

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL CAFÉ TOSTADO  
TIPO PREMIUM (*Coffea arabica*) EN DIFERENTES EMPAQUES  
MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS**

Presentado por:

**VICTOR RAÚL PACHECO ALFARO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Lima – Perú

2016

## DEDICATORIA

*A Rosaura Úrsula Alfaro Beltrán, mi madre,  
fuente de fortaleza en mi vida, por su aliento  
incondicional, y por creer ciegamente en mí.*

*A Victor Raúl Pacheco Vizcarra, mi padre,  
guía en mi vida, de quien heredé mi pasión  
por la investigación científica.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis patrocinadores, el Dr. Américo Guevara, y el Dr. Alberto Julca, por la oportunidad de recibir apoyo en el proyecto, y por guiarme en la búsqueda del conocimiento.

A mis jurados, el M.Sc. Water Salas, el Dr. Luis Vargas, y M.Sc. Jenny Valdez, por sus recomendaciones y profesionalismo, nunca permitiéndome dar por vencido.

A mis compañeros en Central Café y Cacao, que me acompañaron en la parte experimental de esta investigación.

A la Molina Calidad Total, por facilitar las instalaciones para las pruebas de almacenamiento, y por la ayuda brindada.

A Julissa Rivera, mi amiga y compañera en esta aventura. Sin su determinación y apoyo, este proyecto no hubiera sido posible.

A mis amigos Augusto, Toño, Iván, Carlos, Oscar, Daniel, y Giancarlo. Cada uno de ustedes ha formado parte de la persona que soy ahora. Su carácter “adverso” en las competiciones es insustancial, frente a su fraternidad y su amistad.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN LITERARIA .....</b>	<b>3</b>
2.1.	HISTORIA DEL CAFÉ.....	3
2.2.	ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN NACIONAL .....	4
2.3.	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	5
2.4.	FRUTO DEL CAFÉ .....	5
2.5.	PROCESO DE BENEFICIO .....	6
2.5.1.	BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA.....	6
2.5.2.	BENEFICIO POR VÍA SECA .....	11
2.6.	CAFÉ ESPECIAL.....	12
2.7.	CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO.....	16
2.7.1.	OPERACIÓN DE TOSTADO .....	16
2.7.2.	CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL CAFÉ TOSTADO .....	19
2.7.3.	OPERACIÓN DE MOLIENDA.....	23
2.8.	DETERIORO DEL CAFÉ.....	25
2.8.1.	PÉRDIDA DE COMPUESTOS VOLÁTILES .....	26
2.8.2.	LIBERACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO.....	27
2.8.3.	MIGRACIÓN DE ACEITE A LA SUPERFICIE.....	28
2.9.	FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL CAFÉ .....	30
2.9.1.	OXÍGENO .....	30
2.9.2.	HUMEDAD.....	31
2.9.3.	TEMPERATURA.....	32
2.10.	REQUERIMIENTOS DEL EMPAQUE .....	34
2.10.1.	VÁLVULA DESGASIFICADORA .....	36
2.11.	TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL.....	38
2.11.1.	DETERIORO RELACIONADO CON LA TEMPERATURA .....	40
2.11.2.	LA ECUACIÓN DE ARRHENIUS .....	46
2.11.3.	OTROS MODELOS.....	48
2.12.	PRUEBAS ACELERADAS DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL.....	49
2.13.	FACTORES QUE AFECTAN EL TIEMPO DE VIDA .....	51

<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>55</b>
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	55
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS .....	55
3.2.1.	PRODUCTO.....	55
3.2.2.	EMPAQUES.....	56
3.2.3.	EQUIPOS .....	58
3.2.4.	MATERIALES.....	58
3.3.	MÉTODOS DE ANÁLISIS.....	59
3.3.1.	MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO .....	59
3.3.2.	MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO .....	60
3.3.3.	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS EMPAQUES .....	60
3.3.4.	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL.....	60
3.4.	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA .....	63
3.4.1.	ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS.....	63
3.4.2.	SELECCIÓN DEL DESCRIPTOR CRÍTICO SENSORIAL .....	65
3.4.3.	DETERMINACIÓN DEL VALOR LÍMITE DEL DESCRIPTOR CRÍTICO SENSORIAL .....	66
3.4.4.	DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN (n).....	67
3.4.5.	DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REACCIÓN (K) .....	67
3.4.6.	ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL.....	68
3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	68
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>70</b>
4.1.	CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO .....	70
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE EMPAQUES.....	71
4.3.	EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD .....	75
4.4.	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO .....	76
4.5.	SELECCIÓN DEL DESCRIPTOR CRÍTICO SENSORIAL .....	77
4.6.	DETERMINACIÓN DEL VALOR LÍMITE DEL DESCRIPTOR CRÍTICO SENSORIAL .....	86
4.7.	DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN.....	89
4.8.	DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE K (CONSTANTE DE VELOCIDAD) .....	93

4.9. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL .....	95
4.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	98
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>101</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>102</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>113</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Principales departamentos productores de café y sus rendimientos durante el 2013.....	4
Cuadro 2: Cantidades exportadas de café durante el 2014, en diferentes modalidades.....	4
Cuadro 3: Escala de Clasificación para el análisis sensorial de los cafés de especialidad por el método SCAA.....	16
Cuadro 4: Cambios físicos en el grano durante el tostado. ....	19
Cuadro 5: Ácidos contenidos en el café tostado.....	22
Cuadro 6: Comparación entre el tamaño y el número de partículas de varios tipos de molienda.....	23
Cuadro 7: Mecanismos del deterioro/descomposición y variables críticas para los diferentes productos alimenticios. ....	53
Cuadro 8: Características técnicas de los empaques usados.....	57
Cuadro 9: Características de la válvula desgasificadora añadida. ....	57
Cuadro 10: Frecuencia de muestreo según la temperatura y empaques utilizados. ....	64
Cuadro 11: Resultados de los análisis realizados al café tostado y molido.....	70
Cuadro 12: Resultado de análisis realizados a los empaques usados .....	72
Cuadro 13: Valores de Humedad (expresado en base seca) realizados al producto para almacenamiento a 40 °C, 50 °C y 60 °C. ....	75
Cuadro 14: Resultados de Recuentos Microbiológicos para las muestras de café tostado. ....	76
Cuadro 15: Requisitos microbiológicos para café tostado, en grano o molido. ....	77
Cuadro 16: Valores de Regresión entre los Descriptores Sensoriales y el tiempo de almacenamiento a 40 °C, para los 3 diferentes empaques.....	78
Cuadro 17: Determinación del Valor límite del Descriptor Crítico Aroma. ....	86
Cuadro 18: Valores de atributo Aroma realizados al producto para el almacenamiento en el Empaque # 1. ....	90
Cuadro 19: Valores de atributo Aroma realizados al producto para el almacenamiento en el Empaque # 2. ....	91
Cuadro 20: Valores de atributo Aroma realizados al producto para el almacenamiento en el Empaque # 3. ....	92
Cuadro 21: Coeficientes de Determinación Lineal del Modelo de Labuza (Orden Cero) del aroma para cada empaque evaluados en función de la temperatura. ....	93
Cuadro 22: Valores de Tiempo y K para la construcción de la gráfica de Arrhenius. ....	94

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Composición del fruto del café.....	6
Figura 2: Estados de maduración del fruto de café. ....	7
Figura 3: Principales aspectos en el tostado de café.....	17
Figura 4: Concentración de volátiles de cabeza en café en granos y molido, en función al tiempo de almacenamiento a 25 °C. ....	25
Figura 5: Evolución de principales compuestos aromáticos en el café tostado, durante el tiempo de almacenamiento. ....	27
Figura 6: Contenido de Ácidos Grasos de café tostado en granos frescos (izquierda) y rancios (derecha). ....	29
Figura 7: Isotermas de adsorción a 22 °C de café tostado, en granos y molido.....	31
Figura 8: Gráfico Arrhenius de la liberación de volátiles de granos de café tostado a diferentes temperaturas (Expresado en ratio de liberación de volátiles vs. Temperatura -1 (K)). ....	33
Figura 9: Efecto de la Aw en el tiempo de vida del café tostado y molido.....	33
Figura 10: Efecto de la Temperatura en el tiempo de vida del café tostado.....	34
Figura 11: Café tostado e inmediatamente empacado, después de 2 días de almacenamiento. ....	36
Figura 12: Estructura de una válvula degasificadora de una vía. ....	37
Figura 13: Posición abierta/liberación y herméticamente cerrada de una válvula degasificadora de una vía. ....	38
Figura 14: Cambio de Calidad frente al tiempo mostrado por una reacción de Orden Cero. ....	43
Figura 15: Cambio de Calidad frente al tiempo mostrado por una reacción de Primer Orden. ....	45
Figura 16: Representación semilogarítmica para una reacción de primer orden de pérdida de calidad frente al tiempo.....	46
Figura 17: Ejemplar del producto “Café tostado y molido”, envasado en los 3 diferentes empaques. ....	57
Figura 18: Formulario de catación.....	62
Figura 19: Escala de categorías en base con el puntaje total obtenido para cafés de especialidad por el método SCAA.....	66
Figura 20: Esquema del diseño experimental.....	69



Figura 21: Evolución de los descriptores sensoriales de la bebida de café, durante el almacenamiento a 40 °C para el Empaque #1. ....	79
Figura 22: Evolución de los descriptores sensoriales de la bebida de café, durante el almacenamiento a 40 °C para el Empaque #2. ....	80
Figura 23: Evolución de los descriptores sensoriales de la bebida de café, durante el almacenamiento a 40 °C para el Empaque #3. ....	81
Figura 24: Relación entre el Descriptor crítico “Aroma” y el Puntaje Sensorial Total a 40 °C para los tres empaques evaluados. ....	87
Figura 25: Evolución del atributo Aroma durante el almacenamiento a 40 °C, 50 °C y 60 °C en el Empaque #1. ....	90
Figura 26: Evolución del atributo Aroma durante el almacenamiento a 40 °C, 50 °C y 60 °C en el Empaque #2. ....	91
Figura 27: Evolución del atributo Aroma durante el almacenamiento a 40 °C, 50 °C y 60 °C en el Empaque #3. ....	92
Figura 28: Gráfica de Arrhenius para Empaque #1. ....	94
Figura 29: Gráfica de Arrhenius para Empaque #2. ....	95
Figura 30: Gráfica de Arrhenius para Empaque #3. ....	95

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Perfil de tostado tipo Gourmet.....	113
Anexo 2: Especificaciones técnicas del Empaque #1.....	115
Anexo 3: Especificaciones técnicas del Empaque #2.....	116
Anexo 4: Especificaciones técnicas del Empaque #3.....	117
Anexo 5: Presentación de resultados de la evaluación sensorial realizada al café tostado y molido Especial en el Empaque #1 .....	118
Anexo 6: Presentación de resultados de la evaluación sensorial realizada al café tostado y molido Especial en el Empaque #2 .....	119
Anexo 7: Presentación de resultados de la evaluación sensorial realizada al café tostado y molido Especial en el Empaque #3 .....	120
Anexo 8: Correlación de la regresión lineal para diferentes órdenes de reacción para el Empaque #1 a las temperaturas de almacenamiento .....	121
Anexo 9: Correlación de la regresión lineal para diferentes órdenes de reacción para el Empaque #2 a las temperaturas de almacenamiento .....	121
Anexo 10: Correlación de la regresión lineal para diferentes órdenes de reacción para el Empaque #3 a las temperaturas de almacenamiento .....	121
Anexo 11: Metodología de medición para transmisión de vapor de agua. Método Gravimétrico según ISO 2528:1995.....	122
Anexo 12: Análisis de varianza de los resultados experimentales para el atributo Aroma en base al factor Empaque.....	124

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo estimar la vida útil del café tostado y molido de denominación Especial (*Premium*), envasado en tres diferentes empaques trilaminados metalizados. El empaque #1, el actualmente usado por la Empresa *Central Café y Cacao*, es un trilaminado (PET/VMPET/PEBD), de espesor 109,5  $\mu\text{m}$ ; el empaque #2 fue un empaque de bajo costo, y mayor distribución, que consistió en un trilaminado (PET/VMPET/PEBD), de espesor 105,2  $\mu\text{m}$ ; el empaque #3, fue un trilaminado (PAPEL/VMPET/PEBD), de mejor apariencia, pero mayor costo. Durante el almacenamiento, se llevó un control de humedad, verificando cumplir el límite máximo permitido por la NTP 209.028.2005 de 4 por ciento (INDECOPI, 2005b). Así mismo se realizó el recuento microbiológico a temperatura ambiente y tiempo real, verificando cumplir la especificación de la NTS N°071 (MINSA-DIGESA, 2008). Para la estimación de vida útil, muestras de café tostado y molido fueron almacenadas a temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C. La evaluación se hizo en base al análisis sensorial descriptivo cuantitativo de la infusión planteado por la *Specialty Coffee Association of América* (SCAA, 2009), para cafés especiales. Se registró la evolución de los 5 atributos sensoriales principales, encontrándose al descriptor crítico aroma, como el de mayor influencia en la pérdida de calidad sensorial. Se determinó un valor límite de 7,082, indicando que valores de aroma inferiores sitúan al café fuera del rango especial. La cinética de deterioro del descriptor aroma, con respecto al tiempo de almacenamiento presentó un comportamiento de orden cero. Se determinó las constantes de velocidad de reacción a cada temperatura, y se extrapoló a temperatura ambiente (20 °C) y se reemplazó en la ecuación de pérdida de calidad. Se estimó que el tiempo de vida del café fue de 111 días para el Empaque #1, 106 días para el Empaque #2, y 129 días para el Empaque #3.

**Palabras clave:** *Coffea arabica*, vida en anaquel, método SCAA, empaque flexible.

## SUMMARY

The research aimed to estimate the shelf life of Specialty type (Premium) roasted and ground coffee, packaged in three different metallized trilaminate packages. Package #1, currently used by the *Central Café y Cacao* Company, is a trilaminate (PET/VMPET/PEBD), 109,5  $\mu\text{m}$  thick; Package #2 was a low cost, higher distribution package, consisting of a trilaminate (PET/VMPET/PEBD) 105,2  $\mu\text{m}$  thick; Package #3 was a trilaminate (PAPER/VMPET/PEBD), was a better looking, but higher cost package. During storage, moisture control was verified to meet the maximum extent permitted by NTP 209.028.2005 of 4 percent (INDECOPI, 2005b). A microbiological control was performed as well, verifying to meet the specification of the NTS N° 071 (MINSA-DIGESA, 2008). For the shelf life estimation, samples of roasted and ground coffee were stored at temperatures of 40°C, 50°C and 60°C. The evaluation was based on the quantitative descriptive sensory analysis of the infusión, using the approach by the Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2009), for specialty coffees. The evolution of the 5 major sensory attributes were registered, finding the critical descriptor “aroma”, as the most influential in the loss of sensory quality. A limit value of 7,082 was determined, indicating that lower values of aroma, place the coffee outside the specialty status. The kinetics of degradation of the aroma descriptor with respect to storage time presented a zero order behaviour. The reaction rate constants were determined at each temperature, and extrapolated to room temperature (20 °C) and replaced in the quality loss equation. It was estimated that the shelf life of coffee was 111 days for Package #1, 106 days for Package #2, and 129 days for Package #3.

**Key words:** *Coffea arabica*, shelf life, SCAA method, flexible package.

## I. INTRODUCCIÓN

Es claro que la competencia en el mercado internacional del café se ha incrementado en los últimos años. Para lograr posicionarse y ser reconocido, no basta con informar al consumidor de que el café es seguro, nutricionalmente adecuado, o de largo almacenamiento.

El café no es comprado o consumido por sus valores nutritivos. El café tiene valor, por los efectos antioxidantes proporcionados por los compuestos fenólicos presentes, y los efectos estimulantes producidos por la cafeína. Sin embargo, el principal atributo que se busca en el café al momento de su compra, es la satisfacción otorgada a través del aroma.

Con el fin de elevar la calidad del café peruano, las cooperativas cafetaleras han empezado la comercialización de lo que se conoce como café “Especial”. La denominación de café Especial recae a los granos tostados de excepcional calidad que poseen rasgos sensoriales distintivos, mediante la metodología de evaluación sensorial estandarizada por la *Specialty Coffee Association of América* (SCAA, 2009), siendo aceptada de manera internacional.

Donnet *et al.* (2007) señalan que establecer un café como Especial, provee de información crítica para los participantes de la cadena de valor. Esta información es usada como soporte para la toma de decisiones en diferenciación de producto, distribución de recursos y estrategias de *marketing*.

En la actualidad, la oportunidad de crecimiento en este sector es vasta, ya que el café peruano presenta una fuerte acogida. El café verde es el principal producto de exportación agrícola en el Perú, junto a los espárragos, representando cerca de la mitad de las exportaciones agropecuarias y alrededor del 5 por ciento del total de las exportaciones peruanas.

Sin embargo la exportación de café peruano en su forma tostada no es tan difundida en comparación al café verde. ADEX (2015) señala que la cantidad de café tostado exportado representa el 0,044 por ciento con respecto al café verde. Al comercializar el café tostado de nivel Especial, se otorga un valor agregado, generando incremento en las exportaciones del café peruano.

El empaque usado para el café, juega igualmente, un rol tan importante como la calidad de la materia prima, y la destreza en el tostado. Si bien se tenga un producto óptimamente producido, si éste presenta una pobre resistencia al deterioro, ocasionará un bajo número de ventas al verse comprometida la calidad. Por este motivo las empresas buscan emplear los empaques que ofrezcan un mayor beneficio, reduciendo al mínimo los costos.

La diversa gama de empaques en el mercado, ofrece numerosas alternativas para la distribución del café. Es veraz asumir que la apariencia del empaque influye la decisión de compra del cliente. Sin embargo, si un empaque de mayor atractivo incrementa el número de ventas, que este venga a costo disminuir el tiempo de rotación del producto, puede mermar las ganancias obtenidas.

El objetivo de ésta investigación fue:

- Estimar el tiempo de vida sensorial del café tostado y molido en diferentes empaques, en el que mantiene su denominación Especial (*Premium*).

## **II. REVISIÓN LITERARIA**

### **2.1. HISTORIA DEL CAFÉ**

La planta del café es originaria del Lejano Oriente, Etiopía y Sudán, lugares donde todavía se encuentra áreas que muestran el estado semi-silvestre de esta planta, bajo sombra de vegetación arbórea, en tierras situadas por encima de los 1000 m de altitud.

El uso del café, data del siglo VI, donde originalmente fue similar al té, en infusión de hojas. El tostado y molido de los granos de café parece iniciarse en Arabia en el siglo XII (Figueroa, 1983).

El café fue introducido al continente americano en el siglo XVIII a las colonias de Holanda y Francia, en las Guayanas de América del Sur y en Antillas en el Norte. Los españoles también contribuyeron a la difusión de éste cultivo al introducir a sus colonias de las Antillas y Centro América, los portugueses al Brasil y los ingleses a Jamaica (Figueroa, 1983).

Los franceses continuaron la distribución del café en Latinoamérica, llevándolo a la Cuenca del Orinoco, a territorios que ahora corresponden a Venezuela y Colombia, y posteriormente a Ecuador en 1832 (Figueroa, 1983).

Al Perú se introdujo en 1838, resultando en el primer centro de producción de café a escala comercial en el valle de Chanchamayo, en la Región de la Selva Central por el año 1876. Poco tiempo después se establecieron otros centros de producción cafetalera de menor extensión en los Valles de la Convención en Cusco y Chinchao en Huánuco (Figueroa, 1983).

## 2.2. ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN NACIONAL

Según las series históricas de producción agrícola publicadas por el MINAG (2015), la producción nacional en el año 2013 fue de 255 587 Ton. El principal departamento productor es Junín, seguido de Cajamarca, siendo éste último el de mejor rendimiento a nivel nacional.

En el Cuadro 1 se presenta la distribución de los principales departamentos productores de café en el Perú.

**Cuadro 1: Principales departamentos productores de café y sus rendimientos durante el 2013.**

Departamento	Producción (Ton)	Rendimiento (kg/ha)
Junín	54837	553
Cajamarca	54472	824
San Martín	47872	565
Cuzco	38545	684
Amazonas	32857	672

FUENTE: MINAG (2015)

En el comercio exterior, el café es exportado principalmente como granos sin tostar, siendo los principales compradores Alemania (29 por ciento), Estados Unidos (23,7 por ciento), y Bélgica (11,5 por ciento). ADEX (2015) cita en su ranking de exportaciones al café sin tostar como el principal producto en el rubro agro tradicional durante el año 2014.

En el Cuadro 2 se presenta las exportaciones de café realizadas durante el 2014.

**Cuadro 2: Cantidades exportadas de café durante el 2014, en diferentes modalidades.**

Descripción Arancelaria	Peso Neto (Kg)
Café sin descafeinar, sin tostar	175,047,917
Cafe tostado, sin descafeinar, en grano	77,120
Café tostado, sin descafeinar, molido	4,726

FUENTE: ADEX (2015)



### **2.3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA**

El Café pertenece a la familia Rubiaceae. La variedad de café utilizada fue la variedad arábica. Guerrero *et al.*; citado por Echevarría (2012) indican su clasificación taxonómica de la siguiente manera

- REINO: Plantae
- DIVISIÓN: Fanerógama
- CLASE: Angiosperma
- SUB-CLASE: Eucotiledónea
- ORDEN: Rubiales
- FAMILIA: Rubiaceae
- TRIBU: Coffeae
- SUBTRIBU: Coffeinae
- GÉNERO: Coffea
- ESPECIE: Coffee arabica

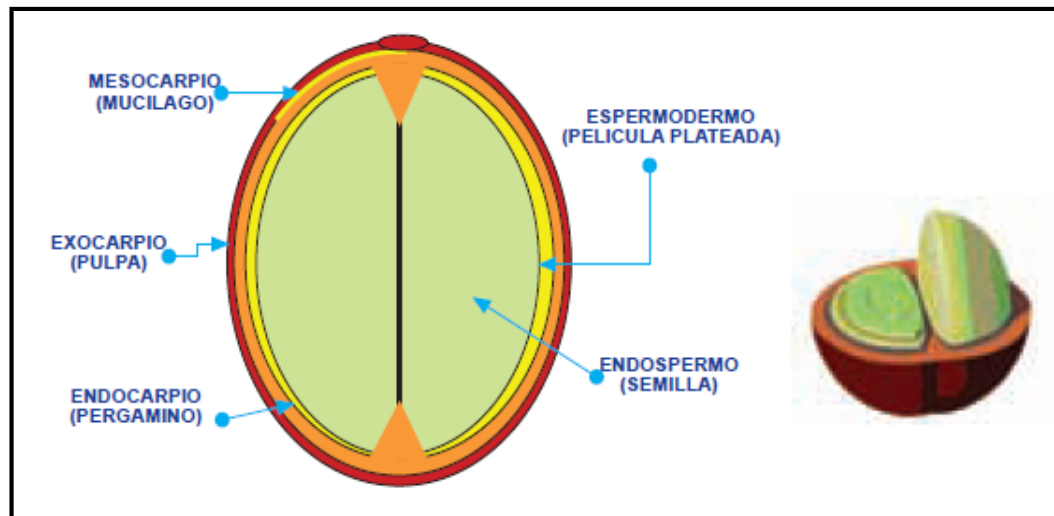
### **2.4. FRUTO DEL CAFÉ**

El fruto del cafeto es una drupa que contiene 2 semillas, las que se encuentran separadas por el tabique interno del ovario. El color verde del fruto, según su maduración, cambia a verde amarillento y posteriormente a rojo vinoso.

Se distinguen tres partes principales en el fruto: el exocarpio constituido por una sola capa de células de paredes finas, el mesocarpio, que es una sección parenquimatosa rica en azúcares, taninos y sustancias colorantes, y el endocarpio o pergamino que es una cubierta de consistencia coriácea (Soto, 2010).

La semilla está cubierta por una película plateada o espermoderma, formada de varias capas de células fibrosas, traslúcidas y de paredes finas (Figuroa, 1983).

La Figura 1 muestra las partes que componen el fruto del café.



**Figura 1: Composición del fruto del café.**

FUENTE: Soto (2010)

El proceso de obtención de las semillas a partir del fruto es conocido como beneficio del café.

## **2.5. PROCESO DE BENEFICIO**

Figuroa (1983) define al proceso de beneficio del café como la extracción de las semillas del fruto. Consiste en la remoción de la pulpa del fruto, dejando la semilla que posteriormente será secada. Los principales métodos de beneficio usados son el de vía húmeda y el de vía seca.

### **2.5.1. BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA**

#### **a) Labores previas**

La cosecha de los frutos se realiza cuando alcanzan la madurez fisiológica, que es la condición en la que estos llegan a su máximo contenido de materia seca, donde se obtiene el

punto óptimo de calidad. Durante el desarrollo del fruto, el color varía desde un verde intenso inicial, tornándose amarillo al volverse pintón, y finalmente rojo al alcanzar su madurez. El proceso de maduración dura aproximadamente 33 semanas (Herrera *et al.*, 2011).

La Figura 2 muestra los diferentes estados de maduración del fruto de café. Ordenados de izquierda a derecha son: fruto verde, fruto pintón verde, fruto pintón maduro, fruto maduro.



**Figura 2: Estados de maduración del fruto de café.**

FUENTE: Soto (2010)

Al recibir los frutos cosechados es necesario realizar una limpieza, ya que durante la cosecha y el transporte del fruto se introducen cuerpos extraños en la masa de café, los que pueden ocasionar daños a las máquinas pulpeadoras. Los frutos son transportados por una corriente de agua a través de una canaleta. La corriente de agua arrastra los frutos, pero las piedras otros objetos más pesados se hunden a compartimientos inferiores (Clarke y Macrae, 1987).

Al recibir los frutos cosechados es necesario realizar una clasificación. Soto (2010) señala que beneficiar café mezclado trae como consecuencia una calidad de bebida deficiente. Se realiza la mala práctica de beneficiar café mezclado, esto es, café maduro revuelto con café en fruta seca, café inmaduro, café fermentado por retraso al proceso, etc. Los frutos defectuosos carecen de mucílago (o lo tienen en poca cantidad y de mala calidad). Esto ocasiona daño mecánico al grano de café en el despulpado, ya que el mucílago actúa como lubricante.

La técnica tradicional para clasificación es la inmersión de la masa de café fruta en agua para promover la flotación de una parte del café la cual es separada del resto. La inmersión se efectúa en un tanque lleno de agua. La mayor parte del café, los frutos frescos, se sumerge y es succionado para conducirse por una tubería con descarga separada. Los frutos flotantes, frutos secos y defectuosos, son separados y eliminados (Soto, 2010).

## **b) Despulpado**

Consiste en la remoción de la pulpa y cáscara del fruto de café. Las despulpadoras de cilindro son los equipos usuales para este método.

Las despulpadoras de cilindro están constituidas básicamente de un tambor metálico, rotatorio revestido por una delgada camiseta de cobre perforada en relieve (“puntas”) y una placa cóncava de metal denominada “pechero”, la misma que se mantiene regulada a una distancia regulable sobre un lado de este tambor. Cuando el cilindro gira, aprisiona y aplasta los frutos.

El pechero tiene canales cuya sección va disminuyendo, a través de los cuales se desplazan los granos ya desprendidos hacia las ventanillas de salida (Soto, 2010).

La mayor dificultad en el despulpado radica en la poca uniformidad del tamaño de los frutos, y de su grado de maduración. Esta condición de heterogeneidad en el tamaño de las frutas, obliga a realizar un ajuste intermedio, de manera que la mayor cantidad de drupas de diámetro promedio sean bien despulpadas, evitando dañar o picar las grandes. La clasificación reduce pero no elimina este hecho (Cleves; citado por Soto, 2010).

