

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA.
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



EFFECTO DEL CAPUCHÓN DEL AGUAYMANTO (*Physalis peruviana* L.) EN LA
CINÉTICA DE TRANSPIRACIÓN POSTCOSECHA

Tesis para optar el Título Profesional de:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

Bach. AQUINO GALLARDO, Viviana.

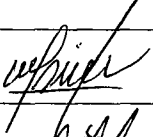
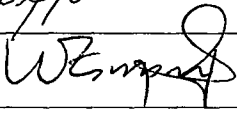
ASESOR : Mg. Sc. Alberto Luis, HUAMANI HUAMANI.

Ayacucho – Perú

2018

ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos, miembros de Jurado de acto público de sustentación de Tesis Titulado **“EFECTO DEL CAPUCHÓN DEL AGUAYAMNTO (*Physalis peruvian L.*) EN LA CINÉTICA DE TRANSPIRACIÓN POSTCOSECHA”** Presentado por la Bachiller en Ingeniería de Industrias Alimentarias Viviana AQUINO GALLARDO, el cual fue expuesto día 24 de Julio del 2018, en merito a la Resolución Decanal N° 052-2018-FIQM-D, damos la conformidad al trabajo y declaramos el documento apto para que pueda iniciar sus gestiones administrativas que conduzca la expedición y entrega del título profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

MIEMBROS DE JURADO	DNI	FIRMA
Ing. Welde Cesar Díaz MALDONADO	78227229	
Mg. Juan Carlos PONCE RAMIREZ	23008577	
Mg. Wilfredo TRASMONT PINDAY	07560082	

DEDICATORIA

Con cariño y gratitud a mi Madre

por su amor, esfuerzo y sacrificio.

A mi hermana Beatriz, y a mi eterno hermano

Edgar (Q.E.P.D), por alentarme y apoyarme

siempre y darme la posibilidad de ser una

profesional.

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga en especial de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias por brindarme toda la base científica para poder culminar con la tesis de investigación.

A mi asesor, Ing. Alberto Luis Huamaní Huamaní por su apoyo constante, orientación profesional en la planificación, ejecución y culminación de la presente tesis.

Al Ingeniero Donato Conde Tomaylla por su apoyo incondicional y esmero en la ejecución de la Tesis realizada en dicho laboratorio.

El más grato de los agradecimientos a DIOS por iluminarme en todo momento y por rodearme de todas aquellas personas que me ayudaron e hicieron posible culminar mis estudios universitarios.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
4.1 AGUAYMANTO	4
4.1.1 Composición química	7
4.1.2 Valor nutritivo y propiedades funcionales.....	8
4.2 TRANSPIRACIÓN EN POSCOSECHA	9
4.2.1 Factores externos o medio que rodea al producto.....	13
4.2.2 Producto	17
4.2.3 Efecto de la transpiración en la calidad poscosecha del fruto	21
4.3 CINÉTICA DE TRANSPIRACIÓN.....	22
4.3.1 Tasa de pérdida de peso.....	22
4.3.2 La intensidad o tasa de transpiración.....	23
4.3.3 Tasa de pérdida de peso.....	24
4.3.4 Coeficiente de transpiración (valor K)	25
4.3.5 Desarrollo de modelo de transpiración semi-empírica validado	26
4.3.6 Determinación de humedad y pérdida de peso.....	27
4.3.7 Modelo de Crank (1975) caso de formas planas	28
4.3.8 Modelo de Weibull	30
4.4 VIDA ÚTIL	31
CAPITULO III.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS	33

3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	33
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	33
3.2.1	Población.....	33
3.2.2	Muestra	33
3.3	MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS.....	34
3.3.1	Materiales.....	34
3.3.2	Reactivos.....	35
3.3.3	Equipos	35
3.4	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	35
3.4.1	Procedimiento experimental para medición de transpiración.....	36
3.4.2	Procedimiento experimental de medición de respiración	37
3.4.3	Contenido de ácido ascórbico	40
3.4.4	Procedimiento experimental para estimar Vida útil.....	40
	CAPITULO IV.....	47
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1	MEDICIÓN DE TRANSPIRACIÓN	47
4.2	MEDICIÓN DE RESPIRACIÓN	49
4.3	VARIACIÓN DE VITAMINA C.....	52
4.4	VIDA ÚTIL	54
4.4.1	Para el aguaymanto sin capuchón.....	54
4.4.2	Para el aguaymanto con capuchón.....	57
	CONCLUSIONES.....	62
	RECOMENDACIONES	63
	CAPITULO VII.....	64
	BIBLIOGRAFÍA.....	64
	ANEXO	71

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1. Contenido nutricional del fruto de aguaymanto (100g de parte comestible)	8
Tabla 2- El efecto de reducir la humedad relativa y presión de vapor del aire y temperatura sobre la diferencia de presión de vapor (mbar).	14
Tabla 3. El efecto de temperatura y humedad relativa sobre la presión de vapor de agua. .	15
Tabla 4. Pérdida fisiológica de peso que afecta la calidad comercial en vegetales.....	21
Tabla 5. Coeficientes de transpiración (k) (mg/ kg/ s / MPa) de algunas frutas y verduras.	26
Tabla 6. Diseño escalonado para el muestreo del Diseño escalonado	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Figura 1. Frutos del aguaymanto.....	5
Figura 2. Metodología experimental a seguir.....	36
Figura 3. Esquema del sistema para medir la respiración de frutas	37
Figura 4. Porcentaje de pérdida de peso del aguaymanto con capuchón y sin capuchón, almacenado a temperatura (18°C) y humedad relativa promedio ambiental (79%).	47
Figura 5. Respiración del fruto de aguaymanto a condiciones ambientales de almacenamiento, muestras con capuchón y muestras sin capuchón.....	50
Figura 6. Variación de vitamina C, en el fruto de aguaymanto a condiciones ambientales de almacenamiento, muestras con capuchón y muestras sin capuchón.....	53
Figura 7. Función Lineal de Weibull, para frutos de aguaymanto con capucho, almacenada al medio ambiente.....	55
Figura 8. Función Lineal de Weibull para frutos de aguaymanto sin capuchón, almacenada a medio ambiente.....	57

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo general, evaluar el efecto protector del capuchón de aguaymanto en la transpiración postcosecha del fruto de aguaymanto, durante el almacenamiento a condiciones ambientales (18°C de temperatura y de 79% de HR). Para ello se usó como muestra testigo el aguaymanto sin capuchón y como tratamiento el aguaymanto con capuchón. Durante el almacenamiento se evaluaron los cambios fisiológicos como la transpiración del fruto, la respiración y la variación de la vitamina C. Como complemento se determinó la vida útil del fruto de aguaymanto teniendo en cuenta los cambios microbiológicos. Obteniéndose como resultado: para la transpiración la pérdida de peso al límite de 6% en frutas, fueron de 17 días para muestras de aguaymanto con capuchón y 7 días sin capuchón respectivamente; la tasa de respiración en el tiempo de 6 días de almacenamiento fue de 300 mg CO₂/kg-día para muestras de aguaymanto con capuchón y 380 mg CO₂/kg-día sin capuchón respectivamente; la pérdida de vitamina C fue de 3.92% en aguaymanto con capuchón y 14.28% sin capuchón respectivamente; la vida útil fue de 31.26 días para muestras de aguaymanto con capuchón y 6.14 sin capuchón respectivamente. Como conclusión podemos afirmar que el capuchón tiene efecto protector sobre la transpiración, respiración, pérdida de vitamina C y prolongación de tiempo de almacenamiento.

Clave: *Physalis peruviana*, transpiración, Weibull.

INTRODUCCIÓN

El aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) es una especie perteneciente a la familia Solanaceae, los frutos son bayas apetecidas por su sabor y también por sus propiedades funcionales y medicinales (Ramadan (2011); Puente *et al.* (2011)). Fischer *et al.* (2011) reportan que el fruto de aguaymanto se destaca por su alto contenido en antioxidantes (ácido ascórbico y provitamina A), fósforo, hierro, proteína y fibra.

El aguaymanto es una de las pocas especies que presentan frutos que se forman y permanecen dentro del capuchón durante todo su desarrollo (Fischer *et al.*, 2014), situación que indica la gran importancia que tiene el cáliz durante la pre y poscosecha del fruto. El capuchón protege al fruto de condiciones climáticas extremas (sol, frío, granizo), daños mecánicos, enfermedades, insectos y aves (Fischer *et al.*, 2014). El capuchón se ajusta muy bien a las nuevas tendencias de los mercados que apuntan hacia el uso de empaques reciclables o biodegradables (García *et al.*, 2014).

Existen pocos estudios que se han realizado sobre el efecto del capuchón en el comportamiento de la transpiración a condiciones ambientales y su evaluación del efecto protector; el uso de empaques naturales en alimentos, sería una alternativa de solución al problema de protección del producto y contaminación ambiental. Al respecto (Balaguera-López *et al.*, 2014), evaluaron papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia, concluyendo que la presencia del cáliz en los frutos de uchuva garantiza un mejor comportamiento poscosecha. El capuchón disminuyó significativamente la producción de etileno en comparación con frutos sin capuchón, como consecuencia, la pérdida de peso, de firmeza y de acidez total titulable fue menor. En frutos con

capuchón, el cambio de color fue más lento al igual que la acumulación de sólidos solubles totales y la relación de madurez.

Lanchero *et al.* (2007) evaluaron el uso de empaques, concentraciones de gases para atmósfera modificada activa en frutos de uchuva con cáliz y sin cáliz, durante 4 semanas de almacenamiento a 7°C, los resultados indicaron que los frutos con cáliz presentaron mayor concentración de sólidos solubles totales, pH y acidez total titulable pero menor firmeza. (Villamizar *et al.*, 1993) almacenaron frutos de aguaymanto a 6 y 18°C, determinaron que la tasa respiratoria del fruto sin cáliz llega a ser 2.9 veces superior a la del fruto con cáliz, mientras que la conservación poscosecha fue de 20 y 30 días, siendo mayor para frutos con capuchón. (García *et al.*, 2014), mencionan que para la conservación del aguaymanto con capuchón es recomendable mantenerla en ambientes de baja humedad relativa (60-70%), mientras que en el caso del aguaymanto sin capuchón la condición es opuesta pues es recomendable mantenerla en ambientes de alta humedad (90-95%) para evitar la deshidratación de los frutos.

La transpiración se debe a la interacción compleja entre la evaporación de la humedad en la superficie del producto como resultado de la diferencia de presión de vapor de agua y también debido a la actividad metabólica del producto (Song, Vorsa, & Yam, 2002).

Sin embargo, aún faltan estudios detallados que permitan conocer con más exactitud el efecto del capuchón en el comportamiento fisiológico del aguaymanto. Este estudio aporta un enfoque integrado que implica cambios físicos, fisiológicos (Respiración) que también incorpora la evaluación de compuestos promotores de la salud (ácido

ascórbico), complementando la vida útil mediante las enfermedades patológicas. Este enfoque es un intento de dar una visión más holística de los cambios producidos en el fruto de aguaymanto.

Objetivo general

Determinar el efecto potencial protector del capuchón de aguaymanto en la cinética de transpiración postcosecha.

Objetivos específicos

1. Determinar la cinética de transpiración postcosecha del aguaymanto con capuchón y sin capuchón bajo las condiciones de almacenamiento ambiental de temperaturas y humedades relativas.
2. Evaluar la respiración de aguaymanto con capuchón.
3. Evaluar el comportamiento de vitamina C durante el almacenamiento.
4. Estimar la vida útil del aguaymanto por el método probabilístico.

CAPITULO II.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 AGUAYMANTO

El aguaymanto (*Physalis peruviana L.*), un miembro del género *Physalis* y la familia de plantas Solanaceae, produce frutos comestibles (Mokhtar *et al.*, 2018). Es una planta arbustiva, erecta y perenne que crece continuamente (de 1.0 a 1.5 m de altura, hasta 2 m de altura cuando las plantas son estacadas) (Álvarez-Flórez *et al.*, 2017). Su origen la "región de los Andes", se cultiva para la producción comercial en algunos otros países de América Latina y en Sudáfrica. Colombia ha sido considerada como el mayor productor seguido de Sudáfrica. La fruta de aguaymanto, una de las frutas tropicales más prometedoras, contiene un alto nivel de algunos compuestos bioactivos como las vitaminas A y C, los minerales y los carotenoides (Ramadan & Mörsel, 2004). En Egipto, el aguaymanto (llamado Harankash) se cultiva en diferentes regiones principalmente para consumo en fresco, pero recientemente se ha explotado cada vez más en algunos alimentos industrialmente procesados como mermeladas, pasas, zumos y otros productos (Puente *et al.*, 2011).

El fruto del aguaymanto tiene numerosos nombres comunes según el país o regiones, como grosella espinosa de cabo (Sudáfrica), bayas de inca, bayas aztecas, bayas de oro, cerezas de tierra, cerezas de tierra africana, cerezas de tierra peruanas, cerezas peruanas, pokpok (Madagascar), (Hawai), rasbhari (India), poha aguaymanto (Perú), uvilla (Ecuador), uchuva

(Colombia), harankash (Egipto), amur en jaula (Francia, francés para el amor en una jaula), y a veces simplemente physalis (Reino Unido) (Afsah, 2015).

El fruto es una baya pequeña, anaranjada y jugosa (4 - 10 g) protegida por un cáliz (una cáscara de papel), y contiene numerosas semillas pequeñas (Puente *et al.*, 2011) .Durante la maduración, el color de la fruta cambia de verde a naranja debido a la descomposición de la clorofila y la acumulación de carotenoides, y su tamaño y peso aumentaron linealmente con el desarrollo de la fruta (Fischer & Martinez, 1999a). El cáliz (o cáscara) encierra completamente la fruta madura, crece como un órgano de papel y similar a un blader durante el desarrollo de la fruta y es una protección contra insectos, pájaros, enfermedades y radiación solar (Fischer & Lüdders, 1997).

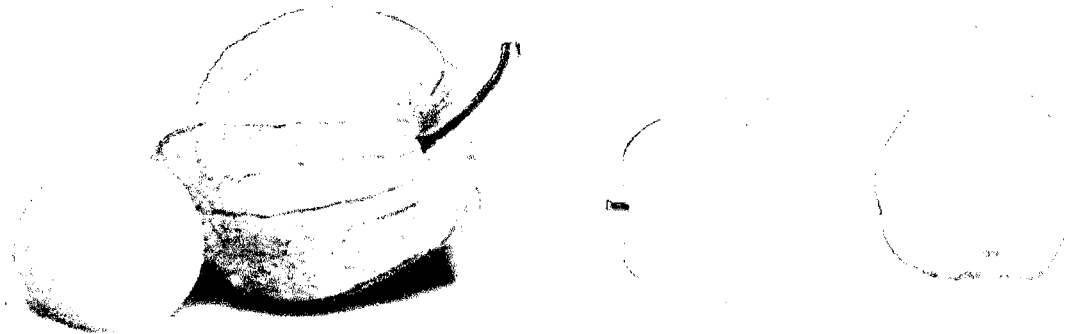


Figura 1. Frutos del aguaymanto.
Con capuchón y sin capuchón.

El fruto del aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) es una fruta climatérica caracterizada por una baja tasa de producción de etileno y su maduración está regulada por el etileno. Según Valdenegro *et al.* (2012). El etileno desempeña un papel importante en el proceso de maduración de la fruta climatérica (Abeles *et al.*, 1993), iniciando y mejorando los

cambios relacionados con la maduración, incluyendo la reducción de la firmeza de la pulpa, el aumento de sólidos solubles, la mejora del sabor y la producción de etileno autocatalítico.

El fruto del aguaymanto son bayas semilleras globosas encerradas en un capuchón o cáscara inflada, parecida a una vejiga (Trincherro *et al.*, 1999). El capuchón asume una cierta función protectora: las bayas con capuchón expandido intacto contienen aire, reducen el peso específico, son menos propensas a la manipulación y tienen una mayor vida útil, probablemente debido a la protección mecánica y química (Baumann & Meier, 1993).

