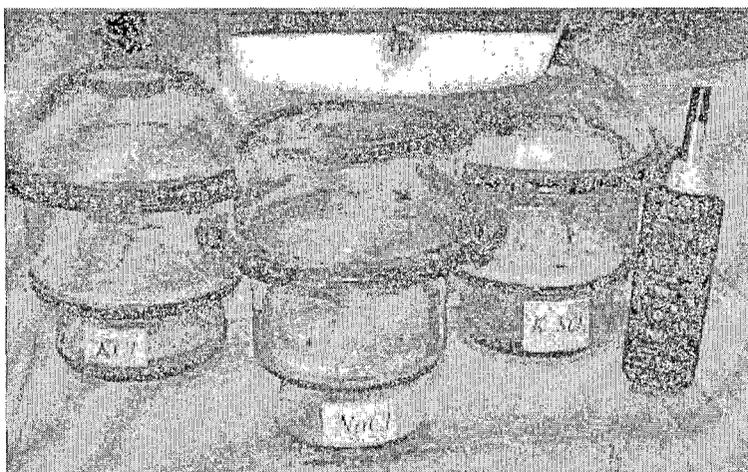


Figura 3.3: Recipientes con diferentes atmósferas, para la determinación de la transpiración del tumbo serrano.

Este diseño experimental se basó en la metodología de Superficie de Respuesta, con un Diseño factorial. El diseño a usar para recabar los datos es un planeamiento factorial completo  $2^k$ , lo que nos dará el número total de 12 ensayos a realizar, como se muestra en la Tabla 3.2, (Rodríguez y Iemma, 2005).

Tabla 3.2: Diseño experimental para la evaluación de transpiración del fruto del tumbo

Ensayo	Temperatura (°C)	HR(%)
1	10	85
2	10	75
3	20	75
4	2	95
5	20	85
6	2	85
7	2	75
8	10	95
9	20	95
10	10	85
11	10	85
12	10	85

### 3.7.2 Estimación de vida útil

La estimación de vida útil o vida de anaquel del tumbo serrano, para cada condición de almacenamiento se proyectó utilizando la distribución probabilística de Weibull (Larsen, 2006). Estadísticamente se realizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov Smirnov con un nivel de confiabilidad de 95%. El criterio de censura (falla) en la prueba sensorial correspondió a la apariencia (marchitez), correspondiente a la mínima nota de grado de satisfacción del consumidor.

#### a) Construcción de la curva de función de riesgo de Weibull

Para construir la curva de riesgo se tomó el criterio de falla en la prueba sensorial para el cual el fruto se censura. Para cada valor observado se toma el tiempo y se marcan aquellos valores para los cuales el producto falla. Se anota el orden del suceso en el que se suministra el tiempo, tanto para las muestras que fallan, como para las que no fallan. Este

proceso genera una serie de observaciones ordenadas, luego se invierte el orden del suceso y se obtiene el rango inverso, denominado 'K'. Los valores de riesgo  $h(t)$  para las muestras que fallan se calculan mediante la ecuación:

$$h(t) = \frac{100}{k} \quad (3.3)$$

Para cada tiempo de falla se calcula el riesgo acumulado  $h(t)$  sumando al riesgo actual el valor precedente. Con estos datos y teniendo en cuenta que la función de probabilidad acumulada para la distribución de Weibull (Hough *et al.*, 1999) se expresa como:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (3.4)$$

Donde,  $\alpha$  es el parámetro de escala y  $\beta$  es el parámetro de forma,  $F(t)$  es la función de probabilidad acumulada, y  $t$  es el tiempo de evaluación.

La ecuación anterior es substituida en la función de riesgo acumulado  $H(t)$  definida por la ecuación siguiente:

$$H(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(t)}{1-F(t)} dt = -Ln[1-F(t)] \quad (3.5)$$

Donde,  $f(t)$  es la función de densidad probabilística. De la anterior ecuación se obtiene la correspondencia de  $Log(t)$ :

$$Log(t) = \frac{1}{\beta} Log(\sum H) + Log(\alpha) \quad (3.6)$$

Se ajustó a un modelo de regresión lineal para determinar los parámetros de la distribución de Weibull, a partir de los cuales se establece el tiempo medio de almacenamiento en el cual el consumidor rechazaría el producto:

$$H(t) = \left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta \quad (3.7)$$

### 3.8 Procesamiento y análisis

Las respuestas experimentales de pérdida de peso, se ordenaron y tabularon en el programa Excel, en el cual también se realizaron ciertos cálculos, y gráficos matemáticos y estadísticos.

El diseño experimental planteado, se analizó en el programa de software StatGraphics, el mismo que integra una gran variedad de análisis estadísticos y gráficos de alta resolución. Los resultados obtenidos se discutieron en relación a datos presentados en el marco teórico, y referencias bibliográficas relacionadas.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 MODELAMIENTO DE CALIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO

#### 4.1.1 Marchitez a 20°C en función a diferentes humedades relativas de almacenamiento

En la Figura 4.1, observamos el comportamiento de la transpiración a diferentes humedades relativas, almacenadas a la temperatura de 20°C de almacenamiento. A la temperatura constante, a medida que la humedad relativa disminuye la transpiración se incrementa.

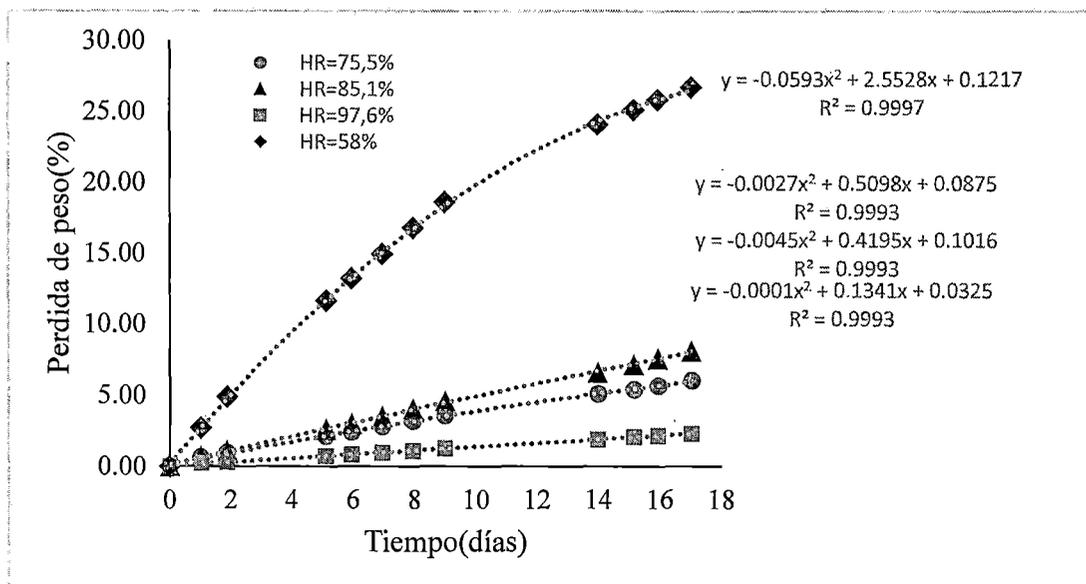


Figura 4.1: Variación de la pérdida de peso (%) a la Temperatura de almacenamiento de 20°C y Humedades relativas de 58; 75,5; 85,1 y 97,6 % respectivamente.

El modelo representado de variación de pérdida de peso para una temperatura constante y humedad relativa variable en función del tiempo de almacenamiento es:

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{20^{\circ}\text{C}, \text{HR}=58\%} = -1,19 * t + 2,55$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{20^{\circ}\text{C}, \text{HR}=75,5\%} = -0,009 * t + 0,42$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{20^{\circ}\text{C}, \text{HR}=85,1\%} = -0,0054 * t + 0,51$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{20^{\circ}\text{C}, \text{HR}=97,6\%} = -0,0002 * t + 0,13$$

#### 4.1.2 Marchitez a 10°C en función a diferentes humedades relativas de almacenamiento

En la Figura 4.2, observamos el comportamiento de la transpiración a diferentes humedades relativas, almacenadas a la temperatura de 10°C de almacenamiento. A la temperatura constante, a medida que la humedad relativa disminuye la transpiración se incrementa.

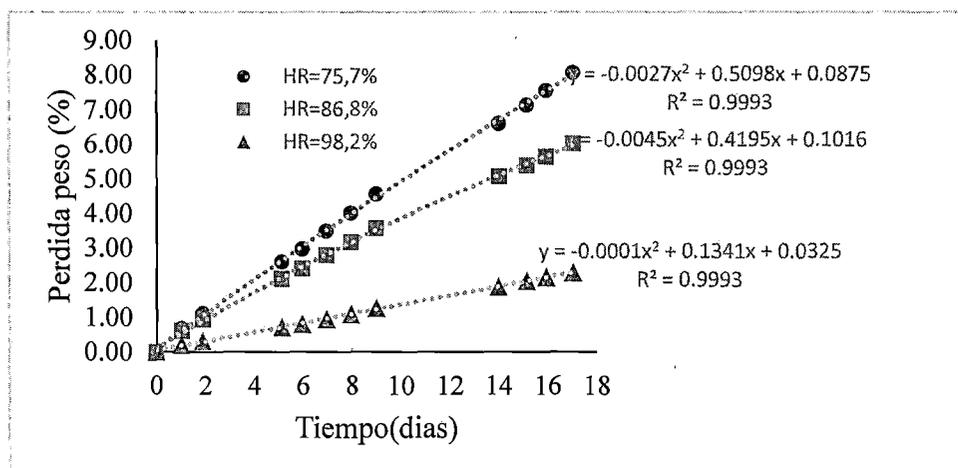


Figura 4.2: Variación de la pérdida de peso (%) a la Temperatura de almacenamiento de 10°C y Humedades relativas de 75,7; 86,8 y 98,2 % respectivamente.

El modelo representado de variación de pérdida de peso para una temperatura constante y humedad relativa variable en función del tiempo de almacenamiento es:

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{10^{\circ}\text{C}, \text{HR}=75,7\%} = -0,0054*t + 0,51$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{10^{\circ}\text{C}, \text{HR}=86,8\%} = -0,009*t + 0,42$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{10^{\circ}\text{C}, \text{HR}=98,26\%} = -0,0002*t + 0,13$$

#### 4.1.3 Marchitez a 2°C en función a diferentes humedades relativas de almacenamiento

En la Figura 4.3, observamos el comportamiento de la transpiración a diferentes humedades relativas, almacenadas a la temperatura de 10°C de almacenamiento. A la temperatura constante, a medida que la humedad relativa disminuye la transpiración se incrementa.

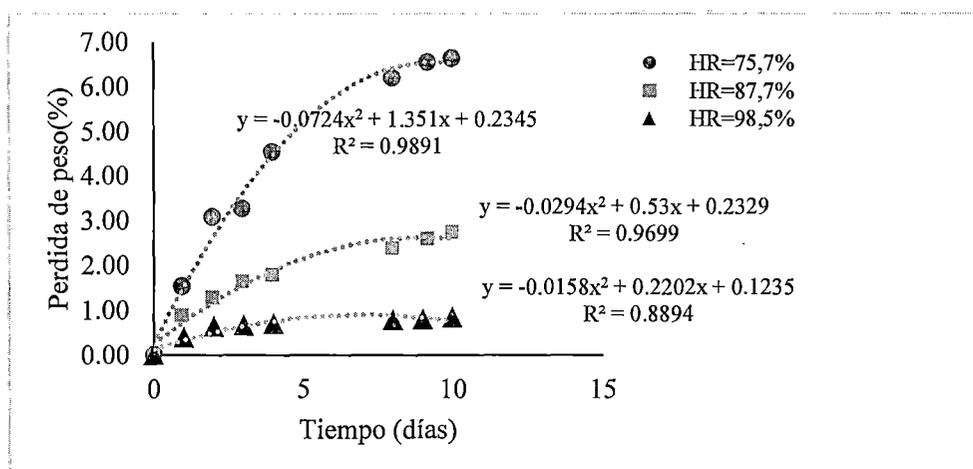


Figura 4.3: Variación de la pérdida de peso (%) a la Temperatura de almacenamiento de 2°C y Humedades relativas de 75,7; 87,7 y 98,5% respectivamente.

El modelo representado de variación de pérdida de peso para una temperatura constante y humedad relativa variable en función del tiempo de almacenamiento es:

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{2^{\circ}\text{C}, \text{HR}=75,7\%} = -0,15 * t + 1,35$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{2^{\circ}\text{C}, \text{HR}=87,8\%} = -0,06 * t + 0,42$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{2^{\circ}\text{C}, \text{HR}=98,5\%} = -0,032 * t + 0,22$$

#### 4.2 MODELAMIENTO DE CALIDAD POR METODOLOGÍA DE SUPERFICIE RESPUESTA

En la Figura 4.8 se muestra el comportamiento de la calidad del tumbo serrano a través del indicador de marchitez como función de la temperatura y humedad relativa de almacenamiento, en el intervalo de temperatura de 2°C a 20°C y una humedad relativa entre 75 a 95% respectivamente.

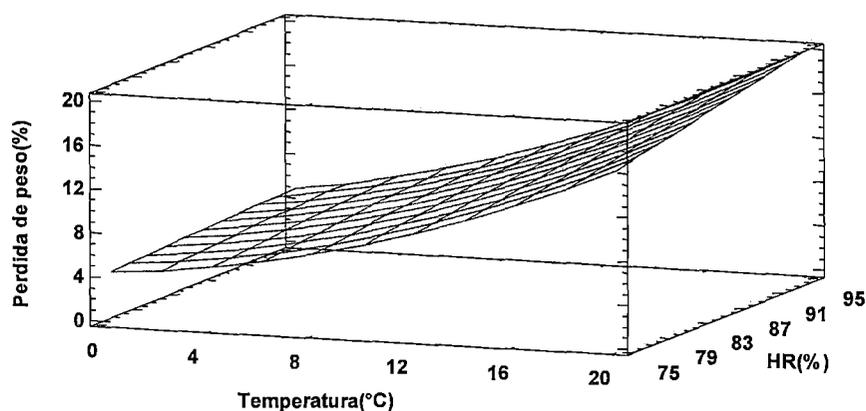


Figura 4.4: Influencia de la Temperatura y Humedad relativa en la pérdida de peso (Marchitez) durante el almacenamiento

El modelo matemático que representa la pérdida de calidad a través del indicador de calidad de marchitez es:

$$\text{Pérdida de peso} = -3.05855 - 0.427708 * T + 0.144939 * HR + 0.022228 * T^2 + 0.00762295 * T * HR - 0.000625 * HR^2$$

#### Análisis de Varianza para la pérdida de peso (%)

De acuerdo a los análisis de los factores de almacenamiento, la interacción de los factores es significativa para un nivel de  $\alpha=5\%$ .

Tabla 4.1: Análisis de Varianza para la interacción de los factores

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
T:Temperatura	184.447	1	184.447	7862.29	0.0000
HR:Humedad relativa	7.85927	1	7.85927	335.01	0.0000
T*T	8.38636	1	8.38636	357.48	0.0000
T*HR	1.89049	1	1.89049	80.58	0.0001
HR*HR	0.0104167	1	0.0104167	0.44	0.5300
Error total	0.140758	6	0.0234597		
Total (corr.)	273.417	11			

R-cuadrada = 99.9485 por ciento  
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.9056 por ciento  
Error estándar del est. = 0.153166  
Error absoluto medio = 0.0858379  
Estadístico Durbin-Watson = 2.23583 (P=0.5553)

### 4.3 VIDA ÚTIL A TRAVÉS DEL DISEÑO PROBABILÍSTICO DE WEIBULL

#### 4.3.1 Modelamiento de la vida útil sensorial través de la función de Weibull

En la Tabla 1 se reporta los resultados de la simulación del modelamiento de vida útil a través de la función de Weibull, evaluados al fruto del tumbo serrano almacenados a las condiciones de temperaturas de 20°C, 10°C y 2°C respectivamente para diferentes condiciones de humedad relativa que va desde 75,6 hasta 98,5% respectivamente.

El tiempo de vida útil a través de la distribución de Weibull considera una probabilidad de 50% de encontrar una falla en el producto (Tabla 4.2). La prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov ( $P < 0,05$ ) permitió establecer que los datos de tiempo de fallo se ajustan a la distribución de Weibull.

Tabla 4.2. Tiempos de vida útil calculados a través de la función de Weibull

Temperatura de almacenamiento (°C)	Humedad Relativa (HR) de almacenamiento (%)	Tiempo de conservación(días)	Parámetros	
			$\beta$	$\alpha$
20	75,6	3,44	8,65	2,11
	85,1	4,03	2,85	1,13
	97,6	5,32	3,98	1,84
10	75,7	4,83	3,52	1,45
	86,8	5,71	3,13	1,47
	98,2	6,41	3,53	1,93
2	75,7	6,25	3,88	2,10
	87,7	7,46	2,95	1,78
	98,5	9,66	2,26	1,48

## V. DISCUSIONES

### 5.1 MODELAMIENTO DE CALIDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO

En la Figura 4.1, podemos observar que la transpiración del tumbo serrano a Humedad relativa ambiental de 58% en promedio y Temperatura de 20°C, el muy alto, comparado con las humedades relativas de 75, 85 y 95% de humedad relativa respectivamente. Que para todo los casos de temperatura y humedades relativas experimentales representa un modelo matemático de segundo orden.

En las Figuras 4.1, 4.2 y 4.4, se aprecian los resultados de este parámetro para la evolución de la pérdida de calidad como variación de humedad y esto reflejado en pérdida de peso en los frutos almacenados a diferentes humedades relativas y a diferentes temperaturas. La pérdida de peso durante el almacenamiento es una consecuencia de la transpiración del fruto, proceso físico que sigue durante todo el período de almacenamiento. En este proceso están involucrados tres eventos importantes: (1) el movimiento del agua como líquido y vapor, desde los espacios intercelulares hasta la cutícula; (2) la disolución y difusión de las moléculas de agua en y a través de la membrana cuticular; (3) la desorción del agua, en la superficie exterior (Veraverbeke, 2003).