## **c) Fermentación**

Una vez retirada la pulpa de la fruta, que expuesta la capa mucilaginosa que recubre los granos. El método tradicional y más sencillo para su remoción es la fermentación natural (Puerta, 1999).

Puerta y Ríos (2011) definen al mucílago como una capa formada principalmente por sustancias pécticas (pectina y protopectina), y pequeñas cantidades de azúcares, junto con enzimas de origen natural, tales como pectinasas y protopectinasas. Es insoluble en agua, no tiene estructura celular definida y tiene la apariencia de un gel amorfo. La tenacidad con la que está adherido a los granos, impide que sea removido por un simple lavado.

Figuroa (1983) señala que es imprescindible la remoción de la capa mucilaginosa ya que:

- Dificulta la evaporación del agua durante el secado.
- Retiene polvo y microorganismos.
- Constituye medio de cultivo para bacterias, levaduras y hongos, que deterioran el grano durante el almacenamiento.

Puerta (1999) señalan que la fermentación natural se consigue gracias a la acción de las enzimas propias del grano, permitiendo de esta forma la fluidificación del mucílago. El proceso se realiza en tanques de fermentación, tomando en promedio de 12 a 18 horas. Desde el punto de vista bioquímico, la fermentación del mucílago procede a través de una degradación de la pectina y otras sustancias pécticas a ácidos y alcoholes, los cuales son retirados en el lavado.

Figuroa (1983) señala para facilitar la remoción del mucílago se puede agregar levaduras o preparados enzimáticos comerciales, reduciendo el riesgo de fermentaciones no deseadas.

#### **d) Lavado**

Cuando la capa mucilaginosa se ha degradado lo suficiente para que sus restos se desprendan fácilmente, se procede a un lavado con agua de los granos. El mucílago fluidificado es retirado del café por lavado, ya sea en el tanque (en el caso de pequeños productores), o utilizando dispositivos que operan por *batches*, siendo removido manual o mecánicamente (Soto, 2010).

## **e) Secado**

Al concluir el lavado de los granos, se procede a un escurrido y posteriormente un secado. El café pergamino debe tener el contenido de humedad de 11-12 por ciento, ya que a un contenido de humedad mayor se constituye en un medio ideal para el desarrollo de hongos y mohos (Puerta; citado por Soto, 2010).

Las modalidades de secado que se han vuelto tradicionales son, el secado solar y el artificial:

Soto (2010) señala que el secado solar es realizado en patios, donde el café se extiende sobre una superficie construida en mampostería. El café pergamino se coloca formando una capa de poco espesor. La masa de grano es removida y volteada frecuentemente para uniformar su humedad y temperatura. La duración del secado al sol está supeditada al clima. Figueroa (1983) menciona que en lugares donde el aire es relativamente seco y de insolación intensa en los días de cosecha, el secado del café pergamino se logra entre 6 y 8 días.

El secado artificial del grano de café presenta las ventajas de reducción de mano de obra, reducción de tiempo, un espacio de trabajo menos extenso, y no está sujeto a variaciones climáticas, pero requiere de una inversión inicial. Figueroa (1983) señala que debe evitarse que los granos se impregnen de productos de combustión de los materiales que puedan usarse para generar calor, ya que pueden afectar el olor y sabor del café.

## **f) Trillado**

En esta operación se desprende al grano de su pergamino y su capa plateada, con el uso de una trilladora. Bajo las acciones combinadas de presión y fricción, las envolturas del grano se rompen y son expulsadas (Figueroa, 1983).

El grano de café, una vez libre del pergamino, inicia un rápido proceso de oxidación, lo que deriva en la pérdida paulatina de sus atributos de calidad. Es por ello que, para la

preservación de la calidad, es condición básica mantener el grano cubierto por el pergamino hasta el momento que vaya a realizarse el tostado (Figueroa, 1983).

Bajo las acciones combinadas de presión y fricción, las envolturas del grano se rompen y son expulsadas. Bee *et al.* (2005) señalan que debe la operación debe ejercerse con cuidado, ya que el calor resultado de la fricción, puede traer impactos negativos en la calidad del café.

El trabajo puede complementarse con el uso de una pulidora, para eliminar los restos de la película. Bee *et al.* (2005) mencionan que al finalizar el trillado, se obtiene una relación 1 a 5 entre el pergamino y el café verde.

### **2.5.2. BENEFICIO POR VÍA SECA**

En el tratamiento por vía seca, los frutos inician su secado inmediatamente después de su recolección, también a un rango de 11-12 por ciento. Al término del secado, la pulpa, el mucílago y el pergamino constituyen una especie de cáscara que recubre los granos. La operación de descascarado deja al grano apenas cubierto por la película plateada (Figueroa, 1983).

Rigitano *et al.*, citado por Bee *et al.* (2005) señalan que, aunque es un método más simple y barato, requiere de un mayor tiempo de secado, ya que:

- Café es cosechado con un amplio rango de contenido de humedad (entre 35-70 por ciento), por lo que un secado lento no logra un secado homogéneo.
- Las capas extras de la fruta ofrecen mayor resistencia a la evaporación del agua.

Dado que el café permanece húmedo por mayor de tiempo, los riesgos de fermentaciones no deseadas son mayores. Mohos pueden proliferar en la superficie (exocarpo), tales como *Colletotrichum coffeanum* y *Aspergillus niger*. Esto puede disminuir la calidad organoléptica y sanitaria del café, por lo que éste método es menos usado (Clarke y Macrae, 1987).

## 2.6. CAFÉ ESPECIAL

La SCAA (2009) define a los cafés especiales como “Bebidas a base de café óptimamente preparados, que son juzgados por el consumidor (en un mercado limitado en un momento dado) de calidad única, un sabor distintivo y personalidad diferente, y superior, a las bebidas de café comúnmente ofrecidas”. La bebida se basa en granos que han sido cultivados en un área definida con precisión, y que cumplen los más altos estándares para un café verde, así como también para su tueste, almacenamiento y preparado.

El método para evaluar sensorialmente la calidad de las bebidas de café especiales es el método de la SCAA (*Specialty Coffee Association of America*). El método está basado en un análisis descriptivo cuantitativo de la infusión, que es realizado por un equipo de 4 a 10 panelistas entrenados (catadores Q), realizando cinco repeticiones por muestra. De acuerdo a esta metodología, los granos de café son calificados de 0 a 10 puntos en la evaluación de los atributos primarios que comprenden el perfil sensorial del café. La suma de los puntajes individuales de los atributos constituyentes da el puntaje final, que representa la calidad general del café. Cafés con un puntaje superior a 80 puntos son considerados *Cafés Especiales* (Lingle; citado por Meira *et al.*, 2013).

Los 10 valores evaluados para el puntaje sensorial son:

### a) **Aroma:**

Los aspectos aromáticos incluyen el olor del café de la muestra molida cuando todavía está seca y el olor del café mezclado con agua caliente. Para la evaluación completa, se consideran tres puntos (Cañas *et al.*, 2012):

- (1) Oler la muestra molida colocada en la taza antes de verter agua al café.
- (2) Oler los aromas liberados por el café al ser remojado.
- (3) Oler los aromas mientras se rompe la espuma.



Vásquez (2005) menciona que un aroma fuerte, fragante característico, da lugar a altas puntuaciones, mientras que aroma débil, ausente y con notas desagradables darán puntajes bajos.

**b) Sabor:**

El sabor representa la característica principal del café, “las notas en el rango medio”, entre las primeras impresiones dadas por el aroma, y el resabio final. Es una impresión combinada de todas las sensaciones gustativas (papilas gustativas) y aromas retronasales que van de la boca a la nariz. El puntaje dado al sabor debe justificar la intensidad, la calidad y la complejidad del sabor y aroma combinados, que se experimenta cuando el café es sorbido en forma vigorosa, para involucrar el paladar entero en la evaluación (Cañas *et al.*, 2012).

**c) Resabio:**

Se define como la duración de las calidades positivas del sabor (el sabor y aroma) que proceden de la parte posterior del paladar y se quedan después de que el café ha sido degustado o expectorado. Si el resabio fuera corto o desagradable, se debe dar un puntaje más bajo (Cañas *et al.*, 2012).

Sensaciones duraderas y con tonalidades dulces dan puntajes altos, mientras que si el resabio es corto y desagradable (tonalidades amargas o astringentes) deben dar puntajes bajos (Vásquez, 2005).

**d) Acidez:**

Duicela *et al.*; citados por Carrión (2012), describen a la acidez como la impresión gustativa causada por la presencia de ácidos orgánicos en la infusión de café, siendo percibida principalmente en lateral de la lengua. Por su parte, Cañas *et al.* (2012) señalan que, en su mejor forma, la acidez contribuye a una vivacidad del café, al dulzor y al carácter de fruta

fresca y es experimentado casi inmediatamente y evaluado cuando apenas el café es sorbido en la boca.

La acidez excesivamente intensa o dominante puede ser desagradable o, por el contrario, puede ser una acidez moderada pero muy agradable, esto depende del origen y/o otros factores. Es descrita como “brillante” cuando es favorable, mientras que tonalidades agrias, astringentes, acres o ausentes son desfavorables (Cañas *et al.*, 2012).

#### **e) Cuerpo:**

El cuerpo se basa sobre la sensación táctil del líquido en la boca, percibido principalmente entre la lengua y el paladar. Lingle (2010) señala que el cuerpo es la combinación de tanto el “peso” como de la textura. El “peso” (peso en la lengua en comparación con el agua pura) proviene de las finas partículas fibrosas arrastradas al realizar la infusión, mientras que la textura (capacidad de deslizarse en comparación con el agua pura) proviene de los aceites extraídos de las partículas de café y que son suspendidos.

La mayoría de las muestras con el cuerpo pesado pueden recibir un puntaje alto en términos de la calidad (USAID; citado por Carrión, 2012).

Sin embargo; algunas muestras con el cuerpo más ligero, pueden dar una sensación agradable en la boca. Esto se debe principalmente al origen y destino del café en sí, pudiendo recibir puntajes de preferencia iguales aunque sus grados de intensidad sean bastante diferentes (Cañas *et al.*, 2012).

#### **f) Balance:**

Se refiere a la armonía de todos los aspectos de sabor, sabor residual, acidez y cuerpo de la muestra trabajando juntos y complementándose o contrastándose uno al otro. Si la muestra carece de ciertos atributos de aroma o sabor o si algunos atributos se abruma u opacan, el puntaje del balance se reduce (Cañas *et al.*, 2012).

**g) Dulzor:**

Se refiere a una plenitud agradable del sabor. Su percepción es resultado de la presencia de ciertos carbohidratos. El contrario del dulzor en este contexto es agrio, astringencia o los sabores “verdes”. Esta calidad no se puede percibir directamente como en productos cargados de sacarosa, tal como los refrescos, pues afecta otros atributos de sabor. Se otorga 2 puntos para cada taza que muestra este atributo, para un puntaje máximo de 10 puntos si las 5 tazas son iguales (Cañas *et al.*, 2012).

**h) Taza Limpia:**

Se refiere a una falta de impresiones negativas desde la primera ingestión hasta el resabio final. Si hay la presencia de granos con moho, tierra, u otra característica que altere el sabor, una o más tazas exhibirán el sabor atípico, descalificando una taza individual. Dos puntos se dan a cada taza para este atributo, con un máximo de 10 puntos si las 5 tazas son iguales (Cañas *et al.*, 2012).

**i) Uniformidad:**

La uniformidad se refiere a la consistencia del sabor en las tazas, es decir, que tan uniformes se encuentran los atributos y características de la muestra. Si estas saben diferentes, la calificación de éste aspecto no sería alta. Dos puntos se dan a cada taza para este atributo, con un máximo de 10 puntos si las 5 tazas son iguales (Cañas *et al.*, 2012).

**j) Puntaje del Catador:**

El aspecto “total” del puntaje se da para reflejar la calificación integrada de la muestra percibida por cada panelista. Una muestra con varios aspectos sumamente agradables, pero que no llegue exactamente a la expectativa del panelista, recibiría una valoración baja. Un café que cumple con las expectativas en cuanto a su carácter y calidades particulares del

sabor de acuerdo a su origen recibirían un puntaje alto. Este es el paso donde los panelistas hacen su apreciación personal (Cañas *et al.*, 2012).

En el Cuadro 3 se presenta la escala de categorías del café, según el método SCAA (*Specialty Coffee Association of America*).

**Cuadro 3: Escala de Clasificación para el análisis sensorial de los cafés de especialidad por el método SCAA.**

Puntaje Final	Descripción	Clasificación
95 – 100	Ejemplar	Especialidad
90 – 94	Excepcional	
85 – 89	Excelente	
80 – 84	Muy Bueno	
75 – 79	Calidad Buena Usual	No Especialidad
70 – 74	Calidad Promedio	

FUENTE: Meira *et al.* (2013)

## 2.7. CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

### 2.7.1. OPERACIÓN DE TOSTADO

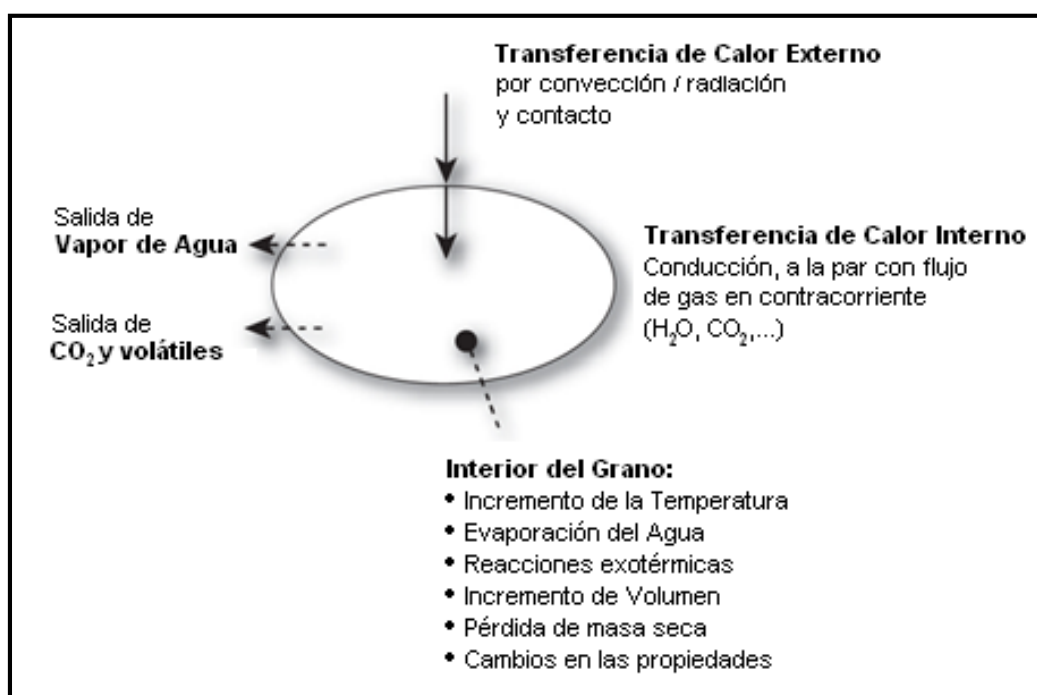
El tostado es el paso relacionado con el desarrollo del aroma y sabor, en el procesado del café verde. Sivetz y Foote; citados por García (1989), define al tostado como la operación que consiste en calentar en un recipiente el café verde hasta que presente el aroma característico de café, siendo la temperatura de torrefacción entre 200 - 220 °C comúnmente.

Bicho *et al.* (2012) señalan que el tostado es un proceso complejo, se producen múltiples cambios físicos y químicos conforme varía la temperatura. Los cambios en la estructura del grano inician desde los 50 °C, y conforme la temperatura aumente, así también lo hará la desnaturalización de proteínas y evaporación de agua del grano.

Bonnlander *et al.* (2005) recalcan que durante el tostado es importante generar y controlar las correctas temperaturas en el momento adecuado, y luego detener el proceso cuando el aroma se ha desarrollado por completo y el color es homogéneo en todo el grano.

Clarke y Macrae (1987) sostienen que la temperatura y tiempo de tostados son variables. Son dependientes del tamaño y variedad del grano, grado de tostado deseado y número de revoluciones del tostador.

La Figura 3 describe los principales cambios que se da durante el tostado. La aplicación de calor al grano produce una pérdida de masa en forma de vapor de agua, CO<sub>2</sub> y compuestos volátiles, alterando a su vez, la estructura interna del grano.



**Figura 3: Principales aspectos en el tostado de café.**

FUENTE: Bonnlander *et al.* (2005)

Encima de los 100 °C, los granos empiezan a tomar un color más oscuro, relacionado con la Reacción de Maillard, produciéndose numerosas sustancias, incluyendo compuestos melanoidinos (Bicho *et al.*, 2012).

Sivetz y Foote (1963) señalan que alrededor de 130 °C, se genera CO<sub>2</sub> producto de la descomposición de ácidos carboxílicos. Bicho *et al.* (2012) mencionan a su vez, que las

sustancias gaseosas (CO<sub>2</sub>, CO, y vapor de agua) al empezar a liberarse, incrementan el volumen y la porosidad del grano.

Bicho *et al.* (2012) señalan que a 180-200 °C, con la disrupción del endosperma, se da la fractura del grano, se libera humo de tonalidad azulada, se generan los compuestos volátiles responsables del aroma característico, y se desarrolla la caramelización de los azúcares. Preston (2014) señala la fractura del grano se debe al incremento de la presión dentro de éste, por liberación de CO<sub>2</sub> y vapor de agua. Aquí se produce un sonido audible conocido como “1° Crack”.

Buffo y Cardelli (2004) señalan que el conjunto de reacciones, donde degradación y síntesis ocurren simultáneamente a elevadas temperaturas, durante el tostado, es conocido como pirólisis. Se da en la parte interna de las células del grano de café en ausencia de aire, siendo ésta la responsable del desarrollo del sabor y aroma característicos. La pirólisis debe ser bruscamente detenida en el punto deseado, retirándolo del tostador, y enfriándolo rápidamente con aire o agua. La composición química, y por lo tanto las características sensoriales, varían dependiendo del grado de tostado que se le dé al café.

Buffo y Cardelli (2004) reportan que los compuestos que se producen en la pirólisis incluyen, azúcares caramelizados, ácido acético y homólogos, aldehídos, cetonas, ésteres, ácidos grasos, aminas, CO<sub>2</sub>, sulfuros, muchos de los cuales son precursores del sabor y aroma característicos del café tostado.

Tostados oscuros implican un mayor tiempo de proceso y como consecuencia un sobrecalentamiento del grano, lo que causa cambios físicos y químicos indeseables al grano de café: Color casi negro (carbonizado), sabor caramelizado (azúcar quemada), sabor amargo de la infusión, disminución de acidez, y pérdida de los compuestos volátiles, que dan el aroma característico al café. Sivetz y Foote (1963), señalan que si se continúa el tostado, eventualmente se obtendrá carbón.

Farah *et al.* (2005) reportan que durante el tostado se da una pérdida de peso en el café de alrededor de 7-20 por ciento, el cual está ligado con el grado de tostado aplicado, e

influenciado en menor manera por la variedad del grano. Clarke y Macrae (1987) señalan que en el tostado, el grano pierde primero su agua libre (10 por ciento), seguido del agua ligada (1-2 por ciento). Cuando la temperatura se incrementa aún más, se dan las reacciones de pirólisis, a alrededor de 185 °C, donde se pierde otro 4-6 por ciento en compuestos volátiles.

El Cuadro 4 muestra la relación entre el grado de tostado, y los cambios físicos que se da durante el tostado.

**Cuadro 4: Cambios físicos en el grano durante el tostado.**

Café	Masa	Humedad	Pérdida por Tostado	Pérdida Orgánica	Densidad	Volúmen	Radio*	Porosidad
	(g)	(% b.s.)	(% b.s.)	(% b.s.)	(g/ml)	(ml)	(mm)	(-)
Verde	0,15	10 - 12	0	0	1,2 – 1,4	0,11 – 0,13	3	<0,1
Tostado medio a oscuro	0,13	2 - 3	15 - 18	5 - 8	0,7 – 0,8	0,16 – 0,19	3,5	0,5

\*De una esfera con un mismo volúmen.

FUENTE: Clarke; citado por Bonnländer *et al.* (2005)

Bicho *et al.* (2012) señalan que durante el tostado, se incrementa de volumen del grano. Este fenómeno se debe a varios factores tales como la expansión de gases en el endospermo (lo que produce el hinchamiento de las células), estiramiento de las membranas celulares, y la destrucción parcial de celulosa, lignina y hemicelulosa por la temperatura.

## 2.7.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL CAFÉ TOSTADO

### a) Carbohidratos

Los carbohidratos presentes en el café verde varían desde azúcares simples hasta almidones y dextrinas. Los almidones y dextrinas presentes en el café verde son hidrolizados y posteriormente solubilizados en el proceso de tostado (Clarke y Macrae, 1987).

Bonnlander *et al.* (2005) mencionan que de los mono y disacáridos en el café verde, sólo quedan trazas de azúcares simples después del tostado. La Sucrosa, su principal azúcar soluble, es parcialmente hidrolizada y el resto es caramelizado. Los azúcares reductores son deshidratados, polimerizados, y parcialmente degradados a compuestos como aldehídos, además de agua, y dióxido de carbono. Farah *et al.* (2006) señalan que los azúcares del café actúan como precursores de otros compuestos aromáticos, tales como ácidos carboxílicos, furanos, furfural, etc.

Buffo y Cardelli (2004) mencionan que en presencia de los aminoácidos, con azúcares reductores da a su vez formación de compuestos melanoidinos por la reacción de Maillard. A temperaturas más elevadas, se da lugar a la caramelización de los azúcares. Estas reacciones le otorgan el color marrón característico al café, dependiendo del grado de tostado que se realice.

En el caso de la Celulosa, Hemicelulosa y Lignina, los cuales constituyen la estructura de las células del grano de café, no son afectadas de manera significativa durante el tostado. Las reacciones de hidrólisis que sufren son muy pequeñas en comparación a las de los carbohidratos más simples (Clarke y Vitzthum; citados por Redgewell y Fisher, 2006).

## **b) Proteínas**

Bonnlander *et al.* (2005) señalan el contenido de proteína cruda (Nitrógeno Kjeldahl multiplicado por 6.25) cambia mínimamente durante el tostado, mientras que los compuestos nitrogenados cambian por completo.

La proteína contenida en el café verde es aproximadamente 14 por ciento, pero prácticamente toda es desnaturalizada, con una correspondiente reducción de la solubilidad en agua, después del proceso de tostado. Debido a su insolubilidad, las proteínas tienen poca influencia en el sabor. Sin embargo, la pequeña fracción que es llevada al extracto, aporta una suave textura coloidal a la taza (Bonnlander *et al.*, 2005).



Durante la pirólisis, se da la hidrólisis de los enlaces peptídicos, liberándose carbonilos, aminas, aminoácidos. Compuestos como el dimetil sulfuro son liberados, el cual es considerado como un constituyente muy importante del aroma y sabor, especialmente característico en los café de muy buena calidad (Bonnlander *et al.*, 2005).

Bonnlander *et al.* (2005) mencionan que de los aminoácidos libres, sólo quedan trazas después del tostado. Los principales productos de reacción son los compuestos de Maillard (Melanoidinos, sus precursores, y volátiles).

Songer (2001) señala que las proteínas solubles en agua, actúan encapsulando los compuestos aromáticos, siendo poco contribuyentes en el sabor por sí mismos. Sin embargo, sus productos de descomposición pueden tener fuerte impacto aromático (como las aminas y compuestos aminados).

### **c) Lípidos**

El tostado rompe la estructura celular del grano, permitiendo que los aceites se muevan con mayor libertad. Al romperse el citoplasma, coalescen las gotas de aceite en la pared celular, volviéndose móvil. Los aceites se difunden a través del grano, y salen al exterior. Esto le da una apariencia “aceitosa” a la superficie del grano, en tostado oscuros (Nicoli *et al.*, 2009).

Frankel, citado por Toci *et al.* (2013) señala que durante el tostado, el calentamiento de los glicéridos del café verde, en presencia de agua y ácidos, provoca una hidrólisis parcial a glicerina y ácidos grasos. Illy y Navarini (2011) mencionan que los ácidos grasos tiene el efecto de reducir la tensión superficial del extracto del café, lo que producirá menos espuma en el mismo.

Aunque los lípidos no aporten directamente al sabor, la fracción del aceite y los ácidos grasos cumplen la función de carriers de los compuestos aromáticos, por lo que su remoción trae un efecto perjudicial al sabor del café (Bonnlander *et al.*, 2005).

## d) Acidez

La acidez en el café tostado proviene principalmente de 2 fuentes:

- Ácidos volátiles, provenientes de la hidrólisis de los carbohidratos durante la pirólisis.
- Ácidos no volátiles, presentes en el grano de café verde.

El Cuadro 5 muestra el contenido de ácido en el café tostado. Cada ácido tiene propiedades características de aroma y sabor, las cuales contribuyen individualmente a la completa impresión de la acidez y sabor del café (Sivet y Foote, 1963).

**Cuadro 5: Ácidos contenidos en el café tostado.**

Ácidos	Porcentaje (%)	Peso Molecular (g/mol)
No Volátiles		
Clorogénico	4,6	354
Caféico	0,3	180
Quínico	0,3	192
Cítrico	0,5	210
Málico	0,5	134
Tartárico	0,4	150
Oxálico	0,2	126
Pirúvico	0,06	88
Volátiles		
Acético	0,36	60
Propiónico	0,02	74
Butírico	0,01	88
Valérico	0,02	102

FUENTE: Sivetz y Foote; citados por García (1989)

Buffo y Cardelli (2004) señala que la acidez durante el tostado varía considerablemente dependiendo del grado de tostado que se dé. Al inicio del tostado (177 °C), se da la formación de ácidos volátiles, tales como el ac. acético y fórmico (y homólogos). Conforme continúa el tostado, parte de estos ácidos empiezan a ser volatilizados, llegando a un punto donde el ratio de formación de ácidos volátiles, iguala a los liberados por el grano, comúnmente en

tostados medios. En tostados oscuros, prevale la volatilización sobre la formación, disminuyendo su contenido (Bonnlander *et al.*, 2005).

Homma (2001) menciona que los ácidos no volátiles, en su mayor parte son degradados durante el tostado. El ácido clorogénico es hidrolizado a ac. cafeico y ac. quínico, y estos a su vez son degradados a compuestos fenólicos, por la reacción de pirólisis. El grado de hidrólisis es dependiente del tiempo de tostado. Sivetz y Foote (1963) mencionan que los compuestos fenólicos son importantes por contribución al aroma, más que por su acidez.

Balzer (2001) señalan que el mayor grado de acidez se logra en tostados ligeros, ya que la producción de ácidos volátiles, por su bajo peso equivalente, compensa la pérdida de acidez causada por la descomposición del ácido clorogénico. En tostados mayores, el valor de la acidez disminuye, ya que continúa la hidrólisis del ácido clorogénico, y la volatilización de los ácidos volátiles.

### **2.7.3. OPERACIÓN DE MOLIENDA**

La molienda como el proceso que convierte los granos enteros de café tostado en fragmentos más pequeños con el objeto de incrementar la eficiencia de la extracción de sólidos solubles y compuestos volátiles encontrados en la matriz del café. La extracción dará un mayor rendimiento de solubles en un corto tiempo si el grano entero es partido en piezas pequeñas, ya que se reduce la distancia del centro de la partícula a la superficie (distancia de difusión) para los solubles de café (Petracco; citado por Nicoli *et al.*, 2009).