El capuchón juega un papel dominante en la producción y en la translocación de carbohidratos, principalmente de la sacarosa. Con su eliminación, el desarrollo del fruto es más lento, lo cual se indica por los contenidos mayores de almidón. Así, el capuchón tiene, no solamente, una función protectora, sino que también, es una fuente importante para los asimilados, especialmente en la etapa temprana del crecimiento del fruto. La disminución en el contenido de sacarosa en las hojas a partir de la mitad del desarrollo del fruto podría ser debida a una mayor translocación desde la hoja al fruto (Fischer & Lüdders, 1997).



Figura 2 : Aguaymanto con capuchón y sin capuchón.

4.1.1 Composición química

Ramadan and Mörsel (2004), reportan el perfil nutricional del aguaymanto, como la siguiente composición: proteína de 0.05 y 0.3%, lípidos de 0.15 y 0.2%, carbohidratos de 19.6%, fibra de 4.9% y cenizas 1%.

Fischer and Martínez (1999), mencionan que la fruta, la pulpa y el jugo de aguaymanto presentan un alto contenido de azúcares principalmente sacarosa, glucosa y fructosa, de vitaminas A, B y C minerales como hierro, calcio y fósforo, además de ácidos orgánicos entre los que destacan el cítrico (predominante), seguido del málico y oxálico y con un alto contenido de tocoferoles en el aceite de la pulpa y piel del aguaymanto (8.6% del total de lípidos) y un contenido significativo de beta-caroteno con presencia de Fito esteroides en una fruta completa y semillas.

Con una buena cantidad de hierro, fósforo y carbohidratos, esta pequeña fruta de rico sabor y aroma concentra gran cantidad de antioxidantes, lo que ayuda a minimizar el envejecimiento celular y la aparición del cáncer. Además, se caracteriza por ser una excelente fuente de provitamina A, con concentraciones que pueden llegar a las 3000 UI (6 veces más que los tomates) y vitamina C con niveles de aproximadamente 43 a 50 mg, muy cercano a las cantidades presentes en la naranja. Posee algunas del complejo de vitamina B (tiamina, niacina y vitamina B₁₂). El contenido de proteína (0.3%) y fósforo (55%), excepcionalmente altos, son indispensables para el crecimiento, desarrollo y correcto funcionamiento de los diferentes órganos humanos. Su consumo es recomendado para personas con diabetes de todo tipo y durante el tratamiento de las personas con problemas

de la próstata, gracias a sus propiedades diuréticas. Además, es utilizada como tranquilizante natural por su contenido de flavonoides. Rica en vitamina C (alto contenido de ácido ascórbico) (Fischer and Martinez 1999),

Tabla 1. Contenido nutricional del fruto de aguaymanto (100g de muestra)

Contenido	(%)
Agua (%)	79.8
Proteína (g)	1.9
Grasa (g)	0.0
Carbohidratos	17.3
Fibra (g)	3.6
Cenizas (g)	1.0
Calcio (mg)	10.55
Fosforo (mg)	37.9
Hierro (mg)	1.24
Ac. Ascórbico (mg)	43

Fuente: (Repo-Carrasco *et al.*, 2010)

4.1.2 Valor nutritivo y propiedades funcionales

El fruto de aguaymanto, es una fruta exótica que atrae gran interés debido a sus propiedades nutricionales y funcionales. Ha sido ampliamente utilizado en la medicina tradicional para tratar diversas enfermedades (Arun & Asha, 2007), y sus propiedades diuréticas, antiinfecciosas y antiparasitarias se han atribuido a su fruto (Mayorga *et al.*, 2001).

Los frutos, que están contenidos dentro del capuchón, se caracterizan por abundantes cantidades de vitamina C, vitamina A, complejos de vitamina B, minerales, tocoferoles y carotenoides (Ramadan, 2011). Estudios recientes también han determinado su contenido

fenólico, contenido de ácido ascórbico y propiedades antioxidantes, que se ven afectados por el cultivar, el tiempo de cosecha y el estado de madurez (Bravo *et al.*, 2015). Como se señala en la literatura, el aguaymanto podría convertirse en una fruta de particular interés para la industria alimentaria (Ramadan, 2011).

La fruta también se utiliza en la medicina popular para la prevención y el tratamiento de la pterigión, como expectorante, diurético y antihelmíntico, para el tratamiento de la diabetes, la albuminuria y la tos ferina, y para fortalecer los dientes y prevenir la caries dental (Bernal *et al.*, 2016). Según los usuarios, el consumo diario de frutas crudas de *Physalis* peruviana ayuda a mantener niveles estables de glucosa en sangre (Rey *et al.*, 2015).

Los extractos contienen cantidades pequeñas pero variables de ingrediente activo (s) y grandes cantidades de compuestos secundarios (sales orgánicas e inorgánicas, ácidos y bases orgánicas, saponinas, polifenoles, taninos, azúcares, polisacáridos, etc.), que juntos, tienen una influencia significativa en su apariencia, creando la necesidad de que el extracto se adapte a una forma de dosificación (Bernal *et al.*, 2016).

El fruto de aguaymanto es una fruta exótica que se valora debido a su alta actividad antioxidante y contenido fenólico (Dag *et al.*, 2017).

4.2 TRANSPIRACIÓN EN POSTCOSECHA

La transpiración también es definida como el proceso más importante de pérdida de agua de frutas y verduras frescas. Sin embargo, en la mayoría de los casos citados de estimación de

la transpiración, la respiración no se considera un mecanismo autónomo de pérdida de agua, sino que se supone que la contribución de la respiración a la pérdida total de agua es muy pequeña en comparación con la derivada del déficit vapor de agua (Xanthopoulos *et al.*, 2017).

La transpiración es la principal causa de la pérdida de agua de las frutas y vegetales ocasionando pérdidas de peso, deterioro en la apariencia (marchitamientos y arrugamientos), disminución de firmeza (ablandamiento, pérdida de turgencia), cambios en la calidad nutricional, además de una mayor susceptibilidad a determinadas alteraciones tanto fisiológicas como patológicas (Mishra & Gamage, 2007).

Los productos hortícolas frescos son productos altamente perecederos, ya que permanecen activos metabólicamente incluso después de la cosecha. Los productos frescos continúan perdiendo agua debido a la transpiración y el proceso de respiración. Esta pérdida de agua generalmente se asocia con pérdidas económicas, ya que causa una disminución en el peso comercial debido a su marchitez del producto (Bovi *et al.*, 2016).

Las frutas son productos agrícolas frescos caracterizados por un alto contenido de humedad (85 a 95%) que los hace propensos a la pérdida de agua y por lo tanto perecederos durante el almacenamiento en frío sin envasar. La pérdida de agua ocurre después de la cosecha, impulsada por los mecanismos de transpiración y respiración, pero a diferencia de la planta madre, no puede ser reemplazada desde el sistema de raíz y suelo. Las pérdidas posteriores a la cosecha que se originan de esta pérdida de agua causan degradación visual, pérdida de

firmeza y pérdida de succulencia debido a la marchitez, que están asociadas con la pérdida comercializable (Xanthopoulos *et al.*, 2017).

Según Ben (1987), la pérdida de masa fresca del 3 a 10% es suficiente para iniciar la marchitez y hacer que los productos sean inutilizables. Para extender la vida útil de productos perecederos, la tasa de pérdida de agua debe ser controlada. Por lo tanto, se deben aplicar envases apropiados, depilación con cera y condiciones de almacenamiento óptimas (temperatura y humedad relativa) para prolongar la vida útil de los productos agrícolas tanto frescos como recién cortados.

Según Veraverbeke *et al.* (2003) la transpiración implica el transporte de agua en forma de líquido y vapor desde los espacios intercelulares a la cutícula, solubilización y difusión de las moléculas de agua en y a través de la membrana cuticular y desorción de agua en la superficie externa del producto. La tasa de transpiración está influenciada por factores intrínsecos como la relación superficie-volumen o superficie-masa, lesiones superficiales, características morfológicas y anatómicas (cera cuticular, grietas, lenticelas, etc.). así como la etapa de madurez y factores extrínsecos como la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad (Xanthopoulos *et al.*, 2017).

La naturaleza compleja de la pérdida de agua durante el manejo y almacenamiento postcosecha, de la interacción entre la evaporación de la humedad que se produce en la superficie del producto como resultado de los déficits de vapor de agua y la actividad respiratoria concurrente. La transpiración ha sido bien aceptada como uno de los procesos fisiológicos críticos en frutas y verduras frescas. La tasa de transpiración durante el manejo

y almacenamiento postcosecha está influenciada por factores intrínsecos como la relación superficie-volumen o superficie-masa, lesiones en la superficie, características morfológicas y anatómicas (cera cuticular, grietas, lenticelas, estomas, etc.), así como como etapa de madurez y factores extrínsecos tales como temperatura, humedad relativa, velocidad del aire (Sastry & Buffington, 1983). La transpiración se debe a la interacción compleja entre la evaporación de la humedad en la superficie del producto como resultado de la diferencia de presión de vapor de agua y también debido a la actividad metabólica del producto (Song *et al.*, 2002).

La transpiración es la pérdida de agua en estado de vapor a través de la cutícula, estomas o lenticelas del área expuesta al aire según el producto. Esta pérdida de agua es de gran importancia, porque ella es responsable en gran parte de la presentación del producto; cuando la transpiración ha sido entre 5 y 8% en el vegetal se hace evidente la pérdida de su turgencia, demerita su calidad y su valor comercial para un mercado de productos frescos. 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 e incrementa el deterioro de la vida útil del producto. Las formas o tipos de transpiración son:

- **Transpiración estómic:** todos los órganos y tejidos de la planta que contengan estomas, de acuerdo con las condiciones que determinen la apertura de dichas estructuras de intercambio gaseoso con el aire.
- **Transpiración cuticular:** evaporación del agua desde las células epidérmicas, a través de la cutícula que las recubre y de acuerdo con el grado de desarrollo de dicha cutícula.

- **Transpiración Lenticelar:** evaporación a través de las lenticelas, en las frutas y tallos lignificados.

4.2.1 Factores externos o medio que rodea al producto

El control de la temperatura y la modificación de la atmósfera son factores importantes para prolongar la vida útil de un producto (Fonseca *et al.*, 2002). Sin embargo, además de estos dos factores, el control del almacenamiento o la humedad relativa en el paquete (HR) es de importancia crítica (Tano *et al.*, 2007). Entre los factores externos que afectan la transpiración del fruto se encuentran las variables meteorológicas que afectan la transpiración de la fruta. Predominantemente, estos son los que contribuyen al déficit de presión atmosférica (DPV), es decir, la temperatura y la humedad relativa.

a) Temperatura

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%.

b) Déficit de presión de vapor (DPV)

DPV es un término que describe la fuerza impulsora de la pérdida de agua del producto al medio ambiente. El DPV aumenta al aumentar la temperatura y disminuir la humedad relativa. El cuadro psicrométrico ofrece una representación gráfica de la relación entre la temperatura, la HR y la presión de vapor de agua. Por lo tanto, si se conoce la temperatura del producto y se supone que la humedad relativa es del 100% (saturada), se puede determinar la presión de vapor. Del mismo modo, la presión de vapor (Pv) de la atmósfera se puede determinar usando la temperatura y la HR. La diferencia entre estos dos valores es el DPV (Tablas 2 y 3).

Tabla 2- El efecto de reducir la humedad relativa y presión de vapor del aire y temperatura sobre la diferencia de presión de vapor (mbar).

HR(%)	PV aire (mbar)	DVP(mbar)
95	11.67	0.61
85	10.44	1.84
75	9.21	3.07
65	7.98	4.3
55	6.75	5.53
45	5.53	6.75

Fuente: calculado usando <http://www.sugartech.co.za/psychro/index.php>

Tabla 3. El efecto de temperatura y humedad relativa sobre la presión de vapor de agua.

Temperatura (°C) (°F)	Presión de vapor (mbar)		DPV (mbar) a 90%HR
	Producto 100%HR	Aire 90% HR	
0(32)	6.11	5.5	0.61
10(50)	12.28	11.05	1.23
20(68)	23.39	21.05	2.34
30(86)	42.46	38.21	4.25

Fuente: Calculado usando <http://www.sugartech.co.za/psychro/index.php>

Déficit de presión de vapor matemáticamente viene definido por la temperatura de almacenamiento y la humedad relativa en el almacén frío. Para efectos prácticos se puede suponer que la presión de vapor del agua sobre el alimento es similar a la de saturación con 100% de humedad relativa (en la práctica es ligeramente inferior) y se puede calcular, para una temperatura dada, mediante la relación:

$$DPV = \frac{(100 - HR) * Pv}{100} \tag{1}$$

Dónde:

DPV = Pvs - Pva (kPa),

Pvs : presión de vapor de agua en la superficie del producto

Pva : presión de vapor de agua del aire circundante.

Pv: Presión de vapor del aire atmosférico

100: Humedad relativa dentro de la fruta 100%

La pérdida de masa es mayor a 70% y 20 °C: DPV = 0.662 ± 0.01 kPa

La pérdida de masa es inferior a 92% y 20 °C: DPV = 0.061 ± 0.002 kPa

Presión de vapor del agua pura (Pa)

$$P_{v(Pa)} = 100 * \exp \left(27,0214 - \frac{6887}{T(^{\circ}K)} - 5,31 \ln \left(\frac{T(K)}{273,15} \right) \right) \quad (2)$$

La atmósfera que rodea al producto tiene baja humedad relativa (poca cantidad de vapor de agua), la atmósfera tenga muy poca presión de vapor comparada con la presión de vapor del producto. 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”.

c) Composición y movimiento del aire. - Debe vigilarse los cambios de la velocidad del aire a lo largo del día, ya que este factor incrementa la pérdida fisiológica de peso. El incremento de la velocidad del aire de 9.45 m/min a 75.6 m/min duplica la pérdida de peso en la uva emperador almacenada durante 70 días a 0°C. Sin embargo, si el aire circulado tiene una alta HR y la temperatura es baja, hay una reducción de pérdida de agua. Las corrientes de aire eliminan el aire húmedo que rodea al producto, secan al aire circundante, se produce evaporación del agua.

4.2.2 Producto

Son aquéllos a los que se relaciona directamente con la naturaleza y características de la fruta. La cantidad de peso que las frutas pierden por transpiración también depende de: Los factores internos son: la especie o variedad, el tipo de tejido, su relación área-volumen y su estado de sanidad integridad.

a) Especie o variedad

Cada especie o variedad tiene por naturaleza un ritmo característico de transpiración a condiciones ambientales normales. Una fruta carnosa tiene una mayor predisposición a perder agua que un fruto seco.

b) Tejido

Cada **tipo de tejido** en la planta tiene una determinada velocidad de transpiración que obedece a diferencias funcionales y estructurales. Las hojas suelen tener un área superficial mayor al igual que los frutos o vegetales pequeños tienen una relación área volumen muy grande, a mayor relación mayor transpiración.

La edad del tejido, entre más joven mayor será su transpiración. Los productos bien desarrollados tienen su película cerosa bien formada y su cutícula es más impermeable; las verduras son más susceptibles a deshidratación por que han sido cosechadas antes de su madurez fisiológica y su cutícula no está bien formada. Las manzanas se caracterizan por tener una cutícula que las protege contra la deshidratación. La fresa no tiene esta cutícula y

pierde agua más rápidamente además de que su tamaño es mucho más pequeño y tiene mayor superficie expuesta al aire.

El **espesor y la permeabilidad de la cutícula** normalmente está ligado al grado de madurez, a mayor permeabilidad, mayor transpiración. La presencia de vellocidades epidérmicas aumenta la transpiración. Las estomas, su distribución, densidad y características afectan en proporción directa a la transpiración.