Los factores ambientales que más influyen en la deshidratación son la temperatura, la humedad relativa (HR) y la velocidad de circulación del aire que rodea al fruto. En el almacenamiento a bajas temperaturas y altas HR se reduce el gradiente de presión del

vapor de agua entre el fruto y la atmósfera de almacenamiento, con lo que disminuye la velocidad de pérdida de agua por transpiración (Martínez-Jávega, *et al.*, 1999). Además, en el almacenamiento y transporte, es importante una adecuada ventilación y velocidad del aire, puesto que incide sobre la capa de aire húmedo que rodea al fruto (Waks *et al.*, 1985; Thompson, 2002). Por tanto, las frutas y vegetales suelen ser almacenados en un ambiente húmedo (90-98% HR), especialmente a bajas temperaturas y con una velocidad del aire adecuada para minimizar la pérdida de agua (Woods, 1990). En los cítricos, la transpiración es la principal causa de deterioro durante la postcosecha. Distintos estudios indican que se pueden disminuir pérdidas de peso superiores a un 5% durante la comercialización, un 7% en la conservación frigorífica y un 16% en el almacenamiento en refrigeración durante periodos de tres meses (Jiménez-Cuesta, 1983).

La transpiración es la principal causa de la pérdida de agua de las frutas y vegetales ocasionando pérdidas de peso, deterioro en la apariencia (marchitamiento y formación arrugas), disminución de firmeza (ablandamiento, pérdida de turgencia), cambios en la calidad nutricional, además de una mayor susceptibilidad a determinadas alteraciones tanto fisiológicas y patológicas (Mishra & Gamage, 2007). La transpiración es un proceso por el cual los tejidos vegetales pierden agua en forma de vapor desde las células del interior hacia la atmósfera que los rodea. Las diferentes estructuras epidérmicas regulan el flujo de vapor de agua hacia el exterior de los frutos. El vapor de agua sale hacia el exterior desde los espacios intercelulares existentes entre las células del parénquima poroso, pasa a través de estomas y lenticelas, atraviesa la epidermis y la cutícula. Las aperturas epidérmicas representan la principal vía de pérdida de agua, mientras que la transpiración a través de la cutícula representa alrededor del 5-10 % de la pérdida total (Taiz & Zeiger, 1998). Otros autores propusieron que la difusión de vapor de agua en los

frutos se realiza tanto a través de las aperturas epidérmicas como a través de una fase acuosa líquida en la cutícula, contrariamente a los gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y  $\text{C}_2\text{H}_4$  cuya difusión se realiza esencialmente a través de estomas (Ben-Yehoshua, Burg & Young, 1985).

El efecto de la temperatura sobre la transpiración, está muy relacionada con la humedad relativa; al aumentar la temperatura la presión de vapor de agua en el interior del producto aumenta produciendo una diferencia mayor con respecto a la presión de vapor del aire, resultando un incremento en la intensidad de transpiración. Las estomas se abren cada vez más hasta los 25-30°C.

La intensidad de la pérdida de agua depende de factores intrínsecos del fruto y de factores ambientales. Entre las variables intrínsecas al fruto, las más relevantes son la relación superficie/volumen, la estructura de la epidermis y el grosor y composición de la cera epicuticular. Las pérdidas de agua son directamente proporcionales a la relación superficie/volumen, por lo que los frutos de mayor volumen y más esféricos son los que presentan menor pérdida de agua.

Comparando la fruta fresca, contra el fruto almacenado, todos los tratamientos alcanzaron pérdidas muy inferiores al 16%, tope permitido en un proceso completo de conservación y comercialización. La conservación a baja temperatura es la tecnología postcosecha más utilizada y eficaz para alargar el período de vida útil de frutas y hortalizas. Por ello, mantener las frutas dentro de sus rangos óptimos de temperatura y humedad relativa es el factor más importante en el mantenimiento de su calidad. La temperatura de almacenamiento debe ser siempre superior a la del punto de congelación, para los productos no sensibles al frío y a la temperatura mínima recomendada (Kader, 1992). La

pérdida de agua provocó pérdidas menores a 8% a las humedades relativas de 75 a 95% y entre temperaturas de 2 a 20°C, excepción a 20°C de temperatura y Humedad relativa de 58% tubo una pérdida de peso alrededor del 26% en el mismo periodo de tiempo de almacenamiento. Jiménez-Cuesta *et al.* (1983) manifiestan la pérdida de agua en el orden del 5% en la comercialización directa, del 7% en la frigoconservación y hasta el 16% en la simulación del proceso de conservación frigorífica y posterior comercialización

La temperatura y el tiempo de almacenamiento tienen influencia sobre la pérdida de peso de los frutos de pomelo “Rio Red”, verificando que los frutos almacenados a las temperaturas más elevadas y durante el período de tiempo más largo, presentaron las mayores pérdidas de peso (Shellie, 2002). Otros autores (Oufedjikh *et al.*, 1998), observaron también, que las bajas temperaturas, reducen la transpiración. Según Hagenmaier & Baker, (1994), la pérdida de peso puede medir el efecto del estrés en la fisiología de los frutos.

La pérdida de agua es una de las principales causas de deterioro, en la mayoría de los productos hortofrutícolas, debida a que además de pérdidas cuantitativas de peso, produce pérdidas de apariencia de firmeza. En frutos de tamaño mayor la deshidratación es mayor dada la superficie del fruto, siendo la zona perpendicular la más susceptible.

## **5.2 MODELAMIENTO DE CALIDAD POR METODOLOGÍA DE SUPERFICIE RESPUESTA**

En la Tabla 4.4, como podemos analizar el comportamiento del gráfico de resultados, a medida que se incrementa la temperatura de almacenamiento la calidad disminuye de

manera muy drástica, mientras lo que sucede con la humedad relativa la disminución es moderada, la interacción de ambos factores de acuerdo al análisis de variancia es significativa. El efecto de la temperatura sobre la transpiración, está muy relacionada con la humedad relativa; al aumentar la temperatura la presión de vapor de agua en el interior del producto aumenta produciendo una diferencia mayor con respecto a la presión de vapor del aire, resultando un incremento en la intensidad de transpiración.

El efecto de la temperatura sobre la calidad de los vegetales es bien conocido: las bajas temperaturas son usualmente recomendadas durante la manipulación del producto fresco, recomendándose una temperatura óptima de almacenamiento para cada fruta en particular. La reducción de la temperatura es una práctica comúnmente conocida y aceptada y constituye la manera más simple y fácil para retrasar el deterioro del vegetal (Nunes *et al.*, 2009; Paull, 1999).

La temperatura también modifica la presión de vapor que ejerce el aire saturado, el déficit de presión de vapor se incrementa si la temperatura aumenta. Al elevarse la temperatura el agua tiene mayor capacidad para evaporarse. Una fruta que está a una temperatura ambiente de 15°C con una HR de 90% transpirará más que si está a 5°C con la misma humedad relativa (90%). Se recomienda para el almacenamiento de productos vegetales una humedad relativa de 85-95%. Las altas temperaturas favorecen la evaporación de agua y las bajas temperaturas reducen la transpiración. Se ha observado que la aplicación de cubiertas cerosas reduce en buena medida la pérdida de peso por transpiración Viccoria (2011).

Por su parte, también es conocido que la HR del ambiente tiene una relación directa con la pérdida de agua del producto durante el almacenamiento (Nguyen *et al.*, 2007). Como la HR es función de la temperatura, ambientes con iguales condiciones de HR pero con distinta temperatura pueden generar pérdidas de agua diferentes. Esto hace necesaria la utilización del concepto de déficit o diferencia de presión de vapor (DPV), que es independiente de la temperatura y constituye la verdadera fuerza impulsora para la pérdida de agua del producto. EL DPV es equivalente a la diferencia o gradiente de presión de vapor de agua entre el espacio interno (intercelular) del tejido y el ambiente que lo rodea (Hertog *et al.*, 2004; Maguire *et al.*, 2001) ya que normalmente se asume que el aire contenido en los espacios intercelulares del tejido está saturado (Paull, 1999). Cuando el producto es expuesto a ambientes con altos DPV, ocurren pérdidas de agua desde el producto y, en consecuencia, pérdidas de peso y turgencia, marchitamientos, entre otros efectos (Nguyen *et al.*, 2007). En los últimos años se han llevado a cabo numerosos estudios sobre la evolución de distintos índices de calidad de vegetales expuestos a condiciones de almacenamiento con altos DPV. Sin embargo, la mayoría de ellos utilizaron como objeto de estudio frutas (manzana, higo, frutilla, etc.) y hortalizas (zanahoria, tomate, cebolla, etc.) diferentes a las hortalizas de hoja (Ogweno *et al.*, 2009; Mahajan *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2007; Nguyen *et al.*, 2007; Guevara *et al.*, 2006; Guevara-Arauz *et al.*, 2006; Hertog *et al.*, 2004; Veraverbeke *et al.*, 2003; Shibairo *et al.*, 2002) citados por Viccoria (2011)

### **5.3 MODELAMIENTO DE VIDA ÚTIL POR MÉTODO DE WEIBULL**

Los tiempos de fallo y el riesgo acumulado para cada temperatura y humedad relativa se ajustaron satisfactoriamente al modelo de regresión lineal ( $R^2 > 0,89$ ); además los valores

del factor de forma  $\beta$  estuvieron dentro del rango inasequible de  $2 < \beta < 4$  lo cual asegura predicciones del tiempo de vida de anaquel más precisas (Cardelli y Labuza, 2001).

El análisis de supervivencia aplicado a la vida útil sensorial del tumbo serrano fresco estimó los tiempos de censura a la izquierda cuando el consumidor rechazó el producto a entre 3 a 5 días a 20°C de temperatura, entre 4,8 a 6,4 días a 10°C de temperatura; entre 6,4 a 9,7 días a 2°C de temperatura de almacenamiento respectivamente, en condiciones ambientales y de refrigeración. Estos resultados coinciden con los de Hough *et al.* (2003) que definen valores de rechazo del consumidor a la izquierda, a la derecha y en un intervalo del estudio.

Salinas *et al.* (2007) encontraron diferencias significativas entre los valores de vida útil observados de endibia fresca cortada y los calculados con el modelo, debido a la falta de exactitud de la valoración visual de los atributos de calidad del producto por parte de los consumidores en la evaluación, lo que concuerda con lo indicado por Gil *et al.* (2006) para frutos y vegetales frescos cosechados, en los que los aspectos cualitativos de calidad son más importantes que los cuantitativos, debido a que la calidad sensorial es el aspecto que más directamente incide en la decisión de compra.

Los cambios fisiológicos que ocurren en los frutos durante la poscosecha ocasionan pérdidas de calidad que afectan la apariencia, el sabor, la textura, la pérdida de peso, y el valor estético para los consumidores, traduciéndose en pérdidas económicas del producto (Aular, 2006; Chitarra y Chitarra, 2005).

La apariencia del tumbo serrano fresco (sin marchitez) constituye un parámetro importante para el consumidor. En este estudio, la temperatura y humedad relativa de almacenamiento tuvieron un efecto positivo ( $P < 0,05$ ) en el evaluador; no obstante, la interacción de los factores temperatura x humedad relativa no revelaron un efecto significativo ( $P > 0,05$ ) en la apreciación del evaluador. La apariencia general es uno de los atributos importantes que influye en la decisión de compra y determina la aceptabilidad del producto, sin embargo, no necesariamente refleja el valor nutricional.

De acuerdo con la evaluación de la apariencia general (marchitez) de los frutos, el grado de satisfacción de los potenciales consumidores fue más dependiente de la temperatura de almacenamiento, mostrando un marcado cambio en la actitud de aceptación de los frutos; igual tendencia, pero con menor diferencia, se observa cuando se comparan la humedad relativa.

## VI. CONCLUSIONES

1. El modelamiento de pérdida de calidad en función del tiempo de almacenamiento para los factores de Temperatura (2-20°C) y humedad relativa (75-95%) del tipo:

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{2^{\circ}\text{C}, \text{HR}=75,7\%} = -0,15 * t + 1,35$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{2^{\circ}\text{C}, \text{HR}=87,8\%} = -0,06 * t + 0,42$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{2^{\circ}\text{C}, \text{HR}=98,5\%} = -0,032 * t + 0,22$$

2. El modelamiento de calidad por la metodología de superficie respuesta es:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida de peso} = & -3.05855 - 0.427708 * T + 0.144939 * \text{HR} + 0.022228 * T^2 + \\ & 0.00762295 * T * \text{HR} - 0.000625 * \text{HR}^2 \end{aligned}$$

3. La estimación de la vida útil del tumbo serrano por el método probabilístico de Weibull es: a 20°C a 75,6% (3,44 días), 85,1% (4,03 días), 97,6% (5,32 días); a 10°C a 75,7% (4,83 días), 86,8% (5,71 días), 98,2% (6,41 días); a 2°C a 75,7% (6,25 días), 87,7% (7,46 días), 98,5% (9,66 días).

## VII. RECOMENDACIONES

Seguir haciendo investigaciones de procesamiento de productos derivados del tumbo serrano.

## VIII. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Abbot J.A., Harker R. 2008. Texture. United State Dept of Agriculture, Agriculture Handbook 66. Washington, D.C.: USDA. Disponible en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/021texture.pdf>. Acceso: Septiembre 2008.
- Adato I., Gazit S. 1974. Water deficit stress, ethylene production and ripening in avocado fruits. *Plant Physiology* 53: 45–46.
- Alfárez, F., M. A. y Zacarías, L. 2003. Post harvest rind staining in Navel oranges is aggravated by changes in storage relative humidity: effect on respiration, ethylene production and water potential. *Post harvest Biol. Techn.* 28:143 – 152.
- Aular, U. 2006. Jornada sobre manejo Poscosecha de frutas. Universidad Centroccidental. Venezuela, Barquisimeto. p. 13-18.
- Achour M., 2006. A new method to assess the quality degradation of food products during storage. *Journal of Food Engineering*, 75 (4), 560 – 564.
- Barron C., Varoquaux P., Guilbert S., Gontard N., Gouble B. 2002. Modified atmosphere packaging of cultivated mushroom (*Agaricus bisporus* L.) with hydrophilic films. *Journal of Food Science* 67: 251–255.
- Ben-Yehoshua, S.; Burg S.P.; Young R. 1985. Resistance of citrus fruit to mass transport of water vapour and other gases. *Plant Physiol.* 79, 1048.
- Ben-Yehoshua, S. 1969. Gas exchange, transpiration and commercial deterioration in storage of oranges fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94, 524-526.
- Biale, J. 1960. Postharvest biochemistry of tropical and subtropical fruits. *Adv. Food Res.* 10, 293-354.

- Burdon J., Clark C. 2001. Effect of postharvest water loss on "Hayward" kiwifruit water status. *Postharvest Biology and Technology*, 22: 215 – 225.
- Cantwell M. 2002. Optimal handling conditions for fresh produce. (pp. 511–518). En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader A.A. (Ed.) University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, Oakland.
- Cardelli, C. y Labuza, T. P. 2001. Application of Weibull hazard analysis to the determination of the shelf life of roasted and ground coffee. *Lebensm.-Wiss. U. Technol.* 34:273 - 278.
- CENAM. CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA. 2012. Guía Técnica de Trazabilidad Metrológica e Incertidumbre de Medida en la Calibración de Higrómetros de Humedad Relativa. MEXICO.
- Chitarra, M. I. y Chitarra, A. B. 2005. Póscolheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: ESAL/FAEPE. 783 p.
- Exama A., Arul J., Lencki R.W., Lee L.Z., Toupin C. 1993. Suitability of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Journal of Food Science* 58: 1365–1370.
- Gil, M.; Aguayo, E.; y Kader, A. 2006. Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *J. Agric. Food Chem.* 54:4284 - 4296.
- Hagenmaier, R.D., Baker, R.A., 1994. Wax microemulsions and emulsions as citrus coatings. En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42. p. 899-902.
- Artés, F. 1987. Refrigeración y comercialización hortofrutícolas en la Región de Murcia. 2 ed. Murcia: CEBAS-CSIC. 1987. p. 150.

- Hertog M.L.A.T.M., Ben-Arie R., Róth E., Nicolaï B.M. 2004. Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures. *Postharvest Biology and Technology*, 22: 79 – 91.
- Hogekamp S. Schubert H. Rehydration of food powders, *J Food Science and Technol Internat* 2003; 9 (3): 223-235. [ [Links](#) ]
- Hough, G. L. 2003. Survival analysis applied to sensory shelf life of foods. *J. Food Sci.* 68(1):359 - 362.
- Hough, G.; Puglieso, M.; Sanchez, R; y Mendes, O. 1999. Sensory and microbiological shelf-life of a commercial ricotta cheese. *J. Dairy Sci.* 82: 454 - 459.
- Jiménez-Cuesta, M.; Cuquerella, J.; Martínez-Jávega, J.M. 1983. Los recubrimientos plásticos en la comercialización de los cítricos. *Levante Agrícola* N° 247/248, 168-172.
- Jiménez-Cuesta, M., J., Cuquerella, and J.M., Martínez-Jávega., 1983. Teoría y práctica de la desverdización de los cítricos. *Comunicación I.N.I.A, Hoja Técnica* n46. p. 16–21.
- Jobling J., McGlasson W.B., Dilley D.R. 1991. Induction of ethylene synthesizing competency in Granny Smith apples by exposure to low temperature in air. *Postharvest Biology and Technology* 1: 111–118.
- Kader, A.A. 2002. Postharvest biology and technology: an overview. En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Ed. A.A. Kader, Division of Agricultural and Natural Resources. pp 39-48.
- Kader A.A. 2002b. Quality and safety factors: Definition and Evaluation for Fresh Horticultural Crops. (pp.279–286). En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader A.A. (Ed.) University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, California.