El incremento de la superficie de exposición, incrementa además la cantidad de sustancias coloidales que estarán libres para pasar a la solución (o suspensión), principalmente sustancias como carbohidratos de alto peso molecular y grasas (Sivetz y Foote, 1963).

El Cuadro 6 presenta la relación del tamaño de partícula del grano sometido a diferentes tamaños de molienda, el número de partículas, y área de superficie por unidad de peso.

**Cuadro 6: Comparación entre el tamaño y el número de partículas de varios tipos de molienda.**

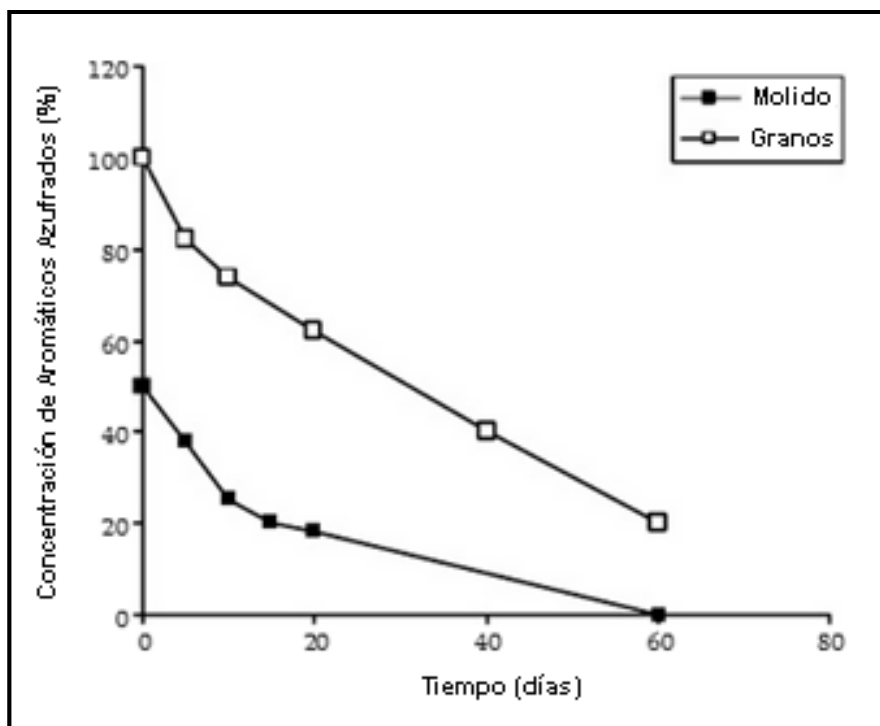
<b>Descripción</b>	<b>Tamaño (mm)</b>	<b>Partículas por g</b>	<b>Incremento part/g</b>	<b>Ratio de incremento</b>	<b>Área Total (cm<sup>2</sup>/g)</b>
Grano Entero	6	6	-	-	8
Grano Rajado	3	48	42	1	16
Molienda Gruesa	1,5	384	336	8	32
Molienda Regular	1	1,296	912	22	48
Molienda Drip	0,75	3,072	1,776	42	64
Molienda Fina	0,38	24,572	21,500	512	128
Molienda Espresso	0,2	491,440	466,868	11,115	240

FUENTE: Lingle (1996)

Cuando el café es molido, aumenta el ratio superficie a volumen, y la porosidad. Esto trae como consecuencia que la molienda venga acompañada por la liberación de gran cantidad de dióxido de carbono y aromas volátiles. Por ello la operación de molienda, está sucedida inmediatamente por el empacado (Stark, 2012).

Reducir el tamaño de partícula, influye no sólo en la eficiencia de la extracción, así como también la naturaleza de los solubles y coloides ingresando al extracto. Sivetz y Foote (1963) señalan que tostados más finos, aumentan la liberación de coloides grasos - protéicos a los extractos, lo que trae cambios en sus características sensoriales.

La Figura 4 compara la evolución de los volátiles en el espacio de cabeza entre granos enteros y molidos durante el almacenamiento.



**Figura 4: Concentración de volátiles de cabeza en café en granos y molido, en función al tiempo de almacenamiento a 25 °C.**

FUENTE: Nicoli *et al.* (2009)

## 2.8. DETERIORO DEL CAFÉ

Nicoli y Savonitti (2005) señalan que el café es un producto estable en anaquel. Debido a las altas temperaturas obtenidas en el tostado y a la baja actividad de  $A_w$ , no se producen deterioros de índole enzimática ni microbiana.

Stark (2012) señalan que durante el almacenamiento se produce una degeneración de las características sensoriales del café, conocida como añejamiento (“Staling”), reduciendo su aceptabilidad. Conforme pasa el tiempo de almacenamiento, se pierden los compuestos aromáticos característicos. El aroma se degenera, volviéndose flato. Tiempos más prolongados producirán aromas a envejecido, y finalmente aparecerán notas rancias.

Por su parte, Buffo *et al.*, citado por Nicoli *et al.* (2009) definen el añejamiento como “aromas dulces pero desagradables del café tostado que refleja la oxidación de varios volátiles placenteros, y la pérdida de otros”, mencionando que los cambios físico-químicos

que se llevan a cabo afectan la calidad y aceptabilidad de la bebida. Cita como principales acontecimientos involucrados en el añejamiento del café a la pérdida de compuestos volátiles, la liberación de dióxido de carbono, y la migración de aceite a la superficie.

### **2.8.1. PÉRDIDA DE COMPUESTOS VOLÁTILES**

Stark (2012) señala que inmediatamente después del tostado se inicia la pérdida de los volátiles que dan el aroma característico al café, debido a su propia inestabilidad y factores del ambiente. La pérdida de los compuestos volátiles tiene 2 motivos:

- Pérdida de aromas deseables: Eliminación de compuestos de mayor volatilidad.
- Incremento de aromas indeseables: Producto de reacciones de oxidación de volátiles.

Songer (2001) señala que primero se da la disipación de los compuestos de mayor volatilidad, tales como aldehídos (aromas dulces y frutales) y pirazinas (aromas terrosos). Los volátiles, junto con el CO<sub>2</sub>, son disipados en el ambiente por mecanismos de difusión, ocasionando la pérdida del aroma característico del café.

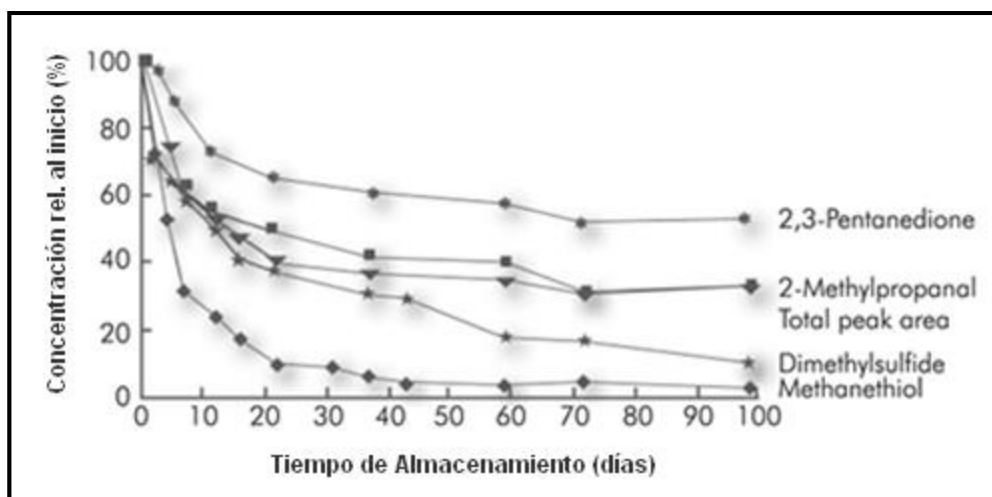
Stark (2012) señala que la pérdida de algunos volátiles específicos, son responsables de la mayoría de pérdida del aroma a recién tostado, tales como compuestos azufrados, aldehídos de Strecker, alfa-dicarbonilos. En particular, la pérdida de Metanotiol (también conocido como metil mercaptano) es considerada como el indicador más importante, ya que enmascara aromas indeseables además de proporcionar el aroma placentero.

Nicoli y Savonitti (2005) señalan que la mayor pérdida de los compuestos volátiles, particularmente aquellos con mayor volatilidad, se da en las 3 primeras semanas de almacenamiento, principalmente por volatilización.

La pérdida de sustancias aromáticas en el café está relacionada no solo a su volatilidad, pero también la forma en que están atrapadas en las células. La pared celular consiste en

polisacáridos y melanoidinos, que pueden adsorber y retener una gran cantidad de sustancias volátiles, particularmente las polares (Nicoli y Savonitti, 2005).

La Figura 5 muestra la evolución de los compuestos aromáticos durante el almacenamiento.



**Figura 5: Evolución de principales compuestos aromáticos en el café tostado, durante el tiempo de almacenamiento.**

FUENTE: Nicoli y Savonitti (2005)

## 2.8.2. LIBERACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO

Nicoli y Savonitti (2005) mencionan que durante el almacenamiento, se da la liberación gradual del CO<sub>2</sub> formado durante el tostado, ocasionando una pérdida de peso de 1,5 - 1,7 por ciento, dependiendo del grado de tostado.

La degasificación no sigue una velocidad constante. Nicoli y Savonitti (2005) señalan que la degasificación inicia a una considerable velocidad en las horas posteriores al tostado, pero disminuye gradualmente conforme el CO<sub>2</sub> y volátiles aumentan en el espacio de cabeza del empaque, pudiendo tomar meses para que todo el CO<sub>2</sub> sea liberado.

La liberación del dióxido de carbono, representa un problema durante el almacenamiento, desde un punto de vista tecnológico. Cuando se usan empaques flexibles, el CO<sub>2</sub> produce el

hinchamiento del empaque, lo que compromete la integridad del empaque (Sivetz y Desrosier; citados por Nicoli y Savonitti, 2005).

Sin embargo, la eliminación total del CO<sub>2</sub> no es recomendable ya que actúa como barrera protectora. Nicoli y Savonitti (2005) señalan que el CO<sub>2</sub> formado en el tostado actúa como barrera protectora, excluyendo la mayor parte del O<sub>2</sub> atmosférico de la estructura celular, retrasando la oxidación de los lípidos y compuestos volátiles.

Clarke y Macrae (1987) señalan que la pérdida de CO<sub>2</sub> es más rápida en el café molido que en granos enteros, ya que tiene mayor superficie expuesta para la absorción de humedad y menor distancia que recorrer para que el CO<sub>2</sub> se difunda al ambiente. Conforme el CO<sub>2</sub> se disipa, también lo hacen los volátiles, al mismo tiempo que ingresa el O<sub>2</sub>.

El proceso de degasificación es lento porque mucho del CO<sub>2</sub> está ligado a la estructura del café. Desde el punto de vista físico-químico, está solubilizado parcialmente en la fase lipídica, la fase acuosa y adsorbido en sitios apolares. Sin embargo este proceso es acelerado por la molienda (Nicoli y Savonitti, 2005).

Por esta razón, es necesario permitir una etapa de degasificación del café, antes de empacarlo, para evitar el hinchamiento del empaque durante el almacenamiento. Otros procedimientos tecnológicos desarrollados para este fin son la presurización y adopción de empaques adecuados, que permiten la disipación del CO<sub>2</sub>, minimizando oxidación y pérdida de aroma (Nicoli *et al.*, 2009).

### **2.8.3. MIGRACIÓN DE ACEITE A LA SUPERFICIE**

Nicoli *et al.* (2009) señalan que la gradiente de presión responsable de la disipación de los compuestos volátiles y CO<sub>2</sub> al ambiente, también es responsable de la migración de los lípidos, y sustancias lipofílicas a la superficie del grano.

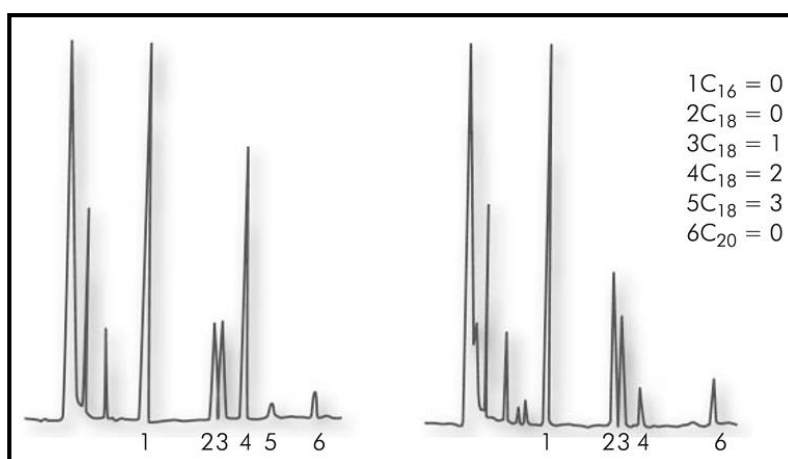


La migración de aceite inicia desde el tostado y continúa durante el almacenamiento. Al liberarse el CO<sub>2</sub>, tiende a empujar el aceite a la superficie. Nicoli y Savonitti (2005) reportan que el incremento de la viscosidad del aceite al almacenar a bajas temperaturas ralentiza el proceso de migración.

Nicoli y Savonitti (2005) señalan que como consecuencia del incremento del área expuesta, la fracción lipídica se vuelve más propensa a oxidarse. La producción de peróxidos genera productos derivados (sustancias aromáticas indeseables), actuando además como catalizadores para acelerar la oxidación de lípidos restantes, generando rancidez. Flament; citado por Nicoli y Savonitti (2005), mencionan que entre los aromas indeseables generados, destacan los aldehídos volátiles, tales como el trans-2-nonenal.

Fourny; citado por Nicoli y Savonitti (2005), señala que el principal ácido graso del café, el ácido linoleico (C18:2) disminuye durante el almacenamiento, ya que por sus dobles enlaces, es susceptible a oxidarse, comparado con el ácido palmítico (C16:0), que prácticamente no sufre variaciones. Productos derivados de esta oxidación lipídica (tales como el trans-2-nonenal), pueden ser usados para medir el grado de deterioro del café.

La Figura 6 muestra la reducción del contenido de ácido linoleico en granos rancios con respecto a frescos.



**Figura 6: Contenido de Ácidos Grasos de café tostado en granos frescos (izquierda) y rancios (derecha).**

FUENTE: Fourny; citado por Nicoli y Savonitti (2005)

## **2.9. FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL CAFÉ**

Los principales factores que afectan el tiempo de vida del café tostado son el Oxígeno, la humedad, y la temperatura de almacenamiento (Nicoli y Savonitti, 2005).

Operaciones tecnológicas tales como molienda y desgasificado pueden acelerar el deterioro del café, por el incremento de la superficie expuesta, así como la disponibilidad de Oxígeno y humedad (Nicoli y Savonitti, 2005).

### **2.9.1. OXÍGENO**

La oxidación es responsable no solo de la pérdida de compuestos aromáticos característicos, sino que también contribuye a la formación de aromas indeseables. Stark (2012) señalan que incluso a bajas concentraciones de Oxígeno en el café empacado (<2 por ciento), se ha encontrado que migra al café, facilitando las reacciones de oxidación.

Songer (2001) menciona que los volátiles en el café son extremadamente reactivos, y por lo tanto fácilmente oxidables, dando lugar a formación de compuestos de aroma desagradable. Algunos mercaptanos aumentan por la oxidación de otros compuestos azufrados conforme el café envejece. El furfural mercaptano en concentraciones entre 0,01 y 0,5 ppb es percibido como “café recién tostado”, pero al desarrollarse mayores cantidades es percibido como añejo. Nicoli *et al.* (2009) mencionan que parte de los aldehídos son oxidados, parte de los alcoholes son transformados en aldehídos pungentes. El metil mercaptano (metanotiol) se oxida y volatiliza.

La degradación de la frescura del café ocurre tan pronto como el café es puesto en contacto con el Oxígeno. El hexanal, producto de oxidación lipídica, es generado inmediatamente en un ambiente desprotegido. Los compuestos azufrados de bajo peso molecular, responsables del aroma a tostado fresco, son disipados rápidamente al exponerlos al Oxígeno (Poisson *et al.*; citados por Stark, 2012).

Labuza *et al.*; citados por Stark (2012), determinaron la disponibilidad de Oxígeno es el factor más crítico en el deterioro del café. Señalan que reducir el Oxígeno a 0,5 por ciento en un contenedor de café puede incrementar el tiempo de vida de café 20 veces.

Badui (2013) señala que los compuestos generados por el oscurecimiento enzimático de Maillard tienen capacidad antioxidante, principalmente las melanoidinas, capaces de actuar como quelantes y eliminadores de Oxígeno, radicales, peróxidos e hidroxilos. Sin embargo, Nicoli y Savonitti (2005) mencionan que conforme el CO<sub>2</sub> es eliminado por la desgasificación, las reacciones de oxidación ya no pueden ser detenidas por la actividad antioxidante de los compuestos de Maillard.

### **2.9.2. HUMEDAD**

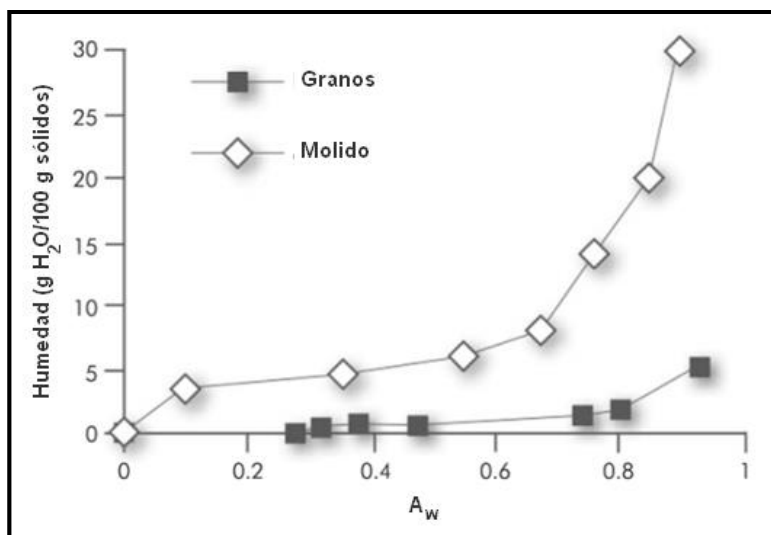
Songer (2001) señalan que el café tostado puede absorber eventualmente la humedad del ambiente durante el almacenamiento. El incremento de la humedad, trae consigo la disipación y oxidación de compuestos aromáticos.

Anese *et al.*; citados por Nicoli *et al.* (2009), señalan que conforme el contenido de humedad incrementa, la estructura de los granos adquiere propiedades elásticas, lo cual tiene un fuerte impacto negativo en su capacidad de retener volátiles.

Songer (2001) menciona que el contenido de agua libre, por su movilidad, contribuye al proceso de añejamiento, ya que retiene y distribuye energía térmica y Oxígeno disuelto a los compuestos aromáticos, ácidos y lípidos del café. Señala que el contenido de agua libre es incrementado siempre que el café entre en contacto con condiciones húmedas o altas temperaturas (el agua ligada se transforma en agua libre, al calentarse).

OTA (1979) señala que el incremento de la humedad puede causar la hidrólisis de compuestos aromáticos como ésteres y acetales, produciendo aromas menos placenteros.

La Figura 7 muestra las isotermas de adsorción de café en granos y molido.



**Figura 7: Isotermas de adsorción a 22 °C de café tostado, en granos y molido.**

FUENTE: Labuza *et al.*; citados por Nicoli y Savonitti (2005)

La captación de humedad en el café es más rápida en su forma molida, que en granos. Debido a la mayor área de exposición, que afecta la concentración y la disponibilidad de sitios polares activos, el café molido muestra una mayor capacidad de captar moléculas de agua (Labuza *et al.*; citados por Nicoli y Savonitti, 2005).

### 2.9.3. TEMPERATURA

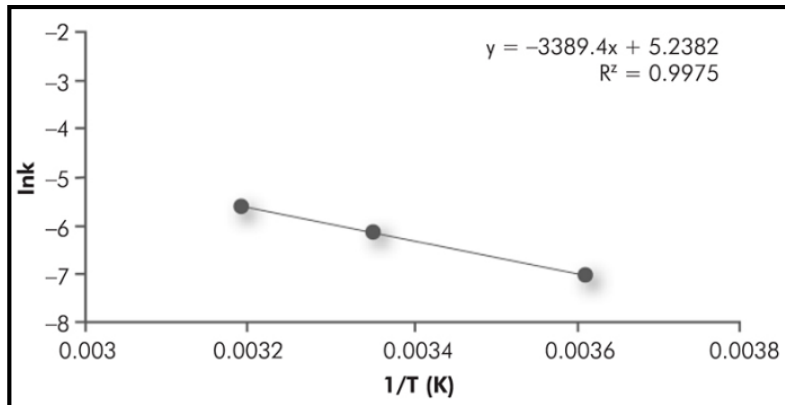
La temperatura afecta la velocidad de añejamiento tanto químicamente como físicamente. Químicamente, la temperatura tiene una relación positiva con las cinéticas de las reacciones químicas, y por lo tanto son aceleradas al elevar la temperatura (Nicoli *et al.*; citados por Stark, 2012).

Físicamente, las gradientes de presión y concentración entre el café y el ambiente, son influenciadas por la temperatura, lo que acelera la disipación compuestos volátiles y el  $CO_2$  (Stark, 2012).

Songer (2001) señala que las fluctuaciones de temperatura tienen un efecto directo en la velocidad de añejamiento del café. Además de proveer la energía térmica necesaria para el

añejamiento, aún si la elevación de temperatura es sólo temporal, puede causar el incremento de la solubilidad del Oxígeno presente y una elevación del contenido de agua libre.

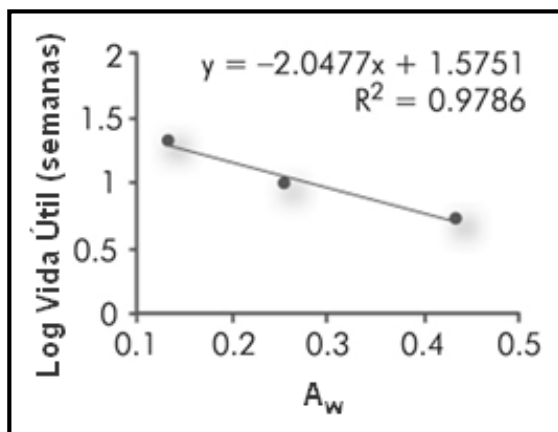
La Figura 8 muestra la liberación de los volátiles del café tostado a diferentes temperaturas de almacenamiento.



**Figura 8: Gráfico Arrhenius de la liberación de volátiles de granos de café tostado a diferentes temperaturas (Expresado en ratio de liberación de volátiles vs. Temperatura  $^{-1}$  (K)).**

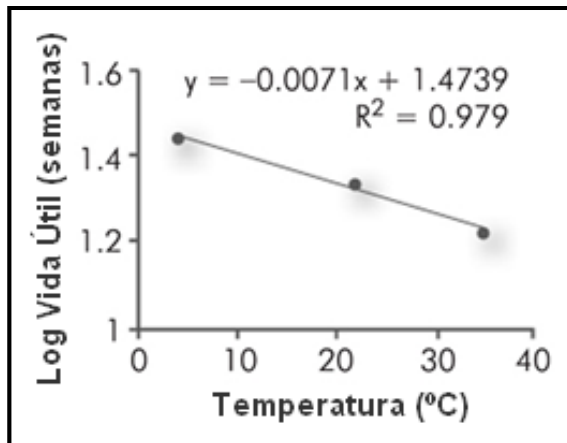
FUENTE: Nicoli *et al.*; citados por Nicoli y Savonitti (2005)

Se ilustra la influencia de la actividad de agua y la temperatura en el tiempo de vida del café tostado molido, calculado en base al índice de ganancia de Oxígeno, en las Figuras 9 y 10 respectivamente.



**Figura 9: Efecto de la Aw en el tiempo de vida del café tostado molido.**

FUENTE: Labuza *et al.*; citados por Nicoli y Savonitti (2005)



**Figura 10: Efecto de la Temperatura en el tiempo de vida del café tostado molido.**

FUENTE: Labuza *et al.*; citados por Nicoli y Savonitti (2005)

Labuza *et al.*; citados por Nicoli y Savonitti (2005), afirman que, si bien la temperatura y la humedad tienen un efecto negativo en el tiempo de vida del café, el efecto de la temperatura es menor.

## 2.10. REQUERIMIENTOS DEL EMPAQUE

Clarke y Macrae (1987), señala que un empaque óptimo para el café tostado debería cumplir los siguientes requerimientos:

- Baja velocidad de transmisión de vapor de agua.
- Excelentes características de barrera al Oxígeno.
- Ser a prueba de grasa.
- Impermeabilidad a aromas y olores.
- Permitir salida de dióxido de carbono.
- Resistente (debe soportar manejo durante la distribución).
- No presentar dificultades en el formado del empaque mismo, y durante el llenado.
- Bajo costo.

Cardelli y Labuza (2001) hace especial hincapié en la importancia de las propiedades barrera contra la humedad y el Oxígeno, ya que son los principales factores que generan la alteración y pérdida de los compuestos volátiles.

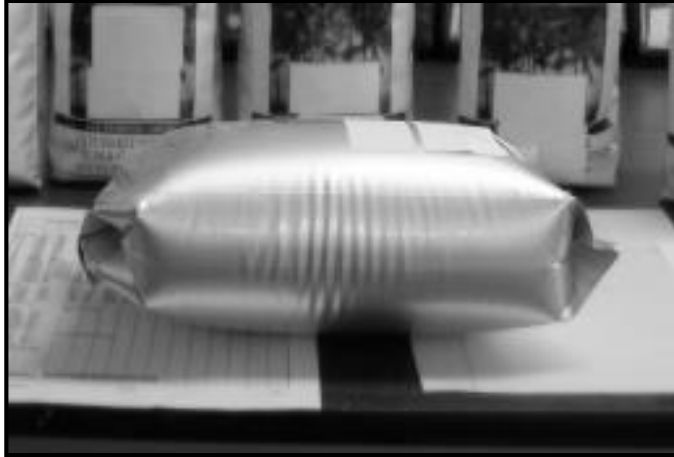
Que el empaque sea a prueba de grasa, es también esencial. Al romperse las células durante el tostado, las gotas de aceite coalescen, volviéndose móviles. Al exudar el aceite, de no evitarse, reacciona con el Oxígeno, produciendo el enranciamiento. Es por ello que empaques de papel puro, son evitados (Nicoli y Savonitti, 2005).

Según Sivetz; citado por García (1989), en el almacenamiento de café, el objetivo principal es el de retener el aroma y sabor fresco después del tostado y molienda de los granos hasta su consumo como infusión. Es por ello que el empaque debe evitar la entrada de aromas extraños, o salida de los actuales.

En la actualidad, los empaques más usados para la conservación del café tostado son multilaminados de polímero-aluminio, debido a su facilidad de uso. Nicoli *et al.* (2009) mencionan que estos empaques aseguran una barrera eficiente por la presencia de lámina de aluminio central. Otras películas que lo componen son, películas a prueba de agua en la parte interna, y películas rígidas que confiera resistencia mecánica en la parte externa.

Implementar un sistema de evacuado en el empaque al CO<sub>2</sub> liberado del café tostado, es crítico en los empaques flexibles, ya que el café recién tostado y molido libera CO<sub>2</sub> y sustancias aromáticas, los cuales pueden hinchar los paquetes e incluso llegar a romperlos (Goglio *et al.*, 2012).