En Colombia y en Estados Unidos, los consumidores prefieren los frutos sin cáliz, mientras que las exportaciones a Europa y Canadá se realizan con el cáliz. Debido al hecho de que los requisitos para la exportación a Europa y los Estados Unidos son diferentes; las condiciones especiales en la cosecha, manejo postcosecha y comercialización son necesarios para cada uno de estos dos mercados importantes del mundo (García *et al.*, 2010). Sin embargo, el capuchón no le da mayor valor agregado ni tampoco cumple con los requisitos logísticos de facilitar su transporte, manipulación, conteo, exhibición, ni promueve su venta, pero sí se ajusta muy bien a las nuevas tendencias de los mercados que apuntan hacia el uso de empaques reciclables o biodegradables (García *et al.*, 2010).

c) Tamaño

A mayor tamaño superficial mayor intensidad de transpiración, la relación área volumen del producto nos indica su capacidad de transpiración. El tamaño modifica la superficie expuesta. Cuando aumenta la superficie expuesta al aire aumenta el área a través de la cual puede perder agua y mayor pérdida de ésta. En un mismo volumen a menor tamaño existe

una mayor superficie de exposición. La presencia de una cutícula (cubierta de cera) protege a la fruta contra la pérdida de agua e incluso la retarda.

d) Estado sanidad y lesiones en tejido

El estado de sanidad e integridad del producto. En cuanto más sano este el producto menor es su transpiración. Las heridas, magulladuras o enfermedades aumentan su actividad fisiológica y amplía la superficie de transpiración, al adicionar superficies internas, las que expuestas al aire son muy vulnerables a la deshidratación. Daños y cicatrices sirven como puerta de salida al vapor de agua de las frutas.

e) Estructura y composición del tejido

El tejido vegetal está constituido básicamente por células rodeadas de sustancias pépticas "cimentadoras" que las unen entre sí. De forma simplificada, una célula vegetal típica consta de una pared celular porosa y delgada que rodea un citoplasma, delimitado por una membrana (plasmalema), y una gran vacuola central, rodeada de otra membrana llamada tonoplasto. La membrana celular otorga rigidez y protección a la célula frente a una posible distensión originada por una entrada masiva de agua. La pared no presenta selectividad al transporte de componentes como ocurre con la membrana plasmática y el tonoplasto que controlan el paso de sustancias de un compartimiento a otro. En cuanto a la vacuola, contiene una simple solución de iones inorgánicos, ácidos orgánicos, y azúcares, y puede alcanzar hasta el 90% del volumen de una célula madura. La naturaleza semipermeable de las membranas permite que pequeñas moléculas de agua puedan atravesarla, pero restringen

la transmisión de moléculas de mayor tamaño como los azúcares (Aguilera y Stanley, 1990).

Las propiedades naturales del tejido son un factor determinante en el proceso osmótico. Las estructuras de las membranas y paredes celulares, del nivel de compactación de la estructura celular y de la composición química sobre el comportamiento global del tejido en los procesos osmóticos son causantes de la velocidad de transpiración. La savia vacuolar es responsable de la presión de turgencia de la pared celular, hace que las vacuolas se agranden y presionen unas contra otras impartiendo turgencia y rigidez al tejido celular.

El tamaño modifica la superficie expuesta, cuando aumenta la superficie expuesta al aire aumenta el área a través de la cual puede perder agua y a mayor pérdida de ésta. En un mismo volumen a menor tamaño existe una mayor superficie de exposición.

La presencia de una cutícula (cubierta de cera) protege a la fruta contra la pérdida de agua e incluso la retarda. Las manzanas se caracterizan por tener una cutícula que las protege contra la deshidratación. La fresa no tiene esta cutícula y pierde agua más rápidamente además de que su tamaño es mucho más pequeño y tiene mayor superficie expuesta al aire. Daños y cicatrices sirven como puerta de salida al vapor de agua de las frutas.

f) Efectos fitopatológicos

La HR afecta el desarrollo del peridermo y las propiedades fungistáticas de los tejidos de muchas hortalizas, así como la capacidad de sobrevivencia y patogenicidad de microorganismos.

4.2.3 Efecto de la transpiración en la calidad poscosecha del fruto

La pérdida de agua, es el factor que más contribuye a la pérdida de peso, y para la comercialización de productos por peso, esto tendrá consecuencias económicas. Por ejemplo, una pérdida de peso del 3% para los arándanos puede no afectar la calidad del aspecto, pero para una paleta de arándanos que pesa 500 kg esto representa una pérdida de 15 kg. Si los arándanos se valoran en \$ 10 por kilogramo, al por menor esta pérdida de peso resulta en una pérdida de \$ 150 por pallet. Una pérdida de agua más severa da como resultado una reducción en la calidad del aspecto, que incluye marchitez, menos brillo y flojedad, lo que reducirá el valor de mercado.

Tabla 4. Pérdida fisiológica de peso que afecta la calidad comercial en vegetales

Producto	Pérdida fisiológica de peso (% de peso fresco)	Razón de pérdida comercial
Durazno	11	Encogimiento
Manzana	7	Encogimiento
Pera	6	Encogimiento
Uva	5	Encogimiento

Fuente: Thompsom (1998)

La pérdida de agua también puede afectar la vida útil y la calidad nutricional. El estrés hídrico puede inducir la maduración en la fruta climatérica. Por ejemplo, las bananas tienen una vida verde de aproximadamente 22 días a 20°C y 95% de HR y solo 16 días a la misma temperatura, pero 13% de HR. Las condiciones favorables para la pérdida de agua después de la cosecha producen una pérdida rápida de vitamina C, especialmente en vegetales de hojas (Lee & Kader, 2000).

4.3 CINÉTICA DE TRANSPIRACIÓN

4.3.1 Tasa de pérdida de peso

La transpiración se mide como la pérdida de peso (%) por unidad de presión en el tiempo, se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ perdida\ de\ peso = \frac{Perdida(\%)}{tiempo * DPV} \quad (3)$$

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.

4.3.2 La intensidad o tasa de transpiración

La intensidad de transpiración se mide como la pérdida de peso por unidad de peso y por unidad de tiempo, se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Intensidad de transpiración} = \frac{\text{Pérdida de peso(g)}}{\text{Peso inicial(g)} * \text{tiempo(h)}} \quad (4)$$

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) genera pérdida real de peso del fruto, denominada “pérdida fisiológica de peso”. La transpiración tiene una importante incidencia económica, ya que de este hecho se deriva una pérdida de peso, de apariencia, calidad, textura y contenido nutricional. Este problema puede llegar a ser muy serio en algunos productos hortofrutícolas, desde su cosecha hasta llegar al consumidor por una apariencia poco atractiva y pérdida progresiva de su valor comercial. 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 ocasionando el deterioro del producto.

La tasa de transpiración se evalúa en base a las mediciones de pérdida de peso. La pérdida de peso debida a la respiración se considerará insignificante, en comparación a la transpiración. Según (Xanthopoulos *et al.*, 2014), a 20 °C y 85% de HR, la contribución de la respiración fue inferior al 8% para la pérdida de peso. Esta contribución será inferior al 8% cuando la temperatura de almacenamiento sea < 20 °C.

$$TR_s = \frac{1000(Peso_i - Peso_t)}{t * A_s} \quad (5)$$

La tasa de transpiración se expresará por unidad de área superficial como $mg\ cm^{-2}\ h^{-1}$ (Ecuación 5). y por unidad de masa inicial como $g\ kg^{-1}\ h^{-1}$ (Ecuación 6). y se calculará a partir de los cambios en la masa de los frutos con el tiempo (Xanthopoulos *et al.*, 2014).

$$TR_m = \frac{(Peso_i - Peso_t)}{t * (Peso_i / 1000)} \quad (6)$$

Donde:

TR_m : Tasa de transpiración por unidad de masa inicial del producto en $g\ kg^{-1}\ h^{-1}$

$Peso_i$: Peso inicial (g),

$Peso_t$: Peso en el tiempo t

A_s : Area de superficie del fruto (cm^2).

t: es el tiempo(h)

4.3.3 Tasa de pérdida de peso

La tasa de pérdida de agua de las frutas y verduras se ve afectada por la forma y la estructura del producto, los factores de la planta, así como las condiciones ambientales. Estos factores de planta se cuantifican por el coeficiente de transpiración o el valor K (Tabla 5). La temperatura y la humedad relativa (HR) son las variables ambientales más importantes y afectan el déficit o la diferencia de presión de vapor de agua entre la fruta o

las verduras y su entorno (WVPD o VPD). La tasa de pérdida de agua se puede simplificar y expresar como:

$$\text{Pérdida de peso} \left(\frac{\%}{\text{día}} \right) = k * DPV \quad (7)$$

Dónde: k es el coeficiente de transpiración o el valor k

4.3.4 Coeficiente de transpiración (valor K)

La forma, la estructura de la superficie y la permeabilidad de la piel de las frutas y verduras afectan la pérdida de agua (Becker & Fricke, 1996). El tejido frondoso tiene aberturas naturales, estomas, que permiten el intercambio de gases y la pérdida de agua. Las estomas pueden regular su apertura y cierre en respuesta al estrés hídrico. En frutas como manzanas y peras hay pequeñas aberturas, lenticelas, que funcionan de manera similar a las estomas, pero no pueden regular su apertura y cierre. El intercambio de agua y gas tiene lugar a través de estas lenticelas. Además del tamaño y la densidad de las estomas o lenticelas, otras características de la superficie afectan pérdida de agua, incluyendo cicatrices de tallo, corte de tallos, cortes y arañazos en la piel. Si los pelos en la superficie de los kiwis o los tricomas en los melocotones se rompen, la pérdida de agua aumenta.

La fruta de tomate no tiene estomas o lenticelas y la mayoría del vapor de agua y otros gases se mueven a través de la cicatriz del tallo. Una práctica tradicional en algunas regiones del sur de África es almacenar fruta de tomate al revés, presumiblemente para

reducir la pérdida de agua de la cicatriz del tallo, mientras que las prácticas comerciales incluyen encerar tomates.

Tabla 5. Coeficientes de transpiración (k) (mg/ kg/ s / MPa) de algunas frutas y verduras

Fruta	Coeficiente de transpiración (mg/ kg/ s / MPa)
Manzana	42
Uva	123
Pomelo	81
Limón	186
Naranja	117
Melocotón	572
Pera	69

Fuente: Thompson (1998)

4.3.5 Desarrollo de modelo de transpiración semi-empírica validado

Estimación desarrollada, partir de la ley de difusión de Fick, estimación de la pérdida de agua en productos agrícolas frescos. En el presente estudio, el modelo utilizado por (Caleb *et al.*, 2012) se empleó, lo que explica el efecto de la temperatura sobre el coeficiente de transferencia de masa K_i ; el modelo original se modifica introduciendo un término de tipo Arrhenius para describir este efecto:

$$TR_m = \frac{Peso_i - Peso_f}{t * (Peso_i / 1000)} = k_i' * \exp \left[- \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] * \left(a_w - \frac{HR}{100} \right) \tag{8}$$

Dónde: TRm: Tasa de transpiración ($(g\ kg^{-1}\ h^{-1})$) por unidad de masa inicial,

Peso_i: Masa inicial del producto (g),

Peso_t: Masa del producto en el tiempo t (g),

t : Tiempo de almacenamiento (h),

Ki: Coeficiente de transferencia de masa preexponencial ($g\ kg^{-1}\ h^{-1}$),

A_w: Actividad de agua del producto,

HR: Humedad relativa del aire circundante (%),

E_a: Energía de activación ($J\ mol^{-1}$),

R: Constante del gas ($J\ mol^{-1}\ K^{-1}$),

T: Temperatura del aire absoluta (K)

T_r: Temperatura de referencia (K).

4.3.6 Determinación de humedad y pérdida de peso

Las muestras pesadas al inicio y al final de cada corrida y luego para la determinación de sólidos totales serán secadas en estufa a 105°C (A.O.A.C, 2005) hasta obtener peso constante. Con la información del peso inicial y final y las medidas de sólidos totales se calcularon la humedad inicial y a diferentes tiempos de procesamiento. Todas las mediciones se realizaron por triplicado. Estas determinaciones se realizaron en las muestras frescas. Las Ecuaciones son utilizadas para obtener los valores de humedad inicial y al tiempo t:

$$H_{ini} = \frac{(Peso_{ini} - ST_{ini})}{Peso_{ini}} * 100 \quad (9)$$

$$\%H_t = \frac{(Peso_t - ST_t)}{Peso_t} * 100 \quad (10)$$

Dónde: H_{ini} y H_t corresponden a la humedad inicial y al tiempo t , respectivamente; $Peso_{ini}$ y $Peso_t$ son la masa inicial y al tiempo t de la muestra (kg) y ST_{ini} y ST_t corresponden a los sólidos totales iniciales y al tiempo t (kgST/kg) respectivamente.

El estado hídrico de un tejido representa las condiciones que guarda el agua en función de sus requerimientos fisiológicos, y se expresa como contenido de agua y potencial hídrico. Los niveles elevados de contenido hídrico y alto potencial hídrico, denotan frutos firmes y turgentes (Herppich *et al.*, 2002). El potencial hídrico expresa la cantidad de energía disponible en el agua para hacer un trabajo o una función (Salisbury y Ross, 1994).

4.3.7 Modelo de Crank (1975) caso de formas planas

Crank (1975), presentó diversas soluciones de la ecuación de difusión para diversas formas geométricas y condiciones de contorno iniciales.

- Humedad inicial uniforme $X = X_0$ en $t = 0$, $0 < y < L$;
- Humedad constante en la superficie $X = X_e$ en $y = L$, $t > 0$;
- Humedad máxima en el centro $dX/dy = 0$ en $y = 0$ $t > 0$.

$$\frac{X_t - X_c}{X_0 - X_c} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- (2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (11)$$

Donde:

Xt: Humedad media en el tiempo t (kg agua/kg ms)

Xc: Humedad media critica de marchitez (kg agua/kg ms)

X0: Humedad inicial del fruto (kg agua/kg ms)

Def: Difusividad efectiva del agua (m²/día)

t: tiempo (días)

L: espesor medio del fruto (m)

Para frutos de forma esférico, y asumiendo el encogimiento del fruto como despreciable:

$$\frac{X_t - X_c}{X_0 - X_c} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(n)^2} \exp \left[- (n)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{r^2} \right] \quad (12)$$

Otro modelo bastante utilizado para la descripción de la cinética de secado es el modelo exponencial propuesto por (Lewis, 1921). Este modelo prevé que la tasa de pérdida de agua es proporcional al contenido de agua libre del material de la siguiente forma

$$\frac{X_t - X_c}{X_0 - X_c} = \exp(k * t) \quad (13)$$

4.3.8 Modelo de Weibull

El modelo empírico de Weibull está basado en una función probabilística usada para describir el comportamiento de sistemas complejos variantes (Cunha *et al.*, 2001). Inicialmente se utilizó para predecir fallos por fatiga de materiales. Su utilización en tecnología de alimentos se centra en la descripción de procesos degradativos, ya que la degradación del alimento se puede considerar como un fallo del sistema alimento al someterse a unas condiciones determinadas de estrés (Blasco *et al.*, 2006).

$$\frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \left(-\exp\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha \right) \quad (14)$$

Donde:

X_t : Humedad en base seca en el tiempo t

X_e : Humedad de equilibrio en base seca

X_0 : Humedad inicial

t: Tiempo

β, α : Parámetros del modelo de Weibull

α y β son los parámetros del modelo de Weibull. α es el parámetro de forma y se asimila a un índice de comportamiento del producto durante el secado. A medida que aumenta su valor, disminuye la velocidad inicial del proceso de secado. Si es superior a 1 predice tiempos muertos del proceso y si es igual a la unidad, el modelo presenta una cinética de primer orden.

El parámetro β está relacionado con la cinética del proceso, presentando una relación inversa con la velocidad del mismo (Blasco *et al.*, 2006). El parámetro β engloba el efecto en la cinética de variables como temperatura, velocidad del aire y tamaño de partícula.

4.4 VIDA ÚTIL

La mayoría de las frutas frescas son catalogadas como productos perecederos, por la tendencia inherente a sufrir deterioro fisiológico, presencia de infecciones o enfermedades o por el ataque de plagas; factores que inciden en las pérdidas desde el momento de cosecha, durante su acopio, distribución e incluso luego de adquiridas por el consumidor. La frecuencia de estas alteraciones se incrementa en la medida que el manejo de la fruta no es el adecuado (Alferez *et al.*, 2003).

Por ser una fruta altamente perecedera, el aguaymanto 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 Zambrano *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 vida útil se define como el tiempo durante el cual un producto alimenticio permanece seguro, conserva las características sensoriales, químicas, físicas y microbiológicas

deseadas y cumple con cualquier declaración de etiqueta de datos nutricionales cuando se almacena bajo las condiciones recomendadas (IFST, 1993). Por lo tanto, todos los parámetros anteriores deben tenerse en cuenta al evaluar la vida útil de un producto alimenticio (Hough *et al.*, 2003). La estimación de la vida útil de un alimento fresco puede evaluarse desde una perspectiva del producto y / o del consumidor; una vista de producto está relacionada con cambios que ocurren en la fruta, como cambios microbiológicos, físicos, químicos, bioquímicos, y el punto de vista del consumidor se basa en la evaluación sensorial (Penner, 2012).