- Kader, A.A. 1985. Ethylene induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops. *Postharvest technology of horticultural crops*. 20(81), 54-57.
- Kader, A.A. 1992. Modified atmospheres during transport and storage. En *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Ed. A.A. Kader, Division of Agriculture Natural Resources, University of California 3311, 85-92.
- Knee M., Looney N.E., Hatfi eld S.G.S., Smith S.M. 1983. Initiation of rapid ethylene synthesis by apple and pear fruits in relation to storage temperature. *Journal of Experimental Botany* 34: 1207–1212.
- Konstantopoulou E., Kapotis G., Salachas G, Petropoulos S.A., Karapanos I.C., Passam H.C. 2010. Nutritional quality of greenhouse lettuce at harvest and after storage in relation to N application and cultivation season. *Scientia Horticulturae*, 125: 93.e1 – 93.e5.
- Krokida M.K. Marinos-Kouris D. Rehydration kinetics of dehydrated products, *J Food Engineering* 2003; 57: 1-7. [ [Links](#) ]
- Larsen, R. 2006. Food shelf life: estimation and experimental design. Tesis de Magister. Brigham Young University, Brigham. E.U.
- Lee S.K., Kader A.A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20: 207 – 220.
- Lee K.T. Farid M. Nguang S.K. The mathematical modelling of the Rehydration characteristics of fruits, *J Food Engineering* 2006; 72: 16-23. [ [Links](#) ]
- Lelièvre J.M., Tichit L., Dao P., Fillion L., Nam Y.W., Pech J.C., Latche A. 1997. Effects of chilling on the expression of ethylene biosynthetic genes in Passe-Crassane pear (*Pyrus communis* L.) fruits. *Plant Molecular Biology* 33: 847–855.

- Lewicki PP. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue propertie: a review, *Internat J Food Properties* 1998; 1: 1-22. [ [Links](#) ]
- Lewicki P.P. Some remarks on Rehydration of dried foods, *J Food Engineering* 1998; 36: 81-87. [ [Links](#) ]
- López Camello A. 2003. *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas, Del campo al mercado*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. (185 p.).
- Lukasse L.J.S., Polderdijk J.J. 2003. Predictive modelling of post-harvest quality degradation in perishables, applied to mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 59: 191 – 198.
- Luning P.A., Marcelis W.J. 2007. A conceptual model of food quality management functions based on techno- managerial approach. *Trends in Food Science & Technology*, 18: 159 – 166.
- Maguire K.M., Banks N.H., Opara L.U. 2001. Factors affecting mass loss of apples. *Horticultural Reviews*, 25: 197 – 234.
- Mahajan P.V., Oliveira F.A.R., Macedo I. 2008. Effect of temperature and humidity on the transpiration rate of the whole mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 84: 281 – 288.
- Moreira M., Roura S., del Valle C. 2003. Quality of Swiss chard produced by conventional y organic methods. *Lebensmittel Wissenschaft und- Technologie*, 36: 135 – 141.

- Müller A., Steinhart H. 2007. Recent developments in instrumental analysis for food quality. *Food Chemistry*, 101: 1136 – 1144.
- Maguire K.M., Sabarez H.T., Tanner D.J. 2006. Postharvest preservation and storage. In: *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. Hui Y.H., Ghazala S., Graham D., Murell K.D., Nip W.K. (Eds). New York: Marcel Dekker, pp. 39–65.
- Maguire K.M., Sabarez H.T., Tanner D.J. 2006. Postharvest preservation and storage. In: *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. Hui Y.H., Ghazala S., Graham D., Murell K.D., Nip W.K. (Eds). New York: Marcel Dekker, pp. 39–65.
- Marabi A. Dilak C. Shah J. Saguy I.S. Kinetic of solids leaching during rehydration of particulate dry vegetables, *J Food Science* 2004; 69: 3. [ [Links](#) ]
- Marcellin P. 1975. Conservation des fruits et légumes frais. *Cahiers de nutrition et de diététique* 10: 49–52.
- Martínez, G. J.; Ramírez, A.; Loera, M. A.; y Pozo, O. 2005. Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. *Rev. Fitotec. Méx.* 28(4):327 - 332.
- Martínez-Jávega, J.M., Navarro, P., Cuquerella, J., del Río, M.A. 1999. Aplicaciones del frío en postcosecha de cítricos: panorama actual. *Rev. Levante Agrícola*, nº348, Especial postcosecha, pp. 253-262.
- Mayer J. 1987. Polyphenol oxidases in plants. Recent progress. *Phytochemistry* 26: 11–20.
- Mishra, V.K., Gamage, T.V. 2007. Postharvest physiology and of fruits and vegetables. 19-43. En: *Handbook of Food Preservation* Autor M. Shafiur Rahman. Published by CRC press.

- Morin F., Rigault C., Hartmann C. 1985. Conséquences d'un séjour au froid sur le métabolisme de l'éthylène au cours de la maturation de la poire Passe-Crassane après récolte. *Physiologie Végétale* 23: 353–359.
- Nguyenthe C., Carlin F. 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34: 371–401.
- Nguyen T.A., Verboven P., Schenk A., Nicolai B.M. 2007. Prediction of water loss from pears (*Pyrus communis* cv. Conference) during controlled atmosphere storage as affected by relative humidity. *Journal of Food Engineering*, 83: 149 – 155.
- Nunes M.C.N, Emond J.P., Rauth M., Dea S., Chau, K.V. 2009. Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste, *Postharvest Biology and Technology*, 51: 232 – 241.
- Ocampo, J. 2003. Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa de Café S.A. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.
- Oufedjikh, H.; Mahrouz, M.; Lacroix, M.; Amiot; M.J.; Taccini M. 1998. The influence of gamma irradiation on flavonoids content during storage of irradiated clementina. *Radiat. Phys. Chem.* 52, 107-112.
- Osvald A., Stirn L.Z. 2008. A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of Food Engineering*, 85: 285 – 295.
- Paull R.E. 1999. Effects of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 263 – 277.

- Paul R.E. 1994. Tropical fruit physiology and storage potential. In: Postharvest Handling of Tropical Fruits. Champ B.R., Highley E., Johnson G.I. (Eds). Canberra, Australia: ACIAR Proceedings, pp. 198–204.
- Paul R.E. 1999. Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology* 15: 263–277.
- Parker, M., Wardoswki, W., Dewey, D. 1984. A damage test for oranges in a commercial packing house line. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 94, 136-137.
- Pérez-Gago, M., Krochta, J., 2002. Drying temperature effect on water vapour permeability and mechanical properties of whey protein-lipid emulsion films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49. p. 2308-2312.
- Rastogi N.K. Niranjana K. Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple, *J Food Science* 1998; 63 (3): 508-511. [ [Links](#) ]
- Rastogi N.K. Nayak C.A. Raghavarao M.S. Influence of osmotic pre-treatments on rehydration characteristics of carrots, *J Food Engineering* 2004; 65: 287-292. [ [Links](#) ]
- Reid M.S. 2002. Maturation and maturity indices (pp: 55 – 63). En Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California, Agriculture and Natural Resources, Davis.
- Rong A., Akkerman R., Grunow M. 2009. An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *International Journal of Production Economics*. En prensa. (DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.11.026).

- Roy S., Anantheswaran R.C., Beelman R.B. 1996. Modified atmosphere and modified humidity packaging of fresh mushrooms. *Journal of Food Science* 61: 391–397.
- Robertson G.L. 2006. Packaging of horticultural products. In: *Food Packaging Principles and Practice*. Boca Raton, Florida: CRC Press, pp. 361–385.
- Rothan C., Duret S., Chevalier C., Raymond P. 1997. Suppression of ripening-associated gene expression in tomato fruits subjected to a high CO<sub>2</sub> concentration. *Plant Physiology* 114: 255–263.
- Rothan C., Nicolas J. 1994. High CO<sub>2</sub> levels reduce ethylene production in kiwi fruits. *Plant Physiology* 92:1–8.
- Salinas, R.; González, G.; Pirovani, M.; y Ufín, F. 2007. Modelación del deterioro de productos frescos cortados. *Redalyc*. 23(2):183 - 196.
- Sanjuán N. Andrés J. Clemente G. Mulet A. Modeling of the Rehydration process of broccoli florets, *European Food Res Technol* 2001;212:449-453. [ [Links](#) ]
- Shewfelt R.L. 1999. What is quality? *Postharvest Biology and Technology* 15: 197–200.
- Shellie, K.C. Ultra-low oxygen refrigerated storage of “Rio red” grapefruit: fungistatic activity and fruit quality. En: *Postharvest Biology and Technology*. 25. 2002. p. 73-85.
- Singhal R.S., Kulkarni P.R., Rege D.V. 1997. *Handbook of indices of food quality and authenticity*. University of Bombay, India. (560 p.).
- Soda I., Hasegawa T., Susuki T., Ogura N. 1987. Changes in polyuronides in kiwi-fruit during ripening. *Agricultural Biology and Chemistry* 2: 581–582.
- Taiz, L.; Zeiger, E. 1998. *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publ. Co, Inc.

- Thompson, J.F. 2002. Storage systems, in: Kader, A.A. (Ed.), Postharvest Technology of Horticultural Crops. Regents of the University of California, Division of Agricultural and natural Resources, Oakland, CA, pp. 113-128.
- Tijskens L.M.M., Polderdijk J.J. 1996. A generic model for keeping quality of vegetable produce during storage and distribution. *Agricultural Systems*, 51(4): 431 – 452.
- Togrul, H., Arslan, N., 2003. Carboxymethyl cellulose from sugar beet pulp cellulose ashdrophilic polymer in coating mandarin. *J. Food Eng.* 62. p. 271-279.
- Yirat, M.; García, A.; Hernández, A.; Calderón, A.; y Camacho, N. 2009. Evaluación de la calidad de la guayaba, variedad enana roja EEA-1-23, durante el almacenamiento a temperatura ambiente. *Rev. Cien. Téc. Agrop.* 18(2):70 - 73.
- Varoquaux P., Ozdemir I. 2005. Packaging and produce degradation. In: Produce Degradation: Pathways and Prevention. Lamikanra O., Imam S.H., Ukuku D.O. (Eds). Boca Raton, Florida: CRC Press, pp. 117–153.
- Vega A. Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (*Capsicum Annuum* L.) var. Lamuyo. (Tesis Doctoral) Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España, 2003. [ [Links](#) ]
- Veraverbeke, E.A., 2003. Prediction of moisture loss across the cuticle of apple (*Malus sylvestris* Subs. *mitis* (Wallr.)) during storage. Part 1. Model development and determination of diffusion coefficients. En: *Postharvest Biology and Technology*. 30. p. 75-88.

- Viccoria Agüero Maria. 2011. "Modelado de la evolucion de indices de calidad integral de lechuga mantecosa desde la precosecha hasta el consumidor". Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Waks, J.; Chalutz, E.; Schiffmann-Nadel, M.; Lumenic, E. 1985. Relationship among ventilation of citrus storage room, internal fruit atmosphere, and fruit quality. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110, 398-402.
- Watada A.E., Qi L. 1999. Quality of fresh-cut produce. *Postharvest Biology and Technology* 15: 201–205.
- Weerts A.H. Martin D.R. Lian G. Melrose J.R. Modelling the hydration of foodstuffs, *Simulation Modelling Practice and Theory* 2006; 13: 119-128. [ [Links](#) ]
- Woods, J.L. 1990. Moisture loss from fruits and vegetables. *Postharvest news and information* 1(3), 195-199.
- WU, Z. S.; ZHANG, M.; WANG, S. Effects of high pressure argon treatments on the quality of fresh-cut apples at cold storage. *Food Control*, v. 23, n. 1, p. 120-127, 2012 <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.06.021> [ [Links](#) ]
- Zagory D., Kader A.A. 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *Food Technology* 42(9): 70–77.
- Zwietering M.H., Rombouts F.M., Van't Riet K. 1993. Some aspects of modelling microbial quality of food. *Food Control*, 4(2): 89 – 96.

## ANEXO 1:

### “Modelamiento del comportamiento de calidad enpostcosecha del tumbo (*Passifloramollissima* Bailey)”

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cuál es la calidad del tumbo ( <i>Passifloramollissima</i> Bailey) en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada son diferentes?	Realizar el modelamiento matemático de calidad del tumbo ( <i>Passifloramollissima</i> Bailey) en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada	El modelamiento matemático del comportamiento de calidad del tumbo ( <i>Passifloramollissima</i> Bailey) en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada son diferentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VD: Calidad</li> <li>• VI: Condiciones ambientales</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>El tipo de estudio de la presente investigación es aplicada</p> <p><b>Nivel de investigación</b></p> <p>El nivel de investigación es el explicativo, correlacional.</p> <p><b>Método de investigación</b></p> <p>Método científico, experimental .Hipotético, deductivo,</p>	<p><b>La población:</b></p> <p>La población en estudio es la <i>Passiflora</i></p> <p><b>La muestra:</b></p> <p>La muestra es el tumbo serrano. <i>Passiflora mollissima</i> Bailey</p>
<p>1. ¿Cómo influye la temperatura, humedad relativa y tiempo de almacenamiento en modelamiento cinético de transpiración del tumbo (<i>Passifloramollissima</i> Bailey) en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada.?</p> <p>2. ¿Cómo influye la temperatura, humedad relativa y tiempo de almacenamiento en el modelamiento cinético de perdida de vitamina C del tumbo (<i>Passifloramollissima</i> Bailey) en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada. ?</p>	<p>1. Estudio de la evolución de transpiración del tumbo (<i>Passifloramollissima</i> Bailey) por efecto de temperatura, humedad relativa y tiempo en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada.</p> <p>2. Estudio de la evolución de perdida de vitamina C en el tumbo (<i>Passifloramollissima</i> Bailey) por efecto de temperatura, humedad relativa y tiempo en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada.</p>	<p>1. El estudio del modelamiento de transpiración del tumbo (<i>Passifloramollissima</i> Bailey) es efecto de temperatura, humedad relativa y tiempo en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada.</p> <p>2. Estudio de modelamiento de perdida de vitamina C en el tumbo (<i>Passifloramollissima</i> Bailey) es efecto de temperatura, humedad relativa y tiempo en almacenamiento ambiental, refrigerado y atmosfera modificada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VD: Calidad (marchitez)</li> <li>• VI: Temperatura, humedad relativa y tiempo de almacenamiento.</li> </ul>		

# **“Modelamiento del comportamiento de calidad en postcosecha del tumbo serrano (*Passifloramollissima* Bailey)”**

Alberto Luis HUAMANÍ

**Programa de investigación en procesos industriales**

**Área de procesos alimentarios y agroindustriales**

[engfoodalberto@hotmail.com](mailto:engfoodalberto@hotmail.com)

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general: Analizar y explicar la influencia de las condiciones ambientales (Temperatura y Humedad relativa) en la cinética de pérdida de calidad y tiempo de vida útil en la conservación postcosecha del tumbo serrano (*Passifloramollissima* L.). Para ello fue utilizado la metodología de: para la cinética de pérdida de calidad a través de la evaluación de las muestras del tumbo serrano acondicionados a diferentes temperaturas de almacenamiento y diferentes humedades relativas usándose soluciones saturadas de sales de humedad relativa conocidas, en donde se evaluaron la pérdida de calidad a través de la apariencia sensorial (marchitez) hasta un límite de 16% de pérdida de peso. Para la pérdida de calidad en función de los factores de temperatura de almacenamiento y humedad relativa se usó el diseño de superficie respuesta de 2 factores y evaluándose como respuesta la marchitez (%). El tiempo de vida útil fue determinado por el método probabilístico de Weibull usando la evaluación sensorial y correlacionando para la temperatura y humedad relativa, Concluyéndose que la cinética de pérdida de calidad representa un modelo matemático que es una función de las variables de temperatura y humedad relativa. El tiempo de vida útil fue como sigue: a 20°C a 75,6% (3,44 días), 85,1% (4,03 días), 97,6% (5,32 días); a 10°C a 75,7% (4,83 días), 86,8% (5,71 días), 98,2% (6,41 días); a 2°C a 75,7% (6,25 días), 87,7% (7,46 días), 98,5% (9,66 días).

**Palabras-clave:** Transpiración, calidad postcosecha, Weibull

## ABSTRACT

This research has the general objective: To analyze and explain the influence of environmental conditions (temperature and humidity) on the kinetics of loss of quality and shelf life in conservation postharvest tumboserrano (*Passifloramollissima B.*). To this was it used methodology: for the kinetics of loss of quality by evaluating samples of cured tumbo conditioned at different storage temperatures and different relative humidities being used saturated salt solutions relative humidity known, where evaluated loss of quality through sensory appearance (wilting) up to a limit of 16% weight loss. For quality loss depending on factors storage temperature and relative humidity was used the response surface design factors and evaluated 2 response wilting (%). The lifetime was determined by the probabilistic method Weibull using sensory evaluation and mapping for temperature and relative humidity, concluding that the kinetics of loss of quality represents a mathematical model that is a function of the variables of temperature and relative humidity. The lifetime was as follows: 20 ° C to 75.6% (3.44 days), 85.1% (4.03 days), 97.6% (5.32 days); 10 ° C 75.7% (4.83 days), 86.8% (5.71 days), 98.2% (6.41 days); 2 ° C 75.7% (6.25 days), 87.7% (7.46 days), 98.5% (9.66 days).

**Key words:** Transpiration, postharvest quality, Weibull

## INTRODUCCIÓN

Actualmente existe un fruto de muchos beneficios funcionales y nutricionales no promocionados por el ministerio de agricultura como es el tumbo serrano (*Passifloramollissima Bailey*), en cuanto a su producción y comercialización, en los mercados locales del ande es de manera muy precaria, la producción es a nivel de huertos domésticos, expuestos para su venta en los suelos de los mercados sin la debida protección. El tumbo serrano es muy perecedero al medio ambiente, donde se observa

marchitamientos notorios y con ello la apariencia poco deseable.