La Figura 11 muestra un ejemplo de café recién tostado, envasado en un empaque trilaminado, después de 2 días de almacenamiento, sin aplicar algún tipo de mecanismo para el evacuado. El hinchamiento es debido a la liberación de CO<sub>2</sub>.



**Figura 11: Café tostado e inmediatamente empacado, después de 2 días de almacenamiento.**

FUENTE: PacificBag (2015)

Realizar un almacén transitorio del café antes del envasado es sugerido, para permitir la liberación del CO<sub>2</sub>, sin embargo sólo es admisible por cortos períodos de tiempo, dado el efecto negativo del Oxígeno ambiental en los compuestos aromáticos del café (Cañas *et al.* 2012).

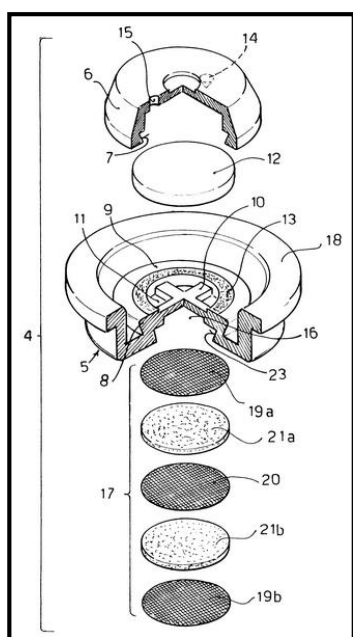
### **2.10.1. VÁLVULA DEGASIFICADORA**

La liberación de CO<sub>2</sub> comienza a una velocidad considerable justo al finalizar el tostado, disminuyendo gradualmente, sin embargo el proceso puede tardar entre 3 a 4 semanas dependiendo del grado de tostado. No existe un material que permita el paso libre de CO<sub>2</sub>, y se mantenga barrera al O<sub>2</sub> (Nicoli *et al.*, 2009).

La más común solución radica en la aplicación de válvulas degasificadoras de una vía en el empaque. Dado que al finalizar el tostado y molido, el CO<sub>2</sub> liberado actúa desplazando el Oxígeno circundante, empacarlo en esta etapa asegura una buena calidad. La válvula permite la salida paulatina del CO<sub>2</sub>, dado que la presión es mayor dentro del empaque, pero evita la entrada de O<sub>2</sub> y vapor de agua. De esta manera se procede a sellar en un empaque de alta barrera a gases para evitar el intercambio entre el ambiente y el café durante el almacenamiento, comúnmente aluminio, o películas metalizadas para este efecto (Bosch, 2005).



La Figura 12, muestra la estructura de la válvula desgasificadora de una vía. Su estructura comprende el cuerpo de la válvula (5, 6), el elemento membrana de la válvula (12), y el filtro (17), al cual puede agregarse capas selectivas, según el fin buscado, tal como carbón activado (21a), que permite el paso de gases de bajo peso molecular, como el CO<sub>2</sub>, pero retiene moléculas de alto peso molecular, como los gases que componen el aroma. También se incluye una capa adsorbente (21b), para eliminar el Oxígeno residual presente, comúnmente de iones ferrosos.



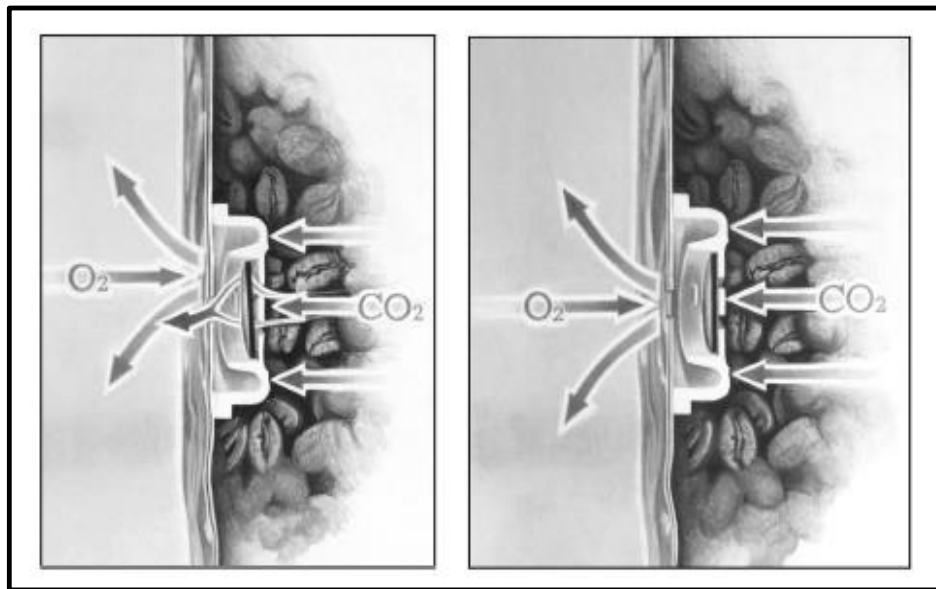
**Figura 12: Estructura de una válvula desgasificadora de una vía.**

FUENTE: Goglio *et al.* (2002)

A medida que aumenta la presión en el interior del empaque, la membrana de la válvula continúa alabeándose en una sección definida de la válvula hasta que se forma un conducto por el cual el CO<sub>2</sub> es evacuado al exterior. El proceso continúa hasta que la presión interna de la bolsa iguala a la del exterior. Una vez logrado el equilibrio de presión, la válvula se cierra y la membrana se adhiere nuevamente al cuerpo. De esta manera se evita el hinchamiento excesivo del empaque, y se minimiza la pérdida de compuestos volátiles por oxidación (Bosch, 2005).

En la Figura 13 muestra las posiciones abierta y cerrada de la válvula desgasificadora de una vía. La imagen de la izquierda muestra la posición abierta de la válvula. Cuando la presión

dentro del empaque sellado se incrementa por encima de la presión de apertura de válvula, se alabea la membrana, y el sello es momentáneamente interrumpido, permitiendo que la presión escape del empaque, es decir la salida de CO<sub>2</sub>. La imagen de la derecha, muestra la posición cerrada de la válvula. En este caso, la presión liberada por los granos de café es baja, por lo tanto la válvula permanece cerrada.



**Figura 13: Posición abierta/liberación y herméticamente cerrada de una válvula desgasificadora de una vía.**

FUENTE: PacificBag (2015)

Nicoli *et al.* (2009) señalan que la vida en anaquel del café puede incrementarse adicionalmente mediante la aplicación de diferentes técnicas de empackado, con el objetivo de reducir el contenido de O<sub>2</sub> y humedad en el espacio de cabeza. Entre las más comunes se encuentran la aplicación de vacío, y la incorporación de gases inertes. Otras opciones incluyen el uso de presurización, pero no son aplicables para empaques flexibles.

## **2.11. TIEMPO DE VIDA EN ANAQUEL**

No existe una definición simple, generalmente aceptada de la vida de anaquel. El IFT (1974) ha definido el tiempo de vida en anaquel como el período entre la fabricación y la venta al por menor de un producto alimenticio, durante el cual el producto es de calidad satisfactoria

en términos de valor nutricional, sabor, textura, y apariencia. Una definición alternativa planteada por Hough y Fiszman (2005) es que la vida útil de un alimento representa aquel período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario, manteniendo las características sensoriales, funcionales y nutricionales por encima de los límites de calidad previamente establecidos como aceptables.

Labuza y Taoukis (1990) indican que la vida en anaquel depende de 4 factores principales: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento. La formulación involucra la selección de las materias prima más apropiada e ingredientes funcionales que permiten incrementar la aceptación y lograr la seguridad e integridad del producto. El procesamiento somete las materias primas e ingredientes formulados a condiciones que son desfavorables o inhibitorias para las reacciones de deterioro y promueven cambios físicos y químicos, dándole así al alimento su forma y características finales (excepto para productos que requieran añejamiento). Una vez que el alimento abandona la etapa de procesamiento sigue manteniendo sus características y el período en que el alimento retiene dichos atributos está en función del microambiente del empaque. Los parámetros más importantes a considerar son la composición del gas (Oxígeno, dióxido de carbono, gases inertes, etileno, etc.), la humedad relativa (% H.R.), presión o estrés mecánico, luz y temperatura. Estos parámetros dependen tanto del empaquetado, como de las condiciones de almacenamiento.

Pruebas de almacenamiento son parte del programa de desarrollo de cada producto, así este incluye un nuevo producto, el mejoramiento de un producto existente o simplemente un cambio del tipo de especificación en los ingredientes (IFT, 1974).

Garitta *et al.* (2004) señalan que la aparición de defectos no es el único factor para definir el final de la vida en anaquel. Puede haber cambios en los niveles de los atributos deseables que conllevan al rechazo del producto.

No se espera que un producto almacenado mantenga exactamente el mismo estándar que uno fresco, sino que las diferencias sean suficientemente pequeñas, para no afectar su aceptabilidad de forma significativa. Estas diferencias sensoriales son las que definen el criterio de fallo para el final de vida en anaquel (Garitta *et al.*, 2004).

### **2.11.1. DETERIORO RELACIONADO CON LA TEMPERATURA**

El deterioro puede producirse tanto a temperaturas bajas como a temperaturas elevadas. El incremento de la temperatura generalmente incrementa la velocidad de las reacciones químicas. En alimentos contenidos con contenido graso, la grasa sólida se vuelve líquida y actúa como solvente para las reacciones en la fase oleosa. El incremento de la temperatura puede también cambiar las características de cristalización de los alimentos con contenido de azúcares. Las temperaturas fluctuantes producen formación de cristales en los alimentos congelados, como los helados. En contraste, el incremento de la temperatura reduce el endurecimiento de los panes (Kilcast y Subramaniam, 2000).

El efecto predominante de la temperatura sobre los porcentajes de la velocidad de reacción relacionado al deterioro del alimento ha sido un tema de mucha investigación, y han sido publicados muchos estudios significativos de cinética de los importantes índices del deterioro físico, químico, microbiológico o sensorial de los alimentos. Las ecuaciones matemáticas propuestas para describir la dependencia de la temperatura a la velocidad de pérdida de calidad es la relación de Arrhenius obtenido de las leyes termodinámicas y principios mecánicos estadísticos (Taoukis *et al.*, 2000).

#### **a) Velocidad de reacción**

Los alimentos pueden considerarse en general como sistemas discontinuos. La velocidad de reacción, es decir, la velocidad de aparición o desaparición de alguna sustancia, necesita ser adaptada a cada sistema. Además de tratarse de medios de densidad prácticamente constante, puede admitirse que la velocidad de reacción representa, en estos casos, el cambio de concentración de un reactivo en función del tiempo. La velocidad de reacción proporcionaría, por tanto, una medida de la reactividad y estabilidad del sistema (Johnson *et al.*, 1995).

Según Taoukis *et al.* (2000), mediante un estudio cuidadoso de los componentes y procesos de los alimentos, puede establecerse que las reacciones analizadas tienen un impacto importante en la velocidad de deterioro. Basado en este análisis y sin subestimar la

complejidad fundamental de los sistemas alimenticios, el cambio en el alimento puede representarse por la pérdida de uno o más índices de calidad (por ejemplo un nutriente de un sabor característico) o por la formación de un producto desagradable (por ejemplo un sabor desagradable o decoloración). Generalmente, los factores de calidad son parámetros químicos, físicos, microbiológicos o sensoriales cuantificables, seleccionados para describir representativamente el deterioro de la calidad de un sistema particular de alimentos.

$$K = K_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (1)$$

Donde:

$K$  = Constante de velocidad de reacción a la temperatura  $T$  (sus unidades dependen del orden de reacción).

$K_0$  = Constante pre-exponencial (mismas unidades que  $K$ ).

$E_a$  = Energía de activación (KJ/mol).

$R$  = Constante de los gases ideales (8.314 J/mol $^{\circ}$ K).

$T$  = Temperatura absoluta ( $^{\circ}$ K).

La velocidad de reacción es función principalmente de la composición y de la temperatura. La influencia de ésta se representa a través de la constante cinética o velocidad específica. Con muy pocas excepciones, la velocidad de las reacciones aumenta, a menudo de forma aguda, con la temperatura. La relación entre la constante de velocidad y la temperatura se describe mediante la ecuación de Arrhenius (Escardino y Berna, 2003).

La influencia de la temperatura en la velocidad de reacción ha sido derivada empíricamente así como también a partir de mecanismos termodinámicos, estadísticos y otros medios. Básicamente, el logaritmo de la constante de velocidad es proporcional a la inversa de la temperatura absoluta (Labuza y Riboh, 1982).

## **b) Reacción de orden cero (n=0)**

Para reacciones de orden cero (n=0), el porcentaje de pérdida de vida en anaquel en el tiempo es constante a una temperatura constante (Labuza y Riboh, 1982).

Se parte de la siguiente expresión (Labuza y Riboh, 1982):

$$-\frac{dA}{d\theta} = KA^n \quad (2)$$

El valor n es reemplazado por 0 en la ecuación 2. Integrando la ecuación tenemos:

$$A = A_0 - K\theta_s \quad (3)$$

Donde:

$A_0$  = Valor inicial de la característica de calidad.

$A$  = Valor de la característica de calidad en el tiempo  $\theta$ .

$K$  = Constante de velocidad de orden cero (unidades de tiempo elegidas  $^{-1}$ ).

$\theta_s$  = Vida en anaquel en días, meses, años.

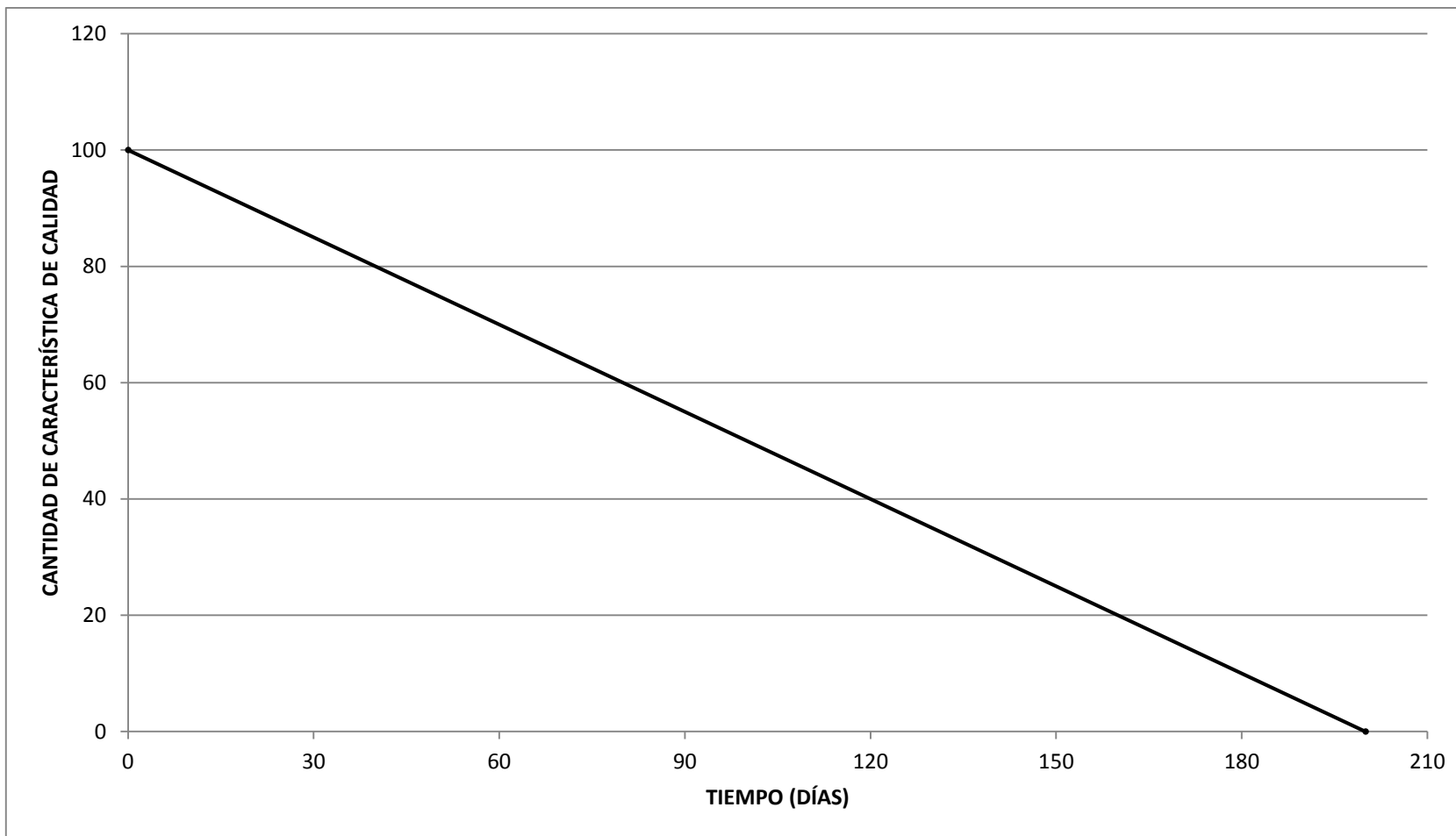
La Figura 14 muestra el ploteo del cambio de calidad versus el tiempo de almacenamiento para una reacción de Orden Cero.

Un orden de reacción cero ( $n=0$ ) es aplicable para las siguientes formas de deterioro (Labuza y Riboh, 1982):

- Degradación enzimática en frutas frescas y vegetales, algunos alimentos congelados y algunas pastas refrigeradas.
- Pardeamiento no enzimática en cereales secos y productos lácteos deshidratados.
- Oxidación lipídica (desarrollo de rancidez en alimentos congelados y deshidratados).

### c) **Reacción de primer orden ( $n=1$ )**

La vida en anaquel en muchos casos no sigue una velocidad constante de degradación. En efecto, el valor de n puede variar para muchas reacciones desde cero hasta cualquier valor



**Figura 14: Cambio de Calidad frente al tiempo mostrado por una reacción de Orden Cero.**

FUENTE: Fennema (2000)

fraccional o sobre dos. Muchos alimentos que no se deterioran por orden cero siguen un modelo donde  $n=1$ , que resulta en un decrecimiento exponencial en la velocidad de pérdida como calidad decreciente. Esto no significa que la vida en anaquel de alimentos que siguen este diseño es más larga que la de aquellos con una velocidad constante; desde que el valor de la constante de velocidad  $K$  es diferente (Labuza y Riboh, 1982).

En este caso, si se reemplaza  $n = 1$  en la ecuación 2 se obtiene:

$$-\frac{dA}{d\theta} = KA \quad (4)$$

Integrando la ecuación tenemos:

$$\ln A = \ln A_0 - K\theta_s \quad (5)$$

$$\text{Log} A = \text{Log} A_0 - \frac{K\theta_s}{2.30258} \quad (6)$$

Donde:

$A_0$  = Valor inicial de la característica de calidad.

$A$  = Valor de la característica de calidad en el tiempo  $\theta$ .

$\theta$  = Tiempo.

$k$  = Constante de velocidad de orden uno (unidades de tiempo elegidas  $^{-1}$ ).

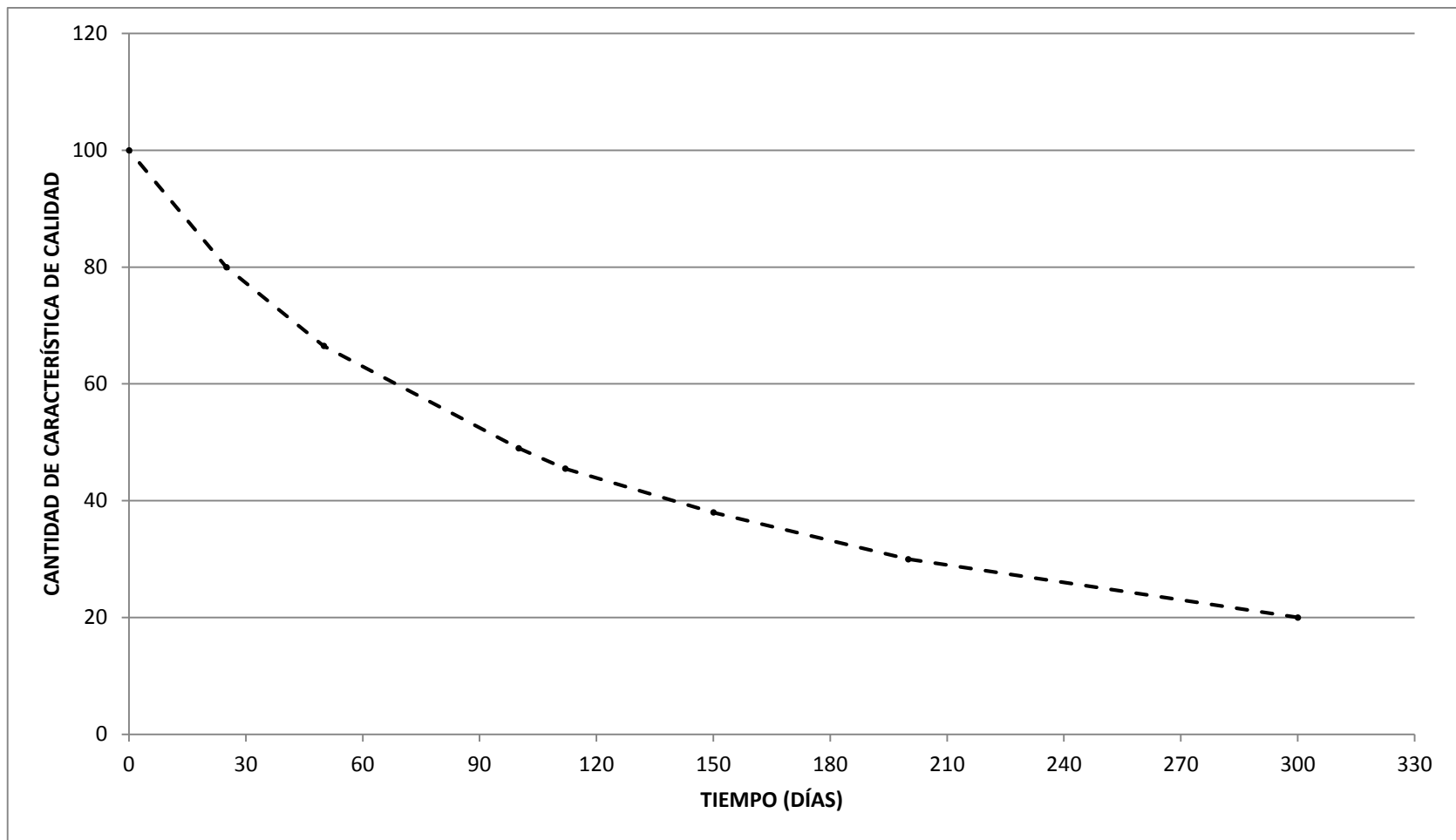
$\theta_s$  = Vida en anaquel en días, meses, años.

La Figura 15 muestra el ploteo del cambio de calidad versus el tiempo de almacenamiento para una reacción de Primer Orden.

Los tipos de deterioro que siguen una reacción de primer orden ( $n=1$ ) son (Labuza y Riboh, 1982):

- Rancidez en aceites o vegetales secos.
- Crecimiento microbiano (carne y ensaladas).
- Producción microbiana de sabores indeseables y limo (carne y pescado).
- Pérdida de vitaminas (alimentos envasados y deshidratados).
- Pérdida de calidad proteica (alimentos deshidratados).

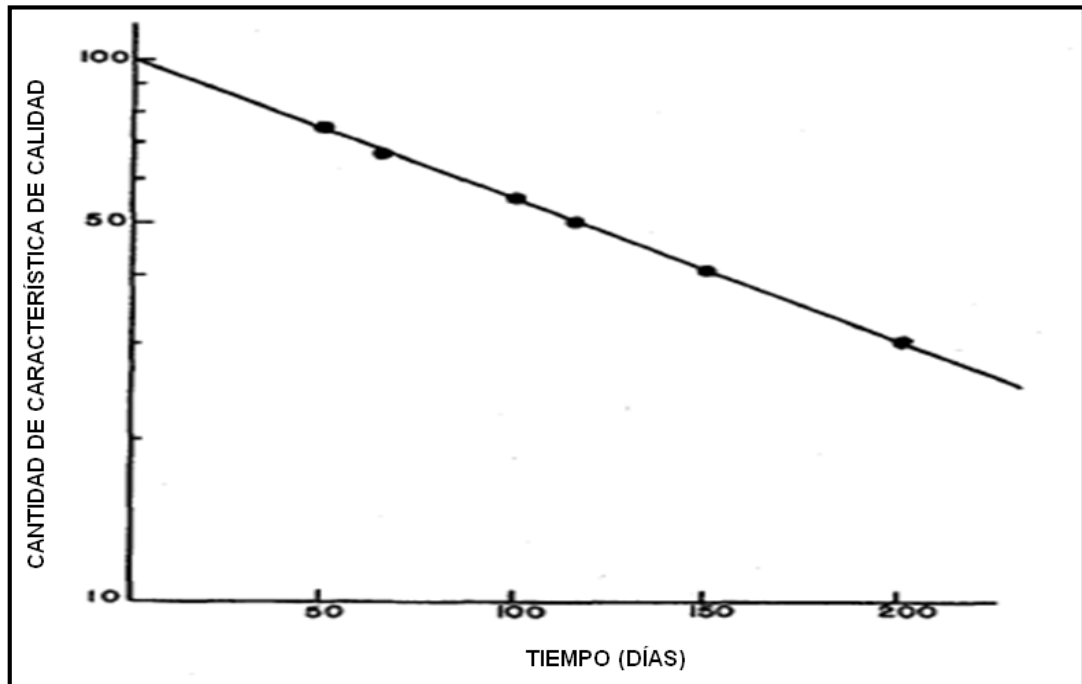




**Figura 15: Cambio de Calidad frente al tiempo mostrado por una reacción de Primer Orden.**

FUENTE: Fennema (2000)

Otra manera de representar el deterioro exponencial es planteando la pérdida de calidad versus el tiempo sobre un papel semilogarítmico (ver Figura 16).



**Figura 16: Representación semilogarítmica para una reacción de Primer Orden de pérdida de calidad frente al tiempo.**

FUENTE: Fennema (2000)

#### **d) Funciones de otros órdenes**

Existen muy pocos datos para describir la degradación de alimentos por otros órdenes diferentes a ordenes 0 o 1. Lee *et al.* y Sing *et al.*; citados por Labuza y Riboh (1982), describieron la degradación de la vitamina C en alimentos líquidos como jugo de tomate o formulas envasadas para infantes, con tipo de deterioro de segundo orden. Estudiando la captación de Oxígeno en oxidación cinética de los lípidos, Labuza (1972) encontró una reacción de medio orden con respecto al Oxígeno para lípidos relativamente puros. El orden de reacción se incrementa a un primer orden cuando se agregan antioxidantes.

### **2.11.2. LA ECUACIÓN DE ARRHENIUS**

Esta ecuación (ecuación de Arrhenius) enuncia que un ploteo del logaritmo neperiano de la constante de velocidad de reacción ( $\ln K$ ) versus la recíproca de la temperatura absoluta

(1/T), medida en grados Kelvin, genera una línea recta cuya pendiente es la energía de activación dividida por la constante de los gases ideales R. De este modo, estudiando una reacción y midiendo  $K$  (constante de velocidad) a dos o tres temperaturas elevadas, uno puede entonces extrapolar con una línea recta a una menor temperatura y predecir la constante de velocidad de reacción a la temperatura deseada (Labuza y Riboh, 1982):

$$\ln K = -\frac{E_a}{RT} + \ln K_0 \quad (7)$$

Donde:

$\ln K$  = Logaritmo neperiano del coeficiente de velocidad de Reacción.