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-Hernández *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) .

CAPITULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El proyecto de investigación se realizó en el 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. El proyecto se fundamenta 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.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

Para la presente investigación se trabajó con la población identificada que es la "*Physalis peruviana*".

3.2.2 Muestra

Aguaymanto (*Physalis peruviana*.) ecotipo peruano con un diámetro de 15.1 ± 18 mm, procedente del mercado local de Ciudad de Huamanga.

3.3 MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

3.3.1 Materiales

Para el presente trabajo de investigación se usaron diversos materiales de vidrio como:

- Canastillas plásticas
- Guantes
- Papel filtro
- Papel tissue
- Termómetro
- Higrómetro
- Tubos de ensayo
- Pipeta 10 ml
- Beaker 100 a 200 ml
- Matraz Erlenmeyer
- Luna de reloj
- Gradilla
- Fiola de 50 ml
- Piseta
- Varilla de vidrio
- Embudos

3.3.2 Reactivos

- Cloruro de sodio NaCL
- Cloruro de Potasio KCl
- Sulfato de potasio K₂SO₄
- Ácido Oxálico
- Ácido Ascórbico
- 2-6 DFIF
- Hidróxido de sodio NaOH 0.1 N
- Agua destilada
- Fenolftaleína

3.3.3 Equipos

Como equipos usados se tienen:

- Balanza analítica marca OHAUS, de capacidad 1200g, de sensibilidad 0.001g.
- Espectrofotómetro.

3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

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

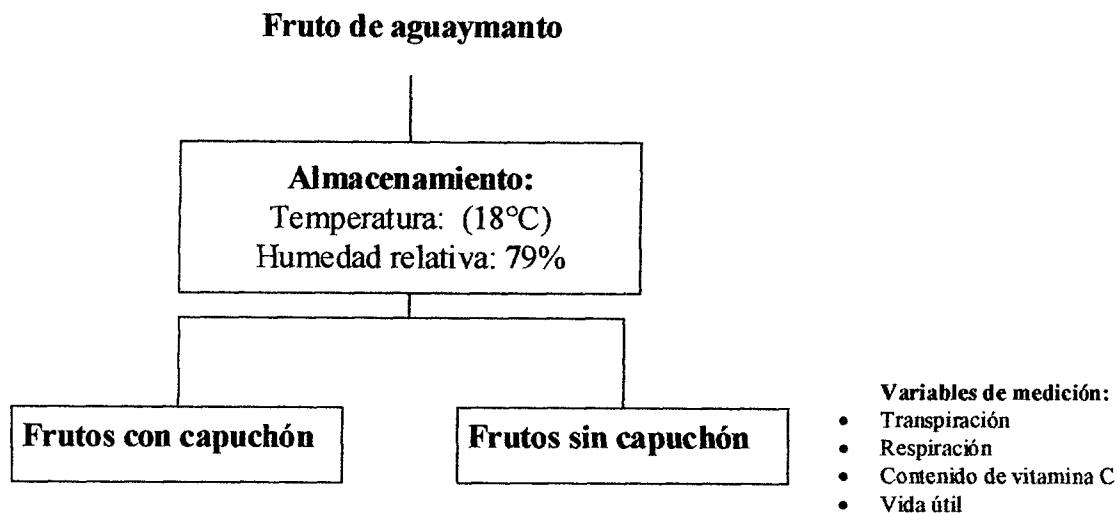


Figura 2. Metodología experimental a seguir

Las variables en estudio son:

- **Variable independiente: Condiciones ambientales** (Temperatura y Humedad relativa de almacenamiento)
- **Variables dependientes:** Comportamiento del fruto del aguaymanto en almacenamiento

Indicadores: Transpiración (Pérdida de peso (%); Respiración (mg de CO₂);
Contenido de vitamina C (mg).

3.4.1 Procedimiento experimental para medición de transpiración

1. Acondicionamiento de muestras a humedades relativas y temperaturas ambientales.
2. Medición de muestras de tamaño uniforme (medio).

3. Colocación de muestras testigo (sin capuchón) y muestras con capuchón al ambiente del laboratorio.
4. Registro de peso en cada tiempo (día) hasta una pérdida de peso aproximadamente de 10%.
5. Proceso de datos experimentales en Excel.
6. Determinación de la función matemática a través del ajuste de la curva de cinética de transpiración.

3.4.2 Procedimiento experimental de medición de respiración

1. Se preparó el siguiente equipo experimental, con las soluciones de reactivos preparados de acuerdo al esquema mostrado en la siguiente Figura 3.

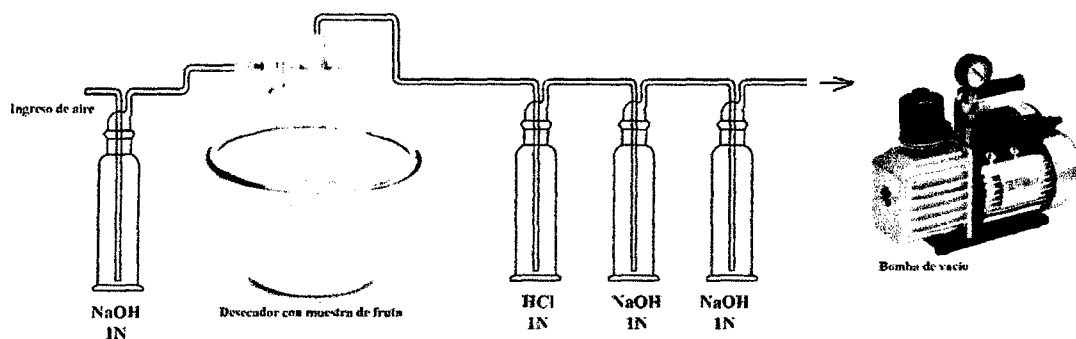


Figura 3. Esquema del sistema para medir la respiración de frutas

2. Fueron estandarizados las soluciones de NaOH y adición los reactivos de NaOH y HCl 1N en un volumen de 150 ml en los tubos como se indica en la Figura 3.
3. Se procedió a pesar los frutos (peso 1) y se colocó dentro del desecador o cabina.

4. Se aplicaron el vacío al sistema para la expulsión del aire que contiene CO_2 en el desecador.
5. Se reposó el sistema por 24 horas.
6. Al finalizar el tiempo se procedió a cerrar con una válvula la entrada del aire ambiental y conectar la bomba de vacío por 5 minutos, para extraer todo el gas de CO_2 .
7. Fueron colocados en los frascos de Erlenmeyer, 15 mL de la solución cloruro de bario al 3%, (por duplicado).
8. Se procedió a retirar alícuotas de 2 ml de los tubos que contienen CO_2 y NaOH y agregaron a los frascos de erlenmeyer que tiene cloruro de bario conteniendo dos gotas de indicador de fenolftaleína. Como la reacción de CO_2 con NaOH es reversible, la función del cloruro de bario es formar carbonato de bario, que precipitará, evitando así la salida de CO_2 .
9. Se tituló cada erlenmeyer con una solución previamente valorada de HCl 0.1N hasta el punto de viraje.
10. Con el volumen gastado de HCl se determinó, a través de un cálculo estequiométrico, la masa de CO_2 liberada por el producto después de 24 horas. El resultado que se expresó en mg de CO_2 / kg de producto calculando de la siguiente forma:

$$M_{CO_2} = \frac{\text{Gasto}_{HCl} (N_{HCl}) 22 V_{\text{tubo}}}{V_{\text{aliquota}}} \quad (15)$$

$$M_{CO_2} = M_{CO_2 \text{ tubo1}} + M_{CO_2 \text{ Tubo2}} \quad (16)$$

$$\text{Tasa de respiración} = \frac{M_{CO_2}}{t(M_{\text{fruta}})} \quad (17)$$

Donde:

M_{CO_2} : Masa del gas carbónico (mg CO_2)

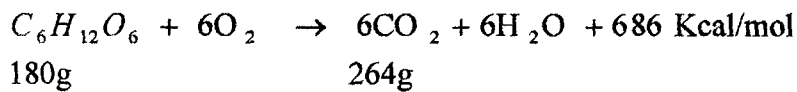
N_{HCl} : Normalidad del HCl utilizado (0,1N) en la titulación de la alícuota

V_{tubo} : Volumen del NaOH restante en el tubo de donde se retiró la alícuota (150 ml es el 1º día)

G_{HCl} : Gasto de HCl en la titulación de la alícuota retirada en el tiempo (ml).

t : Tiempo entre la última retirada de alícuota y la del día (h).

M_{frutos} : Masa de los frutos colocados en el desecador (kg)



$$\text{Pérdida de peso} \left(\frac{g}{kg \ h} \right) = \frac{mgCO_2}{kg \ h} * 10^{-3} * 68 \quad (18)$$

$$\% \text{ pérdida peso} \left(\frac{g}{100g \ h} \right) = \frac{mgCO_2}{kg \ h} * 10^{-6} * 68 \quad (19)$$

3.4.3 Contenido de ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico se determinó mediante el método colorimétrico usando 2,4-dinitrofenilhidrazina (Strohecker & Henning, 1967). El ácido ascórbico se extrajo con ácido oxálico al 0,5%, se filtró y dosificó en el extracto, usando ácido ascórbico como estándar. Los datos se adquirieron a 520 nm en un espectrofotómetro. El análisis se realizó por triplicado, y los resultados se expresaron en mg / 100 g.

Análisis estadístico

Se realizaron el análisis de varianza (ANVA), para un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) para dicho proceso de análisis.

3.4.4 Procedimiento experimental para estimar Vida útil

La estimación de vida útil o vida de anaquel del aguaymanto para cada tratamiento de almacenamiento se proyectó utilizando la distribución probabilística de Weibull. 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 al valor de la aparición visual de colonias de mohos en la superficie del aguaymanto (mínimo 1 colonia de moho), correspondiente al inicio del deterioro microbiológico.

a) Muestreo

El uso de diseños convencionales en experimentos para la determinación de la vida útil requiere muchas veces de un gran número de muestras debido a la naturaleza destructiva del proceso con consecuentes costos y demandas de tiempo (Kilcast & Subramanian, 2000). Los investigadores (Gacula & Kubala, 1975), desarrollaron un diseño experimental que disminuye la cantidad de muestras a usarse, ya que utiliza la mayoría de las muestras en aquellos períodos experimentales donde es posible obtener una mayor cantidad de información útil. Este tiempo, es el período en el cual las muestras tienden a fallar o se encuentran cercanas al límite de la calidad aceptable (Gacula & Kubala, 1975).

El Diseño Escalonado reduce el costo de los experimentos a través de una suspensión en la evaluación y es adecuado para las categorías de experimentos 1 y 3 en las cuales el interés se centra en el tiempo de falla del producto. El tiempo y duración de dicha suspensión son decididos por el investigador, y en algunos casos extremos, no se realiza ninguna evaluación en las primeras etapas dado que las verdaderas fallas usualmente ocurren en las etapas finales del período de evaluación.

Una característica general de este tipo de diseño es que el número de unidades experimentales se incrementa en la fase de aceleración gracias a la constante c . Luego de esta fase, el número de unidades permanece igual dado que $c = 0$ ó decrece debido a las unidades deterioradas irremplazables. La fase de aceleración comienza cuando se espera que el producto empiece a fallar. La ocurrencia de un 50% de fallas en cualquier período es suficiente indicativo de que se inicia la fase de aceleración. El criterio de falla para el inicio

de la fase de aceleración del diseño escalonado, es que el 50% del panel detecta diferencias en las muestras almacenadas debido al deterioro del producto.

Las muestras son extraídas del almacenamiento de **condiciones extremas**, para su evaluación sensorial, de acuerdo al Modelo Escalonado propuesto por Gacula (1984) y modificado por (Cardelli & Labuza, 2001). Los parámetros a tener en cuenta en este tipo de modelo fueron:

- **n₀**: número de muestras iniciales a ser evaluados y/o número de panelistas iniciales.
- **C**: constante, determinada por el investigador
- **n_i**: número de unidades a ser evaluados y/o número de panelistas a evaluar = n_i-1 +C. i= 1, 2,.....p

La versión A del diseño (Tabla 6) empieza con n₀ = 0 y C= 1, donde n₀ es el número de muestras a ser evaluadas. El número de unidades a evaluar, luego del período inicial y en la fase de aceleración, se obtiene por la siguiente relación:

$$n_i = n_{i-1} + C \qquad i = 1,2,Periodo\ p$$

Tabla 6. Diseño escalonado para el muestreo del Diseño escalonado

Periodo		Versión A n ₀ = 0; C = 1				
		Unidad experimental				
0		xx				
1		x	x			
2		x	x	x		
3		x	x	x	x	
4		x	x	x	x	x
5		x	x	x	x	x
		Fase de aceleración C = 0				
6	6.0	x	x			

	6.1			x	x		
	6.2					x	x
P	.	.	.	.	.	.	.
							n ₀₋₁
Versión B n ₀ = 1; C = 1							
Periodo	Unidad experimental						
0							
1							
2							
	Fase de aceleración C = 0						
3	3.0	x	x				
	3.1			x	x		
	3.2					x	x
		x					
			x				
				x			
P	.	.	.	.	.	.	.
							n ₀₋₁

Fuente:(Cardelli & Labuza, 2001)

x: muestra a extraer en cada periodo

C: constante, determinada por el investigador

La versión B empieza con n₀ =1 y C = 1 y genera, para cada período de evaluación, un tamaño de muestra de:

$$n_1 = n_0 + C_2$$

$$n_2 = n_1 + C_3$$

$$n_3 = n_2 + C_4$$

Fase de aceleración, C= 0

$$n = n_3 + 0 = 4$$

$$n_p = n_{p-1} + 0 = n_{p-1}$$

b) Evaluación cualitativa (sensorial)

Esta evaluación se efectuó diariamente durante el periodo de almacenamiento (Tabla 6, el periodo puede ser horas, días, etc.), seleccionando frutas en cada uno de los tratamientos. Para calificar la aceptación o rechazo, se utilizó una escala de grado de satisfacción, donde:

presencia de 0 colonia de moho en la superficie del aguaymanto = aceptación del producto;
presencia mínima de 1 colonia de moho en la superficie del aguaymanto = rechazo del producto.

c) Procedimiento de cálculo de vida útil

La estimación de vida útil o vida en anaquel del aguaymanto, para cada condición de almacenamiento se proyectó utilizando la distribución probabilística de Weibull. 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 de aceptación, para el cual se utilizó la prueba de aceptabilidad que se realizaron con un grupo de 5 personas. A los panelistas se les solicitó que indicaran la presencia o no de colonia de moho el fruto (manchas negras) y los resultados fueron reportados en una tabla(Tabla 4 del ANEXO) modelo propuesto por (Cardelli & Labuza, 2001).

d) 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 (aparición de colonias de moho en la superficie del aguaymanto) para 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 calcularon mediante la ecuación:

$$h(t) = \frac{100}{k} \quad (24)$$

Para cada tiempo de falla se calculó 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:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (25)$$

Donde, α es el parámetro de escala y β 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:

$$H(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(t)}{1 - F(t)} dt = -Ln[1 - F(t)] \quad (26)$$

Donde, $f(t)$ es la función de densidad probabilística.

Los resultados de tiempos de falla y riesgo acumulado $H(t)$ fueron plotados en un papel especial probabilístico de Weibull (Anexo), para luego aplicar la regresión lineal y obtener los parámetros de Weibull y el tiempo de vida útil en la gráfica.

De lo anterior ecuación de regresión matemática correspondencia de $\text{Log}(t)$ es la siguiente:

$$\text{Log}(t) = \frac{1}{\beta} \text{Log}(\sum H) + \text{Log}(\alpha) \quad (27)$$

O en su forma comprimida viene a ser la siguiente ecuación:

$$H(t) = \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \quad (28)$$

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1 MEDICIÓN DE TRANSPIRACIÓN

Resultados de la traspiración de los frutos de aguaymanto con capuchón y sin capuchón almacenados a condiciones ambientales, es mostrado en la Figura 4, en ella podemos observar la diferencia que marca el capuchón sobre la pérdida de peso por efecto de la transpiración del fruto de aguaymanto.