El comportamiento fisiológico a las condiciones ambientales (Humedad relativa del ambiente) caso del tumbo serrano no es aun conocido y se desea conocer el porcentaje de pérdida de peso a las condiciones climáticas de comercialización. Los frutos del tumbo serrano, en particular, presentan una serie de problemas tras su recolección derivados de la falta de aporte hídrico y de nutrientes desde la planta, quedando así a expensas de su propio metabolismo. Dando lugar a una pérdida gradual de calidad de la fruta en sus características organolépticas de apariencia (marchitez), sabor y aroma a medida que avanza su estado de senescencia, determinando finalmente la muerte fisiológica. Este tipo de metabolismo limitado a sus propias reservas coloca además al fruto en una situación de debilidad frente a la deshidratación y las agresiones físicas externas tales como: fricción, golpes o heridas y también frente a las infecciones, especialmente de tipo fúngico. Por tanto, son normalmente las alteraciones fisiológicas y patológicas las que hacen inviable su comercialización mucho antes de que cese su actividad metabólica.

El término “*calidad*” es definido por la Norma ISO 9001:2010 como el conjunto de características del producto que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades del cliente tanto explícitas como implícitas (MüllerySteinhart, 2007).

La calidad de un alimento es una percepción compleja de muchos atributos que se evalúan simultáneamente en forma objetiva y subjetiva por el consumidor. El concepto de calidad involucra aspectos variados tales como propiedades físicas, componentes químicos, propiedades funcionales, valor nutritivo, propiedades sensoriales, propiedades microbiológicas, entre otros (Luningy Marcelis, 2007; Chiesa *et al.*, 2005; Abbott, 1999; Moinár, 1995) citados por Viccoria (2011).

El efecto de la temperatura sobre la calidad de los vegetales es bien conocido: las bajas temperaturas son usualmente recomendadas durante la manipulación del producto fresco, recomendándose una temperatura óptima de almacenamiento para cada fruta en particular. La reducción de la temperatura es una práctica comúnmente conocida y aceptada y constituye la manera más simple y fácil para retrasar el deterioro del vegetal (Nuneset *al.*, 2009; Paull, 1999).

Por su parte, también es conocido que la HR del ambiente tiene una relación directa con la pérdida de agua del producto durante el almacenamiento (Nguyenet *al.*, 2007). Como la HR es función de la temperatura, ambientes con iguales condiciones de HR pero con distinta temperatura pueden generar pérdidas de agua diferentes. Esto hace necesaria la utilización del concepto de déficit o diferencia de presión de vapor (DPV), que es independiente de la temperatura y constituye la verdadera fuerza impulsora para la pérdida de agua del producto. EL DPV es equivalente a la diferencia o gradiente de presión de vapor de agua entre el espacio interno (intercelular) del tejido y el ambiente que lo rodea (Hertoget *al.*, 2004; Maguireet *al.*, 2001) ya que normalmente se asume que el aire contenido en los espacios intercelulares del tejido está saturado (Paull, 1999). La pérdida de agua produce una disminución en la presión de turgencia de las células así como degradación de la pared celular (Abbot y Harker, 2008) que afecta los atributos de calidad tales como textura, turgencia y color, produciendo cambios detrimentales y pardeamiento enzimático durante el almacenamiento postcosecha. En consecuencia, Las mediciones del status de agua de la planta son esenciales durante la postcosecha.

El modelado de la evolución de la calidad de las hortalizas y la predicción de la extensión de la vida útil de las mismas, es una tarea compleja debido a la gran variedad de atributos (químicos, físicos, microbiológicos, fisiológicos, nutricionales y

sensoriales) que impactan sobre la vida útil de estos productos (Osvald y Stirn, 2008; Lukasse y Polderdijk, 2003). Además, es necesario considerar que la dinámica de cada uno de estos atributos tiene características particulares que dependen de las condiciones de almacenamiento (Tijskens y Polderdijk, 1996).

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación fue realizado en el laboratorio de Análisis de alimentos y Centro experimental de Jugos y Conservas de la Facultad de Ingeniería química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. La muestra utilizada fue el tumbo serrano "*Passifloramollisima*" en estado de maduración fisiológica, adquiridas en el mercado de Central de Vivanco de la Ciudad de Ayacucho.



Figura 1: Recipientes con diferentes atmosferas, para la determinación de la transpiración del tumbo serrano.

Este diseño experimental se basó en la metodología de Superficie de Respuesta, con un Diseño factorial. El diseño a usar para recabar los datos es un planeamiento factorial completo  $2^k$ , lo que nos da un total de 12 ensayos.

Esta metodología consiste en tomar una masa conocida de muestra (fresca), la que se deja equilibrar con la atmósfera producida por una disolución saturada de sal de humedad relativa conocida dentro de un recipiente herméticamente cerrado (Figura 1).

Para registrar la transpiración se registraron la pérdida de peso a diferentes intervalos de tiempo de almacenamiento.

La estimación de vida útil o vida de anaquel del tumbo serrano, para cada condición de almacenamiento se proyectó utilizando la distribución probabilística de Weibull (Larsen, 2006). Estadísticamente se realizó la prueba de bondad de ajuste de KolmogorovSmirnov con un nivel de confiabilidad de 95%. El criterio de censura (falla) en la prueba sensorial correspondió a la apariencia (marchitez), correspondiente a la mínima nota de grado de satisfacción del consumidor.

## RESULTADOS

### Modelamiento de calidad en función del tiempo de almacenamiento

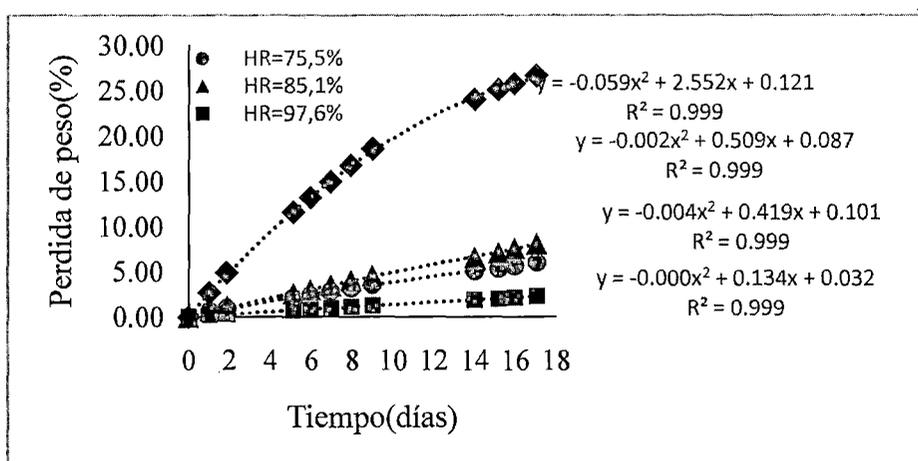


Figura 2: Variación de la pérdida de peso (%) a la Temperatura de almacenamiento de 20°C y Humedades relativas de 58; 75,5; 85,1 y 97,6 % respectivamente.

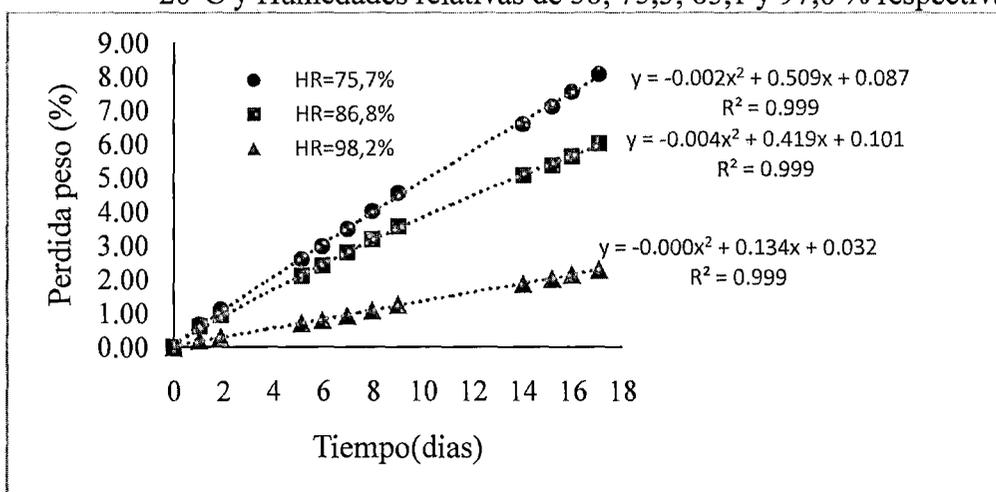


Figura 3: Variación de la pérdida de peso (%) a la Temperatura de almacenamiento de 10°C y Humedades relativas de 75,7; 86,8 y 98,2 % respectivamente.

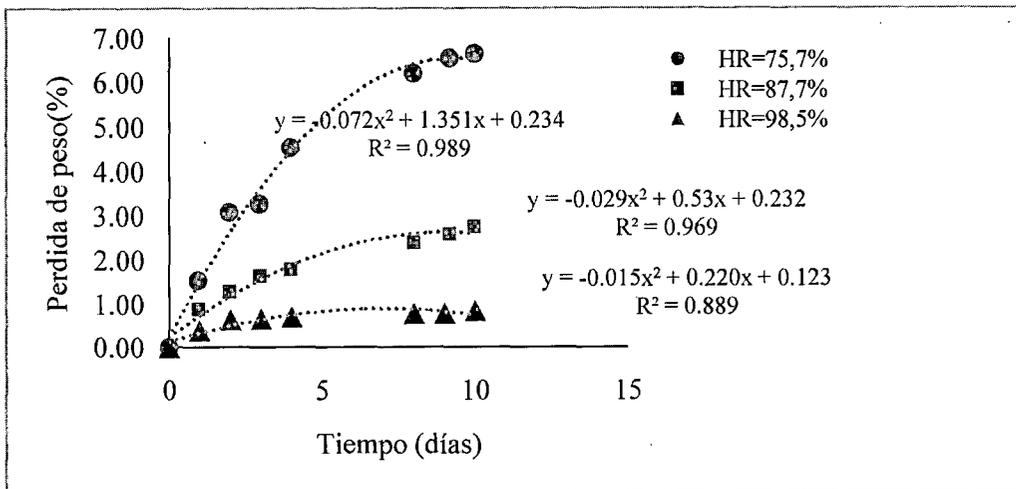


Figura 4: Variación de la pérdida de peso (%) a la Temperatura de almacenamiento de 2°C y Humedades relativas de 75,7; 87,7 y 98,5% respectivamente.

### Modelamiento de calidad por metodología de superficie respuesta

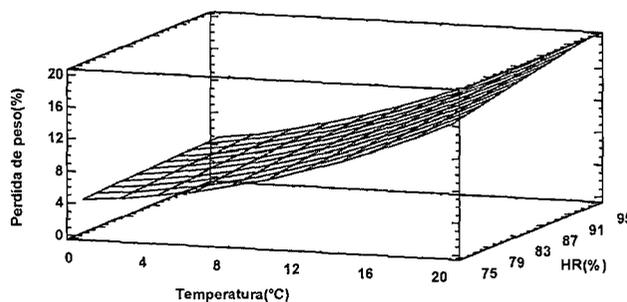


Figura 5: Influencia de la Temperatura y Humedad relativa en la pérdida de peso (Marchitez) durante el almacenamiento

Tabla 1: Análisis de Variancia para la interacción de los factores

Fuente	SC	Gl	CM	Razón-F	Valor-P
T:Temperatura	184.447	1	184.447	7862.29	0.0000
HR:Humedad relativa	7.85927	1	7.85927	335.01	0.0000
T*T	8.38636	1	8.38636	357.48	0.0000
T*HR	1.89049	1	1.89049	80.58	0.0001
HR*HR	0.0104167	1	0.0104167	0.44	0.5300
Error total	0.140758	6	0.0234597		
Total (corr.)	273.417	11			

R-cuadrada = 99.9485 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99.9056 porciento

Error estándar del est. = 0.153166

Error absoluto medio = 0.0858379

Estadístico Durbin-Watson = 2.23583 (P=0.5553)

### Vida útil a través del diseño probabilístico de Weibull

Tabla 2. Tiempos de vida útil calculados a través de la función de Weibull

Temperatura (°C)	Humedad Relativa (HR) (%)	Tiempo de conservación(días)	Parámetros	
			$\beta$	$\alpha$
20	75,6	3,44	8,65	2,11
	85,1	4,03	2,85	1,13
	97,6	5,32	3,98	1,84
10	75,7	4,83	3,52	1,45
	86,8	5,71	3,13	1,47
	98,2	6,41	3,53	1,93
2	75,7	6,25	3,88	2,10
	87,7	7,46	2,95	1,78
	98,5	9,66	2,26	1,48

### DISCUSIONES

En las Figuras 2, 3, 4 y 5, se aprecian los resultados de este parámetro para la evolución de la pérdida de calidad como variación de humedad y esto reflejado en pérdida de peso en los frutos almacenados a diferentes humedades relativas y a diferentes temperaturas. La pérdida de peso durante el almacenamiento es una consecuencia de la transpiración del fruto, proceso físico que sigue durante todo el periodo de almacenamiento. En este proceso están involucrados tres eventos importantes: (1) el movimiento del agua como líquido y vapor, desde los espacios intercelulares hasta la cutícula; (2) la disolución y difusión de las moléculas de agua en y a través de la membrana cuticular; (3) la desorción del agua, en la superficie exterior (Veraverbeke, 2003).

Los factores ambientales que más influyen en la deshidratación son la temperatura, la humedad relativa (HR) y la velocidad de circulación del aire que rodea al fruto. En el almacenamiento a bajas temperaturas y altas HR se reduce el gradiente de presión del vapor de agua entre el fruto y la atmósfera de almacenamiento, con lo que disminuye la velocidad de pérdida de agua por transpiración. Además, en el almacenamiento y

transporte, es importante una adecuada ventilación y velocidad del aire, puesto que incide sobre la capa de aire húmedo que rodea al fruto (Wakset *al.*, 1985; Thompson, 2002). Por tanto, las frutas y vegetales suelen ser almacenados en un ambiente húmedo (90-98% HR), especialmente a bajas temperaturas y con una velocidad del aire adecuada para minimizar la pérdida de agua (Woods, 1990). En los cítricos, la transpiración es la principal causa de deterioro durante la postcosecha. Distintos estudios indican que se pueden disminuir pérdidas de peso superiores a un 5% durante la comercialización, un 7% en la conservación frigorífica y un 16% en el almacenamiento en refrigeración durante periodos de tres meses (Jiménez-Cuesta, 1983).

En la Tabla 2, como podemos analizar el comportamiento del gráfico de resultados, a medida que se incrementa la temperatura de almacenamiento la calidad disminuye de manera muy drástica, mientras lo que sucede con la humedad relativa la disminución es moderada, la interacción de ambos factores de acuerdo al análisis de variancia es significativa. El efecto de la temperatura sobre la transpiración, está muy relacionada con la humedad relativa; al aumentar la temperatura la presión de vapor de agua en el interior del producto aumenta produciendo una diferencia mayor con respecto a la presión de vapor del aire, resultando un incremento en la intensidad de transpiración.

El efecto de la temperatura sobre la calidad de los vegetales es bien conocido: las bajas temperaturas son usualmente recomendadas durante la manipulación del producto fresco, recomendándose una temperatura óptima de almacenamiento para cada fruta en particular. La temperatura también modifica la presión de vapor que ejerce el aire saturado, el déficit de presión de vapor se incrementa si la temperatura aumenta. Al elevarse la temperatura el agua tiene mayor capacidad para evaporarse. Una fruta que está a una temperatura ambiente de 15°C con una HR de 90% transpirará más que si

está a 5°C con la misma humedad relativa (90%). Se recomienda para el almacenamiento de productos vegetales una humedad relativa de 85-95%. Las altas temperaturas favorecen la evaporación de agua y las bajas temperaturas reducen la transpiración. Se ha observado que la aplicación de cubiertas cerosas reduce en buena medida la pérdida de peso por transpiración Viccoria (2011).

Los tiempos de fallo y el riesgo acumulado para cada temperatura y humedad relativa se ajustaron satisfactoriamente al modelo de regresión lineal ( $R^2 > 0,89$ ); además los valores del factor de forma  $\beta$  estuvieron dentro del rango inasequible de  $2 < \beta < 4$  lo cual asegura predicciones del tiempo de vida de anaquel más precisas (Cardelli y Labuza, 2001).

El análisis de supervivencia aplicado a la vida útil sensorial del tumbo serrano fresco estimó los tiempos de censura a la izquierda cuando el consumidor rechazó el producto a entre 3 a 5 días a 20°C de temperatura, entre 4,8 a 6,4 días a 10°C de temperatura; entre 6,4 a 9,7 días a 2°C de temperatura de almacenamiento respectivamente, en condiciones ambientales y de refrigeración. Estos resultados coinciden con los de Houghet *al.* (2003) que definen valores de rechazo del consumidor a la izquierda, a la derecha y en un intervalo del estudio.

## CONCLUSIONES

1. El modelamiento de pérdida de calidad en función del tiempo de almacenamiento para los factores de Temperatura (2-20°C) y humedad relativa (75-95%) del tipo:

$$\left( \frac{dm}{dt} \right)_{2^\circ\text{C}, \text{HR}=75,7\%} = -0,15 * t + 1,35$$

$$\left( \frac{dm}{dt} \right)_{2^\circ\text{C}, \text{HR}=87,8\%} = -0,06 * t + 0,42$$

$$\left( \frac{dm}{dt} \right)_{2^\circ\text{C}, \text{HR}=98,5\%} = -0,032 * t + 0,22$$

2. El modelamiento de calidad por la metodología de superficie respuesta es:

$$\text{Pérdida de peso} = -3.05855 - 0.427708 * T + 0.144939 * HR + 0.022228 * T^2 + 0.00762295 * T * HR - 0.000625 * HR^2$$

3. La estimación de la vida útil del tumbo serrano por el método probabilístico de Weibull es: a 20°C a 75,6% (3,44 días), 85,1% (4,03 días), 97,6% (5,32 días); a 10°C a 75,7% (4,83 días), 86,8% (5,71 días), 98,2% (6,41 días); a 2°C a 75,7% (6,25 días), 87,7% (7,46 días), 98,5% (9,66 días).