$\ln K_0$  = Logaritmo neperiano del coeficiente o factor pre exponencial.

$E_a/R$  = Relación Energía de Activación (KJ/mol) entre la constante general de los gases (8.3144 J/mol°K).

$1/T$  = Inversa de la Temperatura absoluta (°K).

Una pendiente excesiva significa que la reacción es más dependiente de la temperatura, es decir, a mayor incremento de la temperatura, la reacción aumenta a una velocidad mayor (Labuza y Riboh, 1982).

Teóricamente para construir un ploteo se necesitan: algunas medidas de pérdida de calidad, algún punto final para medir la inacceptabilidad del consumidor, datos para medir el tiempo de llegada a este punto final, experimentos que midan esta pérdida, y por lo menos dos temperaturas (Labuza y Riboh, 1982).

Desde un punto de vista teórico, otros modelos diferentes al enfoque  $\ln K$  versus  $1/T$  (modelo de Arrhenius) pueden ser utilizados para determinar la interacción de la constante de velocidad  $K$  y la temperatura. Labuza y Riboh (1982) señalan que la pendiente de  $\ln K$  versus  $1/T$  puede no ser siempre una línea recta, pero podría ser también función de la temperatura.

Fennema (2000) señala que cuando se aplica la técnica de regresión, se reutiliza el análisis estadístico para determinar el 95 por ciento de los límites de confianza de los parámetros de Arrhenius. Si solo se dispone de tres valores  $K$ , el rango de confianza normalmente es

grande. Para obtener límites de confianza estrechos y significativos en  $E_a$  y  $K_0$ , se necesitan velocidades a más temperaturas. Se han propuesto que cinco o seis temperaturas experimentales dan el cociente óptimo práctico de exactitud, frente a la cantidad de trabajo experimental. Mientras más temperaturas sean usadas, mayor será la significancia estadística de los datos. Al limitarse a tres temperaturas experimentales debido al coste y/o dificultad de disponer de incubadoras a seis temperaturas constantes, pueden utilizarse diversos métodos estadísticos para aumentar la exactitud, uno de los cuales es considerar cada par de datos (punto) como una estimación independiente de  $K$ .

### 2.11.3. OTROS MODELOS

Saguy y Karel (1980) menciona que han sido sugeridas ocasionalmente otras funciones distintas al modelo de Arrhenius para la correlación de la información de estabilidad de alimentos, considerando los siguientes modelos de dependencia de la temperatura.

Lineal: 
$$K = a + bT \tag{8}$$

Potencial: 
$$K = aT^b \tag{9}$$

Hiperbólico: 
$$K = \frac{a}{b-T} \tag{10}$$

Donde:

$K$ : Pendiente que relaciona  $A$  (Valor de característica en el tiempo  $\theta$ ).

$a, b$ : Constantes.

$T$ : Temperatura absoluta (K).

Debido a que existen virtualmente ilimitadas opciones de modelos matemáticos para ajustar las ecuaciones a los datos experimentales, las consideraciones en las elecciones de un modelo seguirían a estas guías principales (Hill y Grieger, 1980):

- Simplicidad del modelo, menos coeficientes son compatibles con un error razonable.

- La más baja desviación posible entre el modelo predicho y los datos experimentales, medidos por el cuadrado medio del error.
- Sin discontinuidad en el rango de variables.

## **2.12. PRUEBAS ACELERADAS DE VIDA EN ANAQUEL**

Las pruebas aceleradas de vida en anaquel consisten en experimentos de almacenamiento a temperatura relativamente altas, con el fin de predecir, con cierto margen de certidumbre, la vida en anaquel de alimentos en un período de tiempo mucho más corto que con métodos tradicionales (Labuza y Schmidl, 1985).

Los estudios de la vida en anaquel y las pruebas aceleradas requieren de un profundo conocimiento de los constituyentes de los alimentos, proceso, factores de seguridad microbiológica, principales modos de deterioro de la calidad y condiciones propuestas de almacenamientos. Con el uso efectivo de pruebas aceleradas de vida útil, pueden completar un experimento que normalmente toma un año en casi un mes, si la temperatura de prueba aumenta en 20 °C. La duración de la determinación de vida útil por pruebas aceleradas depende de la energía de activación ( $E_a$ ) de los fenómenos de deterioro (Steele, 2004).

Man y Jones (2000) señalan que todas las muestras de producto deben elaborarse bajo las mismas condiciones para evitar posibles diferencias tales como: variables de proceso y pérdida de ingredientes.

La predicción del tiempo en que se mantiene estable la calidad de un alimento depende de ciertos factores físicos, los cuales varían en función al tiempo de distribución. La temperatura ha sido el factor más estudiado (Labuza, 1979).

Varias reacciones químicas y biológicas pueden darse en alimentos dependiendo de la temperatura a la cual son almacenados. En alimentos estables o no perecibles la velocidad de reacciones químicas simples aumenta a medida que la temperatura se eleva, y esta relación puede representarse en la ecuación de Arrhenius (IFT, 1974).

Almacenar los productos alimenticios a temperaturas elevadas causará cambios más rápidos y el alimento se volverá inaceptable en un tiempo más corto que si estuviera almacenado a una temperatura menor. Por lo tanto, se puede deducir que la estabilidad de un alimento depende tanto del tiempo, como de la temperatura (IFT, 1974).

Según Labuza y Schmidl (1985) en las pruebas aceleradas de vida en anaquel, los análisis pensados deberían estar basados en los modos de deterioro. Esto incluye:

- Sensorial.
- Análisis químicos.
- Contenido de humedad (en caso de recipientes no herméticos).
- Análisis microbiológicos.

El enfoque analítico para calcular y predecir el deterioro de la calidad de los alimentos envuelve un modelo cinético matemático. El modelo puede incluir ecuaciones de balance de masa y energía, propiedades termodinámicas, propiedades químicas y de transporte, y coeficientes. El modelo es frecuentemente un conjunto de ecuaciones no lineales, acopladas y ecuaciones diferenciales parciales. El progreso ha sido hecho primariamente para simplificar esas ecuaciones para condiciones específicas. El enfoque cinético está basado en la velocidad del proceso (reacción), la cual puede ser generalizada y correlacionada con factores ambientales (temperatura, presión, etc) y factores de composición (concentración, pH, etc) (Saguy y Karel, 1980).

El objetivo inicial de los estudios de cinética experimental es el desarrollo de un modelo matemático para describir la velocidad de reacción como una función de variables experimentales. Varias expresiones de velocidad pueden ser combinadas con la definición básica de velocidad de reacción para producir ecuaciones, las cuales pueden ser usadas para predecir la composición de un sistema como una función del tiempo (Hill y Grieger, 1980).

Labuza y Schmidl (1985) señala que una evaluación acelerada de vida en anaquel tiene sus limitaciones. Condiciones extremas aplicadas para acelerar la degeneración puede crear efectos que bajo condiciones normales no sucedan:

- Los cambios de temperatura pueden generar cambios de fase, los cuales pueden acelerar ciertas reacciones, haciendo que la vida de anaquel predicha a temperaturas menores sea más corta que la real.
- La actividad del agua,  $A_w$ , en alimentos secos puede incrementar con la temperatura. Esto puede causar un incremento en la velocidad de reacción para productos de bajo  $A_w$  en empaques sellados y resultar en una sobre estimación de la verdadera vida de anaquel a bajas temperaturas.
- La solubilidad de gases, especialmente el Oxígeno decrece al menos en un 25 por ciento por cada aumento en  $10\text{ }^\circ\text{C}$  en la temperatura, así la velocidad de una reacción oxidativa (pérdida de vitamina E, A, C o ácido linoleico), puede ser disminuida si el Oxígeno disponible es el factor limitante. Por lo tanto a altas temperaturas, la velocidad puede ser más baja que la velocidad teórica, y esto puede a su vez resultar en una predicción de la vida de anaquel por debajo de la real a temperaturas normales de almacenamiento.
- Si altas temperaturas son usadas, una desnaturalización de las proteínas puede darse en el alimento. Esto puede resultar en un incremento o decremento en la velocidad de reacción de ciertas cadenas laterales de aminoácidos, provocando errores en la predicción de la vida de anaquel a temperaturas moderadas.
- Hough y Fiszman (2005) a su vez, añade que debe considerarse las reacciones en las que intervienen enzimas o microorganismos que se inactivan a partir de ciertas temperaturas.

### **2.13. FACTORES QUE AFECTAN EL TIEMPO DE VIDA**

El tiempo de vida útil de un producto está básicamente determinado por los componentes del sistema, el proceso de elaboración, el método de empacado, el tiempo y la humedad relativa durante el transporte y almacenamiento. En forma general, estos factores pueden ser

categorizado en factores intrínsecos y extrínsecos (Kilcast y Subramaniam, 2000). Los factores intrínsecos está constituidos por las propiedades del producto final, como son:

- Actividad de agua (agua disponible).
- pH y acidez; tipo de ácido.
- Potencial redox.
- Oxígeno disponible.
- Nutrientes.
- Microflora natural y recuento de microorganismos supervivientes.
- Bioquímica de la formulación del producto (enzimas, reactivos, químicos, etc.).
- Uso de preservantes en la formulación del producto (por ejemplo, sal).

Kilcast y Subramaniam (2000) señalan que los factores intrínsecos se encuentran influenciados por variables como el tipo y calidad de la materia prima, formulación del producto y su estructura. Por otra parte, los factores extrínsecos son aquellos que el producto tiene que enfrentar durante la cadena de distribución del mismo, estos incluyen:

- Perfil tiempo – temperatura durante el procesamiento, presión del espacio de cabeza.
- Control de temperatura durante el almacenamiento y distribución.
- Humedad relativa durante el procesamiento, almacenamiento y distribución.
- Exposición a la luz (UV e IR) durante el procesamiento, almacenamiento y distribución.
- Contaminación microbiana durante el procesamiento, almacenamiento y distribución.
- Composición de la atmósfera dentro del empaque.
- Tratamiento térmico subsecuente (es decir, recalentamiento o cocción del producto antes de que sea consumido).
- Manipulación del consumidor.

Estos factores operan comúnmente en forma conjunta e impredecible, por lo que debe investigarse la posibilidad de interacción entre ellos. La interacción de factores intrínsecos



y extrínsecos puede inhibir o estimular procesos que limitan el tiempo de vida útil. Estos procesos se pueden observar en el Cuadro 7.

**Cuadro 7: Mecanismos del deterioro/descomposición y variables críticas para los diferentes productos alimenticios.**

<b>Producto / Categoría</b>	<b>Tipo de descomposición / deterioro</b>	<b>Variables críticas del almacenamiento</b>
Leche	Oxidación, Rancidez Hidrolítica, Crec. Bacteriano.	Oxígeno, Temperatura
Leche en polvo	Oxidación, Pardeamiento.	Oxígeno, Humedad, Temperatura
Productos Lácteos	Oxidación, Rancidez, Cristalización de la lactosa.	Oxígeno, Humedad
Helados	Formación de cristales de hielo o cristales de Lactosa.	Temperatura, Oxígeno
Carne fresca de vacuno	Crecimiento bacteriano, Oxidación, Pérdida de humedad.	Temperatura, Oxígeno, Luz, Humedad
Carne fresca de ave	Crecimiento microbiano.	Temperatura, Oxígeno
Mariscos y pescado fresco	Crecimiento microbiano, Oxidación.	Temperatura, Oxígeno
Fruta	Ablandamiento enzimático, Crecimiento microbiano, Pérdida de humedad, Raspado.	Temperatura, Oxígeno, Luz, Humedad, Manipulación
Hortalizas frondosas	Actividad enzimática, Pérdida de humedad, Crecimiento microbiano.	Temperatura, Oxígeno, Luz, Humedad
Hortalizas crocantes	Ablandamiento enzimático, Crecimiento microbiano, Pérdida de humedad, Raspado.	Temperatura, Oxígeno, Luz, Humedad, Manipulación
Pan	Migración de la humedad (Rancidez), Retrogradación del almidón, Crecimiento microbiano (mohos).	Temperatura, Oxígeno, Humedad

«Continuación»

Cereales	Migración de la humedad (Ablandamiento), Retrogradación del almidón, Oxidación, Rajaduras.	Temperatura, Oxígeno, Humedad, Manipulación
Productos blandos horneados	Migración de la Humedad (Rancidez), Retrogradación del almidón, Crecimiento microbiano (mohos).	Temperatura, Oxígeno, Humedad
Productos crocantes fritos	Migración de la humedad (Ablandamiento), Oxidación, Rajaduras.	Temperatura, Oxígeno, Luz, Humedad, Manipulación
Chocolate	Cristalización del azúcar, Cristalización de la grasa, Oxidación.	Temperatura, Oxígeno, Humedad
Dulces	Migración de la humedad (pegosidad), Cristalización, Oxidación.	Temperatura, Humedad
Cerveza	Crecimiento microbiano, Oxidación.	Temperatura, Oxígeno, Luz
Café, Té	Oxidación, Pérdida de volátiles.	Oxígeno, Humedad, Luz
Productos cárnicos	Oxidación, Quemadura en el congelador (secado).	Temperatura, Oxígeno, Humedad
Otros alimentos congelados	Oxidación, Formación de cristales de hielo, Cambio de textura.	Temperatura, Oxígeno

FUENTE: Kilcast y Subramaniam (2000)

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN**

La investigación fue realizada en el laboratorio de Análisis Físico Químicos de Alimentos, laboratorio de Envases y Embalajes, y en el laboratorio de Microbiología de Alimentos; instalaciones pertenecientes a la facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Así mismo, los ensayos acelerados de tiempo de vida se realizaron en La Molina Calidad Total (Laboratorios).

El tostado y las evaluaciones sensoriales se realizaron en la planta de procesamiento y laboratorios de calidad de la *Central Café y Cacao* respectivamente, ubicados en San Juan de Lurigancho.

#### **3.2. MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3.2.1. PRODUCTO**

Granos de café (*Coffee arabica*) tostado y molido, empacados en 3 diferentes empaques Trilaminados. Cada empaque tenía un contenido neto de  $250 \pm 5$  gramos. Los empaques fueron importados de EE. UU. de la empresa “Flair Flexible Packaging Corporations”, siendo colocadas las válvulas degasificadoras en Perú, en la empresa “Envasadoras Industriales S.R.L.”.

El tostado realizado fue de tipo “Gourmet” (Agtron #55 - de acuerdo a la clasificación de color de tostado por SCAA (2009)), posteriormente dejando reposar los granos de café por

2 horas, con el objetivo de reducir el hinchamiento en bolsa por CO<sub>2</sub>. Finalmente se procedió a la molienda de las muestras e inmediato empaçado.

Los parámetros de tostado aplicados se muestran en el Perfil de Tostado tipo “Gourmet” (evolución de la temperatura del café durante el tostado), en el Anexo 1.

### **3.2.2. EMPAQUES**

Los empaques utilizados para el envasado, fueron los siguientes:

- Empaque #1: (PET/VMPET/PEBD). Empaque negro, el empaque actualmente usado por la empresa.
- Empaque #2: (PET/VMPET/PEBD). Empaque dorado.
- Empaque #3: (PAPEL/VMPET/PEBD). Empaque orgánico.

Donde:

- PET = Polietileno Tereftalato.
- PAPEL = Lámina de Papel.
- PEBD = Polietileno de baja densidad.
- VMPET = Polietileno Tereftalato metalizado al vacío.

El resumen de las características técnicas de los empaques, proporcionados por el proveedor, se muestran en el Cuadro 8. Los datos completos se muestran en los Anexos 2, 3, 4. Los análisis realizados por el proveedor se realizaron en Laboratorios Labsan, ubicados en el distrito de Ate.

Los 3 empaques fueron acondicionados con válvulas desgasificadoras de una vía en la parte interna, con el objetivo de permitir la salida del CO<sub>2</sub> liberado por el café y evitar problemas de reventamiento, durante el almacenamiento (Delgado, 2002).

**Cuadro 8: Características Técnicas de los empaques usados.**

<b>ANÁLISIS</b>	<b>Empaque # 1</b>	<b>Empaque # 2</b>	<b>Empaque # 3</b>
Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	119,2	119,2	159,1
Dimensiones (cm)	27,5 x 7,9 x 4,5	27,5 x 7,9 x 4,5	24,5 x 7,9 x 4,5
Velocidad de Transmisión de Vapor de agua (VTVA) (g/m <sup>2</sup> *24h)	0,255	0,265	0,248
Velocidad de Transmisión de Oxígeno (VTO) (cc/m <sup>2</sup> *24h)	0,615	0,620	0,608

Las características de la válvula desgasificadora, se señalan en el Cuadro 9.

**Cuadro 9: Características de la válvula desgasificadora añadida.**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>VALOR</b>
Presión de Apertura (mbar)	3 ± 2
Presión de Cierre (mbar)	> 1
Diámetro (mm)	22 ± 0,15
Altura (mm)	4 ± 0,15

En la Figura 17 se muestran los empaques usados para el almacenamiento del café.



**Figura 17: Ejemplar del producto “Café tostado y molido”, envasado en los 3 diferentes empaques.**

### 3.2.3. EQUIPOS

- Balanza analítica, Marca OHAUS, Modelo Explorer, precisión 0,1 mg.
- Estufa, Marca MEMMERT, Serie TV40922071, Temperatura máxima de 250 °C.
- Cámara climática, Marca CLIMATS, Serie Excal, Temperatura máxima de 180°C
- Tostador, Marca INNOENVAS, Serie TNI -2. Cap 12 Kg.
- Mufla HERAEUS, Serie 110, Temperatura máxima 1000 °C.
- Molino DITTING, Serie K1800, con mallas de 600 µm.
- Equipo Soxhlet.
- Cocinillas.
- Potenciómetro, Marca Orión, Serie 420 A.
- Equipo de Digestión de Micro- Kjeldahl.
- Selladora de banda continua BELURI, Serie FRD-1000w horizontal.
- Estufas Marca “FRAVILL” mod. 96100. Rango de Temperatura 30 – 200 °C. Precisión  $\pm 2$  °C.
- Equipo medidor directo de Actividad de agua “Aqualab” mod. Decagon Devicecs. Serie 3.

### 3.2.4. MATERIALES

- Tazas de porcelana.
- Placa Petri.
- Campana desecadora con Silicagel.
- Vasos de precipitado 100, 200, 250 y 500 ml.
- Matraces de 100, 200, 500, 1000 ml.
- Papel de filtro Wahttman N° 1, 2 y 42.
- Campanas de desecación.
- Pipetas de 1,5 y 10 ml.
- Fiolas de 100, 200 y 500 ml.
- Bureta de 25 ml.
- Probetas de 100 y 250 ml.

- Placa cilíndrica metálica.
- Plantilla metálica anillada.
- Crisoles.
- Balones.
- Pinzas.
- Embudos.
- Capsulas de porcelana porosa.
- Filtros de succión.
- Tubos de Ensayo.

### **3.3. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

#### **3.3.1. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO**

- Humedad: Se evaluó la humedad de la muestra mediante el método de determinación de pérdida de masa a 103 °C, según NTP ISO 11294 (INDECOPI, 2001).
- Actividad de Agua (Aw): Metodología según el manual de operaciones del equipo (Decagon Devices, 2007).
- Cenizas Totales: La cantidad de ceniza presente en la muestra se determinó en la muestra mediante el método de incineración de la muestra, según AOAC 920.93 (AOAC, 2012).
- Carbohidratos: Se determinó el contenido de carbohidratos (Por Diferencia).
- Proteína: Se determinó la cantidad de proteína de la muestra mediante el método Catalyst Kjendhal, considerando 6,25 como factor de conversión de nitrógeno a proteína, según AOAC 920.103 (AOAC, 2012).
- Grasa: Se determinó el contenido de grasa por el método de Soxhlet, según AOAC 920.97 (AOAC, 2012).
- pH: Según el método potenciométrico, según NTP 202.108 (INDECOPI, 2005a).
- Acidez: Se determinó mediante el método de titulación, según AOAC 920.92, expresado en ácido clorogénico (AOAC, 2012).

### **3.3.2. MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

Según las normas sanitarias de MINSA-DIGESA (2008) (NTS N°071) para el producto en estudio se realizaron las siguientes pruebas:

- Recuento de Mohos y Levaduras: Según ICMSF Vol. I Parte II Ed. II Pág 120 - 114 (ICMSF, 2000).
- Recuento de Aerobios Mesófilos: Según ICMSF Vol. I Parte II Ed. II Pág 166 - 167 (ICMSF, 2000).
- Recuento de Coliformes Totales: Según ICMSF Vol. I Parte II Ed. II Pág 131 - 134 (ICMSF, 2000).

### **3.3.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS EMPAQUES**

Los análisis tuvieron el objetivo de caracterizar los diferentes empaques, y manifestar las diferencias entre sus capacidades barrera. Los 3 empaques mostraron altas propiedades barrera, siendo considerados aptos para la presente investigación. Se realizaron las siguientes pruebas:

- Determinación de Espesor: Según NTP ISO 4593:1998 (INDECOPI, 1998).
- Determinación Gramaje: Según ASTM D 751-06:2011 (ASTM, 2011).
- Determinación de Velocidad de Transmisión de Vapor de Agua: Según ISO 2528:1995 (ISO, 1995). La metodología es descrita en el Anexo 11.

### **3.3.4. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS SENSORIAL**

El análisis sensorial se realizó tanto en granos de café tostado y molido en seco, como en percolado, siguiendo la metodología descrita por la SCAA; citada por Cañas *et al.* (2012). Las muestras fueron sacadas de las estufas a las temperaturas de almacenamiento, y evaluadas por el panel entrenado, en los laboratorios de calidad de la *Central Café y Cacao*, realizándose a partir de la 11:00 a.m.



Se realizaron análisis descriptivos, evaluando 10 parámetros sensoriales definidos por la SCAA (2009) para definir un café de calidad “Especial”. Cada atributo individual fue calificado en una escala de 0 a 10. Calificaciones superiores a 80 en el *Puntaje Total* indicaron esta denominación.

El análisis sensorial se realizó con 4 panelistas entrenados (catadores Q certificados por el *Coffee Quality Institute*, en Long Beach California, entidad licenciada por la SCAA), por cada toma de muestra de los tratamientos y empaques, en base a lo recomendado por el Instituto Tecnológico de Alimentos; citado por García (1989), que establece tamaños óptimos para panelistas de: 3 - 10 jueces entrenados. Para cada evaluación se usó una cantidad de 8.25g de café tostado y molido por 150 ml de Agua, según la relación “Taza de Oro”, realizando 5 repeticiones (Cañas *et al.*, 2012).

A cada panelista se le hizo entrega de un formato de catación elaborado para evaluar los atributos sensoriales de las muestras, el que se presenta en la Figura 18. Los valores inferiores a 6 puntos, así como la presencia de notas defectuosas en cada atributo, se pidió colocarlas en la sección de notas. El proceso de catación siguió los siguientes pasos:

1. Colocar 8,25 gramos de café tostado y molido, dentro de cada taza de 150 ml.
2. Aspirar los gases sueltos de la muestra, esto es el aroma en seco o fragancia.
3. Colocar el agua caliente a temperatura de  $93 \pm 2$  °C ( $200 \pm 5$  °F).
4. Inmediatamente después de colocar el agua, se debe aspirar los vapores sueltos por la muestra en combinación con el agua, esto es el aroma húmedo.
5. Dejar reposar la infusión de 3 a 5 minutos, para permitir la correcta extracción y dilución, permitiendo la formación de una capa (costra) en la superficie de la taza.
6. Romper (quiebre) la capa o costra con una cuchara redonda. Inhalar profundamente los vapores procedentes de la taza para medir el carácter aromático del café. Las partículas de café descenderán al fondo de la taza.
7. Limpiar y eliminar toda partícula de la superficie.
8. Dejar reposar la bebida antes de la evaluación hasta que alcance los 70 °C (8 – 10 minutos después de poner el agua).

## Asociación de Cafés Especiales de América. Formulario de Catación



Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

<u>Quality scale:</u>			
6.00 - Bueno	7.00 - Muy Bueno	8.00 - Excelente	9.00 - Extraordinario
6.25	7.25	8.25	9.25
6.50	7.50	8.50	9.50
6.75	7.75	8.75	9.75

<b>Muestra #</b>	Aroma <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 	Resabio <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 	Cuerpo <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 	Dulzor <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 	Uniformidad <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 
	Sabor <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 	Acidez <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 	Balance <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 	Taza Limpia <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 	Puntaje Catador <span style="float: right;">Score: <input style="width: 40px;" type="text"/></span> 
Notas: _____					<b>Puntaje Final</b> <input style="width: 40px;" type="text"/>

**Figura 18: Formulario de catación.**

FUENTE: Cañas *et al.* (2012)

9. Colocar una cucharada de la bebida cerca de la boca y aspirar. La aspiración introduce vapor dentro de la cavidad nasal y extiende el líquido uniformemente sobre toda la lengua y el paladar superior.
10. Retener la bebida en la boca de 3 a 5 segundos para percibir la intensidad y calidad de las características.
11. Expulsar la bebida después de este tiempo, dentro de un contenedor destinado para ello. Evaluar la sensación que permanece en la boca después de la degustación para determinar el gusto residual.

### **3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA LA ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA**

#### **3.4.1. ACONDICIONAMIENTO DE MUESTRAS**

Se hizo una clasificación previa a los granos de café verde para separar los granos negros, picados, y pequeños. Todas las muestras de café verde fueron tostadas el mismo día (partiéndose de 3 *batch* de 10 kg), realizando el tostado tipo “Gourmet”, usando las mismas condiciones de tostado (como se muestra en el Anexo 1).

Para las pruebas de estimación del tiempo de vida útil, el estudio se realizó almacenando 72 empaques con  $250 \pm 5$  g de café tostado y molido, en las estufas a 3 temperaturas diferentes (40 °C, 50 °C y 60 °C). En cada cámara se distribuyeron 24 empaques (8 empaques de cada tipo de trilaminado), de manera que se contaba con los 3 tipos de empaques para cada día de análisis sensorial.

Durante el almacenamiento fue medido el contenido de humedad (expresado en %) y se verificó que no supere el límite establecido de 4 por ciento de humedad (m/m) según la NTP 209.028 (INDECOPI, 2005b). La medición de humedad se realizó según los días indicados en el Cuadro 10, únicamente para el empaque #2, por tratarse del empaque con mayor VTVA (velocidad de transmisión de vapor de agua) y VTO (velocidad de transmisión de oxígeno) de los 3 evaluados.

La frecuencia de muestreo para las evaluaciones sensoriales se muestra en el Cuadro 10.

**Cuadro 10: Frecuencia de muestreo según la temperatura y empaques utilizados.**

<b>Empaque</b>	<b>Temperatura de almacenamiento (° C)</b>	<b>Días de Muestreo</b>	<b>Tiempo Total de almacenamiento (días)</b>	<b>N° de panelistas para Ev. Sensorial x día</b>
Empaque # 1	40	0, 11, 21, 33, 41, 50, 60, 70	70	4
	50	0, 6, 11, 18, 25, 32, 41, 48	48	4
	60	0, 4, 7, 11, 14, 18, 21, 25	25	4
Empaque # 2	40	0, 11, 21, 33, 41, 50, 60, 70	70	4
	50	0, 6, 11, 18, 25, 32, 41, 48	48	4
	60	0, 4, 7, 11, 14, 18, 21, 25	25	4
Empaque # 3	40	0, 11, 21, 33, 41, 50, 60, 70	70	4
	50	0, 6, 11, 18, 25, 32, 41, 48	48	4
	60	0, 4, 7, 11, 14, 18, 21, 25	25	4

Durante el almacenamiento fueron realizadas mediciones microbiológicas, para comprobar que no se supere los límites según las normas sanitarias establecidas por MINSA-DIGESA (2008) en la NTS N°071. Las mediciones se efectuaron solamente al empaque #2, por ser el de menor capacidad barrera de los 3, realizándose a temperatura ambiente y tiempo real, en empaques de café tostado y molido preparados con antelación. Los controles se llevaron a cabo cada 30 días.