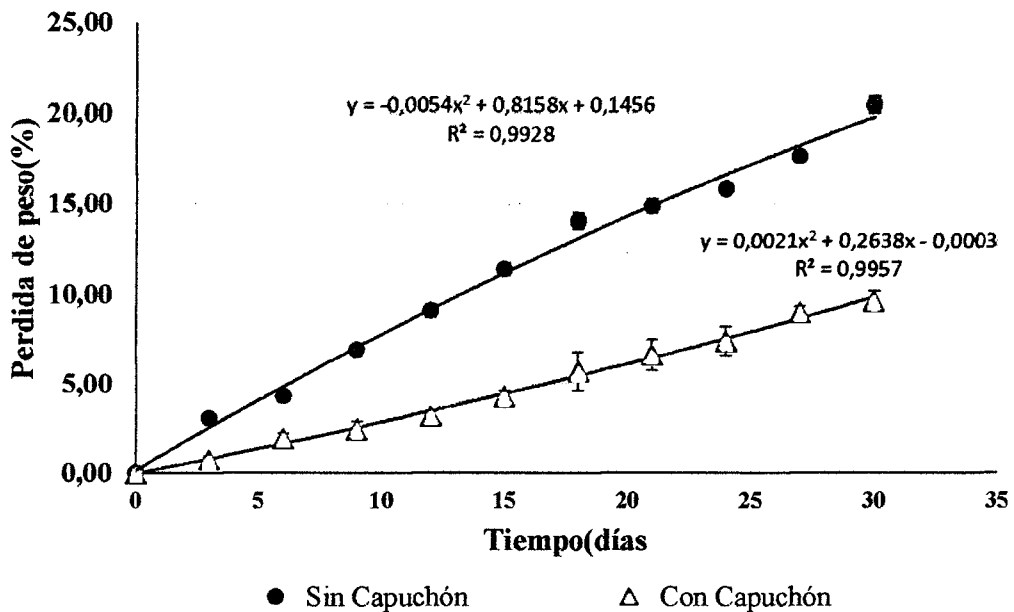


Figura 4. Porcentaje de pérdida de peso del aguaymanto con capuchón y sin capuchón, almacenado a temperatura (18°C) y humedad relativa promedio ambiental (79%).

En la Figura 4, observamos el efecto protector del capuchón, en el día 15 la pérdida de peso en el aguaymanto sin capuchón fue del 4.7%; en aguaymanto con capucho fue del 13%, verificándose de esta manera el efecto protector del capuchón a la transpiración por efectos de temperatura y humedad relativa ambiental. Thompsom (1998), reporta para uva una pérdida de peso del 5% en el cual se muestra marchitez. El fruto de aguaymanto considerándose de similar forma y característica de la cutícula estaría mostrando una vida útil de 15 días para el aguaymanto con capuchón y de 4 días para el de sin capuchón, a las condiciones ambientales de temperatura promedio de 18°C y HR del 79% de la región de Ayacucho.

Al realizarse la prueba estadística del ANVA (ANEXO), se ha obtenido como resultado que existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio de pérdida de pesos (%) entre los dos grupo (aguaymanto son capucho y sin capucho), dando como resultado p-valor = 0.007, menor al $\alpha = 0.05$. Demostrando así que el capuchón tiene efecto protector sobre la traspiración y así prolongar la vida útil de los frutos de aguaymanto.

Olivares-Tenorio *et al.* (2017), evaluaron a pérdida de peso en frutos de aguaymanto sin capuchón a 12°C, obteniéndose como resultado que fue afectada por la temperatura durante el tiempo de almacenamiento después de 76 días con una pérdida de peso del 17% y mostrando una evaluación estadística de ($P \leq 0.05$).

Es notorio que las curvas que describen el comportamiento de la humedad con respecto al tiempo de almacenamiento postcosecha, son curvas típicas similares a las de secado, y se aprecia además una correlación perfectamente lógica entre los parámetros en estudio:

Pérdida de peso = $-0.0054x^2 + 0.8158x + 0.1456$ para aguaymanto sin capuchón

Pérdida de peso = $0.0021x^2 + 0.2638x - 0.0003$ para aguaymanto con capuchón

x= tiempo (días)

La naturaleza compleja de la pérdida de agua durante el manejo y almacenamiento poscosecha, de la interacción entre la evapo - transpiración de la humedad que se produce en la superficie del producto como resultado de los déficits de vapor de agua y la actividad respiratoria concurrente. La transpiración ha sido bien aceptada como uno de los procesos fisiológicos críticos en frutas y verduras frescas. La tasa de transpiración durante el manejo y almacenamiento poscosecha está influenciada por factores intrínsecos como la relación superficie-volumen o superficie-masa, lesiones en la superficie, características morfológicas y anatómicas (cera cuticular, grietas, lenticelas, estomas, etc.), así como como etapa de madurez y factores extrínsecos tales como temperatura, humedad relativa, velocidad del aire (Sastry & Buffington, 1983).

4.2 MEDICIÓN DE RESPIRACIÓN

En la Figura 5 observamos el efecto que tiene el capuchón sobre el control de la respiración del aguaymanto, es así que en el día 14 el aguaymanto sin capuchón muestra una respiración de 550 mg CO₂/kg-día; el aguaymanto con capuchón muestra una respiración de 400 mg CO₂/kg-día; siendo su actuar como un empaque protector de la respiración, el

cual este empaque es natural, ecológico, orgánico, degradable y propio del fruto. El capuchón controla el ingreso del oxígeno dentro del fruto, y así evita las reacciones oxidativas de los componentes como azúcares, ácidos. La respiración es la descomposición oxidativa de moléculas complejas de sustrato (almidón, azúcares, ácidos orgánicos, etc.) en moléculas más simples como CO₂ y H₂O con producción de energía y moléculas intermedias para mantener las numerosas reacciones anabólicas esenciales para el mantenimiento de la organización celular y la integridad de la membrana de células vivas (Xanthopoulos *et al.*, 2017).

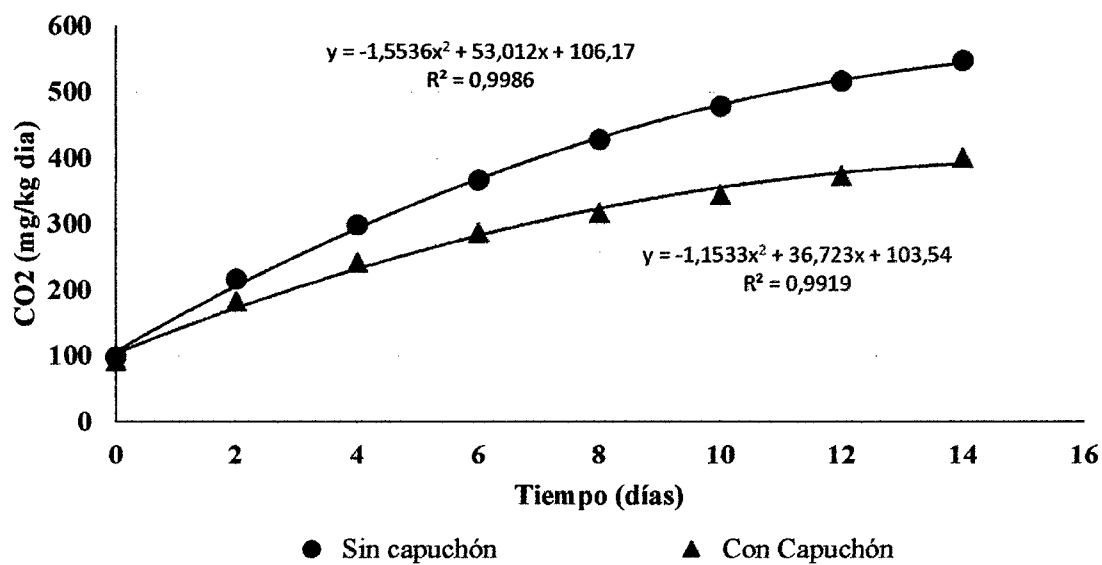


Figura 5. Respiración del fruto de aguaymanto a condiciones ambientales de almacenamiento, muestras con capuchón y muestras sin capuchón.

Al realizarse la prueba estadística del ANVA (ANEXO), se ha obtenido como resultado que existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio de la tasa de respiración ($\text{mg CO}_2/\text{kg día}$) entre los dos grupo (aguaymanto con capuchón y sin capuchón), dando como resultado $p\text{-valor} = 0.0000006$, menor al $\alpha = 0.05$. Demostrando así que el capuchón tiene efecto protector sobre la respiración y así prolongar la vida útil de los frutos de aguaymanto. La respiración es un proceso central en el metabolismo de los productos: proporciona energía y dióxido de carbono para las reacciones anabólicas que ocurren durante la maduración y para el mantenimiento de las células durante el almacenamiento (Pereira *et al.*, 2017).

La vida útil está directamente relacionada con la tasa de respiración, el fenómeno del metabolismo de la producción mediante el cual las células obtienen su energía básica (Sousa *et al.*, 2017a). La respiración implica una serie de reacciones de oxidación-reducción catalizadas por enzimas en las que los sustratos orgánicos que se encuentran en las células se oxidan en dióxido de carbono y agua, con la producción de energía (Fonseca *et al.*, 2002).

La respiración en los tejidos vegetales cosechados conduce a una pérdida del sustrato almacenado reservado en el producto, lo que acelera la senescencia a medida que se consumen estas reservas (Sousa *et al.*, 2017b).

La respiración se ve afectada por una serie de factores que se pueden dividir en aspectos internos (productos básicos) como el tipo de producto y genotipo, la etapa de desarrollo en la cosecha, la naturaleza climática, la consistencia química y factores externos como

temperatura, O₂ y niveles de CO₂ en el almacenamiento atmósfera, niveles de C₂H₄ especialmente en frutas climatéricas y finalmente la presencia de heridas y hematomas en combinación con altas temperaturas de almacenamiento así como estrés hídrico que induce estrés físico (Xanthopoulos *et al.*, 2017).

La respiración en los tejidos vegetales cosechados conduce a una pérdida del sustrato almacenado reservado en el producto, lo que acelera la senescencia a medida que se consumen estas reservas. Cuanto más lenta es la tasa de respiración, más lenta es la evolución de las células hacia la senescencia y el deterioro general del producto. Del mismo modo, otros procesos de deterioro, incluido el crecimiento de organismos extraños (mohos, etc.) también son generalmente retardados. En consecuencia, la medición precisa de la tasa de respiración del producto y su modelado son herramientas fundamentales para desarrollar soluciones de extensión de vida útil (Sousa *et al.*, 2017b).

4.3 VARIACIÓN DE VITAMINA C

La Figura 6, muestra el efecto protector del capuchón del aguaymanto sobre el cambio de la vitamina C en el fruto durante el almacenamiento a condiciones ambientales. Se observa la tasa de pérdida mayor en los frutos de aguaymanto sin capuchón. Se observa que en el día 14 en el fruto de aguaymanto con capuchón una pérdida de 28 a 23 (mg Vitamina C/100 g) de muestra; mientras en frutos con aguaymanto sin capuchón muestra una pérdida de 28 a 16 (mg Vitamina C/100 g) de muestra. En porcentajes fue de 3.92% y 14.28% de pérdida de vitamina C en aguaymanto con capuchón y sin capuchón respectivamente.

Se observa que el capuchón actúa como un empaque protector de los componentes del fruto, protegiendo así de la luz, del oxígeno, humedad, y otros. Las reacciones de origen bioquímico en los frutos, tienen lugar por la reacción de ciertos compuestos con el oxígeno del aire y otros compuestos en donde participan activamente las enzimas. La disminución del ácido ascórbico, probablemente se deba a procesos de oxidación (Olivares-Tenorio *et al.*, 2017).

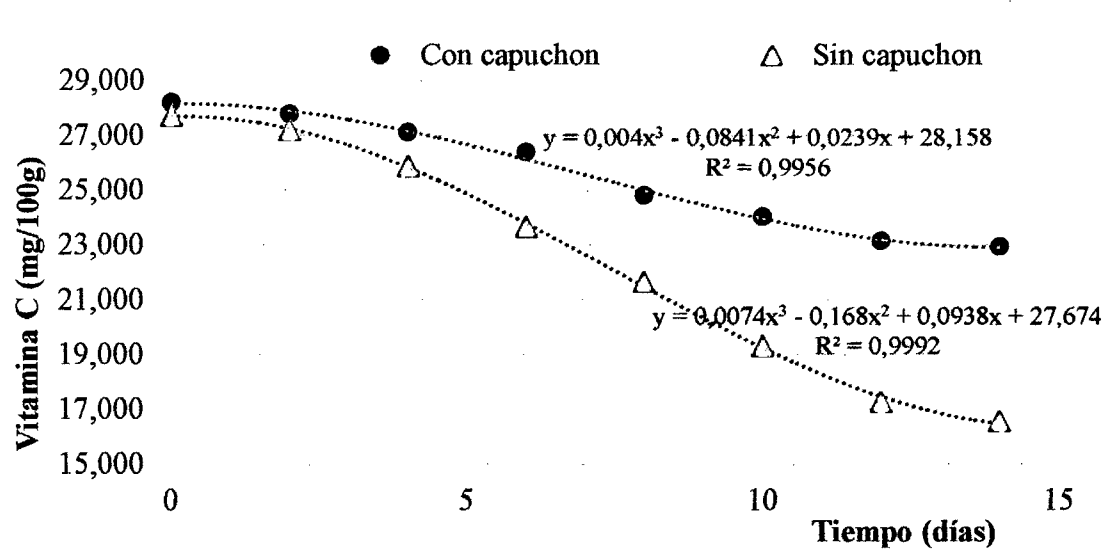


Figura 6. Variación de vitamina C, en el fruto de aguaymanto a condiciones ambientales de almacenamiento, muestras con capuchón y muestras sin capuchón.

La vitamina C es uno de los componentes de los frutos más termosensibles y su degradación térmica está asociada con la isomerización (apertura o cierre del anillo de lactona) de L-isómeros a D-isómeros y/o la formación de compuestos aquirales (Dabbagh & Azami, 2014).

La forma de la cinética de pérdida de vitamina C en la Figura 6, es similar a la de primer orden. Estudios llevados a cabo sobre la cinética de degradación de la vitamina C en diversos alimentos coinciden en que esta corresponde a una cinética de primer orden (Pulido & Beristain, 2010). (Mishra & Gamage, 2007), Disminuye de manera exponencial durante el almacenamiento, en este caso el ritmo de pérdida de vitamina C implica que a medida que el tiempo avanza disminuye la velocidad de reacción es cada vez menor. Estudiaron la cinética de reacción de la vitamina C durante el almacenamiento del kiwi deshidratado, y evidenciaron cinéticas de degradación de primer orden: la degradación de la vitamina C depende de la concentración de esta. Por su parte, (Ordóñez-Santos *et al.*, 2013), al realizar la cinética de degradación térmica de la vitamina C en pulpa de mango, reportaron que esta siguió una cinética de orden cero. Estudios llevados a cabo sobre la cinética de degradación de la vitamina C en diversos alimentos coinciden en que esta corresponde a una cinética de primer orden (Pulido & Beristain, 2010).

4.4 VIDA ÚTIL

En las Figuras 7 y 8 se tienen los resultados de la estimación probabilística de vida útil del aguaymanto sin capuchón y con capuchón, almacenadas al medio ambiente.