## BIBLIOGRAFIA

- Abbot J.A., Harker R. 2008. Texture. United State Dept of Agriculture, Agriculture Handbook 66. Washington, D.C.: USDA. Disponible en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/021texture.pdf>. Acceso: Septiembre 2008.
- Cardelli, C. y Labuza, T. P. 2001. Application of Weibull hazard analysis to the determination of the shelf life of roasted and ground coffee. *Lebensm.-Wiss. U. Technol.* 34:273 - 278.
- Hertog M.L.A.T.M., Ben-Arie R., Róth E., Nicolai B.M. 2004. Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures. *Postharvest Biology and Technology*, 22:79-91.
- Hough, G. L. 2003. Survival analysis applied to sensory shelf life of foods. *J. Food Sci.* 68(1):359 - 362.
- Jiménez-Cuesta, M., J., Cuquerella, and J.M., Martínez-Jávega., 1983. Teoría y práctica de la desverdización de los cítricos. Comunicación I.N.I.A, Hoja Técnica n46. p. 16-21.
- Larsen, R. 2006. Food shelf life: estimation and experimental design. Tesis de Magister. Brigham Young University, Brigham. E.U.

- Lukasse L.J.S., Polderdijk J.J. 2003. Predictive modelling of post-harvest quality degradation in perishables, applied to mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 59: 191–198.
- Maguire K.M., Banks N.H., Opara L.U. 2001. Factors affecting mass loss of apples. *Horticultural Reviews*, 25: 197–234.
- Moreira M., Roura S., del Valle C. 2003. Quality of Swiss chard produced by conventional or organic methods. *Lebensmittel Wissenschaft und-Technologie*, 36: 135–141.
- Müller A., Steinhart H. 2007. Recent developments in instrumental analysis for food quality. *Food Chemistry*, 101: 1136–1144.
- Nguyen T.A., Verboven P., Schenk A., Nicolai B.M. 2007. Prediction of water loss from pears (*Pyrus communis* cv. Conference) during controlled atmosphere storage as affected by relative humidity. *Journal of Food Engineering*, 83: 149–155.
- Nunes M.C.N., Emond J.P., Rauth M., Dea S., Chau, K.V. 2009. Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste. *Postharvest Biology and Technology*, 51: 232–241.
- Osvald A., Stirn L.Z. 2008. A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food. *Journal of Food Engineering*, 85: 285–295.
- Paull R.E. 1999. Effects of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 263–277.
- Thompson, J.F. 2002. Storage systems, in: Kader, A.A. (Ed.), *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Regents of the University of California, Division of Agricultural and Natural Resources, Oakland, CA, pp. 113-128.
- Tijskens L.M.M., Polderdijk J.J. 1996. A generic model for keeping quality of vegetable products during storage and distribution. *Agricultural Systems*, 51(4): 431–452.

- Veraverbeke, E.A., 2003. Prediction of moisture loss across the cuticle of apple (*Malus sylvestris* Subsp. *mitis* (Wallr.)) during storage. Part 1. Model development and determination of diffusion coefficients. En: *Postharvest Biology and Technology*. 30. p. 75-88.
- Viccoria Agüero Maria. 2011. "Modelado de la evolución de índices de calidad integral de lechuga mantecosa desde la precosecha hasta el consumidor". Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Plata. Argentina.
- Waks, J.; Chalutz, E.; Schiffmann-Nadel, M.; Lumenic, E. 1985. Relationship among ventilation of citrus storage room, internal fruit atmosphere, and fruit quality. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110, 398-402.
- Woods, J.L. 1990. Moisture loss from fruits and vegetables. *Postharvest news and information* 1(3), 195-199.



**TABLA DE EVALUACIÓN DE INFORMES FINALES**  
**DE INVESTIGACIÓN - 2015**

TÍTULO:

“Modelamiento del comportamiento de calidad en postcosecha del tumbo serrano (*Passiflora mollissima* Bailey)”

AUTOR (ES):

1. ALBERTO LUIS HUAMANI HUAMANI
2. .
3. .

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN:

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALURGIA

	0	1	2	3
<b>I. RESUMEN</b>				
01. Contiene no más de 250 palabras				/
02. Sintetiza los aspectos más importantes de los objetivos, métodos, resultados y conclusiones del estudio			/	
03. Incluye abstract y palabras clave pertinentes al tema				/
<b>II. INTRODUCCIÓN</b>				
04. Considera los datos, principios o teorías científicas que sirven de fundamento de la investigación			/	
05. Está estructurada como argumentos que conducen al problema de investigación			/	
06. Se indican con claridad y de manera concreta y específica cuáles son los objetivos del trabajo			/	
07. Los objetivos indicados son congruentes con el título, pertinentes al tema, y se limitan estrictamente a lo planteado en el Título			/	
<b>III. REVISION DE LITERATURA</b>				
08. Se citan trabajos relacionados con el tema, en particular, estudios previos relacionados con el problema			/	
09. Examina críticamente la literatura relacionada con el tema		/		
10. Se citan las fuentes de los datos de importancia que forman parte de los argumentos del autor			/	
11. Se definen con claridad los conceptos utilizados en el trabajo			/	

<b>IV. MATERIAL Y METODOS</b>				
12. Se reconoce claramente a través de qué medios y procedimientos se cumplen los objetivos propuestos				✓
13. Se indica el ámbito temporal y espacial del estudio				✓
14. Se describe el método de muestreo				✓
15. Los métodos o el diseño de investigación empleados son apropiados al problema y objetivos del estudio			✓	
16. Los instrumentos, materiales o aparatos empleados son apropiados a los objetivos del estudio			✓	
17. Se argumenta la pertinencia de los métodos e instrumentos elegidos para lograr los objetivos propuestos			✓	
18. Se describen las características de los instrumentos, materiales o aparatos utilizados en el estudio, incluyendo, si es pertinente, su validez y confiabilidad			✓	
19. Se describen detallada y cuidadosamente los procedimientos de recolección de datos			✓	
20. Se describen detallada y cuidadosamente los procedimientos de control de variables y (si los hay) de los tratamientos experimentales			✓	
<b>V. RESULTADOS</b>				
21. Se reportan datos que permiten cumplir los objetivos propuestos para el trabajo				✓
22. Se incluyen solamente los datos recolectados mediante el trabajo de laboratorio y/o de campo, excluyéndose la revisión bibliográfica		✓		
23. Se presentan en una secuencia ordenada y lógica, haciéndolos comprensibles			✓	
24. Los datos presentados son congruentes con lo indicado en la parte metodológica			✓	✓
25. Los datos son presentados en el texto, en tablas o en figuras				✓
26. Las tablas y las figuras tienen numeración correlativa (pero separada para tablas y figuras) y título				✓
27. Las tablas y las figuras son claras y comprensibles			✓	
28. Los datos mostrados en las tablas y/o figuras son comentados, pero no interpretados, en el texto				✓
29. En los casos en que corresponde, los datos son analizados mediante instrumentos estadísticos				✓
30. Los instrumentos estadísticos son adecuadamente utilizados				✓
<b>VI. DISCUSIÓN</b>				
31. Claramente permite apreciar cuál es el aporte del trabajo			✓	
32. Constituye un análisis de los resultados obtenidos			✓	
33. Señala de manera ordenada las concordancias y diferencias entre los hallazgos obtenidos y los resultados de otros estudios			✓	
34. Se interpretan los resultados mediante argumentos que indiquen que es lo que se demuestra a partir de dichos resultados				✓
35. Se citan las fuentes de los datos que forman parte de los argumentos desarrollados en la discusión				✓
36. Las interpretaciones o diferencias que se planteen, se sustentan en los datos obtenidos, en el análisis de estos o en las referencias bibliográficas			✓	
<b>VII. CONCLUSIONES</b>				
37. Las conclusiones guardan relación con los objetivos				✓
38. Se indica qué aspectos relacionados con el tema quedan para investigar			✓	
39. Se proponen posibles problemas o métodos para futuras investigaciones a partir de los resultados o del análisis de estos			✓	
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>				
40. Todas las referencias bibliográficas están redactadas de acuerdo				

con la Directiva N° 004-2012-OGII			
41. Todos los trabajos citados son incluidos en la lista de referencias bibliográficas			✓
42. Todos los trabajos incluidos en las referencias bibliográficas han sido citados en el informe			✓

**EVALUACION:**

- 1.- CALIFICAR cada ítem con 0, 1, 2 ó 3. La calificación NO se valora con 0, la calificación SI con 3.
- 2.- Declara el Informe APROBADO de **todos** los ítems son calificados con 2 ó con 3.
- 3.- Declarar el informe APROBADO CON SUGERENCIAS, si **todos** los ítems son calificados con 2 ó con 3 y se sugieren algunas correcciones.
- 4.- Declara el Informe OBSERVADO si **AL MENOS UN ÍTEM** es calificado con 0 ó con 1.

**DICTAMEN**

APROBADO	✓
APROBADO CON SUGERENCIAS	
OBSERVADO POR PRIMERA VEZ	
OBSERVADO POR SEGUNDA VEZ (NO APROBADO)	

**Comentarios y/o sugerencias**

.....  
 .....  
 .....  
 .....

Ayacucho, 15 de marzo del 2016.

  
 .....  
 Coordinador de la Unidad  
 de Investigación e Innovación

.....  
 Jefe de la Oficina de Gestión de la  
 Investigación

## ANEXO

### ANEXO 1: ALMACENAMIENTO Y EVALUACIÓN POR MÉTODO WEIBULL

#### 1. ALMACENAMIENTO A T=20°C, HR=75,6%

Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 20°C y HR= 75,6%

Periodo	Tiempo (día)	Resultado de Evaluaciones									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0	+	+								
2	2	+	+	+							
3	4	+	+	-	-						
4	6	-	+	+	-	+					
5	8	+	-	-	-	+	-				
6	10	+	-	-	-	-	-	-	+		
		(+)			(-)						
		no es diferente			diferente						

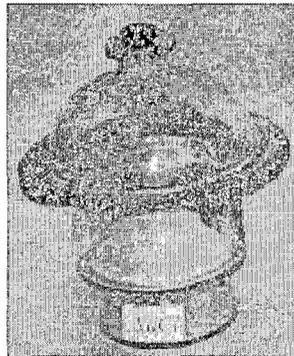


Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 2°C y HR= 80,49%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones							
		1	2	3	4	5	6	7	8
6	0	+	+						
7	2	+	+	+					
8	4	+	+	(-13)	(-14)				
9	6	(-11)	+	+	(-12)	+			
10	8	+	(-6)	(-7)	(-8)	+	(-10)		
11	10	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	(-6)	+

**Tabla 3.** Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial **marchitez** del tumbo serrano almacenado a  $T=2^{\circ}\text{C}$  y  $\text{HR}=80,49\%$

Rank=fallas	Tiempo de falla	$H=100/\text{Rank}$	$\Sigma H$	$\log(\Sigma H)$	$\log(t)$
10	7	10,0	10,0	1,000	0,845
9	8	11,1	21,1	1,325	0,903
8	8	12,5	33,6	1,526	0,903
7	9	14,3	47,9	1,680	0,954
6	9	16,7	64,6	1,810	0,954
5	10	20,0	84,6	1,927	1,000
4	10	25,0	109,6	2,040	1,000
3	10	33,3	142,9	2,155	1,000
2	10	50,0	192,9	2,285	1,000
1	10	100,0	292,9	2,467	1,000

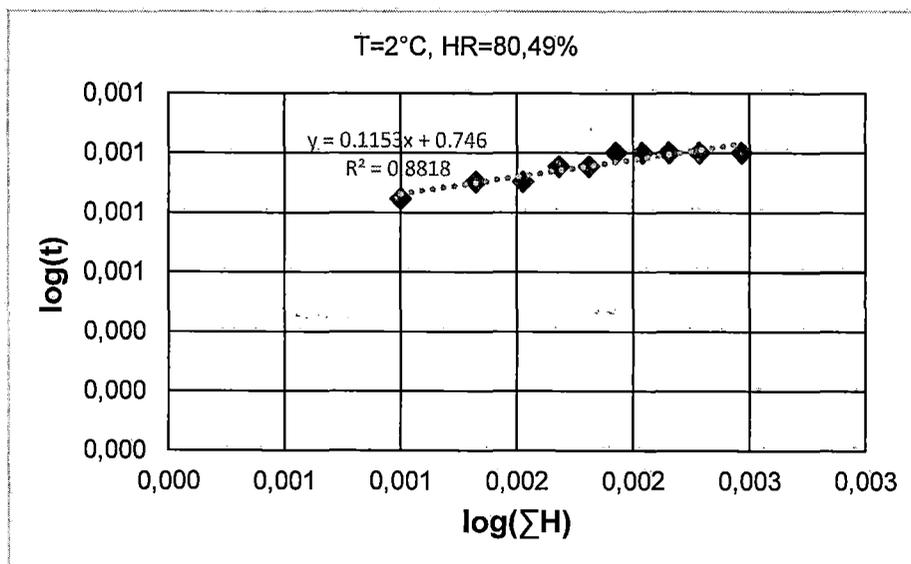


Figura 1:  $\log(t)$  en función de  $\log(\Sigma H)$  para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,1153 = 8,67$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,746 \quad \alpha = 2,11$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\Sigma H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$Ln(t) = 0,1153Ln(\sum H) + 0,746$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \qquad 69,3 = \left(\frac{t}{2,11}\right)^{8,67}$$

$$t = 3,44 \text{ dias}$$

El resultado es 3,44 días de vida útil

## 2. ALMACENAMIENTO A T=20°C, HR=93,38%



Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 20°C y HR= 80,49%

Periodo	Tiempo (día)	Panelistas/Evaluaciones								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	+	+							
2	1	+	+	+						
3	2	+	+	+	+					
4	3	+	+	-	-	+				
5	4	+	-	-	+	+	+			
6	6	+	+	-	-	+	+	+		
7	8	+	-	-	-	-	-	-	+	

Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 2°C y HR= 80,49%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	+	+							
2	1	+	+	+						
3	2	+	+	+	+					
4	3	+	+	(-11)	(-12)	+				
5	4	+	(-9)	(-10)	+	+	+			
6	6	+	+	(-7)	(-8)	+	+	+		
7	8	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	(-6)	+	

Tabla 3. Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial **marchitez** del tumbo serrano almacenado a T= 20°C y HR= 85,10%

Rank=fallas	Tiempo de falla	H=100/Rank	$\Sigma H$
12	3	8,3	8,3
11	3	9,1	17,4
10	4	10,0	27,4
9	4	11,1	38,5
8	6	12,5	51,0
7	6	14,3	65,3
6	8	16,7	82,0
5	8	20,0	102,0
4	8	25,0	127,0
3	8	33,3	160,3
2	8	50,0	210,3
1	8	100,0	310,3

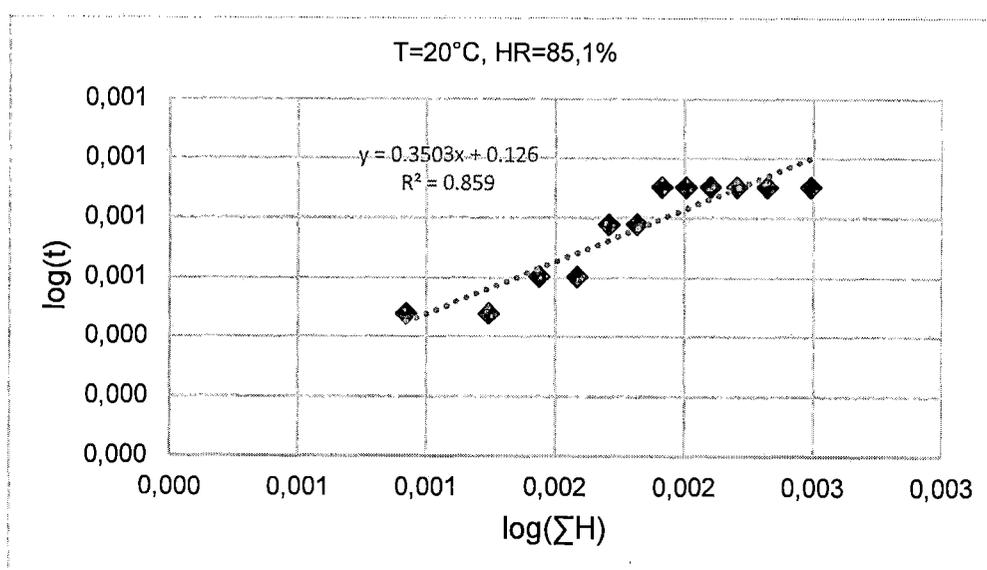


Figura 2: Log(t) en función de Log( $\Sigma H$ ) para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,3503 = 2,85$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,126 \quad \alpha = 1,134$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\sum H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$\text{Ln}(t) = 0,3503 \text{Ln}(\sum H) + 0,126$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad 69,3 = \left(\frac{t}{1,134}\right)^{2,85}$$

$$t = 5,007 \text{ días}$$

El resultado es 5,007 días de vida útil

### 3. ALMACENAMIENTO A T=20°C, HR=97,6%

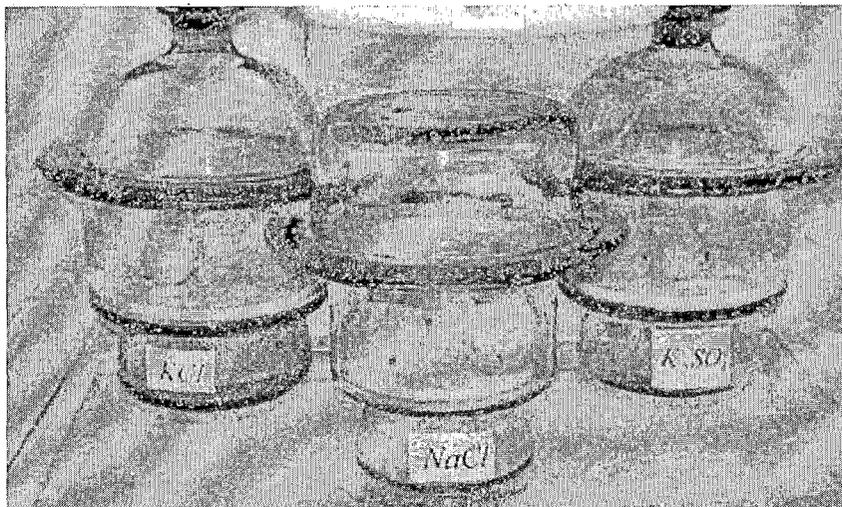


Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 20°C y HR= 97,6%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	+	+							
2	2	+	+	+						
3	4	+	+	+	+					
4	6	+	+	-	-	+				
5	8	+	+	+	+	+	+			
6	10	+	+	+	+	+	+	+		
7	12	+	+	+	-	+	-	-	-	
8	14	+	-	-	-	-	-	-	+	+

Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 20°C y HR= 97,6%

Periodo	Tiempo (día)	Panelistas/Evaluaciones								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	+	+							
2	2	+	+	+						
3	4	+	+	+	+					
4	6	+	+	(-11)	(-12)	+				
5	8	+	+	+	+	+	+			
6	10	+	+	+	+	+	+	+		
7	12	+	+	+	(-7)	+	(-8)	(-9)	(-10)	
8	14	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	(-6)	+	+

Tabla 3. Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 20°C y HR= 97,6%

Rank=falla	Tiempo de falla	H=100/Rank	ΣH
12	6	8,3	8,3
11	6	9,1	17,4
10	12	10,0	27,4
9	12	11,1	38,5
8	12	12,5	51,0
7	12	14,3	65,3
6	14	16,7	82,0
5	14	20,0	102,0
4	14	25,0	127,0
3	14	33,3	160,3
2	14	50,0	210,3
1	14	100,0	310,3

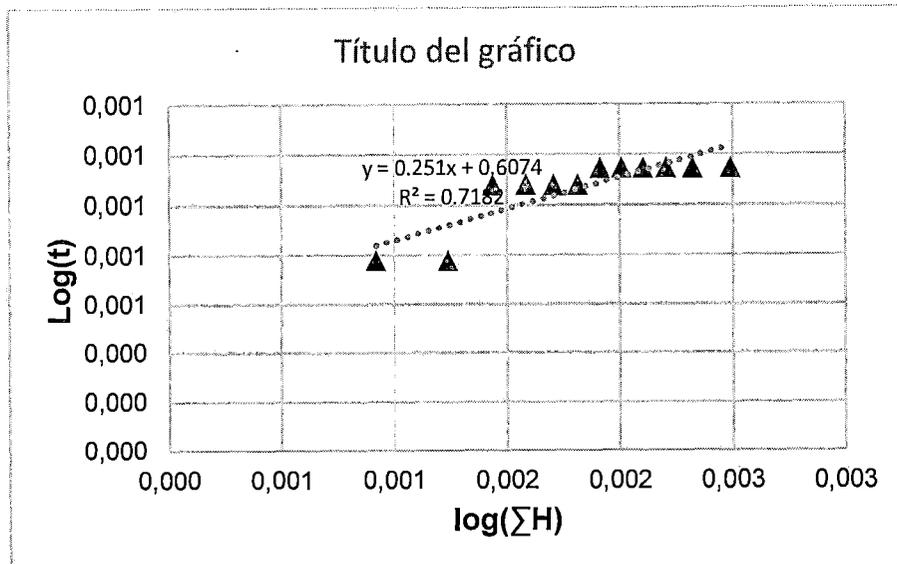


Figura 2: Log(t) en función de Log( $\Sigma H$ ) para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,251 = 3,98$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,6074 \quad \alpha = 1,84$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\Sigma H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$\text{Ln}(t) = 0,251 \text{Ln}(\Sigma H) + 0,6074$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad 69,3 = \left(\frac{t}{1,84}\right)^{3,98}$$

$$t = 5,32 \text{ dias}$$

El resultado es 5,32 días de vida útil

#### 4. ALMACENAMIENTO A T=10°C, HR=75,7%

Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 10°C y HR= 75,7%

Periodo	Tiempo (día)	Resultado de Evaluaciones									
		1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	+	+								
2	2	+	+	+							
3	4	+	+	-	-						
4	6	-	+	+	-	+					
5	8	+	-	-	-	+	-				
6	10	+	-	-	-	-	-	-	-	+	

(+): No es diferente (-): Diferente

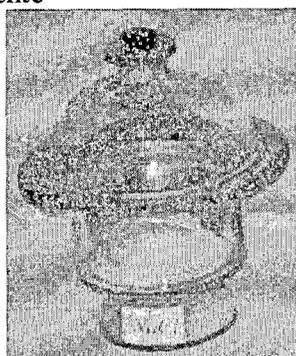


Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 10°C y HR= 75,7%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones									
		1	2	3	4	5	6	7	8		
1	0	+	+								
2	2	+	+	+							
3	4	+	+	(-13)	(-14)						
4	6	(-11)	+	+	(-12)	+					
5	8	+	(-7)	(-8)	(-9)	+	(-10)				
6	10	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	(-6)		+	

Tabla 3. Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 10°C y HR= 75,7%

Rank=fallas	Tiempo de falla	H=100/Rank	ΣH
14	4	7,1	7,1
13	4	7,7	14,8
12	6	8,3	23,2
11	6	9,1	32,3
10	8	10,0	42,3
9	8	11,1	53,4

8	8	12,5	65,9
7	8	14,3	80,2
6	10	16,7	96,8
5	10	20,0	116,8
4	10	25,0	141,8
3	10	33,3	175,2
2	10	50,0	225,2
1	10	100,0	325,2

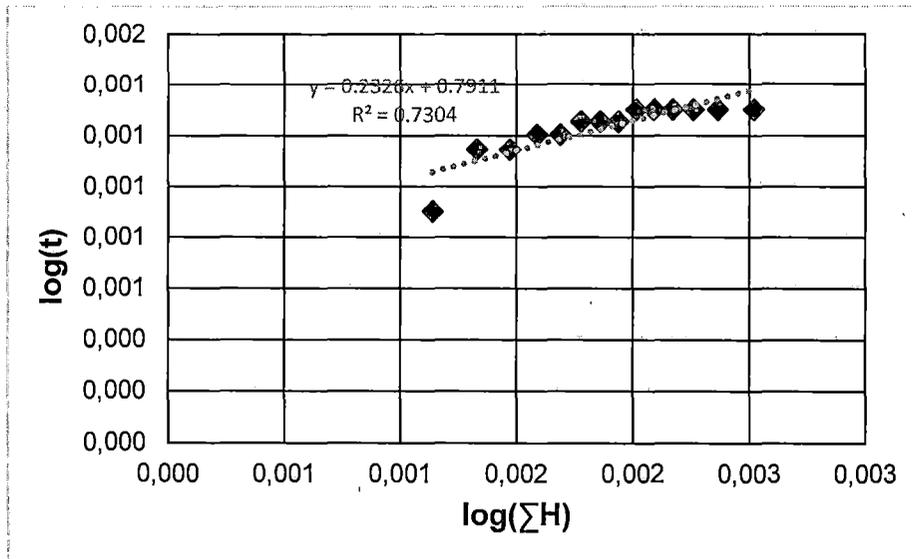


Figura 1: Log(t) en función de Log( $\Sigma H$ ) para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,284 = 3,52$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,3703 \quad \alpha = 1,45$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\Sigma H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$\text{Ln}(t) = 0,284 \text{Ln}(\Sigma H) + 0,3703$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad 69,3 = \left(\frac{t}{1,45}\right)^{3,52}$$

$$t = 4,83 \text{ días}$$

El resultado es 4,83 días de vida útil

### 5. ALMACENAMIENTO A T=10°C, HR=86,8%



Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 10°C y HR= 86,8%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	+	+							
2	2	+	+	+						
3	4	+	-	-	+					
4	6	+	+	+	+	+				
5	10	+	-	-	-	-	-			
6	12	+	-	-	-	-	-	+		

Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 10°C y HR= 86,8%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	+	+							
2	2	+	+	+						
3	4	+	(-11)	(-12)	+					
4	6	+	+	+	+	+				
5	10	+	(-6)	(-7)	(-8)	(-9)	(-10)			
6	12	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	+		

**Tabla 3.** Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 10°C y HR= 86,8%

Rank=fallas	Tiempo de falla	H=100/Rank	ΣH
12	4	8,3	8,3
11	4	9,1	17,4
10	10	10,0	27,4
9	10	11,1	38,5
8	10	12,5	51,0
7	10	14,3	65,3
6	10	16,7	82,0
5	12	20,0	102,0
4	12	25,0	127,0
3	12	33,3	160,3
2	12	50,0	210,3
1	12	100,0	310,3

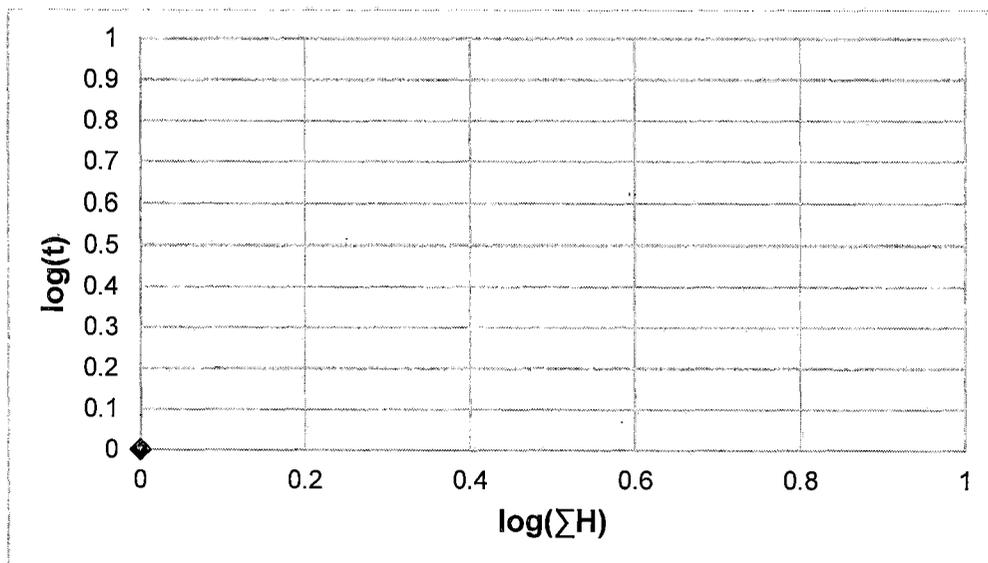


Figura 2: Log(t) en función de Log(ΣH) para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,3198 = 3,127$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,387 \quad \alpha = 1,47$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\Sigma H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$\ln(t) = 0,3198\ln(\sum H) + 0,387$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \qquad 69,3 = \left(\frac{t}{1,47}\right)^{3,127}$$

$$t = 5,71 \text{ dias}$$

#### 6. ALMACENAMIENTO A T=10°C, HR=98,2%

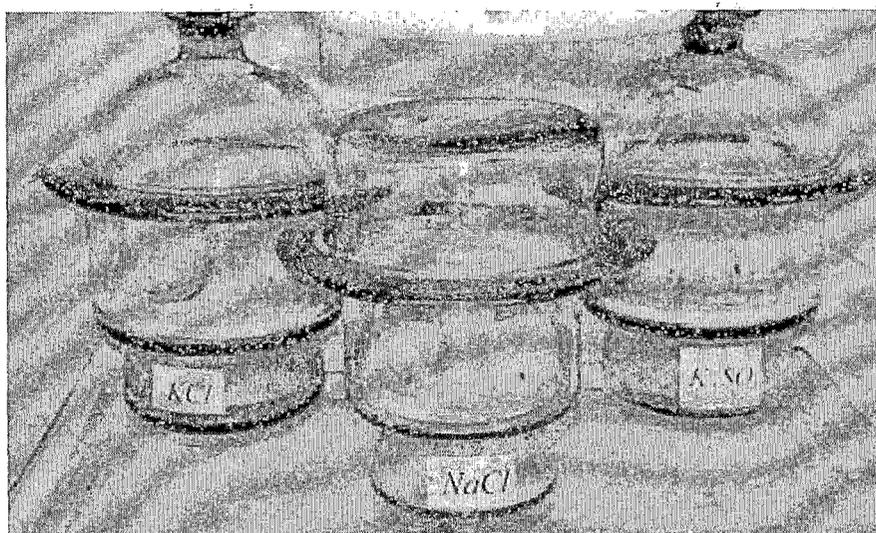


Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 10°C y HR= 98,2%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	+	+								
2	2	+	+	+							
3	4	+	+	+	+						
4	6	+	-	+	-	+					
5	8	+	+	+	+	+	+				
6	10	+	+	+	+	+	+	+			
7	12	+	+	+	+	+	+	+	+		
8	14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
9	16	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+
10	18	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+

Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 10°C y HR= 98,2%

Periodo	Evaluaciones
---------	--------------

	Tiempo (día)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	+	+								
2	2	+	+	+							
3	4	+	+	+	+						
4	6	+	(-13)	+	(-14)	+					
5	8	+	+	+	+	+	+				
6	10	+	+	+	+	+	+	+			
7	12	+	+	+	+	+	+	+	+		
8	14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
9	16	+	+	(-8)	(-9)	+	(-10)	(-11)	(-12)	+	+
10	18	+	(-1)	(-2)	(-3)	+	(-4)	(-5)	(-6)	(-7)	+

**Tabla 3.** Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial **marchitez** del tumbo serrano almacenado a T= 10°C y HR= 98,2%

Rank=fallas	Tiempo de falla	H=100/Rank	$\Sigma H$
14	6	7,1	7,1
13	6	7,7	14,8
12	16	8,3	23,2
11	16	9,1	32,3
10	16	10,0	42,3
9	16	11,1	53,4
8	16	12,5	65,9
7	18	14,3	80,2
6	18	16,7	96,8
5	18	20,0	116,8
4	18	25,0	141,8
3	18	33,3	175,2
2	18	50,0	225,2
1	18	100,0	325,2

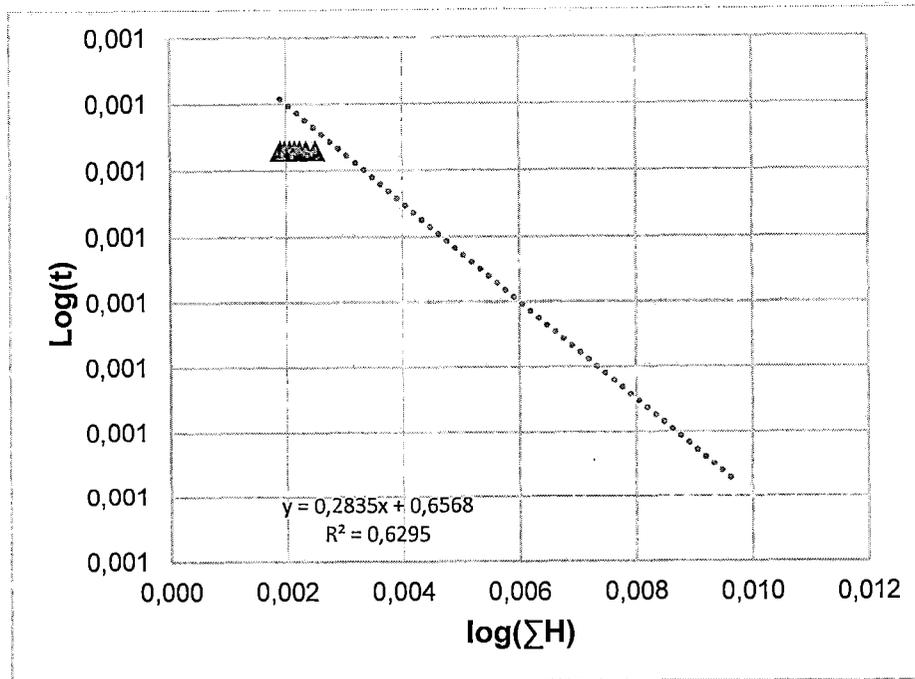


Figura 2: Log(t) en función de Log( $\Sigma H$ ) para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,2835 = 3,53$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,657 \quad \alpha = 1,93$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\Sigma H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$\text{Ln}(t) = 0,2835 \text{Ln}(\Sigma H) + 0,657$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad 69,3 = \left(\frac{t}{1,93}\right)^{3,53}$$

$$t = 6,41 \text{ dias}$$

El resultado es 6,41 días de vida útil

## 7. ALMACENAMIENTO A T=2°C, HR=75,7%

Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 2°C y HR= 75,7%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	+	+										
2	2	+	+	+									
3	4	+	+	+	+								
4	6	+	+	+	+	+							
5	8	+	-	+	+	-							
6	10	+	+	+	+	+	+	+					
7	12	+	+	+	+	+	+	+	+				
8	14	-	+	+	+	-	+	+	+	+			
9	16	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+		
10	18	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+	
11	20	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	+

(+): No es diferente (-): Diferente

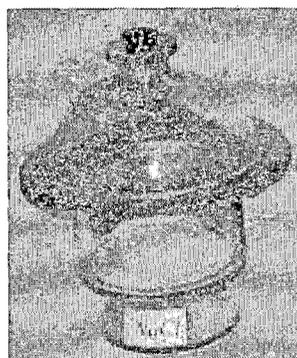


Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 2°C y HR= 75,7%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	+	+										
2	2	+	+	+									
3	4	+	+	+	+								
4	6	+	+	+	+	+							
5	8	+	(-14)	+	+	(-5)							
6	10	+	+	+	+	+	+	+					
7	12	+	+	+	+	+	+	+	+				
8	14	(-12)	+	+	+	(-13)	+	+	+	+			
9	16	+	+	(-10)	(-11)	+	+	+	+	+	+		
10	18	(-7)	+	(-8)	+	(-9)	+	+	+	+	+	+	
11	20	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	+	+	(-5)	+	(-6)	+	+