### 3.4.2. SELECCIÓN DEL DESCRIPTOR CRÍTICO SENSORIAL

Dado que el puntaje total en el análisis sensorial planteado por SCAA (2009) es un valor compuesto (suma de puntajes de los 10 caracteres sensoriales), no se determinó su velocidad de reacción (K) directamente. En su lugar, se planteó basar la estimación del tiempo de vida, en base al descriptor que limite en mayor proporción el tiempo de vida (*Descriptor Crítico*).

Basándose en la propuesta hecha por Hough y Fiszman (2005), en un experimento similar con café “excelso” y los atributos sugeridos por la Norma Mexicana oficial; mencionados por Läderach *et al.* (2011), se plantearon como los descriptores sensoriales más resaltantes los siguientes:

- Aroma.
- Sabor.
- Resabio.
- Acidez.
- Cuerpo.

Se registró la evolución de los 5 parámetros en el tiempo de almacenamiento en los tres diferentes empaques. Dado que de las 3 temperaturas elegidas, 40 °C es la que más se acerca a la temperatura ambiente, la elección del descriptor crítico se hizo a esta temperatura (Garitta *et al.*, 2004).

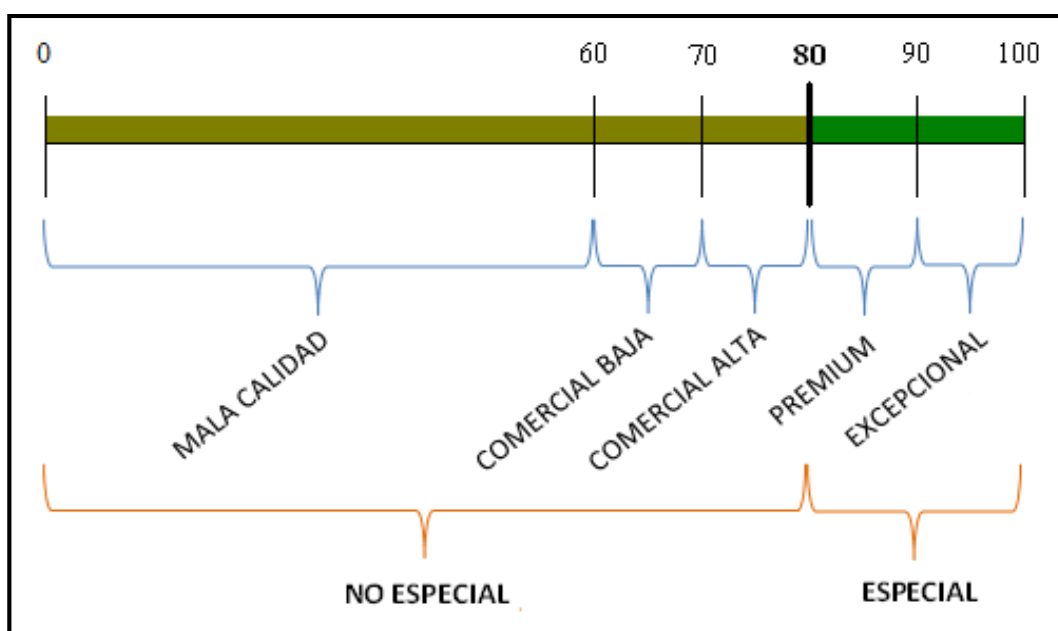
El descriptor sensorial que registró una mayor variación en los 3 empaques, durante el almacenamiento a 40 °C fue elegido como descriptor crítico, ya que es el que ejerce mayor influencia en el puntaje sensorial total. La mayor diferencia es interpretada como la que presenta una mayor pendiente en una regresión hecha entre el valor del descriptor sensorial y el tiempo de almacenamiento.

### 3.4.3. DETERMINACIÓN DEL VALOR LÍMITE DEL DESCRIPTOR SENSORIAL

El criterio fijado para determinar la vida en anaquel, fue realizado en consenso con la empresa “*Central Café y Cacao*”. Dado que el producto tenía la finalidad de ser exportado, la empresa buscó que el café se mantuviera dentro del rango de café especial. Por ello se denominó como punto final, el puntaje sensorial total de 80, es decir, el límite de especialidad según la escala de categorías establecida por SCAA (2009).

Se realizó una regresión entre el *Puntaje Total* y los valores del descriptor crítico (A), para los tres empaques; a cada tendencia le correspondió una ecuación lineal, en la que la variable dependiente era el descriptor crítico, y la variable independiente el *Puntaje Total*. La regresión fue realizada a 40 °C, dado que fue la temperatura más cercana al ambiente de las tres evaluadas (Garitta *et al.*, 2004).

La escala de categorías planteada por la SCAA en base al puntaje sensorial para cafés de especialidad se muestra en la Figura 19.



**Figura 19:** Escala de categorías en base con el *Puntaje Total* obtenido para cafés de especialidad por el método SCAA.

En las tres ecuaciones establecidas se reemplazó el valor de puntaje total de 80 puntos, y se obtuvieron los valores límite del descriptor crítico para cada empaque. El valor límite de vida sensorial se determinó del promedio aritmético de los valores para los 3 empaques.

#### **3.4.4. DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN (n)**

Se empleó el método de integración planteado por Labuza y Riboh (1982) para determinar el orden de reacción de deterioro de las muestras de café, según el descriptor crítico elegido. Éste método consiste en elegir un orden de reacción igual a cero ( $n=0$ ) cuya ecuación integrada es:

$$A = A_0 + K\theta$$

En donde se reemplazaron los valores experimentales de A (descriptor crítico) y  $\theta$  (tiempo de almacenamiento) para luego mediante una regresión lineal poder obtener el valor de la constante K, que es igual a la pendiente de la gráfica obtenida de dicha regresión.

Posteriormente se eligió el orden de reacción  $n = 1$ , cuya ecuación integrada y linealizada es la siguiente:

$$\ln A = \ln A_0 + K\theta$$

Se siguió el mismo procedimiento que en el caso anterior, para luego poder escoger el modelo que mejor se ajuste a lo planteado, en base al coeficiente de determinación ( $R^2$ ) obtenido del análisis de regresión lineal aplicado.

#### **3.4.5. DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REACCIÓN (K)**

Una vez determinado el orden de reacción para cada grupo de valores mediante la regresión lineal obtenida, se determinó el valor de la constante de la reacción (K) que es igual a la pendiente de dicha regresión.

### **3.4.6. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL**

Se determinó el valor de la constante (K) para la temperatura de almacenamiento a condiciones ambientales (20 °C) para cada empaque, reemplazando en la ecuación de Arrhenius el valor de la temperatura de almacenamiento ambiental (Fennema, 2000).

Posteriormente el valor obtenido de K, fue reemplazado en la ecuación de pérdida de calidad ya determinada anteriormente, según el orden de reacción que más se ajustó a los valores del descriptor crítico; y conocidos los valores experimentales iniciales del descriptor crítico evaluado ( $A_0$ ) y el límite de calidad del mismo, es decir, el Valor Límite (A), se obtuvo el tiempo en el que el producto se mantiene estable a temperatura ambiente de almacenamiento según las condiciones ambientales.

### **3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Los datos obtenidos durante las pruebas de almacenamiento acelerado según el factor de calidad evaluado (atributo aroma) se analizaron estadísticamente siguiendo para ello el diseño de completamente al azar (DCA), y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el propósito de determinar si existen diferencias significativas entre los promedios de los tres empaques de trabajo correspondientes.

La ejecución del análisis estadístico se realizó con el apoyo del *software* MINITAB versión 17, 2013.

El esquema experimental seguido se muestra en la Figura 20.



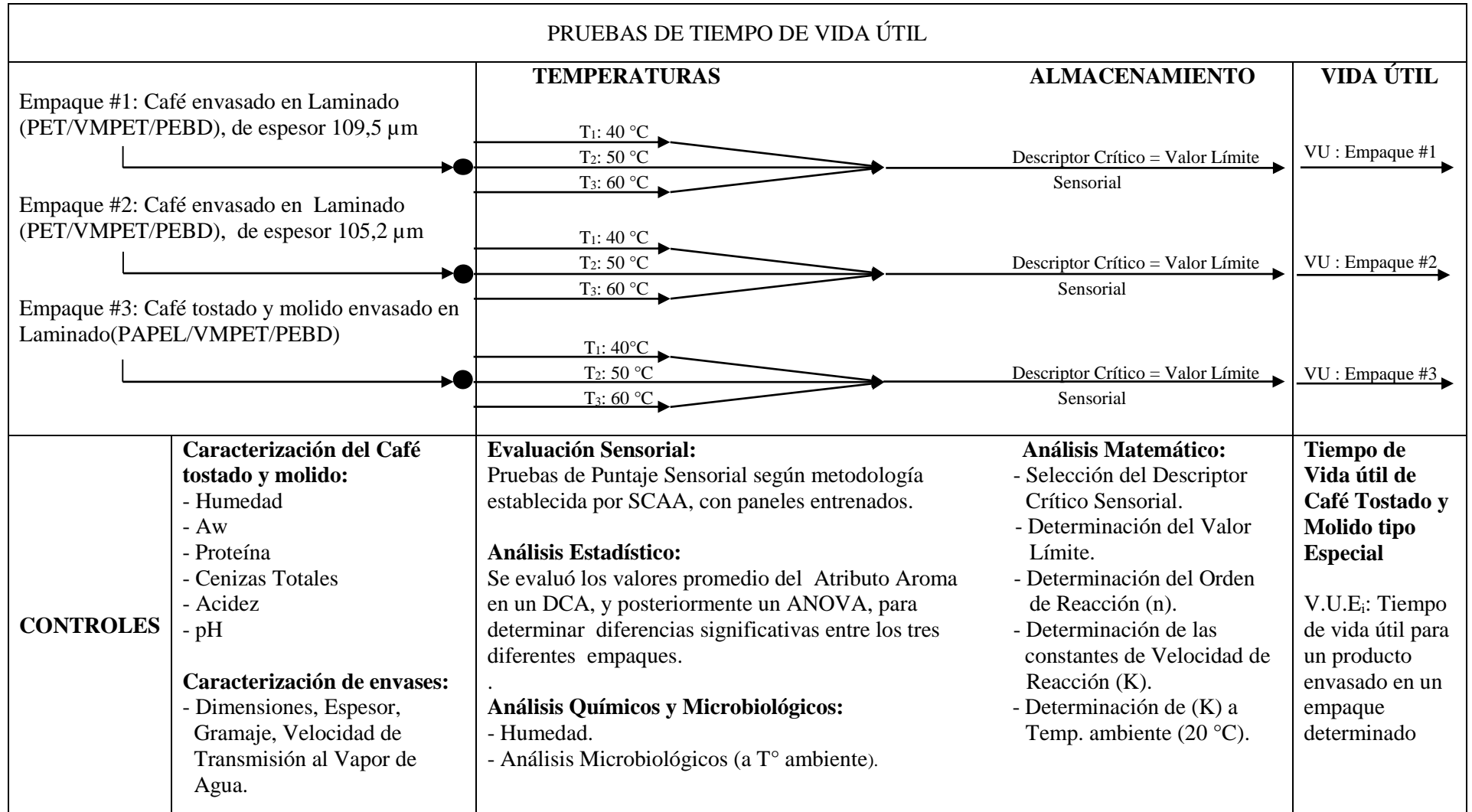


Figura 20: Esquema del diseño experimental.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERIZACIÓN DEL CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

Los resultados de los análisis realizados en la caracterización del café tostado y molido se muestran en el Cuadro 11.

**Cuadro 11: Resultados de los análisis realizados al café tostado y molido, expresados en g/100g de base seca.**

COMPONENTE*	CAFÉ
<u>PROXIMAL</u>	
Humedad	1,76
Grasa	12,20
Proteína	15,80
Ceniza	4,60
Carbohidratos	65,30
<u>OTROS</u>	
Acidez	3,65
pH	5,10
Aw	0,200

\* Promedio de 2 repeticiones

El valor de humedad del café fue de 1,76 por ciento (b.s.), valor que se encuentra por debajo del máximo establecido según la NTP 209.028 (INDECOPI, 2005b), de 4 por ciento, situándolo como seguro para el consumo humano.

Así mismo se obtuvo una  $A_w$  de 0,200. Fennema (2000) sostiene que los microorganismos, incluso las levaduras osmófilas, no se desarrollan a  $A_w$  inferiores a 0,6. Por su parte Nicoli y Savonitti (2005), señalan que el café es un producto estable en anaquel. Debido a las altas temperaturas obtenidas en el tostado y a la baja actividad de  $A_w$ , no se producen deterioros de índole enzimática ni microbiana, siendo más común el deterioro físico-químico, traduciéndose en la pérdida de la calidad sensorial.

El contenido de proteínas, al igual que el de carbohidratos, son inferiores a los reportados por Franca *et al.* (2005), de 14,87 y 62,25 por ciento, respectivamente, para tostados suaves. Bonnlander *et al.* (2005) señalan que durante el tostado, las altas temperaturas generan la hidrólisis de los enlaces peptídicos de las proteínas, liberándose carbonilos, aminos, aminoácidos, los cuales reaccionan con los azúcares del café produciéndose dióxido de carbono, agua y compuestos aromáticos.

Los valores inferiores indican que fue aplicado un mayor grado de tostado. Sivetz y Foote (1963) señalan que este el grado de pirólisis depende de la temperatura y tiempo aplicado a los granos, llegando en obtenerse carbón, si se prolonga demasiado.

La acidez obtenida fue de 3,65 por ciento expresada como ácido clorogénico. García (1989) determinó que el valor de acidez varía con el tiempo de tostado. Reportó que la acidez clorogénica de café variedad Caturra, fluctuó entre 3,2 y 4,5 por ciento al aplicarse 15 y 30 minutos de tostado respectivamente.

## **4.2. CARACTERIZACIÓN DE EMPAQUES**

Los resultados de los análisis a los diferentes empaques se mostraron en el Cuadro 12. Así mismo los valores de velocidad de transmisión de Oxígeno (VTO), obtenidos del proveedor, se observan en el Cuadro 8.

Se observa, que el empaque con una mayor propiedad barrera es el #3, seguido por el Empaque #1 (actual empaque usado por la empresa), y finalmente por el Empaque #2. La

Cátedra de Tecnología Papelera (1984), señala que estas variaciones se deben a la cantidad de aluminio depositado durante la metalización, pudiendo variar entre 0,01 y 0,06 micras.

**Cuadro 12: Resultado de análisis realizados a los empaques usados**

ANÁLISIS	Empaque # 1	Empaque # 2	Empaque # 3
Espesor (µm)	109,4900	105,2100	166,7500
Gramaje (g/m <sup>2</sup> )	121,8543	116,7420	148,4943
Dimensiones (cm)	27,5 x 8 x 4,5	27,5 x 8 x 4,5	24,5 x 8 x 4,5
Velocidad de Transmisión de Vapor de agua (VTVA) (g/m <sup>2</sup> *24h)	0,2047	0,2086	0,1992

Nicoli *et al.* (2009) mencionan que el tiempo de vida en anaquel del café tostado es el resultado de la interacción entre la matriz del café y las condiciones ambientales dentro del empaque. Un tiempo de vida alto requiere que el empaque tenga baja permeabilidad a la humedad, gases (principalmente O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>), y compuestos volátiles. Cardelli y Labuza (2001), señalan que cantidades tan pequeñas como 2 cm<sup>3</sup> de Oxígeno, o una Aw de 1,06, son suficientes para iniciar el proceso de deterioro.

Las bajas velocidades de transmisión de los empaques, se deben a la propiedad barrera ejercida por el VMPET en su composición. Hanlon *et al.* (1998) señalan que una película de PET Metalizado de 11,7 micras de espesor exhibe una VTVA de 0,8 g/m<sup>2</sup>\*24h y un VTO de 1,2 cc/m<sup>2</sup>\*24h, mientras que una película de PET puro del mismo espesor presenta valores de 31 g/m<sup>2</sup>\*24h y 465 cc/m<sup>2</sup>\*24h de VTVA y VTO respectivamente.

La incorporación de válvulas desgasificadoras de una vía a los empaques responde a una necesidad tecnológica. Nicoli *et al.* (2009) señalan que al finalizar el tostado y molido, el café libera gran cantidad de CO<sub>2</sub>, evacuando así la mayoría del Oxígeno. Este fenómeno tiene el beneficio de evacuar gran cantidad del Oxígeno del empaque, por lo que envasarlo en este período asegura mantener la calidad del café durante más tiempo. Sin embargo el película VMPET, actúa tanto como barrera para entrada de Oxígeno, como para salida de CO<sub>2</sub>.

La válvula desgasificadora de una vía, permite así la salida de los gases, principalmente compuestos por el CO<sub>2</sub> liberado y el Oxígeno residual, dado que la presión interna generada por los gases es mayor que la externa, a la vez que evita el ingreso del Oxígeno ambiental, retrasando la oxidación de compuestos aromáticos. De esta manera se mantiene un alto grado de barrera con la película de VMPET, a la vez que se elimina el riesgo de ruptura del empaque por hinchamiento (Goglio *et al.*, 2002).

Cabe resaltar que las diferencias entre las velocidades de transmisión de los empaques fueron leves, a pesar de las diferencias de espesores y gramajes presentados. La Cátedra de Tecnología Papelera (1984) señala que las películas externas, de PET y PAPEL, son usados como películas de impresión, además de aportar rigidez al empaque. Así mismo la película interno de PEBD en el trilaminado, dada su excelente termosoldabilidad, se usa para permitir el sellado del empaque.

La Cátedra de Tecnología Papelera (1984) señala que ninguno de estos tres films aporta significativa capacidad barrera, a diferencia del VMPET. Menciona que, tomando en cuenta un espesor de 25 micras, el Papel, PEBD y PET muestran por sí solos una VTVA de 3500, 18, 35 g/m<sup>2</sup>\*24h respectivamente. Al compararlos con los valores obtenidos en el Cuadro 12, se observa que son mucho mayores.

Se realizó un sellado de 15 mm en los empaques para asegurar un alto grado de hermeticidad a la entrada de gases. El *film* PEBD, usado para el sellado, comúnmente es una pobre barrera a los gases, en especial al Oxígeno. Sin embargo Robertson (2016) menciona que para que el Oxígeno pueda permear a través del sello, además de la mínima área de transferencia que cuenta, tendría que atravesar 15000 μm de PEBD, lo cual reduce substancialmente el valor de VTO. Para que se tenga esta medida, es fundamental que el sello esté libre de defectos, tales como arrugas durante el sellado, ya que comprometen su integridad, formando orificios por los que puede ingresar los gases (Suramya, 2012).

La similitud entre los valores de VTO, ocasionó la evolución similar de los atributos sensoriales, entre los 3 empaques. Esto se debe a que el efecto de deterioro causado por el Oxígeno, está en similar proporción.

Los bajos valores de velocidad de transmisión al Oxígeno de los empaques retrasan, pero no eliminan el deterioro del café. Illy y Viani; citados por Nicoli *et al.* (2009) mencionan que al realizar el envasado de café molido, el CO<sub>2</sub>, al ser más pesado que el aire, tiende a estratificarse en la parte inferior del espacio de cabeza del empaque. El CO<sub>2</sub> liberado, produce un efecto de evacuado, reduciendo la concentración de Oxígeno presente en el empaque de 21 por ciento a valores entre 10 - 12 por ciento. Sin embargo mencionan que basta un cantidad tan baja como 4 cm<sup>3</sup> de O<sub>2</sub>, equivalentes a 40 - 48 cm<sup>3</sup> de aire en el espacio de cabeza, son suficientes para iniciar el proceso de deterioro del aroma, viéndose este progresivamente incrementado, al aumentar el contenido de Oxígeno durante el almacenamiento.

Por su parte Cardelli y Labuza (2001) encontraron que entre los factores de deterioro, el Oxígeno fue el que presentó rol más crítico. Encontraron que una cantidad de 2 cm<sup>3</sup> de Oxígeno son necesarios para iniciar el deterioro sensorial del café tostado, aumentando hasta 20 veces la cinética de deterioro al llevarlo a 86 cm<sup>3</sup>.

Para el empaçado, el llenado del café molido ocupó una altura de 14 cm en los empaques. Considerando las dimensiones de los empaques mencionadas en el Cuadro 12, y que la parte superior adquiere forma de un prisma triangular, se obtuvieron espacios de cabeza de 189 cm<sup>3</sup> para los Empaques #1 y #2, y 135 cm<sup>3</sup> para el Empaque #3. Considerando una concentración de 10 por ciento de Oxígeno, al momento del empaçado, las cantidades de 18,9 cm<sup>3</sup> y 13,5 cm<sup>3</sup>, son suficientes para iniciar las reacciones de oxidación, y por tanto el proceso de deterioro sensorial.

La baja velocidad de transmisión al vapor de agua de los empaques ofrece resistencia al deterioro, aunque no en la misma magnitud que la ofrecida al Oxígeno. Cardelli y Labuza (2001) en sus evaluaciones determinaron a la Aw como el segundo factor más importante de deterioro en el café, encontrando que una Aw de 0,106 es suficiente para iniciar el deterioro sensorial, y que por cada 0,1 incrementado, ocasiona una disminución del tiempo de vida sensorial en 60 por ciento. En el Cuadro 11, se observa que el café tuvo un valor inicial de Aw de 0,200 al tratarse de un tostado medio, por lo que la baja VTVA del empaque contribuyó a mantener la Aw baja, prolongando el tiempo de vida del café.

Robertson (2012) menciona que el foil de Aluminio ejerce una mejor capacidad barrera que un metalizado. Espesores mayores a 15 micras exhiben valores de VTVA y VTO inferiores a 0,01 g/m<sup>2</sup>\*24h, siendo esencialmente impermeable a los gases. Sin embargo, los empaques metalizados tienen la ventaja de una mayor facilidad de transporte, almacenamiento, manipuleo, y un menor precio.

### 4.3. EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD

Los valores de humedad versus tiempo de almacenamiento, determinados para las temperaturas de evaluación, en el Empaque #2 se muestran en el Cuadro 13.

Durante el almacenamiento, los valores no superaron el valor máximo establecido según la NTP 209.028 (INDECOPI, 2005b), de 4 por ciento, situándolo como seguro para el consumo humano. Las mediciones fueron realizadas únicamente al Empaque #2 por tratarse del Empaque con mayor velocidad de transmisión de vapor de agua, es decir, la menor capacidad barrera.

**Cuadro 13: Valores de Humedad (expresado en base seca), en el Empaque #2, realizados al producto para almacenamiento a 40 °C, 50 °C y 60 °C.**

Temperatura 40 °C		Temperatura 50 °C		Temperatura 60 °C	
Tiempo (días)	Humedad b.s. (%)	Tiempo (días)	Humedad b.s. (%)	Tiempo (días)	Humedad b.s. (%)
0	1,780	0	1,755	0	1,691
11	1,956	6	1,922	4	2,144
21	1,280	11	1,541	7	1,948
33	1,056	18	2,215	11	2,531
41	1,433	25	1,991	14	2,629
50	1,113	32	1,916	18	2,391
60	2,092	41	1,551	21	2,171
70	2,006	48	1,81	25	2,074

El monitoreo de la humedad durante el almacenamiento, fue realizado debido a que es una de las principales formas de deterioro del café. Al respecto, Al-Abdalall y Al-Talib (2014),

señalan que almacenar café tostado y molido a elevadas Humedades Relativas promueve el crecimiento de Hongos generadores de Aflatoxinas y Ocratoxinas en un periodo de 10 días.

Además de las implicancias en la salud, el incremento de humedad tiene un efecto perjudicial en la calidad del café. Anese *et al.*; citados por Nicoli *et al.* (2009), mencionan que el incremento de la humedad, causa que los granos adquieran propiedades elásticas, lo que disminuye su capacidad de retener los compuestos aromáticos. Así mismo, Makri *et al.* (2011) encontraron que un incremento de 0,37 en la Humedad Ambiental de almacenamiento, redujo el tiempo de vida estimado en base al aroma, en 64 días a temperatura ambiente.

#### 4.4. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Los resultados microbiológicos se muestran en el Cuadro 14. La evaluación fue realizada únicamente al empaque #2, por ser el que presentó menor capacidad barrera. Los controles microbiológicos fueron diseñados como un control, con la finalidad de proteger la salud de los panelistas. Esto es particularmente importante cuando efectúan evaluaciones sensoriales, donde se debe tener especial cuidado en asegurar que los riesgos sean minimizados.

A su vez, el Cuadro 15 muestra los requisitos microbiológicos que debe cumplir el café tostado (en granos o molido) para que sea adecuado para consumo.

**Cuadro 14. Resultados de Recuentos Microbiológicos para las muestras de café tostado.**

Tiempo de almacenamiento (días)	Recuento de Aerobios Mesófilos (UFC/g)	Recuento de Mohos y Levaduras (UFC/g)	Recuento de Coliformes (NMP/g)
0	< 10	< 10	< 3
27	< 10	< 10	< 3
57	< 10	< 10	< 3
90	< 10	< 10	< 3
119	< 10	< 10	< 3
150	< 10	< 10	< 3



Se observó que los recuentos microbiológicos no superaron los valores permitidos por la NTS N°071 (MINSA-DIGESA, 2008) durante el tiempo de almacenamiento. Esto indica no sólo que el café es apto para consumo, sino que además está dentro del rango de buena calidad.

El bajo desarrollo microbiano está relacionado con el valor de  $A_w$  obtenido inicialmente (0,2), y la variación mínima de la Humedad durante el almacenamiento del café. Fennema (2000) señala que la actividad microbiana de la mayoría de bacterias es inhibida a  $A_w$  inferiores a 0,9; mayoría de levaduras a  $A_w$  inferiores 0,8; y la mayoría de Hongos a  $A_w$  inferiores a 0,7. En general, prácticamente toda la actividad microbiana es inhibida a  $A_w$  inferiores a 0,6.

**Cuadro 15: Requisitos microbiológicos para café tostado, en grano o molido.**

<b>Requisito</b>	<b>n</b>	<b>m</b>	<b>M</b>	<b>C</b>
Recuento de Mohos y Levaduras UFC/g.	5	10	100	1
Recuento de Aerobios Mesófilos UFC/g o ml.	3	1000	2000	1
NMP de Coliformes/g o ml.	3	3	11	1

FUENTE: MINSA –DIGESA (2008)

Donde:

n = es el número de muestras por examinar.

m = es el valor máximo permisible de para identificar el nivel de buena calidad.

M = es el índice máximo permisible para identificar el nivel aceptable de calidad.

c = es el número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M.

#### **4.5. SELECCIÓN DEL DESCRIPTOR CRÍTICO SENSORIAL**

La evolución de los 5 descriptores sensoriales, a través del tiempo a 40 °C, para los tres empaques en evaluación se observan e ilustran en el Cuadro 16 y Figura 21, 22, 23, respectivamente. Los datos completos, de las evaluaciones sensoriales se observan en los Anexos 5, 6 y 7 para los Empaques #1, #2, y #3, respectivamente.