4.4.1 Para el aguaymanto sin capuchón

Aplicando la regresión lineal, a los datos experimentales de falla, durante este periodo el fruto del aguaymanto sin capuchón se deteriora y es debido a los cambios dentro del producto y la corta duración de vida anaquel, con la presencia de mohos y manchas negras cambio microbiológico

producidos en dicho producto en la Figura 7, de la función matemática de Weibull se tiene los resultados:

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

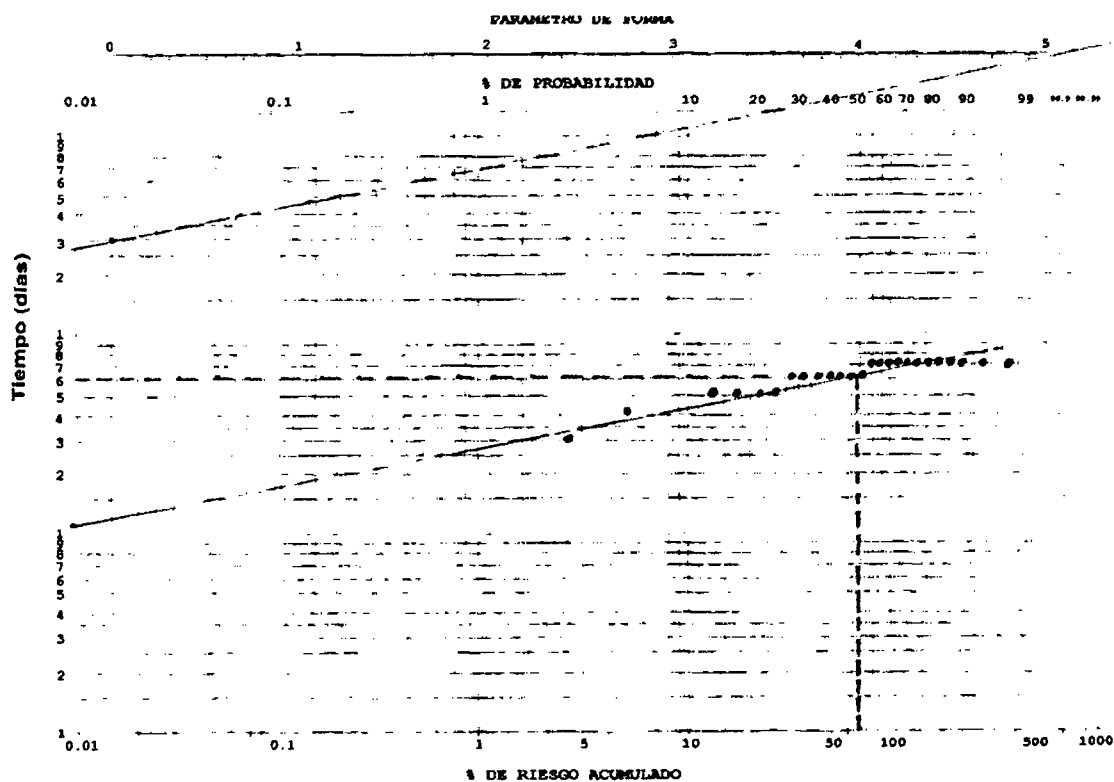


Figura 7. Función Lineal de Weibull, para frutos de aguaymanto con capucho, almacenada al medio ambiente.

Del gráfico, ploteando la falla del producto en 50% ($\sum H=69.3$), levantando una perpendicular a la línea de la función y de ahí haciendo un trazo al eje del tiempo obtenemos la vida útil del producto.

$$t(días)=6.14$$

Analíticamente el modelo matemático de la función de Weibull como resultado de la regresión lineal en el grafico queda de la siguiente manera:

$$\text{Log}(t) = 0.1704 * \text{Log}(\sum H) + 0.474$$

En el gráfico, de acuerdo a la ecuación, el intercepto será:

$$\text{Intercepto} = \text{Log}(\alpha) = 0.474$$

$$\alpha = 2.98$$

En el gráfico de acuerdo a la ecuación lineal, la pendiente del grafico será:

$$\text{Pendiente} = \frac{1}{\beta} = 0.1704$$

Como resultado el valor de β (parámetro de forma) se tiene:

$$\beta = 5.87$$

Al observar el resultado $\beta = 5.87 > 2$, podemos afirmar que la función de riesgo es creciente y que además tiene la característica de crecer lentamente al principio y de manera rápida posteriormente.

En el modelo matemático de Weibull, para una falla del 50% ($\Sigma H=69.3$), en los productos almacenados, reemplazando las constantes de Weibull ($\alpha =2.98$ y $\beta=5.87$), el tiempo de vida útil es:

$$\begin{aligned} \text{Log}(t) &= 0.1704 * \text{Log}(69.7) + 0.474 \\ t(\text{días}) &= 6.14 \end{aligned}$$

4.4.2 Para el aguaymanto con capuchón

Aplicando la regresión lineal, a los datos experimentales de falla, durante este periodo el fruto aguaymanto con capuchón no se observa visualmente porque está protegido por el capuchón, el deterioro es debido a los cambios de peso que se pierde constantemente durante el periodo de almacenamiento y prolonga su vida útil.

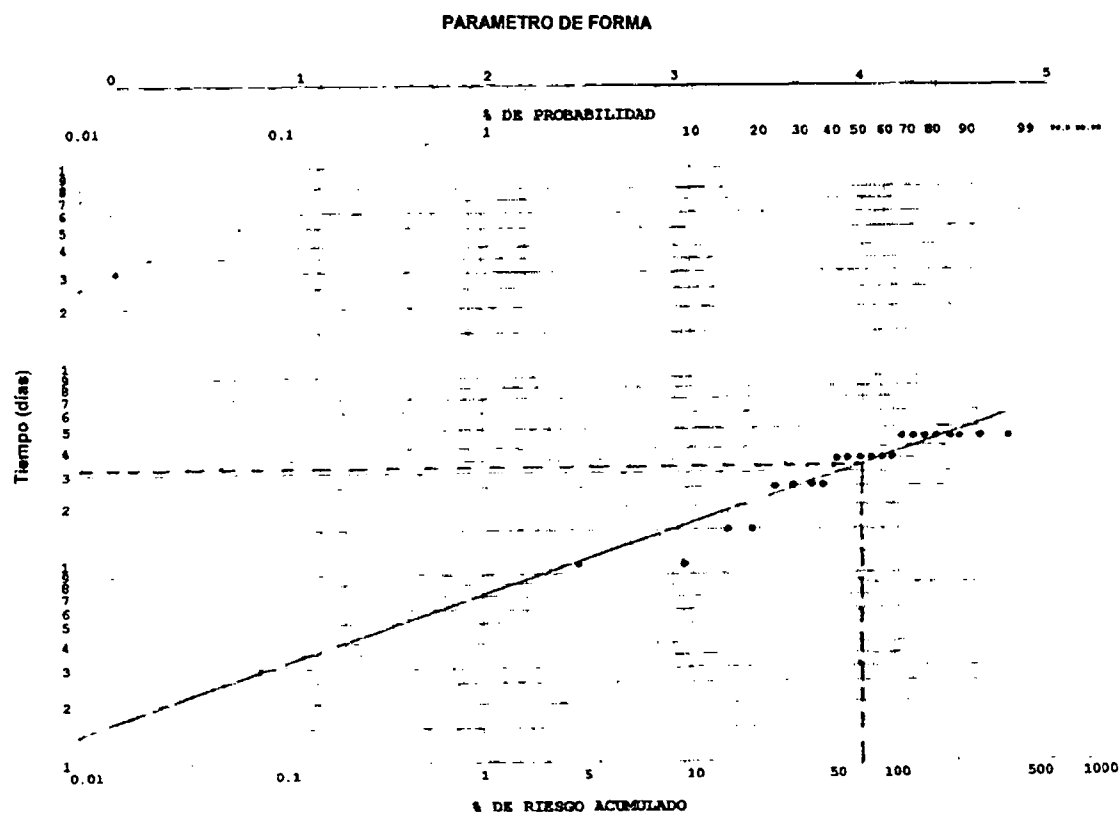


Figura 8. Función Lineal de Weibull para frutos de aguaymanto sin capuchón, almacenada a medio ambiente.

Similar en el caso anterior, del grafico se tiene:

$$\text{tiempo(días)}=32$$

Analíticamente desarrollando la función de la gráfica de Weibull es:

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

En la Figura 8 se observa la función lineal de la distribución acumulativa de Weibull, es expresada a través del siguiente modelo matemático:

$$\text{Log}(t) = 0.3902 * \text{Log}(\sum H) + 0.5899$$

En el gráfico, de acuerdo a la ecuación, el intercepto será:

$$\text{Intercepto} = \text{Log}(\alpha) = 0.5899$$

$$\alpha = 3.88$$

En el gráfico. De acuerdo a la ecuación lineal, la pendiente del grafico será:

$$\text{Pendiente} = \frac{1}{\beta} = 0.3902$$

$$\beta = 2.56$$

Al observar el resultado $\beta = 2.56 > 2$, podemos afirmar que la función de riesgo es creciente y que además tiene la característica de crecer lentamente al principio y de manera rápida posteriormente.

En el modelo matemático de Weibull, para una falla del 50% ($\Sigma H=69.7$), en los productos almacenados, reemplazando las constantes de Weibull ($\alpha = 5.51$ y $\beta = 2.44$), el tiempo de vida útil es:

Tiempo = 31.26 días

El tiempo de vida en anaquel promedio fue de 20.32 días para el aguaymanto con capuchón y 6.14 días para el aguaymanto sin capuchón, almacenado al medio ambiente. Siendo este valor estimado por la interacción del alimento con el consumidor según (Hough *et al.*, 2003).

A partir del valor hallado, se determinó que el tiempo de vida en anaquel del producto fue limitado por el análisis sensorial (presencia de colonia de moho en la superficie del fruto).

De las Figuras 7 y 8 podemos determinar que el efecto protector del capuchón en la conservación del fruto del aguaymanto tiene efecto positivo, por lo que podríamos decir que el capuchón del aguaymanto juega un rol muy importante como un empaque protector natural y ecológico.

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. (García *et al.*,

2010) encontraron el periodo óptimo de almacenamiento a temperatura de 25 °C y 81% de HR de la guayaba para consumo como fruta fresca entre uno y cuatro días (correspondiente a un intervalo de censura) de ser retirada del árbol, en un estado de maduración verde pero apta para ingerir sin grandes dificultades, luego los días 5 y 6 puede ser consumida como jugo natural y los días siete y ocho esta apta para ser procesada industrialmente.

Salinas-Hernández *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.

El fruto de aguaymanto (*Physalis peruviana L.*) es una fruta climatérica con dificultades para mantener un nivel aceptable de atributos de calidad. Un enfoque integrado para la estimación de vida útil mostró que la temperatura de almacenamiento tiene un gran efecto en la vida útil de la fruta. La presencia del capuchón no jugó un papel importante en el proceso de maduración en el tiempo de almacenamiento. Sin embargo, la eliminación del capuchón fue el factor crucial en el crecimiento de hongos porque estimula el aumento de la humedad de la superficie del fruto, promoviendo el crecimiento de hongos. El rechazo del consumidor debido a los signos de crecimiento fúngico determinó la vida útil de la aguaymanto sin capuchón (Olivares-Tenorio *et al.*, 2017).

La vida útil es más larga cuando el capuchón no se elimina. El consumo de aguaymanto durante los tiempos estimados en esta investigación es seguro cuando las condiciones de manejo cumplen con las buenas prácticas agrícolas. El contenido de ácido ascórbico y β -caroteno sigue siendo relevante al final de la vida útil del aguaymanto (Olivares-Tenorio *et al.*, 2017).

El uso de un enfoque integral para estimar la vida de anaquel del cabo es una metodología adecuada para comprender los cambios del producto desde diferentes perspectivas, ya que permite correlacionar los cambios de atributos de calidad con la aceptación del consumidor. El uso del análisis de supervivencia permite tener más información sobre la aceptación del consumidor ya que la cantidad de consumidores que participan en el estudio es más alta que en los paneles entrenados. Además, el hecho de que sean consumidores reales da más confiabilidad a las estimaciones de vida útil. El único uso de evaluación sensorial para la estimación de la vida útil no significa que no se deba considerar la regulación de seguridad alimentaria. Por lo tanto, antes de comenzar un estudio sobre la estimación de la vida útil, la naturaleza del alimento debe evaluarse en términos de qué atributos de calidad pueden estar limitando la vida útil y su relación con los requisitos de seguridad alimentaria (Olivares-Tenorio *et al.*, 2017).

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos llegamos a las siguientes conclusiones:

1. El efecto protector del capuchón a la transpiración límite de 6% en frutas, fueron de 17 y 7 días para muestras de aguaymanto con capuchón aguaymanto sin capuchón respectivamente durante su almacenamiento.
2. El efecto protector del capuchón a la respiración en 6 días de almacenamiento fue de 300 CO₂/kg-día para muestras de aguaymanto con capuchón y 380 CO₂/kg-día sin capuchón respectivamente.
3. La variación de vitamina C, fue de 28 a 26.9 (3.92% de pérdida) y 28 a 24 mg vitamina C/día (14.28% de pérdida) para muestras de aguaymanto con capuchón aguaymanto sin capuchón respectivamente.
4. El tiempo de conservación fue de 31.26 días para muestras de aguaymanto con capuchón y 6.14 días sin capuchón respectivamente.
5. En base a los resultados podemos afirmar que el capuchón tiene efecto protector sobre la transpiración, respiración, pérdida de vitamina C y prolongación de tiempo de almacenamiento.

RECOMENDACIONES

1. Continuar estudios del comportamiento de los componentes con los procesos tecnológicos.
2. Determinar las propiedades físicas como permeabilidad al vapor de agua, al CO₂, etileno del capuchón.

CAPITULO VII.

BIBLIOGRAFÍA

- Abeles , F. B., Morgan , P. W., & Saltveit, M. E. (1993). Ethylene in Plant Biology. *The Quarterly Review of Biology*, 68(1), 116-117. doi:10.1086/417964
- Afsah, A. F. E. (2015). Survey of insects & mite associated Cape gooseberry plants (*Physalis peruviana* L.) and impact of some selected safe materials against the main pests. *Annals of Agricultural Sciences*, 60(1), 183-191. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aoas.2015.04.005>
- Aguilera, J. M. & Stanley (1990). Microstructural Principles of Food Processing and Engineering. Elsevier Science Publishers Ltd, London, UK.
- Alferez, F., Agustí, M., & Zacarías, L. (2003). *Postharvest rind staining in Navel oranges is aggravated by changes in storage relative humidity: Effect on respiration, ethylene production and water potential* (Vol. 28).
- Álvarez-Flórez, F., López-Cristoffanini, C., Jáuregui, O., Melgarejo, L. M., & López-Carbonell, M. (2017). Changes in ABA, IAA and JA levels during calyx, fruit and leaves development in cape gooseberry plants (*Physalis peruviana* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 174-182. doi:<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.03.024>
- AOAC (2005). Official methods of analysis. 14th ed. Arlington, Va.: Assn. of Official Analytical Chemists
- Arun, M., & Asha, V. V. (2007). Preliminary studies on antihepatotoxic effect of *Physalis peruviana* Linn. (Solanaceae) against carbon tetrachloride induced acute liver injury in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 111(1), 110-114. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.10.038>
- Balaguera-López, H. E., Martínez C., C. A., & Herrera-Arévalo, A. (2014). Papel del cáliz en el comportamiento poscosecha de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) ecotipo Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8, 181-191.
- Baumann, T. W., & Meier, C. M. (1993). Chemical defence by withanolides during fruit development in *Physalis peruviana*. *Phytochemistry*, 33(2), 317-321. doi:[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(93\)85510-X](https://doi.org/10.1016/0031-9422(93)85510-X)
- Becker, B. R., & Fricke, B. A. (1996). Transpiration and respiration of fruits and vegetables. In International institute of refrigeration, Paris, France, & American Society of Agricultural Engineers (Eds.), *New developments in refrigeration for food safety and quality* (pp. 110e121). St. Joseph: Michigan.