**Tabla 3.** Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 2°C y HR= 75,7%

Rank=fallas	Tiempo de falla	H=100/Rank	$\Sigma H$
15	8	6,7	6,7
14	8	7,1	13,8
13	14	7,7	21,5
12	14	8,3	29,8
11	16	9,1	38,9
10	16	10,0	48,9
9	18	11,1	60,0
8	18	12,5	72,5
7	18	14,3	86,8
6	20	16,7	103,5
5	20	20,0	123,5
4	20	25,0	148,5
3	20	33,3	181,8
2	20	50,0	231,8
1	20	100,0	331,8

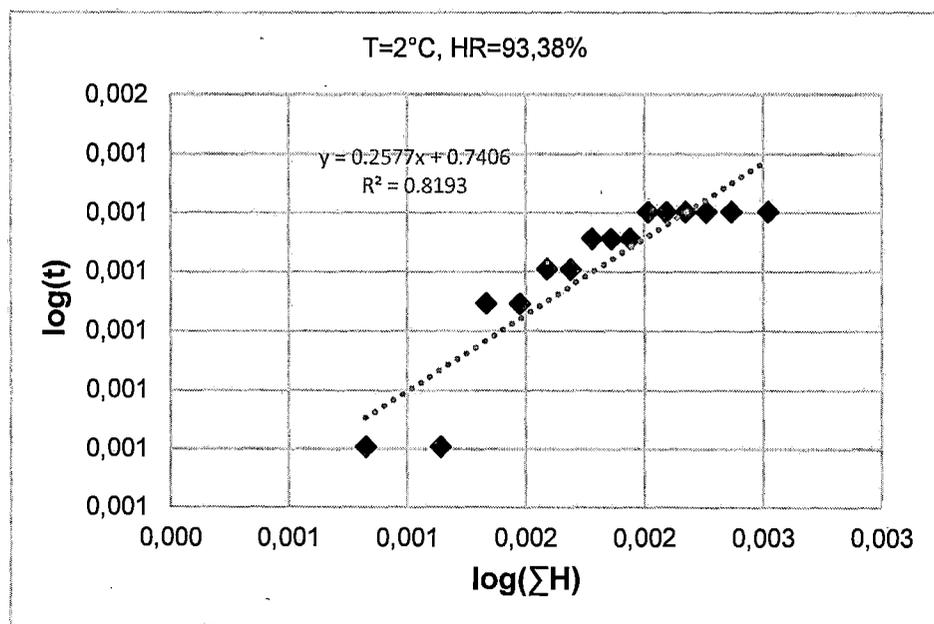


Figura 1: Log(t) en función de Log( $\Sigma H$ ) para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,258 = 3,88$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,7406 \quad \alpha = 2,097$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\sum H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$\text{Ln}(t) = 0,258 \text{Ln}(\sum H) + 0,7406$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad 69,3 = \left(\frac{t}{2,097}\right)^{3,88}$$

$$t = 6,25 \text{ dias}$$

El resultado es 6,25 días de vida útil

### 8. ALMACENAMIENTO A T=2°C, HR=87,7%



Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 2°C y HR= 87,7%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	+	+											
2	2	+	+	+										
3	4	+	+	+	+									
4	6	+	+	-	+	+								
5	8	+	-	+	-	+	+							
6	10		-	-	-	+	+	+						
7	12	+	+	+	+	+	+	+	+					

8	14	+	+	+	-	+	-	+	+	-				
9	16	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+			
10	18	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+		
11	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
12	22	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+

Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 2°C y HR= 87,7%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0	+	+											
2	2	+	+	+										
3	4	+	+	+	+									
4	6	+	+	(-23)	+	+								
5	8	+	(-21)	+	(-22)	+	+							
6	10	+	(-18)	(-19)	(-20)	+	+	+						
7	12	+	+	+	+	+	+	+	+					
8	14	+	+	+	(-15)	+	(-16)	+	+	(-17)				
9	16	+	(-12)	(-13)	+	(-14)	+	+	+	+	+			
10	18	+	(-9)	(-10)	(-11)	+	+	+	+	+	+	+		
11	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
12	22	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	+	(-6)	+	(-7)	+	(-8)	+

Tabla 3. Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 2°C y HR= 87,7%

Rank=fallas	Tiempo de falla	H=100/Rank	∑H
23	6	4,35	4,35
22	8	4,55	8,89
21	8	4,76	13,66
20	10	5,00	18,66
19	10	5,26	23,92
18	10	5,56	29,47
17	14	5,88	35,36
16	14	6,25	41,61
15	14	6,67	48,27
14	16	7,14	55,42
13	16	7,69	63,11
12	16	8,33	71,44
11	18	9,09	80,53
10	18	10,00	90,53

9	18	11,11	101,64
8	22	12,50	114,14
7	22	14,29	128,43
6	22	16,67	145,10
5	22	20,00	165,10
4	22	25,00	190,10
3	22	33,33	223,4
2	22	50,00	273,4
1	22	100,00	373,4

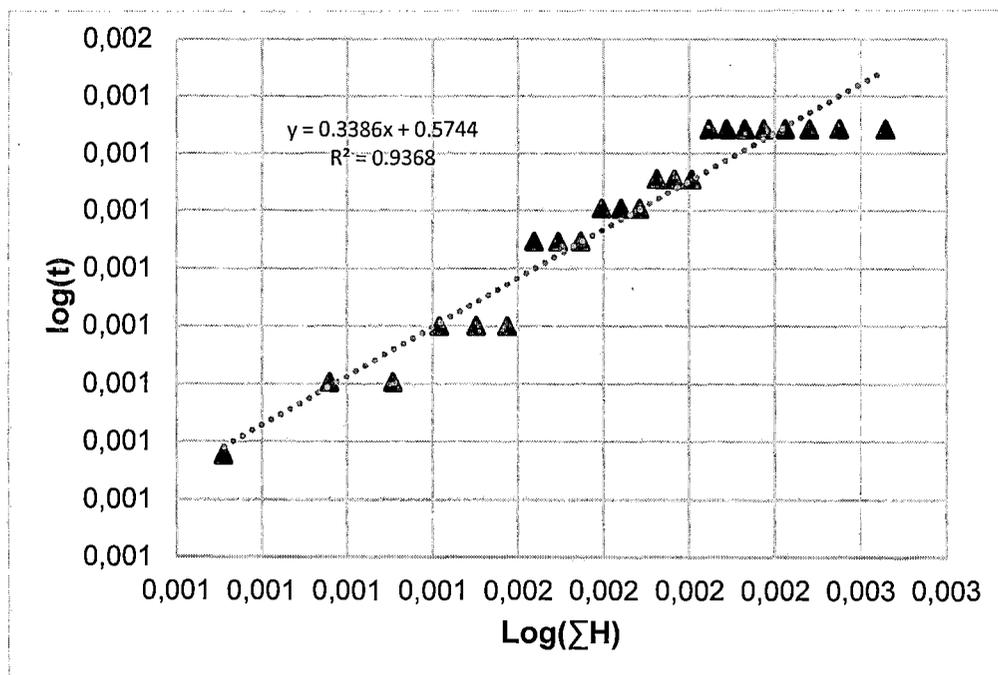


Figura 2: Log(t) en función de Log( $\Sigma H$ ) para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,3386 = 2,95$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,5744 \quad \alpha = 1,78$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\Sigma H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$\text{Ln}(t) = 0,3386 \text{Ln}(\Sigma H) + 0,5744$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad 69,3 = \left(\frac{t}{1,78}\right)^{2,95}$$

$$t = 7,46 \text{ dias}$$

### 9. ALMACENAMIENTO A T=2°C, HR=98,5%

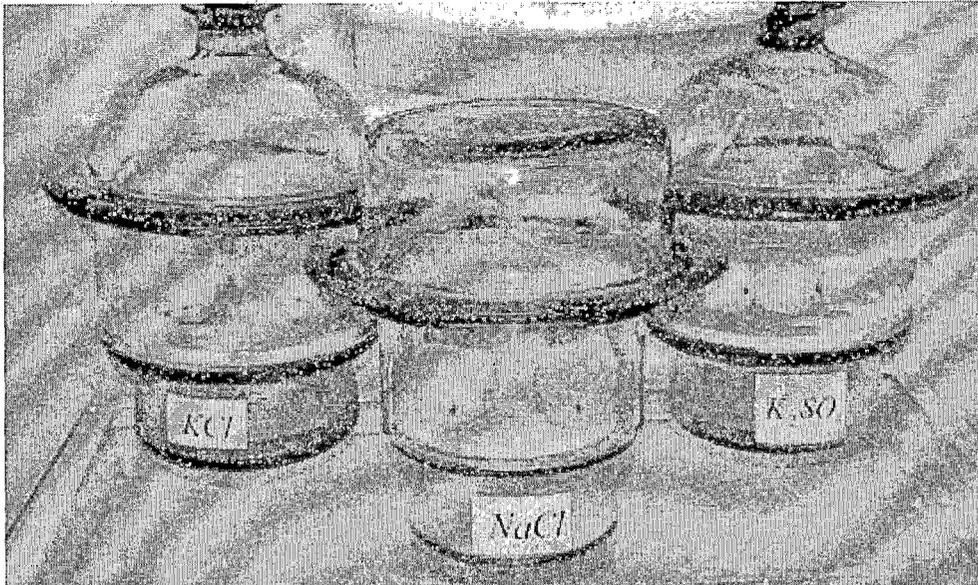


Tabla 1: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez durante el almacenamiento del tumbo serrano a T= 2°C y HR= 98,5%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	+	+	+	+	+										
2	2	+	+	+	+	+	+									
3	4	+	+	-	+	+	+	+								
4	6	+	+	-	+	+	+	+	+							
5	8	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
6	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
7	12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
8	14	-	+	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+			
9	16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
10	18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
11	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12	22	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+

Tabla 2: Resultados de respuesta sensorial para el atributo marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 2°C y HR= 98,5%

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	+	+	+	+	+										
2	2	+	+	+	+	+	+									
3	4	+	+	(-15)	+	+	+	+								
4	6	+	+	(-14)	+	+	+	+	+							
5	8	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
6	10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
7	12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
8	14	(-9)	+	(-10)	(-11)	+	+	+	(-12)	+	(-13)	+	+			
9	16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
10	18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
11	20	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
12	22	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	+	(-6)	+	(-7)	+	(-8)	+	+	

Tabla 3. Resultados de riesgos acumulados de Weibull para el atributo sensorial marchitez del tumbo serrano almacenado a T= 2°C y HR= 98,5%

Rank=fallas	Tiempo de falla	H=100/Rank	ΣH
14	4	7,1	7,1
13	6	7,7	14,8
12	14	8,3	23,2
11	14	9,1	32,3
10	14	10,0	42,3
9	14	11,1	53,4
8	22	12,5	65,9
7	22	14,3	80,2
6	22	16,7	96,8
5	22	20,0	116,8
4	22	25,0	141,8
3	22	33,3	175,2
2	22	50,0	225,2
1	22	100,0	325,2

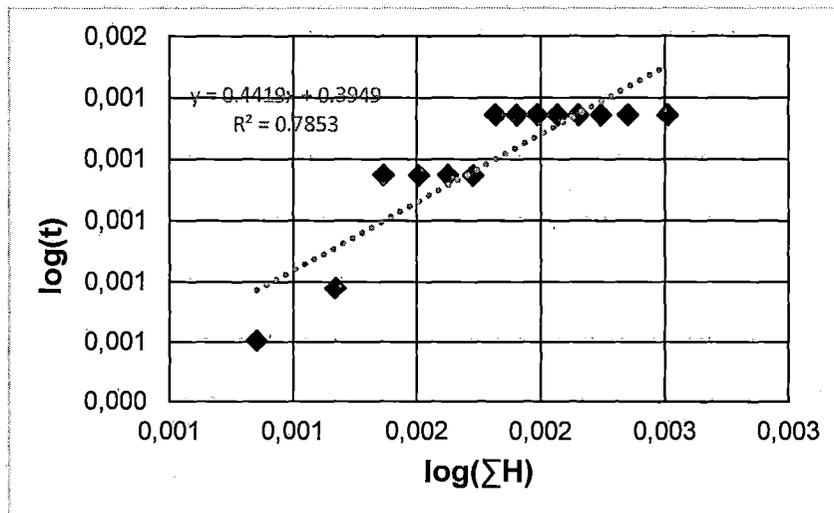


Figura 3:  $\log(t)$  en función de  $\log(\Sigma H)$  para la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0,4419 = 2,26$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0,3949 \quad \alpha = 1,48$$

Reemplazando los valores en la ecuación determinamos la función

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\Sigma H) + \text{Log}(\alpha)$$

$$\text{Ln}(t) = 0,4419 \text{Ln}(\Sigma H) + 0,3949$$

Reemplazando los valores en la ecuación para un % de riesgo acumulado de 69,3 igual al 50% de probabilidad de deterioro reemplazando en la ecuación siguiente se tiene:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \quad 69,3 = \left(\frac{t}{1,48}\right)^{2,26}$$

$$t = 9,66 \text{ dias}$$

El resultado es 9,66 días de vida útil

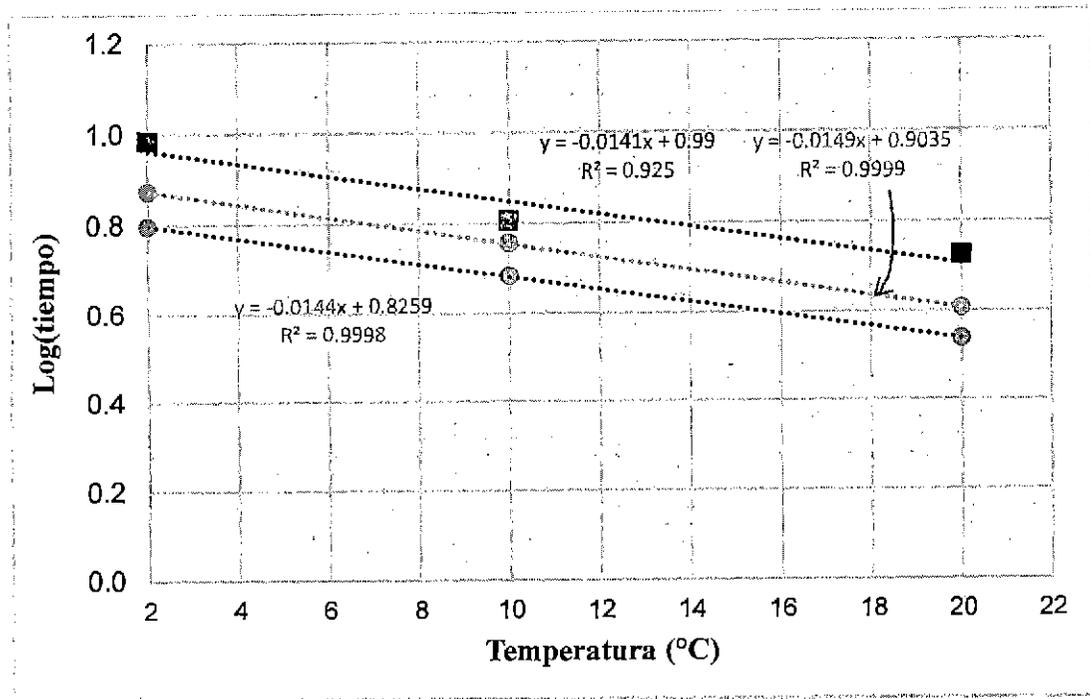


Figura 4: Log(tiempo) en función de Temperatura (°C) para diferentes humedades relativas en la determinación del tiempo de vida útil del tumbo serrano.