**Cuadro 16: Valores de Regresión entre los Descriptores Sensoriales y el tiempo de almacenamiento a 40 °C, para los 3 diferentes empaques.**

Descriptor	Negro (Empaque #1)		Dorado (Empaque #2)		Orgánico (Empaque #3)	
	Ecuación de Regresión	R <sup>2</sup>	Ecuación de Regresión	R <sup>2</sup>	Ecuación de Regresión	R <sup>2</sup>
Aroma	$y = -0,0128x + 7,3265$	0,8853	$y = -0,0125x + 7,3383$	0,9190	$y = -0,011x + 7,4671$	0,9308
Sabor	$y = -0,0044x + 7,4964$	0,8636	$y = -0,0078x + 7,4193$	0,8297	$y = -0,0044x + 7,532$	0,8447
Resabio	$y = -0,0067x + 7,2575$	0,8182	$y = -0,0093x + 7,4111$	0,7005	$y = -0,0054x + 7,3908$	0,6988
Acidez	$y = -0,0018x + 7,2284$	0,5375	$y = -0,003x + 7,2095$	0,5932	$y = -0,0022x + 7,2527$	0,4616
Cuerpo	$y = -0,0022x + 7,2831$	0,7255	$y = -0,0025x + 7,2563$	0,6935	$y = -0,0033x + 7,3614$	0,7923

Se puede observar, en los datos obtenidos en el Cuadro 16, que los 5 atributos sensoriales disminuyeron conforme se incrementó el tiempo de almacenamiento, reflejado en la pendiente negativa que presentan.

Los atributos Acidez y Cuerpo fueron los más estables durante el almacenamiento, presentando los valores de pendiente menos pronunciados. En comparación, los atributos Sabor y Resabio, disminuyeron a una mayor velocidad. Finalmente, el atributo aroma, fue el que se degradó en mayor proporción, presentando una pendiente entre 4-5 veces mayor que los atributos más estables.

El atributo Acidez sensorial tuvo una disminución lenta durante el almacenamiento. Meira *et al.* (2013) señalan que puntajes bajos en acidez sensorial, son indicadores de una acidez química alta y no deseable en el café, por ser éste asociado por los catadores con una fermentación microbiana. Asimismo, Mazzafera; citado por Farah *et al.* (2006), señala que comúnmente la acidez elevada es asociada con un bajo puntaje sensorial, al ser asociado por catadores a la presencia de granos defectuosos.

Por otro lado, Jimenez (2002) menciona que el incremento de acidez química en el almacenamiento del café se atribuye a la liberación de aminoácidos, así como a la formación de ácidos catalizados por la presencia de Oxígeno y humedad.

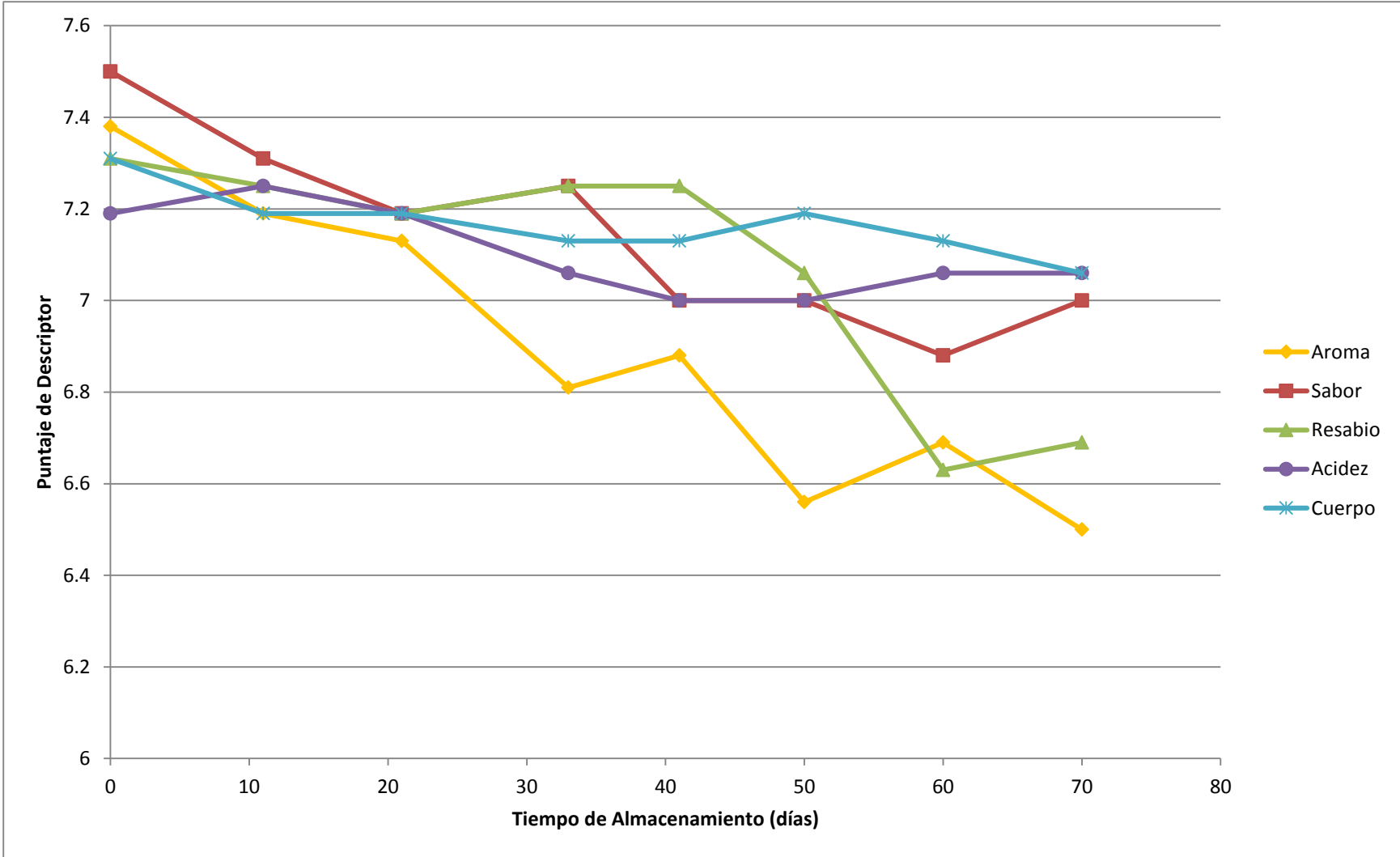


Figura 21: Evolución de los descriptores sensoriales de la bebida de café, durante el almacenamiento a 40°C para el Empaque #1.

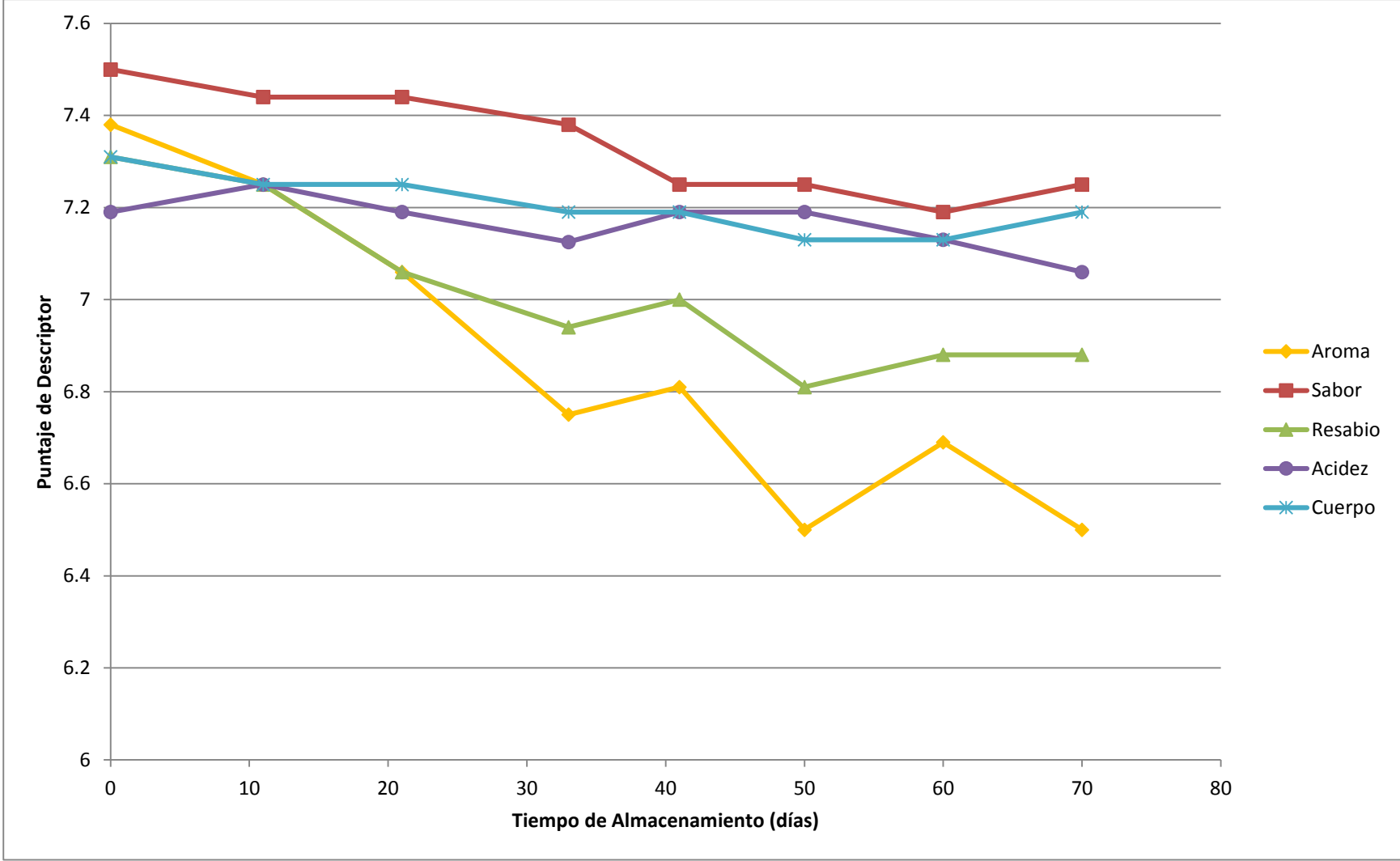
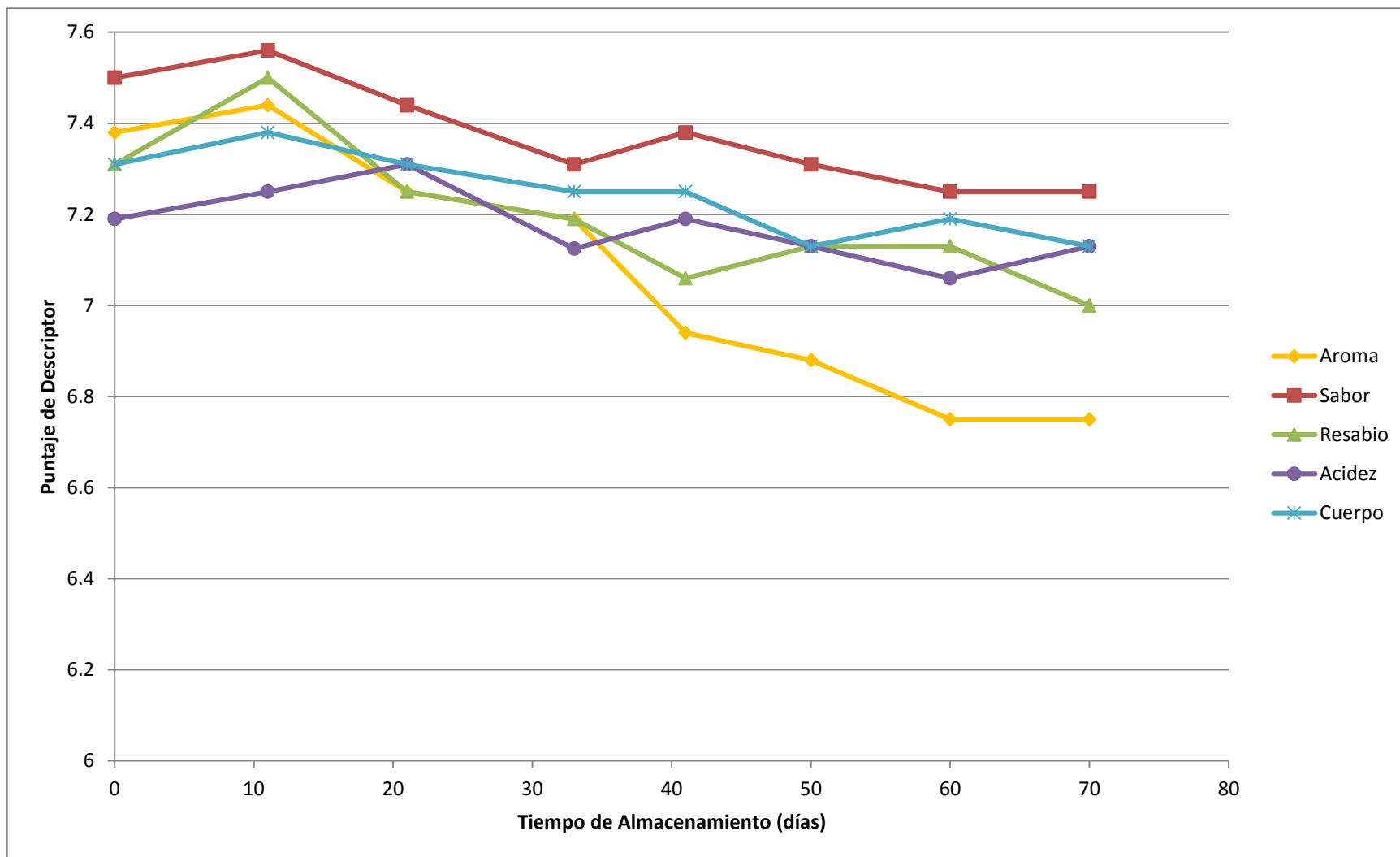


Figura 22: Evolución de los descriptores sensoriales de la bebida de café, durante el almacenamiento a 40°C para el Empaque #2.



**Figura 23: Evolución de los descriptores sensoriales de la bebida de café, durante el almacenamiento a 40°C para el Empaque #3.**

Por su parte, Segal y Proctor; citados por Jimenez (2002), mencionan que el ácido clorogénico tiene menor estabilidad a temperaturas superiores a 20°C, produciéndose ácido quínico y ácidos orgánicos alifáticos presentes en el café, lo cual incrementa el valor de acidez. Por otra parte, Skoog (2005) señala que los ácidos orgánicos que se forman son de naturaleza débil, por lo que el aumento de la concentración de hidrogeniones libres no es elevado, elevando la acidez en poca cantidad.

El atributo Cuerpo, similar al atributo Acidez, tuvo una disminución de baja magnitud durante el almacenamiento. Navarino; citado por Masella *et al.* (2015), señala que el Cuerpo es definido como la sensación táctil en la boca de la viscosidad del café (junto con la densidad y sólidos totales). Ribeiro *et al.* (2011) mencionan que el Cuerpo está estrechamente relacionado con el contenido proteico y con lípidos emulsificados.

El Cuerpo es afectado por la capacidad de emulsión de los lípidos en el agua al preparar la bebida de café. Kreuml *et al.* (2013) señalan que conforme se prolonga el almacenamiento, los lípidos presentes en el café pueden ser hidrolizados químicamente, dependiendo de la disponibilidad de humedad y temperatura. Adicionalmente, la presencia de Oxígeno conlleva a la oxidación de los ácidos grasos insaturados libres. Esto trae como consecuencia la disminución de la capacidad de emulsión, aunque no de manera significativa.

El atributo Resabio disminuyó de forma significativa durante el almacenamiento, indicando que la persistencia del sabor fue tornándose menos placentera. Farah *et al.* (2006) señalan que la disminución de la calidad del resabio en el almacenamiento es debido a un incremento de amargor.

Al respecto Drenoski; citado por Ross *et al.* (2006), señalan que los sabores amargos asociados con el café son atribuidos en gran parte a los ácidos fenólicos. Durante el almacenamiento, estos compuestos fenólicos son susceptibles a oxidación, resultando en la generación de compuestos amargos adicionales. Adicionalmente, la pérdida de compuestos volátiles dados en el almacenamiento, incrementa la percepción del amargor en el café.

El atributo Sabor sufrió una disminución de importante proporción durante el almacenamiento. Cañas *et al.* (2012) señalan que el sabor es definido como “las notas en el rango medio”, entre las primeras impresiones dadas por el aroma, y el resabio.

La disminución del Sabor en el almacenamiento se debe en parte a la pérdida de compuestos volátiles. Piccino *et al.* (2014) señalan que la percepción del sabor está ligada a los compuestos aromáticos de menor volatilidad en el café. Aromáticos de mayor volatilidad, como el metil mercaptano, son volatilizados rápidamente al molerse los granos. Aromáticos de menor volatilidad son también disipados, pero en menor grado, encontrándose en mayor proporción en el café almacenado.

Asimismo, las interacciones con otros atributos, influyen también en la percepción del sabor. Kreuml *et al.* (2013) señalan al dulzor como parte de la percepción del sabor en el café. Por su parte Meira *et al.* (2013) señalan que la percepción del dulzor en el café es disminuida por la presencia de una acidez desagradable.

El atributo Aroma, fue el que sufrió la mayor variación durante el almacenamiento, de los 5 parámetros evaluados. Al respecto, Songer (2001) señala que la disminución que se da en el atributo aroma tiene 2 motivos principales:

- Pérdida de aromas deseables: Eliminación de compuestos de mayor volatilidad.
- Incremento de aromas indeseables: Producto de reacciones de oxidación de volátiles.

La disipación de los compuestos aromáticos fue acelerada debido a la molienda realizada al café antes de su envasado. Stark (2012) señala que al molerse el café, aumenta el ratio superficie a volumen, así como la porosidad, facilitando la acción oxidativa del Oxígeno y humedad ambiental. Por su parte Songer (2001), menciona que la molienda destruye mecanismos de preservación de aromas presentes en el mismo café, ya que la disrupción de los carbohidratos y proteínas libera las sustancias aromáticas que encapsulan.

La molienda trajo consigo además la liberación de gran parte del CO<sub>2</sub> atrapado en los granos de café. Nicoli y Savonitti (2005) señalan que el CO<sub>2</sub> formado en el tostado actúa como barrera protectora, excluyendo la mayor parte del O<sub>2</sub> atmosférico de la estructura celular, retrasando la oxidación de los lípidos y compuestos volátiles.

Badui (2013) señala que los compuestos generados por el oscurecimiento enzimático de Maillard tienen capacidad antioxidante, principalmente las melanoidinas, capaces de actuar como quelantes y eliminadores de Oxígeno, radicales, peróxidos e hidroxilos. Sin embargo, Nicoli y Savonitti (2005) mencionan que conforme el CO<sub>2</sub> es eliminado, las reacciones de oxidación ya no pueden ser detenidas por la actividad antioxidante de los compuestos de Maillard.

La temperatura fue otro factor importante en la disminución del atributo Aroma en el almacenamiento. Stark (2012) indica que la temperatura afecta tanto química como físicamente la pérdida de aromas. Químicamente, la temperatura tiene una relación positiva con las cinéticas de las reacciones químicas, y por lo tanto son aceleradas al elevar la temperatura. Físicamente, las gradientes de presión y concentración entre el café y el ambiente, son influenciadas por la temperatura, lo que acelera la disipación de compuestos volátiles y el CO<sub>2</sub>.

Durante el almacenamiento, se da la pérdida de los compuestos aromáticos deseables en el café. Songer (2001) señala que esto se debe a que compuestos como aldehídos (aromas dulces y frutales) y pirazinas (aromas terrosos), son disipados en el ambiente, debido a su alta volatilidad. Por su parte Stark (2012), señala a los compuestos azufrados, aldehídos de Strecker, y alfa-dicarbonilos, como los causantes en mayor parte, de la pérdida del aroma deseable del café. Cabe destacar que el indicador más importante en la pérdida del aroma es considerado el Metanotiol (también conocido como metil mercaptano), ya que enmascara aromas indeseables además de proporcionar el aroma placentero predominante en el café (Songer, 2001; Nicoli y Savonitti, 2005; Nicoli *et al.*, 2009; Stark, 2012).

Conforme se prolonga el almacenamiento, el aroma se degenera, no sólo por la pérdida de los compuestos aromáticos agradables, sino por la formación de aromas desagradables. Songer (2001) indica que los volátiles en el café son extremadamente reactivos, y por lo



tanto fácilmente oxidables, como es el caso de la formación de mercaptanos por oxidación de compuestos azufrados, en almacenamientos largos. El compuesto furfuril mercaptano es común en concentraciones entre 0,01 y 0,5 ppb, siendo percibido como “café recién tostado”. Sin embargo, al desarrollarse mayores cantidades es percibido como “café añejo”. Otros compuestos de alto impacto aromático negativo incluyen disulfuros, producto de oxidación de tioles (Nicoli y Savonitti 2005), y aldehídos pungentes, derivados de alcoholes (Nicoli *et al.*, 2009).

Songer (2001) señala que los incrementos de temperatura tienen un efecto directo en el ratio de oxidación. Además de proveer la energía térmica necesaria para el añejamiento, aún si la elevación de temperatura es sólo temporal, puede causar el incremento de la solubilidad del Oxígeno presente en el empaque.

El efecto de la temperatura en la hidrólisis de los lípidos del café también tuvo influencia en la pérdida de aroma. Illy y Navarini (2011) señalan que el incremento de ácidos grasos libres tiene efecto desestabilizante en la formación de la espuma en el café, reduciendo la fuerza de las capas de proteínas e incrementan la probabilidad de la ruptura de burbujas en la espuma. Petracco (2005) señala que la pérdida de espuma en el café disminuye la percepción del aroma, ya que la espuma cumple el rol de atrapar los compuestos aromáticos del café, ralentizando su liberación al ambiente.

El atributo Aroma fue el que obtuvo los cambios más pronunciados durante el almacenamiento. Los valores de las pendientes de regresión obtenidas -0,0128 (Empaque #1), -0,0125 (Empaque #2) y -0,011 (Empaque #3), superan los valores obtenidos por los otros atributos (en especial los de Acidez y Cuerpo) por un gran margen, como se observa en el Cuadro 16.

Esto indica que el factor principal de la disminución obtenida en el puntaje sensorial total del café, se debe a la disminución en el atributo Aroma. Se definió por tanto, al atributo Aroma como el descriptor crítico sensorial, en la cual se basó la estimación de tiempo de vida.

#### 4.6. DETERMINACIÓN DEL VALOR LÍMITE DEL DESCRIPTOR CRÍTICO SENSORIAL

En la Figura 24 se ilustra la evolución del descriptor crítico “Aroma” con respecto al puntaje total registrado durante la evaluación sensorial del café tostado y molido a 40 °C para los tres empaques evaluados. Asimismo, las Ecuaciones de Regresión, y los Valores límite para los 3 empaques se muestran en el Cuadro 17.

**Cuadro 17: Determinación del Valor límite del Descriptor Crítico “Aroma”.**

Empaque	Ecuación de Regresión	R <sup>2</sup>	Valor límite	Valor límite promedio
Negro	$y = 3,4912x + 55,263$	0,9173	7,086	7,082
Dorado	$y = 3,3951x + 55,965$	0,8994	7,079	
Orgánico	$y = 3,2324x + 57,114$	0,9612	7,080	

El puntaje total, suma de los 10 atributos sensoriales, fue disminuyendo conforme se prolongaba el tiempo de almacenamiento, debido a que los atributos sensoriales por los que está compuesto, también disminuían. Sánchez (2012) menciona que la evaluación directa del puntaje total no es posible, ya que se trata de un valor compuesto por 10 atributos sensoriales, los cuales no se desarrollan de igual manera en el tiempo.

El valor límite del aroma que indica el final de vida útil, fue tomado en base a un puntaje total de 80 puntos. El valor de 80 puntos en la escala de categorías de la SCA fue elegido, ya que es el límite más común usado en la industria cafetera, ya que lo califica como café especial, otorgándole un valor agregado que lo diferencia de un café *commodity*. SCAA; citada por Enelow (2014), señala que un valor superior a 80 implica que el café está libre de los defectos de aroma, sabor y textura más comunes, conocidos como “defectos de nivel 1”. Por su parte Donnet *et al.* (2007) señalan que establecer un café como especial, provee de información crítica para los participantes de la cadena de valor. Esta información es usada como soporte para la toma de decisiones en diferenciación de producto, distribución de recursos y estrategias de *marketing*.

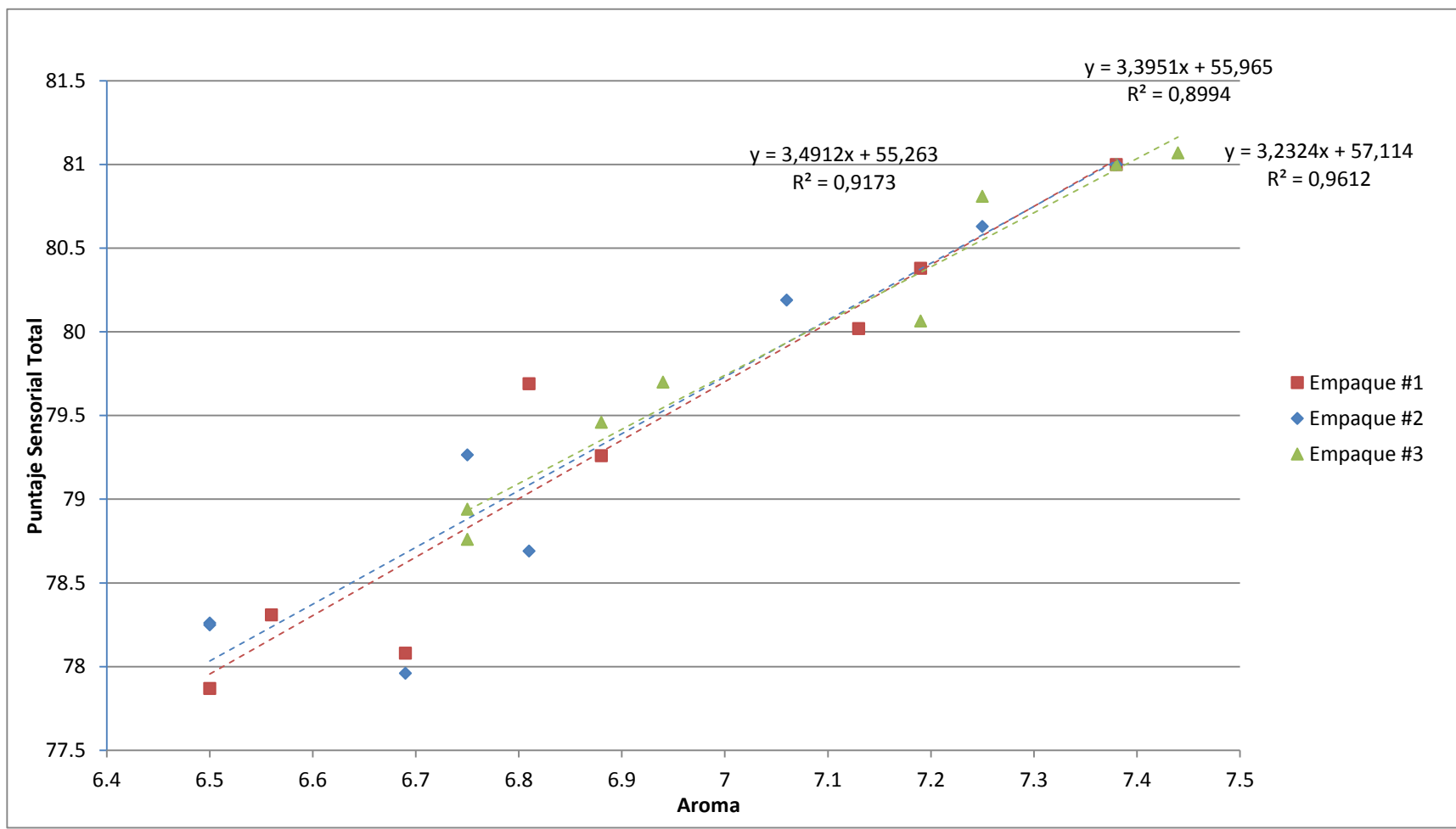


Figura 24: Relación entre el Descriptor Crítico “Aroma” y el Puntaje Sensorial Total a 40 °C para los tres empaques evaluados.