- Ben - Yehoshua S. (1987). Transpiration, water stress, and gas exchange. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Bernal, C.-A., Aragón, M., & Baena, Y. (2016). Dry powder formulation from fruits of *Physalis peruviana* L. standardized extract with hypoglycemic activity. *Powder Technology*, 301, 839-847. doi:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.07.008>
- Blasco, M., Garcia-Perez, J. V., Bon, J., E. Carreres, J., & Mulet, A. (2006). *Effect of Blanching and Air Flow Rate on Turmeric Drying* (Vol. 12).
- Bovi, G. G., Caleb, O. J., Linke, M., Rauh, C., & Mahajan, P. V. (2016). Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: A review. *Biosystems Engineering*, 150(Supplement C), 24-39. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.07.013>
- Bravo, K., Sepulveda-Ortega, S., Lara-Guzman, O., Navas-Arboleda, A. A., & Osorio, E. (2015). Influence of cultivar and ripening time on bioactive compounds and antioxidant properties in Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(7), 1562-1569. doi:10.1002/jsfa.6866
- Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Opara, U. L., & Witthuhn, C. R. (2012). Modelling the respiration rates of pomegranate fruit and arils. *Postharvest Biology and Technology*, 64(1), 49-54. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.09.013>
- Cardelli, C., & Labuza, T. P. (2001). Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *LWT - Food Science and Technology*, 34(5), 273-278. doi:<https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0732>
- Crank, J. (1975). The mathematics of diffusion, . 414.
- Cunha, L. M., Oliveira, F. A. R., Aboim, A. P., Frias, J. M., & Pinheiro-Torres, A. (2001). Stochastic approach to the modelling of water losses during osmotic dehydration and improved parameter estimation. *International Journal of Food Science & Technology*, 36(3), 253-262. doi:10.1046/j.1365-2621.2001.t01-1-00447.x
- Dabbagh, H. A., & Azami, F. (2014). Experimental and theoretical study of racemization, stability and tautomerism of vitamin C stereoisomers. *Food Chemistry*, 164, 355-362. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.121>
- Dag, D., Kilercioglu, M., & Oztop, M. H. (2017). Physical and chemical characteristics of encapsulated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) juice powder. *LWT - Food Science and Technology*, 83, 86-94. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.007>
- F., R. M. (2011). *Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of Cape gooseberry (Physalis peruviana): An overview* (Vol. 44).

- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Miranda, D. (2014). Importancia y cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 36, 01-15.
- Fischer, G., & Lüdders, P. (1997). Cambio de los carbohidratos en el fruto de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) durante su desarrollo en relación al cáliz y las hojas. 1997, 14(2), 13.
- Fischer, G., & Martinez, O. (1999a). Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. *Agronomía Colombiana*; Vol. 16, Núm. 1-3 (1999).
- Fischer, G., & Martinez, O. (1999b). Calidad y madurez de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en relación con la coloración del fruto. 1999, 16(1-3), 5.
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. R., & Brecht, J. K. (2002). Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, 52(2), 99-119. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00106-6)
- Gacula, M. C., & Kubala, J. J. (1975). STATISTICAL MODELS FOR SHELF LIFE FAILURES. *Journal of Food Science*, 40(2), 404-409. doi:10.1111/j.1365-2621.1975.tb02212.x
- García, Peña, A., & Brito, B. (2014). Desarrollo tecnológico para el fortalecimiento del manejo poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.).
- García, C., Cury, K. I., & Dussán, S. (2010). Evaluación poscosecha y estimación de vida útil de guayaba fresca utilizando el modelo de Weibull. *Acta Agronómica*, 59, 347-355.
- Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality Changes and Nutrient Retention in Fresh-Cut versus Whole Fruits during Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296. doi:10.1021/jf060303y
- Herppich, W., Galindo, F., Sjöholm, I., & Herold, B. (2002). *Interactive Effects of Temperature and Water Status on Processing of Fresh Cut Carrots and Radish*.
- Hough, G., Langohr, K., Gómez, G., & Curia, A. (2003). Survival Analysis Applied to Sensory Shelf Life of Foods. *Journal of Food Science*, 68(1), 359-362. doi:10.1111/j.1365-2621.2003.tb14165.x
- Hough, G., Langohr, K., Gomez, G., & Curia, A. (1999). Survival analysis applied to sensory shelf life of foods. *Journal of Food Science*, 68, 359-362.
- IFST. (1993). Shelf life of foods: Guidelines for its determination and prediction. London: Institute of Food Science & Technology

- Kilcast, D., & Subramanian, P. (2000). 1 - Introduction *The Stability and Shelf-Life of Food* (pp. 1-22): Woodhead Publishing.
- Lanchero, O., Velandia, G., Fischer, G., Varela, N. C., & García, H. (2007). Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en poscosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 8(1).
- 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(3), 207-220. doi:[https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00133-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00133-2)
- Lewis, W. K. (1921). The Rate of Drying of Solid Materials. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, 13(5), 427-432. doi:10.1021/ie50137a021
- Martínez Zambrano, G., Dorantes González, J. R. A., Ramírez Meraz, M., De la Rosa Loera, A., & Pozo Campodónico, O. (2005). Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(4), 327-332.
- Mayorga, H., Knapp, H., Winterhalter, P., & Duque, C. (2001). Glycosidically Bound Flavor Compounds of Cape Gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(4), 1904-1908. doi:10.1021/jf0011743
- Mishra, V. K., & Gamage, T. V. (2007). Postharvest Physiology of Fruit and Vegetables.
- Mokhtar, S. M., Swailam, H. M., & Embaby, H. E.-S. (2018). Physicochemical properties, nutritional value and techno-functional properties of goldenberry (*Physalis peruviana*) waste powder concise title: Composition of goldenberry juice waste. *Food Chemistry*, 248, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.117>
- Nisha, P., Singhal, R. S., & Pandit, A. B. (2004). A study on degradation kinetics of ascorbic acid in amla (*Phyllanthus emblica* L.) during cooking. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(5), 415-422. doi:10.1080/09637480412331321823
- Ocampo, M. J. (2003). *Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa Decafé S.A. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto.*
- Olivares-Tenorio, M.-L., Dekker, M., Van Boekel, M. A. J. S., & Verkerk, R. (2017). Evaluating the effect of storage conditions on the shelf life of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *LWT*, 80, 523-530. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.027>

- Olivares -Tenorio, M.-L., Verkerk, R., Van Boekel, M. A. J. S., & Dekker, M. (2017). Thermal stability of phytochemicals, HMF and antioxidant activity in cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Functional Foods*, 32, 46-57. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.02.021>
- Ordóñez-Santos, L. E., Ospina Portilla, M. A., & Rodríguez Rodríguez, D. X. (2013). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Lasallista de Investigación*, 10, 44-51.
- Penner, M. H. (2012). Review of Kinetic Modeling of Reactions in Foods. *Journal of Chemical Education*, 89(1), 15-15. doi:10.1021/ed200760v
- Pereira, M. J., Amaro, A. L., Pintado, M., & Poças, M. F. (2017). Modeling the effect of oxygen pressure and temperature on respiration rate of ready-to-eat rocket leaves. A probabilistic study of the Michaelis-Menten model. *Postharvest Biology and Technology*, 131(Supplement C), 1-9. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.04.006>
- Puente, L. A., Pinto-Muñoz, C. A., Castro, E. S., & Cortés, M. (2011). *Physalis peruviana* Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review. *Food Research International*, 44(7), 1733-1740. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034>
- Pulido, A., & Beristain, C. I. (2010). Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersión, utilizando quitosano como material de pared. *Revista mexicana de ingeniería química*, 9, 189-195.
- Pulido, A., & Beristain, C. I. (2010). *Spray dried encapsulation of ascorbic acid using chitosan as wall material* (Vol. 9).
- Ramadan, & Mörsel, J. T. (2004). *Antiradical performance of some common and nontraditional vegetable oils* (Vol. 15).
- Ramadan, M. F. (2011). Bioactive phytochemicals, nutritional value, and functional properties of cape gooseberry (*Physalis peruviana*): An overview. *Food Research International*, 44(7), 1830-1836. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.042>
- Repo-Carrasco, R., Hellström, J. K., Pihlava, J.-M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120(1), 128-133. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.087>
- Rey, D. P., Ospina, L. F., & Aragón, D. M. (2015). Inhibitory effects of an extract of fruits of *Physalis peruviana* on some intestinal carbohydrases. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 44, 72-89.

- Salinas-Hernández, R. M., González-Aguilar, G. A., Pirovani, M. E., & Ulín-Montejo, F. (2007). Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia*, 23(2), 183-196.
- Salisbury, F.B. y C. Ross. 1994. Fisiología Vegetal (1° Ed. Castellano) Interamericana. México.
- Sastry, S. K., & Buffington, D. E. (1983). *Transpiration rates of stored perishable commodities: A mathematical model and experiments on tomatoes* (Vol. 6).
- Song, Y., Vorsa, N., & Yam, K. L. (2002). Modeling respiration–transpiration in a modified atmosphere packaging system containing blueberry. *Journal of Food Engineering*, 53(2), 103-109. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00146-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00146-7)
- Sousa, A. R., Oliveira, J. C., & Sousa-Gallagher, M. J. (2017a). Determination of the respiration rate parameters of cherry tomatoes and their joint confidence regions using closed systems. *Journal of Food Engineering*, 206, 13-22. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.026>
- Sousa, A. R., Oliveira, J. C., & Sousa-Gallagher, M. J. (2017b). Determination of the respiration rate parameters of cherry tomatoes and their joint confidence regions using closed systems. *Journal of Food Engineering*, 206(Supplement C), 13-22. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.026>
- Strohecker, R., & Henning, H. M. (1967). *Análisis de vitaminas, métodos comprobados*. Retrieved from
- Tano, K., Oulé, M. K., Doyon, G., Lencki, R. W., & Arul, J. (2007). Comparative evaluation of the effect of storage temperature fluctuation on modified atmosphere packages of selected fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 46(3), 212-221. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.05.008>
- Thompson, J.F. 1998. 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.
- Trinchero, G. D., Sozzi, G. O., Cerri, A. M., Vilella, F., & Frascina, A. A. (1999). Ripening-related changes in ethylene production, respiration rate and cell-wall enzyme activity in goldenberry (*Physalis peruviana* L.), a solanaceous species. *Postharvest Biology and Technology*, 16(2), 139-145. doi:[https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(99\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(99)00011-3)
- Uddin, M. S., A., H. M. N., & Zhu, H. J. (2001). Microencapsulation of ascorbic acid: effect of process variables on product characteristics. *Journal of Microencapsulation*, 18(2), 199-209. doi:10.1080/02652040010000352

- Valdenegro, M., Fuentes, L., Herrera, R., & Moya-León, M. A. (2012). Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. *Postharvest Biology and Technology*, 67, 110-117. doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.12.021>
- Veraverbeke, E., Verboven, P., & Van oostveldt, P. (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* (Vol. 30).
- Villamizar, F., Ramírez, A., & Meneses, M. (1993). Estudio de la caracterización física, morfológica y fisiológica poscosecha de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agro-Desarrollo*, 4(1-2), 305-320.
- Xanthopoulos, G. T., Athanasiou, A. A., Lentzou, D. I., Boudouvis, A. G., & Lambrinos, G. P. (2014). Modelling of transpiration rate of grape tomatoes. Semi-empirical and analytical approach. *Biosystems Engineering*, 124(Supplement C), 16-23. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.06.005>
- Xanthopoulos, G. T., Templalexis, C. G., Aleiferis, N. P., & Lentzou, D. I. (2017). The contribution of transpiration and respiration in water loss of perishable agricultural products: The case of pears. *Biosystems Engineering*, 158(Supplement C), 76-85. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.03.011>

ANEXO

ANEXO 1

Tabla 1. Variación de peso de muestras de aguaymanto con capucho y sin capucho como consecuencia de la transpiración. Almacenados a condiciones ambientales de 18°C y HR de 79 % promedio.

Tiempo (días)	Pérdida de peso medio ± desviación estándar	
	Sin capuchón	Con Capuchón
0	0.00	0.00
3	3.08 ± 0.07	0.76 ± 0.09
6	4.31 ± 0.12	1.96 ± 0.24
9	6.90 ± 0.25	2.43 ± 0.44
12	9.09 ± 0.35	3.18 ± 0.31
15	11.39 ± 0.34	4.29 ± 0.34
18	14.04 ± 0.42	5.68 ± 1.06
21	14.88 ± 0.36	6.62 ± 0.85
24	15.83 ± 0.23	7.39± 0.79
27	17.63 ± 0.09	8.99 ± 0.31
30	20.48 ± 0.45	9.61 ± 0.57

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Tiempo (días)	11	165	15	99
Sin Capuchón	11	117.6096851	10.6917896	42.9521479
Con Capuchón	11	50.16053451	4.56004859	10.8167529

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabil idad	Valor crítico para F
Entre grupos	605.555536	2	302.777768	5.9458	0.00668	3.315829501
Dentro de los grupos	1527.68900	30	50.9229669			
Total	2133.24454	32				

ANEXO 2

Tabla 2. Valores de respuesta de respiración de aguaymanto con capucho y sin capucho como consecuencia de la transpiración. Almacenados a condiciones ambientales de 20°C y HR de 85% promedio.

tiempo(días)	CO2 (mg/kg d)	
	Sin capuchón	Con capuchón
0	98	92
2	216	182
4	298	242
6	366	287
8	428	317
10	478	345
12	516	373
14	548	401

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
tiempo(días)	8	56	7	24
Sin capuchón	8	2948	368.5	24415.7143
Con capuchón	8	2239	279.875	10760.6964

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	567993.08	2	283996.542	24.204	3.54E-06	3.46680011
Dentro de los grupos	246402.87	21	11733.4702			
Total	814395.95	23				

ANEXO 3

Tabla 3. Valores de vitamina C (mg/100g) en aguaymanto con capucho y sin capucho como consecuencia de la transpiración. Almacenados a condiciones ambientales de 20°C y HR de 85% promedio.

tiempo(días)	Contenido medio de vitamina C (mg/100g) ± desviación estándar	
	Con capuchón	Sin capuchón
0	28.217 ± 0.98	27.707 ± 0.65
2	27.780 ± 0.88	27.190 ± 0.25
4	27.117 ± 0.55	25.880 ± 0.25
6	26.397 ± 0.57	23.663 ± 0.76
8	24.810 ± 0.12	21.663 ± 0.36
10	24.027 ± 0.25	19.320 ± 0.45
12	23.153 ± 0.16	17.260 ± 0.17
14	22.940 ± 0.10	16.563 ± 0.48

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
tiempo(días)	8	56	7	24
Con capuchón	8	204.44	25.555	4.38276508
Sin capuchón	8	179.246667	22.4058333	19.3323294

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1577.4533	2	788.726635	49.5	1.1094	3.46680011
Dentro de los grupos	334.00566	21	15.9050315	898	E-08	
Total	1911.4589	23				

ANEXO 4: VIDA ÚTIL

a) Muestras con capuchón

Tabla 4. Resultados de respuesta sensorial (aparición de colonias de mohos en superficie del aguaymanto) a T= 18°C y HR= 79%

Panelistas/Evaluaciones																
Periodo	Tiempo (s)	Evaluaciones														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	0	+	+	+	+	+	+									
2	1	+	+	+	+	+	+	+								
3	2	+	+	+	+	+	+	+	+							
4	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+						
5	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
6	10	+	+	(-)	+	(-)	+	+	+	+	+	+	+			
7	15	+	+	(-)	+	+	(-)	+	+	+	+	+	+			
8	25	+	(-)	(-)	+	+	(-)	(-)	+	+	+	+	+	+		
9	35	+	+	+	(-)	+	(-)	(-)	(-)	+	(-)	(-)	+	+	+	
10	45	+	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	+	(-)	(-)	+	+	+	+	

(+) no tiene colonia de moho (-) tiene más de 1 colonia de moho

Tabla 5. Resultados de respuesta sensorial

Periodo	Tiempo (día)	Evaluaciones									10	11	12	13	14
		1	2	3	4	5	6	7	8	9					
1	0	+	+	+	+	+	+								
2	1	+	+	+	+	+	+	+							
3	2	+	+	+	+	+	+	+	+						
4	3	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
5	4	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				
6	10	+	+	(-21)	+	(-22)	+	+	+	+	+	+	+		
7	15	+	+	(-19)	+	+	(-20)	+	+	+	+	+	+		
8	25	+	(-15)	(-16)	+	+	(-17)	(-18)	+	+	+	+	+	+	
9	35	+	+	+	(-9)	+	(-10)	(-11)	(-12)	+	(-13)	(-14)	+	+	+
10	45	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	(-6)	+	(-7)	(-8)	+	+	+	+

Tabla 6. Resultados de riesgos acumulados de Weibull

Rank=falla	Tiempo de falla	H=100/Rank	ΣH
22	10	4.5	4.5
21	10	4.8	9.3
20	15	5.0	14.3
19	15	5.3	19.6
18	25	5.6	25.1
17	25	5.9	31.0
16	25	6.3	37.3
15	25	6.7	43.9
14	35	7.1	51.1
13	35	7.7	58.8
12	35	8.3	67.1
11	35	9.1	76.2
10	35	10.0	86.2
9	35	11.1	97.3
8	45	12.5	109.8
7	45	14.3	124.1
6	45	16.7	140.7
5	45	20.0	160.7
4	45	25.0	185.7
3	45	33.3	219.1
2	45	50.0	269.1
1	45	100.0	369.1

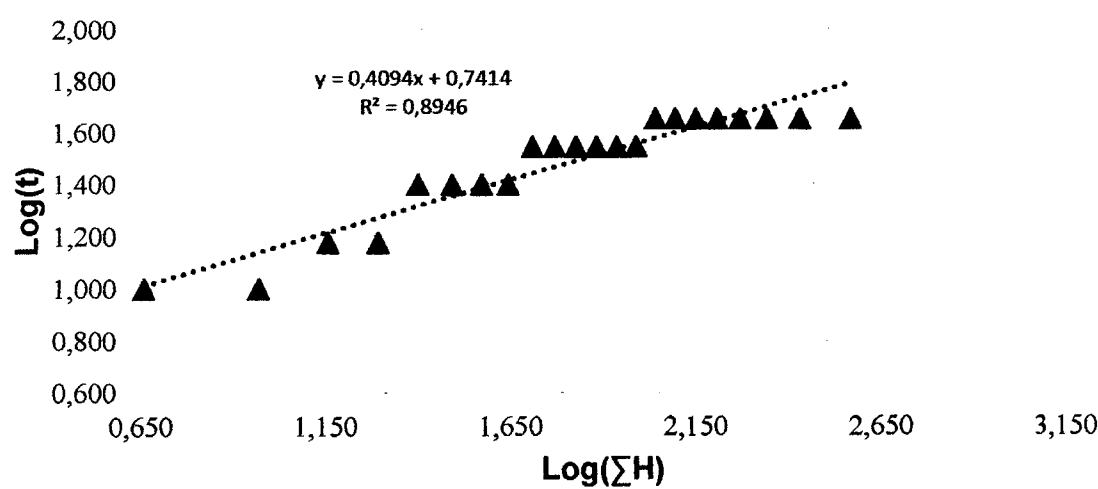


Figura 1. Log(t) en función de Log(ΣH) para la determinación del tiempo de vida útil.