## ANEXO 2: MARCHITEZ

T=20°C

Tabla 1: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=20°C y HR=58%

Días	Peso medio	Perdida peso	Perdida (%)
0	76,65	0,00	0
1	74,6	1,09	2,67
2	72,92	2,17	4,87
5	67,75	3,11	11,61
6	66,54	4,04	13,19
7	65,22	4,93	14,91
8	63,82	5,81	16,74
9	62,43	6,66	18,55
14	58,25	7,38	24,01
15	57,45	8,07	25,05
16	56,9	8,74	25,77
17	56,23	9,39	26,64

Tabla 2: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=20°C y HR=75,5%

Horas	Días	Peso medio	Perdida peso	Perdida (%)
0	0	69,9	0,00	0
25	1	69,48	0,25	0,60
45	2	69,24	0,45	0,94
123	5	68,43	0,63	2,10
143	6	68,22	0,79	2,40
167	7	67,95	0,96	2,79
191	8	67,68	1,13	3,18
216	9	67,41	1,29	3,56
336	14	66,36	1,44	5,06
364	15	66,14	1,59	5,38
383	16	65,96	1,74	5,64
409	17	65,7	1,88	6,01

Tabla 3: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=20°C y HR=85,1%

Días	Peso medio	Perdida peso	Perdida (%)
0	83,22	0,00	0
1	82,67	0,27	0,66
2	82,3	0,51	1,11
5	81,06	0,73	2,60
6	80,75	0,93	2,97
7	80,32	1,14	3,48
8	79,88	1,35	4,01
9	79,43	1,56	4,55
14	77,74	1,76	6,58
15	77,3	1,95	7,11
16	76,94	2,15	7,55
17	76,51	2,35	8,06

Tabla 4: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=20°C y HR=97,6%

Días	Peso medio	Perdida peso	Perdida (%)
0	85,31	0,00	0
1	85,14	0,08	0,20
2	85,05	0,15	0,30
5	84,7	0,21	0,72
6	84,62	0,26	0,81
7	84,51	0,32	0,94
8	84,38	0,38	1,09
9	84,23	0,44	1,27
14	83,71	0,49	1,88
15	83,57	0,55	2,04
16	83,47	0,60	2,16
17	83,36	0,66	2,29

**T=10°C**

Tabla 1: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=10°C y HR=75,7%

Tiempo(día)	Peso medio	Perdida peso	% perdida
0	83,22	0,00	0
1	82,67	0,27	0,66
2	82,3	0,51	1,11
5	81,06	0,73	2,60
6	80,75	0,93	2,97
7	80,32	1,14	3,48
8	79,88	1,35	4,01
9	79,43	1,56	4,55
14	77,74	1,76	6,58
15	77,3	1,95	7,11
16	76,94	2,15	7,55
17	76,51	2,35	8,06

Tabla 2: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=10°C y HR=86,8%

Tiempo(día)	Peso medio	Perdida peso	% perdida
0	69,9	0,00	0
1	69,48	0,25	0,60
2	69,24	0,45	0,94
5	68,43	0,63	2,10
6	68,22	0,79	2,40
7	67,95	0,96	2,79
8	67,68	1,13	3,18
9	67,41	1,29	3,56
14	66,36	1,44	5,06
15	66,14	1,59	5,38
16	65,96	1,74	5,64
17	65,7	1,88	6,01

Tabla 3: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=10°C y HR=98,2%

Tiempo(día)	Peso medio	Perdida peso	% perdida
0	85,31	0,00	0
1	85,14	0,08	0,20
2	85,05	0,15	0,30
5	84,7	0,21	0,72
6	84,62	0,26	0,81
7	84,51	0,32	0,94
8	84,38	0,38	1,09
9	84,23	0,44	1,27
14	83,71	0,49	1,88
15	83,57	0,55	2,04
16	83,47	0,60	2,16
17	83,36	0,66	2,29

**T=2°C**

Tabla 1: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=2°C y HR=75,7%

Tiempo(día)	Peso Medio	Perdida peso	% perdida
0	47,93	0,00	0
1	47,19	0,68	1,53
2	46,45	1,33	3,08
3	46,36	1,79	3,27
4	45,75	2,27	4,54
8	44,96	2,59	6,20
9	44,79	2,89	6,54
10	44,75	3,17	6,64

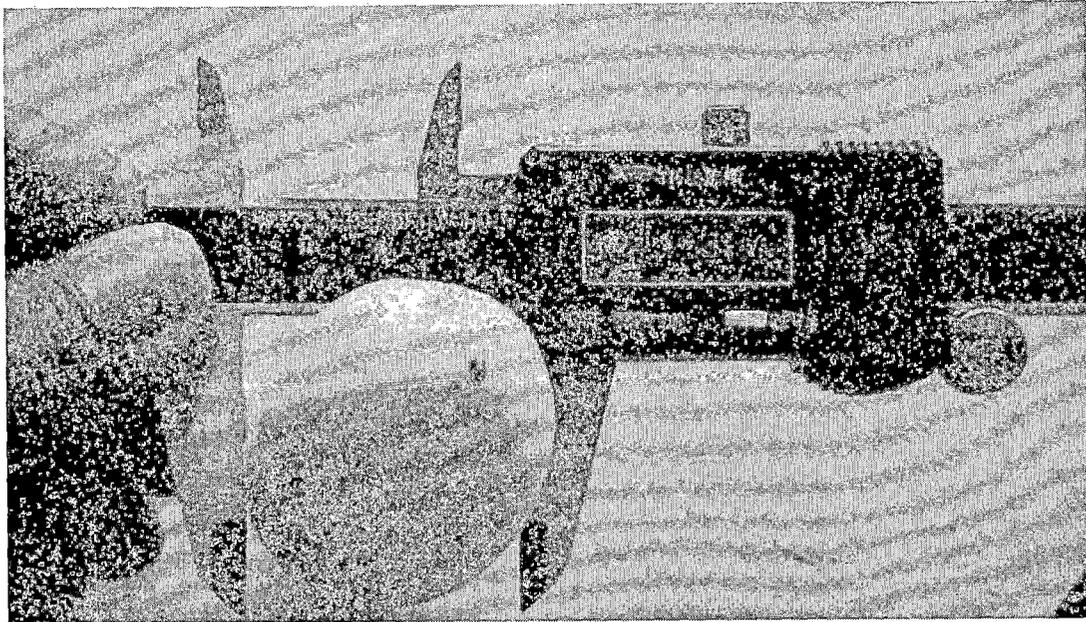
Tabla 2: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=2°C y HR=87,7%

Tiempo(día)	peso medio	Perdida peso	% perdida
0	47,57	0,00	0
1	47,15	0,39	0,88
2	46,96	0,66	1,28
3	46,79	0,89	1,64
4	46,72	1,08	1,79
8	46,43	1,21	2,39
9	46,34	1,32	2,59
10	46,26	1,44	2,74

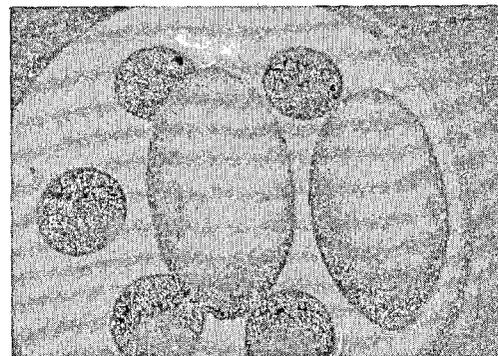
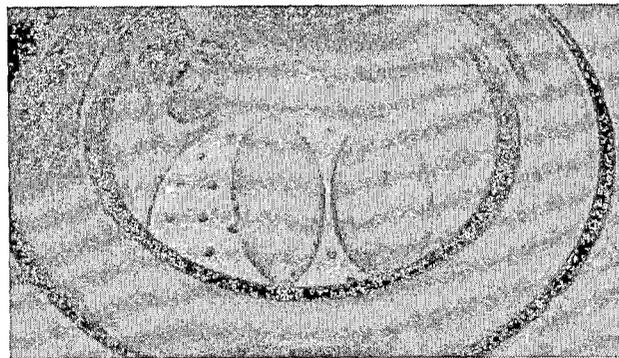
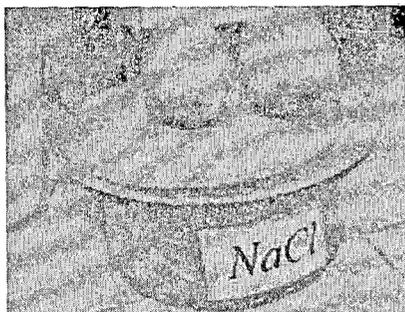
Tabla 3: Pérdida de peso del tumbo serrano almacenado a T=2°C y HR=98,5%

Tiempo(día)	peso medio	Perdida peso	% perdida
0	46,27	0,00	0
1	46,09	0,17	0,39
2	45,98	0,31	0,64
3	45,97	0,40	0,66
4	45,95	0,47	0,70
8	45,91	0,51	0,78
9	45,91	0,55	0,79
10	45,88	0,59	0,84

### ANEXO 3: IMÁGENES

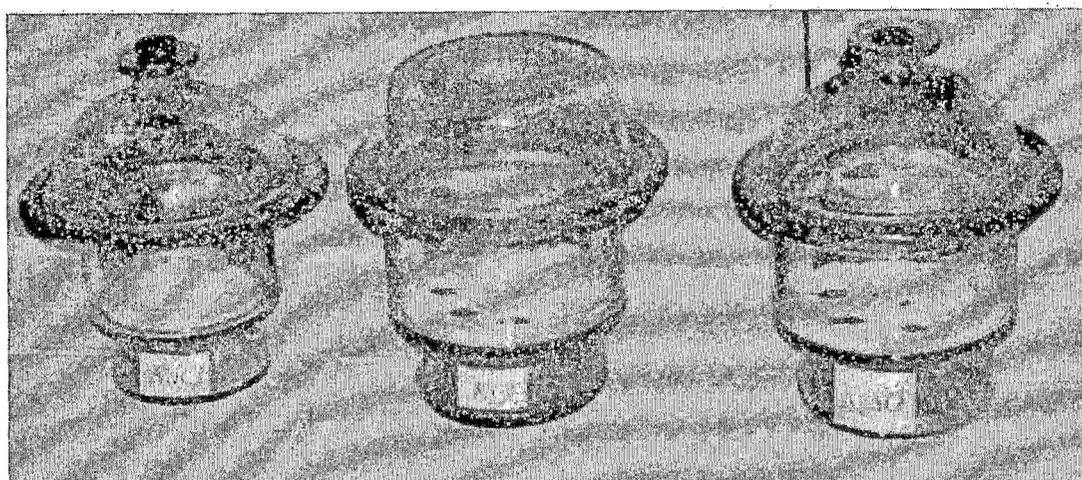


Medición de dimensiones del tumbo

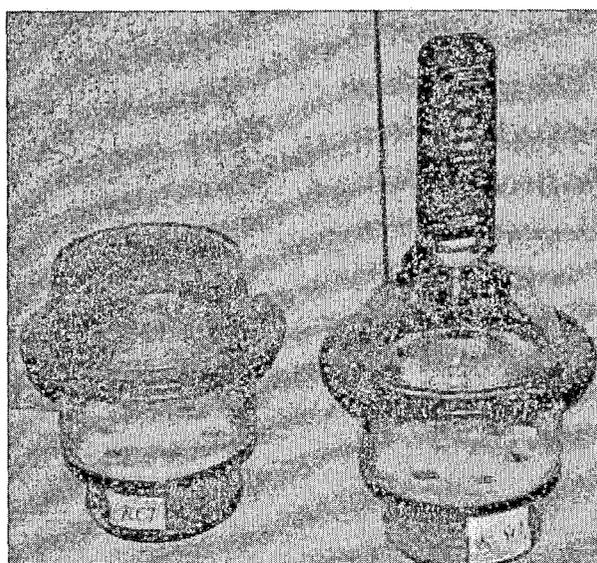




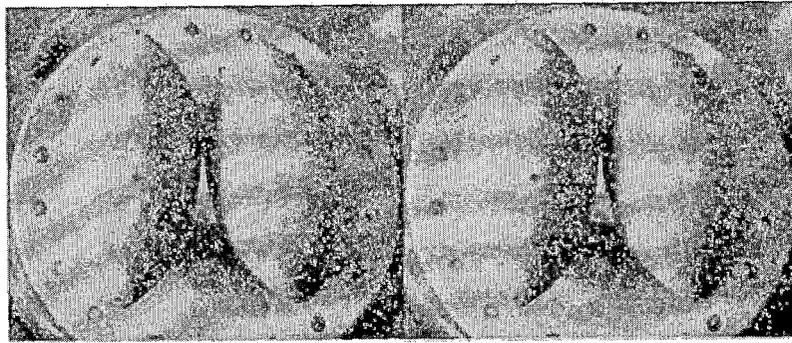
Cámaras de soluciones saturadas



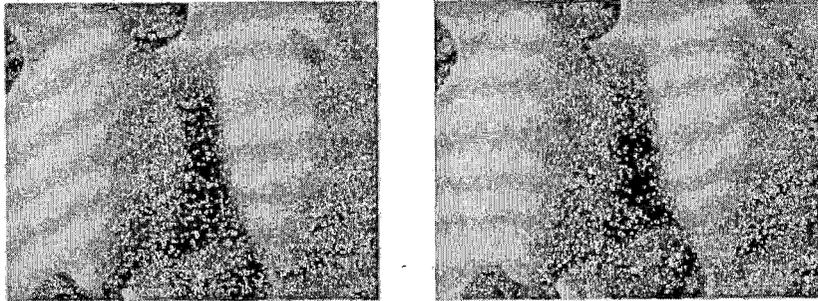
Almacenamiento en cámara de refrigeración a 2°C



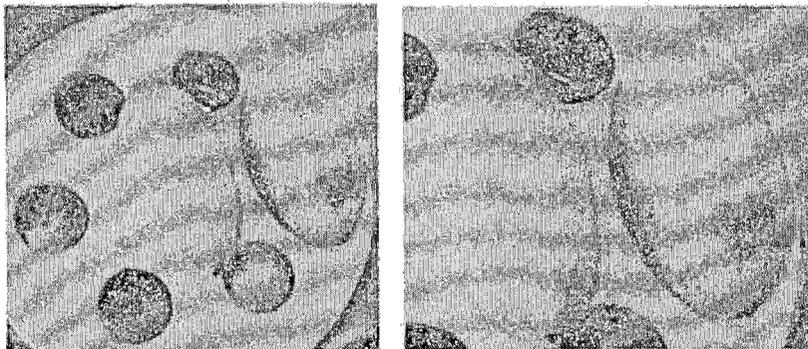
Verificación de Humedad relativa de cámaras



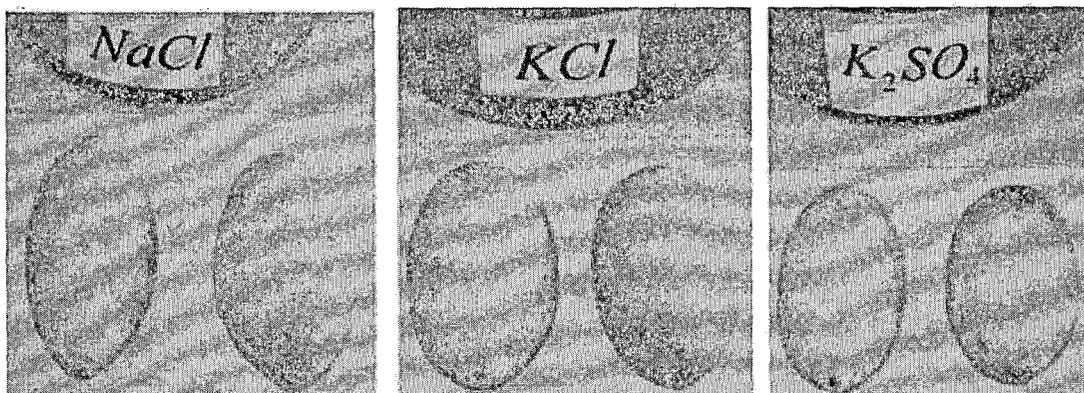
Día 0

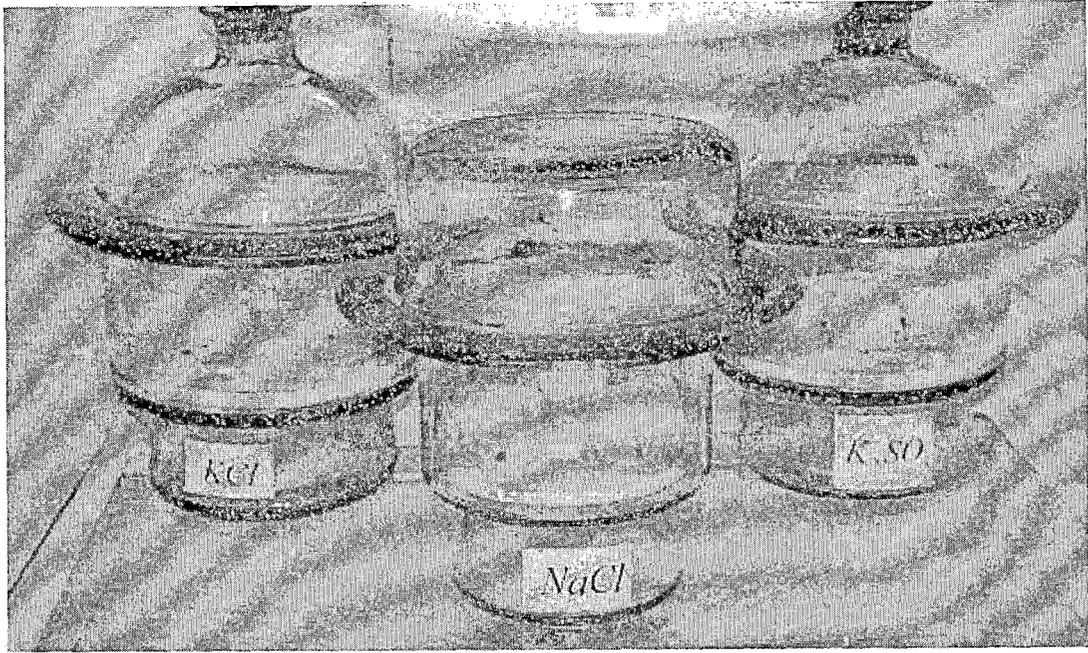


Día 4

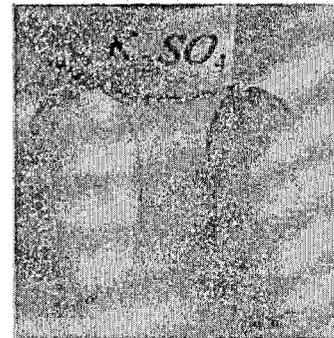
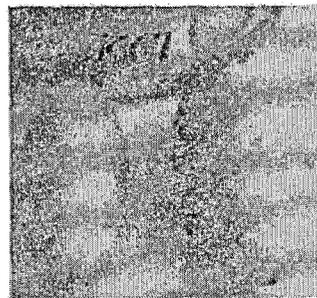
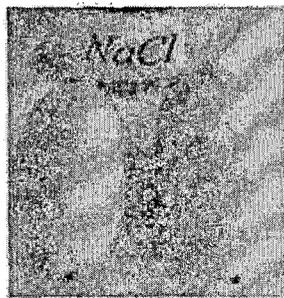
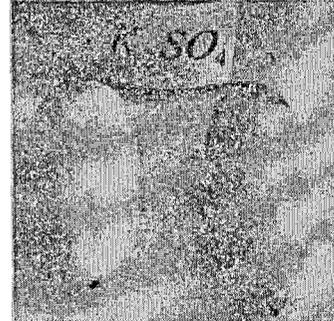
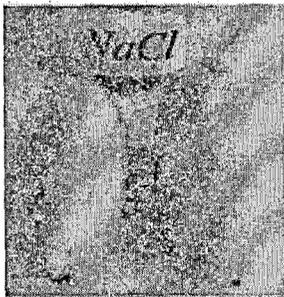


Día 8





TEMPERATURA 10°C DIA 1 18/02



TEMPERATURA 10°C DIA 12