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

Se tiene del gráfico

$$\beta = 1/0.4094 = 2.44$$

$$\text{Log}(\alpha) = 0.7414 \quad \alpha = 5.51$$

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:

$$\text{Tiempo} = 31.26 \text{ días}$$

b) Muestras sin capuchón

Tabla 7. Resultados de respuesta sensorial (aparición de colonias de mohos en superficie del aguaymanto) a T= 18°C y HR= 79%

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

Tabla 8. Resultados de respuesta sensorial (aparición de colonias de mohos en superficie del aguaymanto) a T= 18°C y HR= 79%

Periodo	Tiem po (día)	Evaluaciones													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	+	+	+	+	+	+								
2	1	+	+	+	+	+	+	+							
3	2	+	+	+	+	+	+	+	+						
4	3	+	+		(-25)	+	+	+	+	+					
5	4	+	+	(-24)	+	+	+	+	+	+	+				
6	5	+	(-20)	(-21)	+	+	(-22)	(-23)	+	+	+	+			
7	6	+	+	+	(-13)	+	(-14)	(-15)	(-16)	+	(-17)	(-18)	(-19)	+	
8	7	+	(-1)	(-2)	(-3)	(-4)	(-5)	(-6)	+	(-7)	(-8)	(-9)	(-10)	(-11)	(-12)

Tabla 9. Resultados de respuesta sensorial (aparición de colonias de mohos en superficie del aguaymanto) a T= 18°C y HR= 79%

Rank=falla	Tiempo de falla	H=100/Rank	ΣH
25	3	4.0	4.0
24	4	4.2	8.2
23	5	4.3	12.5
22	5	4.5	17.1
21	5	4.8	21.8
20	5	5.0	26.8
19	6	5.3	32.1
18	6	5.6	37.6
17	6	5.9	43.5
16	6	6.3	49.8
15	6	6.7	56.4
14	6	7.1	63.6
13	6	7.7	71.3
12	7	8.3	79.6
11	7	9.1	88.7
10	7	10.0	98.7
9	7	11.1	109.8
8	7	12.5	122.3
7	7	14.3	136.6
6	7	16.7	153.3
5	7	20.0	173.3
4	7	25.0	198.3
3	7	33.3	231.6
2	7	50.0	281.6
1	7	100.0	381.6

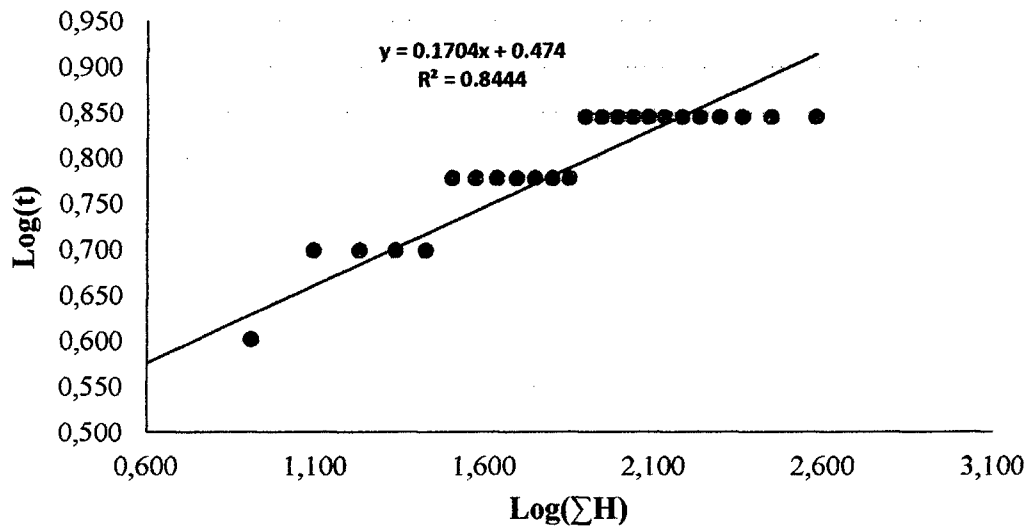


Figura 2. $\text{Log}(t)$ en función de $\text{Log}(\Sigma H)$ para la determinación del tiempo de vida útil del aguaymanto

En la Figura 2 se observó la función lineal de la distribución acumulativa de Weibull, siendo expresada de la siguiente manera: $\text{Log}(t) = 0.1704 \text{ Log } H(t) + 0.474$

Donde la pendiente “b” = 0.1704, mientras que la intersección “a” es igual a 0.474. A partir de esta función es que se obtuvieron los parámetros α y β :

$$\alpha = 2.98$$

$$\beta = 5.87$$

Al ser $\beta = 5.87 > 2$ podemos afirmar que la función de riesgo es creciente y que además tiene la característica de crecer lentamente al principio y de manera rápida posteriormente.

Estimación de tiempo de vida

A través del ploteo grafico podemos determinar el tiempo de vida ó tomando como referencia la investigación de Ocampo (2003).

$$(t) = 6.13 \text{ días}$$

ANEXO 5

IMÁGENES



Figura 3. Pesos del Aguaymanto con capuchón y sin capuchón Primera semana



Figura 4. Peso del Aguaymanto primera semana



Figura 5. Peso del Aguaymanto segunda semana



Figura 6. Peso del Aguaymanto tercera semana.



Figura 7. Muestras de aguaymanto tercera semana con capuchón.



Figura 8. Muestras de Aguaymanto en cuarta semana con capuchón.



Figura 9. Muestras de Aguaymanto en quinta semana con capuchón.



Figura 10. Muestras de Aguaymanto en sexta semana con capuchón.



Figura 11. Muestras de Aguaymanto en séptima semana con capuchón.



Figura 12. Muestras de Aguaymanto en octava semana con capuchón.



Figura 13. Muestras de aguaymanto en su estadio de madurez

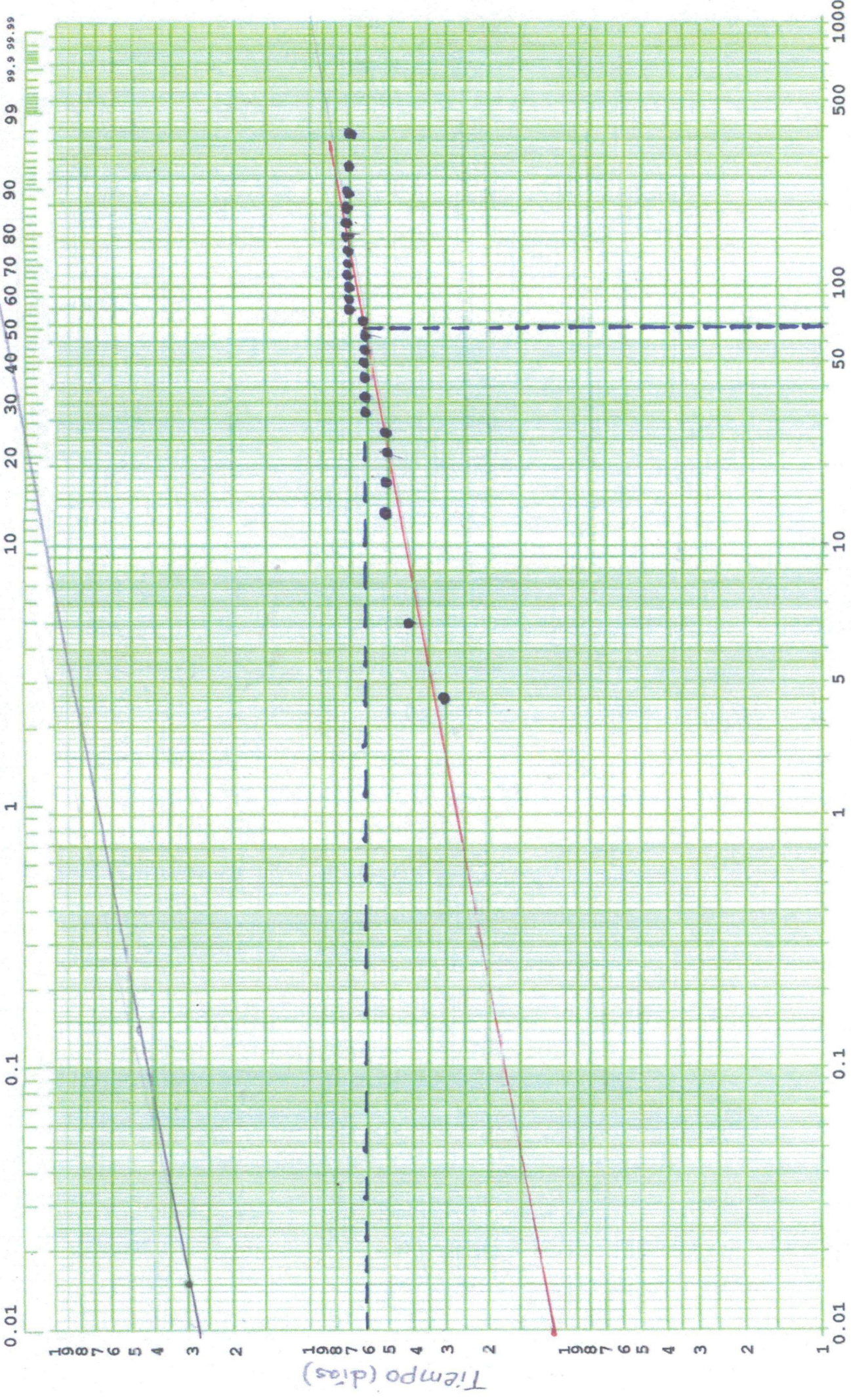
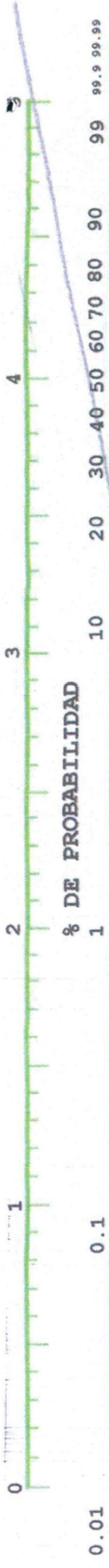


Figura 14. Equipo del Espectrofotómetro para realizar la lectura de la vitamina C



Figura 15 Materiales para determinar la vitamina C.

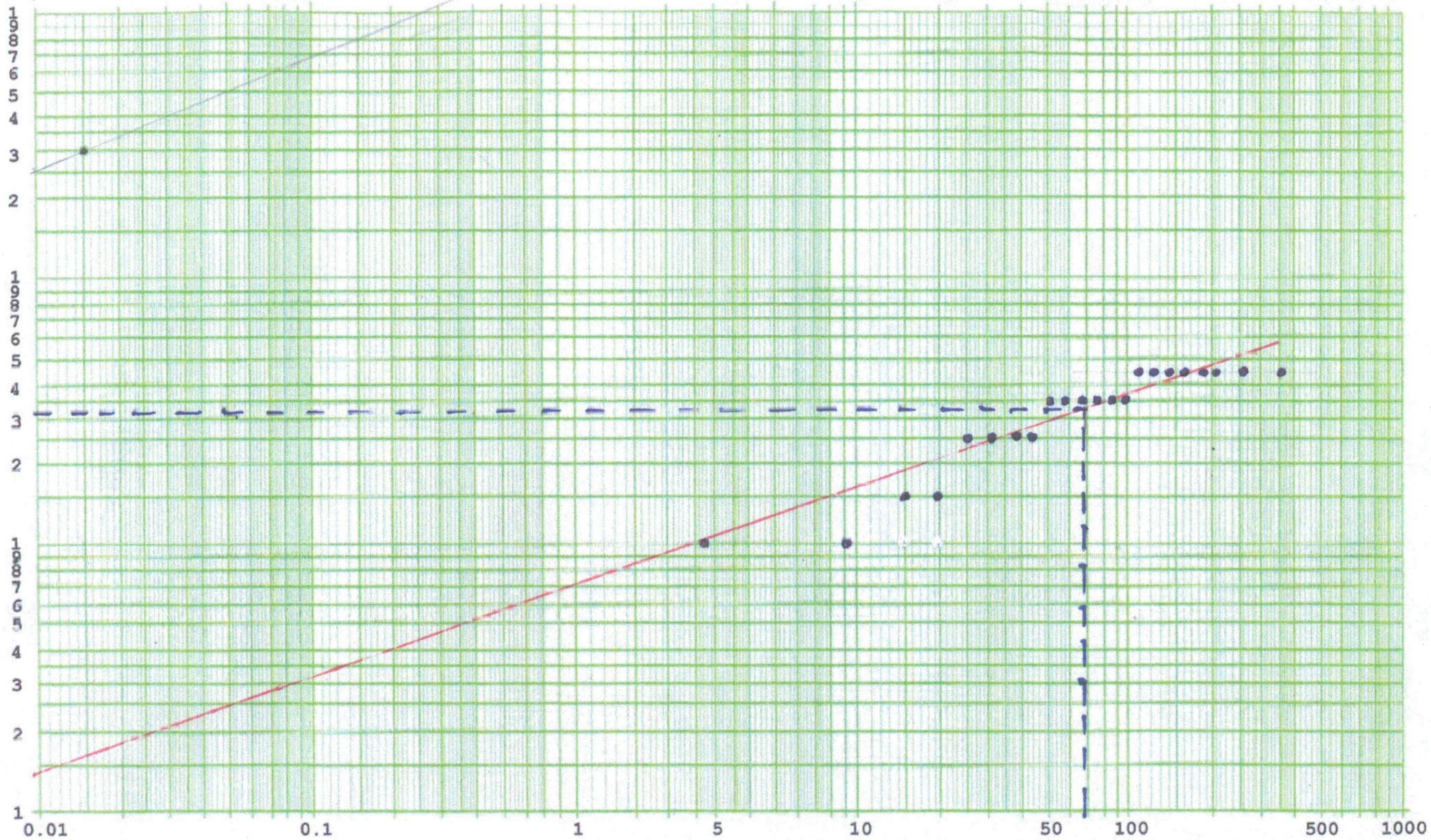
PARÁMETRO DE FORMA



% DE RIESGO ACUMULADO

% DE PROBABILIDAD

0.01 0.1 1 10 20 30 40 50 60 70 80 90 99 99.9 99.99



% DE RIESGO ACUMULADO