Otros valores límites han sido propuestos para determinar la calidad de un café tostado. Entre los volátiles, algunos indicadores específicos del aroma a café fresco han sido seleccionados: (a) El ratio M/B, ratio entre metilfuran y 2- butanona; (b) índice de calidad del aroma, basado en 5 odoríferos (hexanal, vinylpirazina, pirrol, furfurilmetilcetona, y piridina), el cual muestra una relación lineal inversa con el índice M/B; (c) índice aromático MM, ratio entre metanol y metilfuran; (d) pérdida de volátiles específicos (principalmente metilmercaptano). Sin embargo estas mediciones requieren de equipos específicos, por lo que la evaluación sensorial es el método más aplicado (Anese *et al.*; citados por Nicoli *et al.*, 2009).

Se pudo observar que los valores del puntaje total con los del atributo aroma mostraron una relación directamente proporcional entre ambos. Al respecto, Ribeiro *et al.* (2012) mencionan que los principales motivos para discriminar un café de alta calidad, son la pérdida de los compuestos aromáticos agradables, así como la formación de odoríferos desagradables.

La comparación entre la evolución del aroma con respecto al puntaje sensorial total obtenido, ilustrado en la Figura 24, muestra comportamientos similares entre los 3 empaques, denotado por los valores de las pendientes de regresión. Se observa que la influencia del aroma en el score total del café fue constante, siendo homogéneo a pesar de las diferentes condiciones de empaclado a la que fueron sometidos.

Sin embargo este comportamiento, sólo se da en cafés de alta calidad. Stark (2012) señala que cuando las condiciones de almacenamiento son deficientes, o el almacenamiento es muy largo, el café empieza a tomar notas rancias, producto de la oxidación lipídica. Compuestos como hexanal son formados por la migración de los lípidos producto de la molienda, lo que da lugar a un mayor impacto negativo en el aroma, y por tanto en su Puntaje Sensorial Total.

El valor límite fue obtenido como resultado del promedio aritmético de los valores para los tres empaques, dado la homogeneidad del comportamiento que presentó el atributo aroma en los tres empaques.

El resultado del valor límite del aroma fue de 7,082. Esto representa que valores del atributo aroma inferiores a 7,082 indican un puntaje total inferior a 80, situándolo al café en el rango de no especialidad.

#### **4.7. DETERMINACIÓN DEL ORDEN DE REACCIÓN**

La evolución del atributo aroma durante el almacenamiento a las temperaturas de 40 °C, 50°C y 60 °C, para los tres empaques de trabajo se muestra en los Cuadros 18, 19, 20, siendo ilustrado en las Figuras 25, 26 y 27.

Para determinar el orden de reacción de deterioro del café, según el atributo aroma, se empleó el método de integración planteado por Labuza y Riboh (1982), según la ecuación 2 (señalada en el ítem 2.11.1).

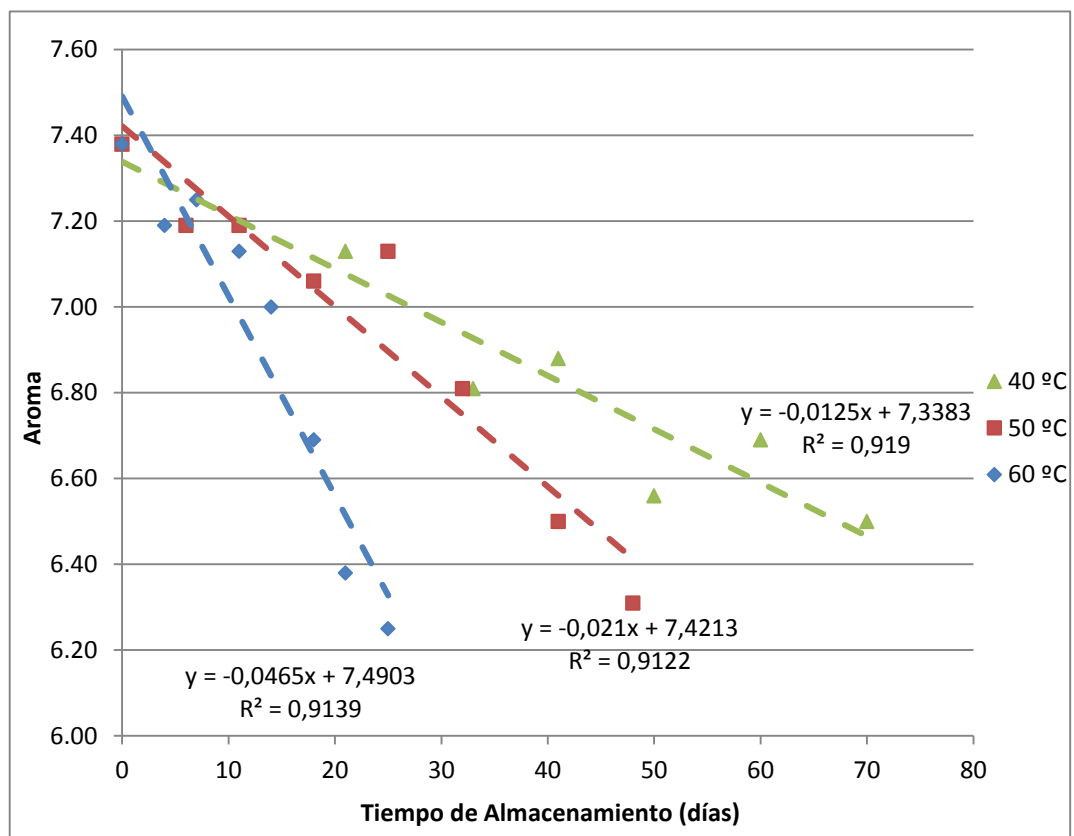
Los resultados del estudio demuestran que se da una pérdida progresiva del aroma durante el almacenamiento. Como fue señalado en el ítem anterior, esto se debe a que la volatilización de los odoríferos agradables, y la formación de odoríferos desagradables resulta acelerada por las altas temperaturas.

Cabe resaltar que la tendencia de la curva del tratamiento 60 °C muestra una pendiente más pronunciada en comparación a los tratamientos de 50 °C y 40 °C, repitiéndose este comportamiento en los tres empaques. Esto puede deberse a que la temperatura ejerce una gran influencia en la constante de velocidad de reacción, por lo que a una mayor temperatura se acelerarán las reacciones de deterioro.

Los valores experimentales del atributo aroma y tiempo, fueron reemplazados en el método de integración planteado por Labuza y Riboh (1982) según la ecuación 2. Se determinó que los factores de calidad evaluados se ajustan mejor a un orden de reacción igual a cero ( $n = 0$ ), al presentar valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) mayores, comparados con los de primer orden (Anexos 8, 9 y 10).

**Cuadro 18: Valores de atributo Aroma realizados al producto para el almacenamiento en el Empaque # 1.**

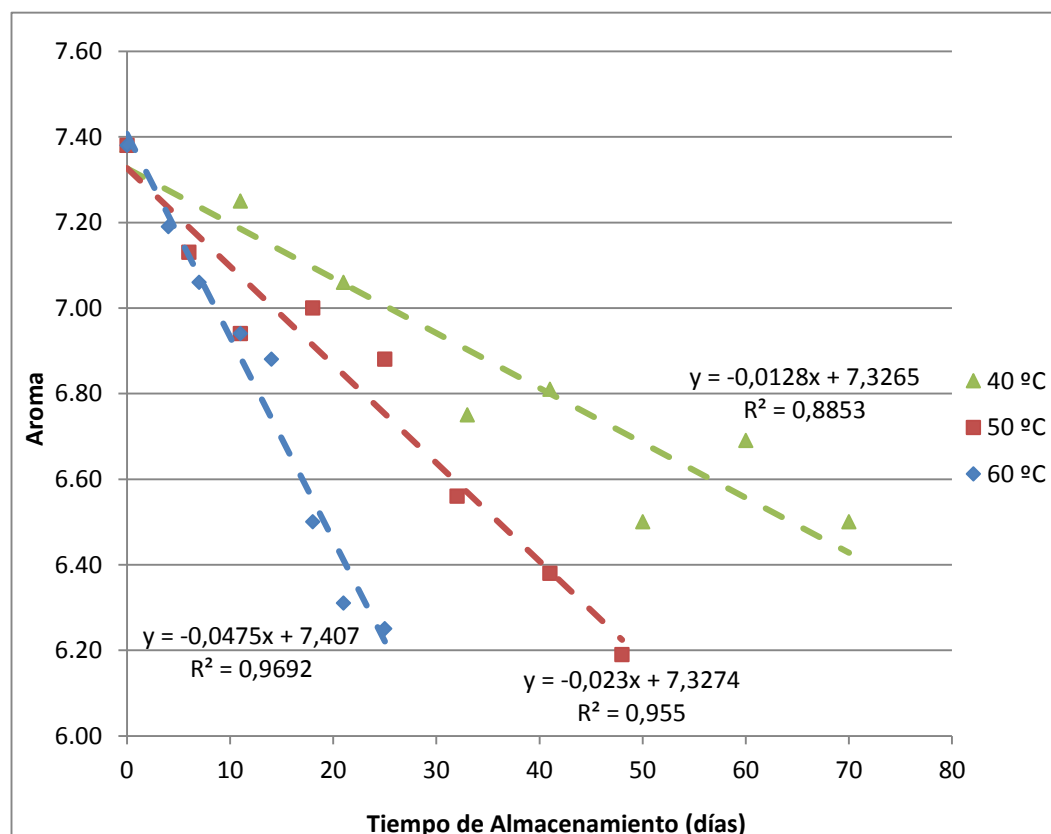
40 °C		50 °C		60 °C	
Día	Aroma	Día	Aroma	Día	Aroma
0	7,38	0	7,38	0	7,38
11	7,19	6	7,19	4	7,19
21	7,13	11	7,19	7	7,25
33	6,81	18	7,06	11	7,13
41	6,88	25	7,13	14	7,00
50	6,56	32	6,81	18	6,69
60	6,69	41	6,50	21	6,38
70	6,50	48	6,31	25	6,25



**Figura 25: Evolución del atributo Aroma durante el almacenamiento a 40 °C, 50 °C y 60 °C en el Empaque #1.**

**Cuadro 19: Valores de atributo Aroma realizados al producto para el almacenamiento en el Empaque # 2.**

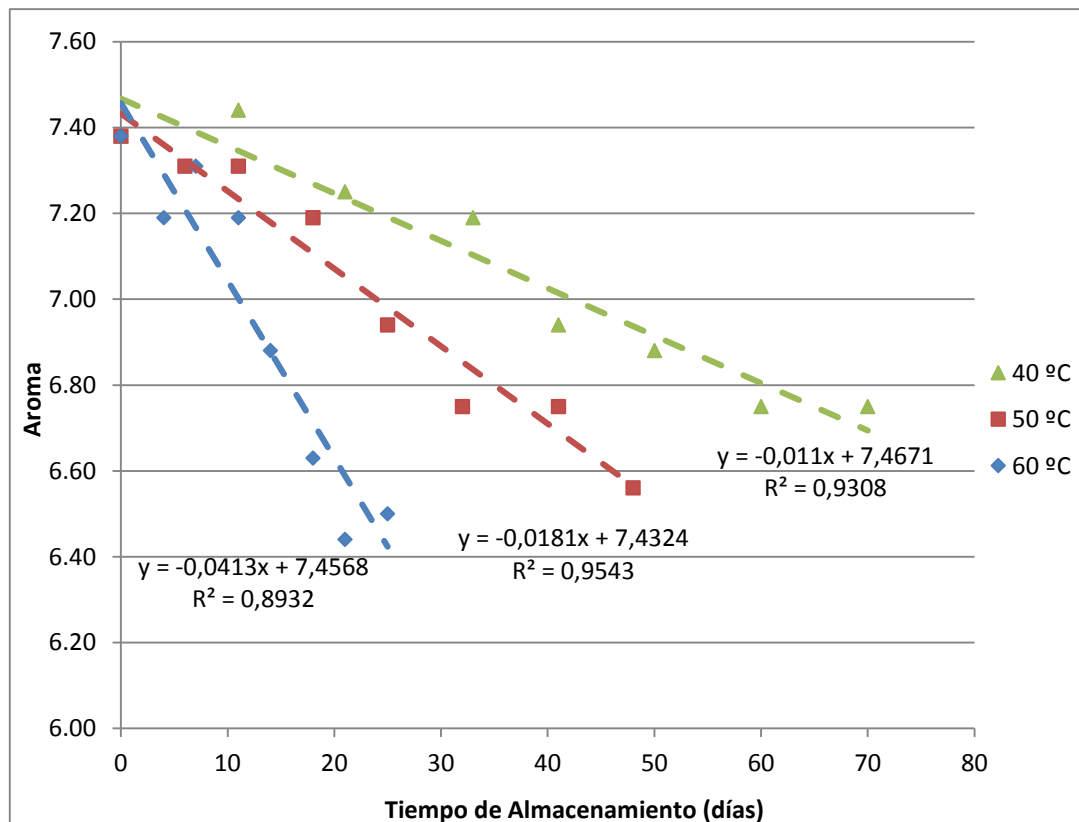
40 °C		50 °C		60 °C	
Día	Aroma	Día	Aroma	Día	Aroma
0	7,38	0	7,38	0	7,38
11	7,25	6	7,13	4	7,19
21	7,06	11	6,94	7	7,06
33	6,75	18	7,00	11	6,94
41	6,81	25	6,88	14	6,88
50	6,5	32	6,56	18	6,5
60	6,69	41	6,38	21	6,31
70	6,50	48	6,19	25	6,25



**Figura 26: Evolución del atributo Aroma durante el almacenamiento a 40 °C, 50 °C y 60 °C en el Empaque #2.**

**Cuadro 20: Valores de atributo Aroma realizados al producto para el almacenamiento en el Empaque # 3.**

40 °C		50 °C		60 °C	
Día	Aroma	Día	Aroma	Día	Aroma
0	7,38	0	7,38	0	7,38
11	7,44	6	7,31	4	7,19
21	7,25	11	7,31	7	7,31
33	7,19	18	7,19	11	7,19
41	6,94	25	6,94	14	6,88
50	6,88	32	6,75	18	6,63
60	6,75	41	6,75	21	6,44
70	6,75	48	6,56	25	6,50



**Figura 27: Evolución del atributo Aroma durante el almacenamiento a 40 °C, 50 °C, 60 °C en el Empaque #3.**



Se pudo observar que en el caso de la evaluación a 40°C en el empaque #3, se obtuvo un coeficiente de determinación superior en orden uno que en orden cero. Sin embargo debido a la similitud en los valores, se escogió el orden de reacción igual a cero. Labuza; citado por Hough y Fiszman (2005), mencionan que orden cero normalmente es aplicado en casos de oxidación en alimentos deshidratados. Así mismo, Makri *et al.* (2011) determinaron que los scores de análisis sensoriales realizados a café tostado y molido siguieron una cinética de orden cero, durante el almacenamiento.

En el Cuadro 21 se aprecia los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) obtenida para el orden de reacción elegido ( $n = 0$ ) para cada empaque evaluado, en función de la temperatura.

**Cuadro 21: Coeficientes de Determinación Lineal del Modelo de Labuza (Orden Cero) del aroma para cada empaque evaluados en función de la temperatura.**

Empaque	$R^2$		
	40 °C	50 °C	60 °C
Empaque #1	0,919	0,9122	0,9139
Empaque #2	0,8853	0,955	0,9692
Empaque #3	0,9308	0,9543	0,8932

#### **4.8. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE K (CONSTANTE DE VELOCIDAD)**

Las constantes de velocidad K, fueron extraídos de las ecuaciones que se muestran en las Figuras 25, 26, 27, correspondientes a la relación del atributo aroma a través del tiempo. En el Cuadro 22, se aprecian los valores K extraídos, además de los datos obtenidos a partir de las temperaturas de evaluación y los valores de K para la construcción de la gráfica de Arrhenius.

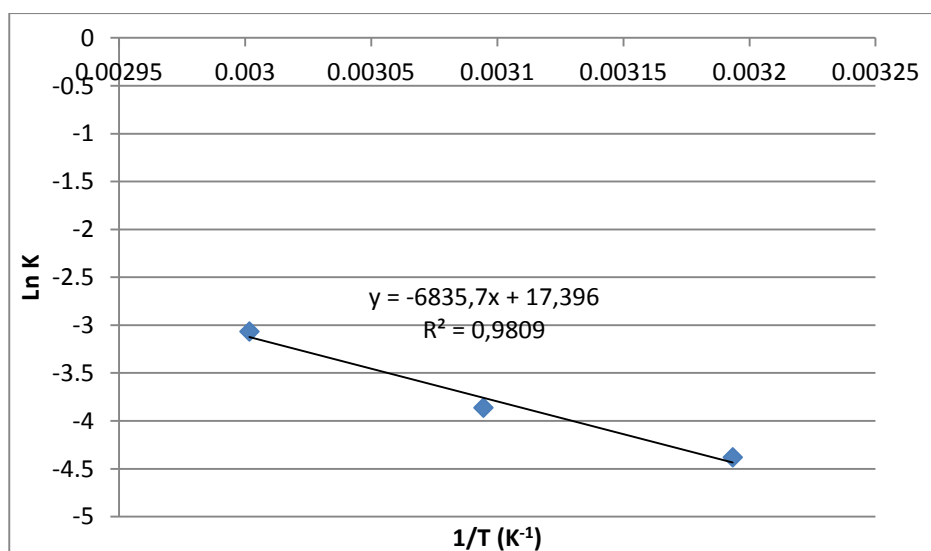
Tal como se observa en el Cuadro 22 existe un incremento de las constantes de velocidad de reacción en función a la temperatura de almacenamiento. Labuza (1999) señala que generalmente la velocidad de reacción se incrementa conforme aumenta la temperatura.

**Cuadro 22: Valores de Tiempo y K para la construcción de la gráfica de Arrhenius.**

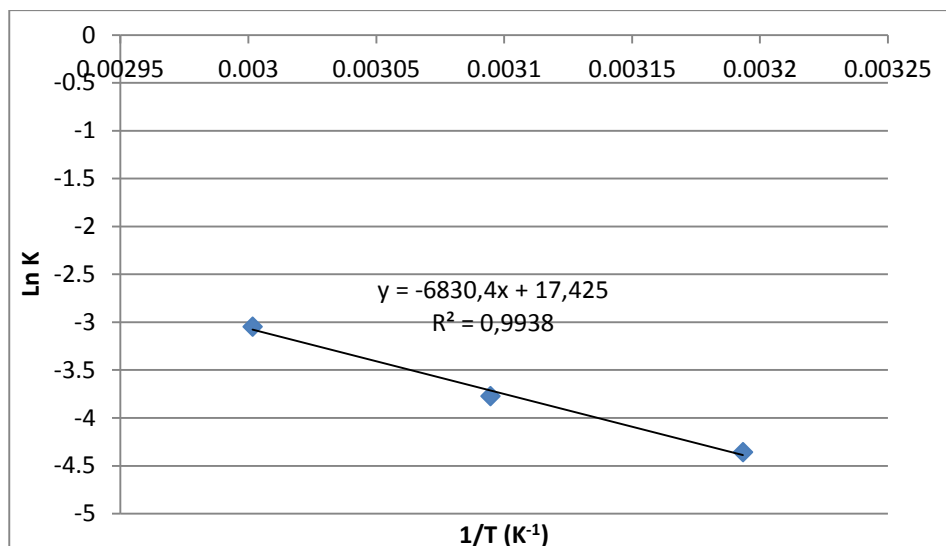
Empaque	T (°C)	K (días <sup>-1</sup> )	K (Valor Abs) (días <sup>-1</sup> )	1/T (K <sup>-1</sup> )	LnK
Empaque #1	40	-0,0125	0,0125	0,0031934	-4,3820266
	50	-0,021	0,021	0,0030946	-3,8632328
	60	-0,0465	0,0465	0,0030017	-3,0683030
Empaque #2	40	-0,0128	0,0128	0,0031934	-4,3583101
	50	-0,023	0,023	0,0030945	-3,7722611
	60	-0,0475	0,0475	0,0030017	-3,0470256
Empaque #3	40	-0,011	0,011	0,0031934	-4,5098601
	50	-0,0181	0,0181	0,0030945	-4,0118433
	60	-0,0413	0,0413	0,0030017	-3,1868928

Tal como se observa en el Cuadro 22 existe un incremento de las constantes de velocidad de reacción en función a la temperatura de almacenamiento. Labuza (1999) señala que generalmente la velocidad de reacción se incrementa conforme aumenta la temperatura.

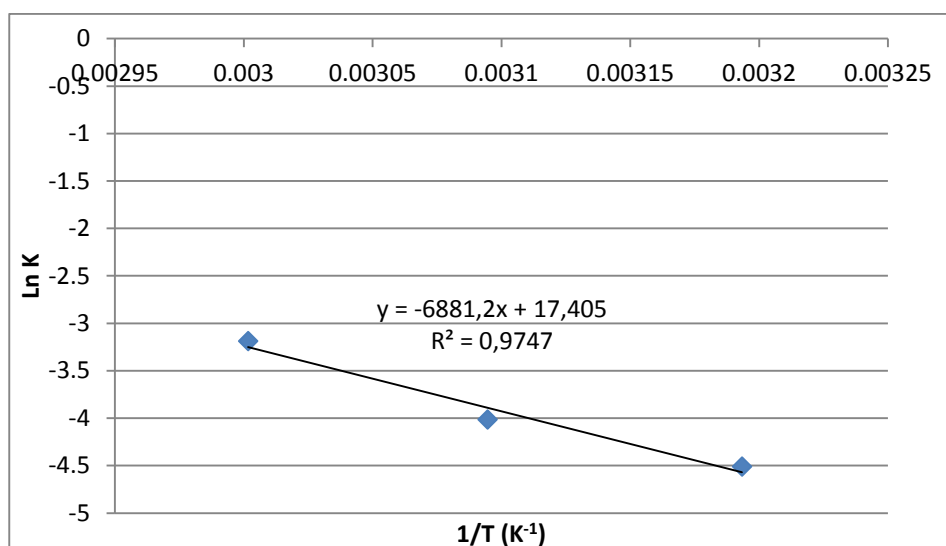
En las Figuras 28, 29, 30 se aprecian las gráficas de Arrhenius de los tres empaques, construidas utilizando los valores del Cuadro 22 y utilizando la ecuación 7 (señalada en el ítem 2.11.2).



**Figura 28: Gráfica de Arrhenius para Empaque #1.**



**Figura 29: Gráfica de Arrhenius para Empaque #2.**



**Figura 30: Gráfica de Arrhenius para Empaque #3.**

#### 4.9. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL

La estimación de la vida útil del producto, se realizó a partir de las ecuaciones obtenidas en las gráficas de Arrhenius. Se obtuvo valores  $R^2$  igual a 0,9809, 0,9938 y 0,9747, indicando, que el 98,09, 99,38 y 97,47 por ciento de la variabilidad de la variable LnK (Logaritmo neperiano de la constante de velocidad de reacción), es explicado por el modelo de regresión ajustado, para el caso del Empaque #1, Empaque #2, y Empaque #3, respectivamente.

En dichas ecuaciones se reemplazó el valor de temperatura de 20 °C (condiciones normales de almacenamiento) para cada empaque. Se obtuvieron los siguientes resultados:

$$K_{Empaque\ 1} = 2,6796 \times 10^{-3} \text{días}^{-1}$$

$$K_{Empaque\ 2} = 2,8088 \times 10^{-3} \text{días}^{-1}$$

$$K_{Empaque\ 3} = 2,3151 \times 10^{-3} \text{días}^{-1}$$

Finalmente para poder determinar el tiempo de vida del café tostado y molido a 20 °C, se reemplazaron los siguientes valores: Constante de velocidad de reacción a 20 °C, el valor inicial ( $A_0$ ) y el *Valor límite* ( $A$ ) del *Descriptor Crítico* aroma. El valor  $A_0$ , fue obtenido al inicio del almacenamiento, como se muestra en los Cuadros 18, 19 y 20, mientras que el valor límite fue obtenido, en el ítem 4.6.

$$A = A_0 + K\theta$$

Reemplazando en la ecuación:

Para Empaque #1:

$$7,082 = 7,38 + (-2,6796 \times 10^{-3} \theta)$$

$$\theta = 111 \text{ días y } 8 \text{ horas}$$

$$\theta = 3,71 \text{ meses}$$

Para Empaque #2:

$$7,082 = 7,38 + (-2,8088 \times 10^{-3} \theta)$$

$$\theta = 106 \text{ días y } 5 \text{ horas}$$

$$\theta = 3,54 \text{ meses}$$

Para Empaque #3:

$$7,082 = 7,38 + (-2,3151 \times 10^{-3} \theta)$$

$$\theta = 128 \text{ días y } 21 \text{ horas}$$

$$\theta = 4,30 \text{ meses}$$

Se obtuvieron los valores de tiempo de vida de 111 días para el Empaque #1, 106 días para el Empaque #2 y 129 días para el Empaque #3. Esto significa que pasado estos tiempos de

almacenamiento, el producto café tostado y molido, obtendrá un Puntaje Sensorial Total inferior a 80 puntos, perdiendo la denominación de café especial.

Se observó que el Empaque #3 fue el que tuvo mayor influencia en la reducción de la velocidad de deterioro, y por ende, obtuvo el mayor tiempo de vida de los 3 empaques. El incremento de tiempo de vida presentado, posiblemente se debe a que el Empaque #3 tiene una menor velocidad de transmisión al Oxígeno. Cardelli y Labuza (2001) determinaron que un incremento de 2 a 86 cm<sup>3</sup> de Oxígeno durante el almacenamiento, aumentó la cinética de deterioro del café tostado en 20 veces.

Sin embargo el incremento mostrado en el tiempo de vida, es pequeño. Comparado con el empaque actualmente usado por la empresa (Empaque #1), el Empaque #3 tuvo un incremento de 17 días, lo cual no justifica el incremento de precio que conlleva usarlo como nuevo empaque. Las diferencias reducidas se deben a la similitud entre valores de transmisión al Oxígeno.

El Empaque #2 mostró un tiempo de vida prácticamente idéntico al del empaque actual (Empaque #1) diferenciándose en 5 días. Al igual que en el caso anterior la similitud tiene raíz en la semejanza entre sus valores de transmisión al Oxígeno.

Makri *et al.* (2011) estimaron el tiempo de vida útil para café tostado y molido, de 156 días a temperatura ambiente, si es que es mantenido a Aw de 0,15, fijando como valor límite el score 5 en una escala hedónica de 9 puntos. Así también Nicoli y Savonitti; citados por Nicoli *et al.* (2009), reportaron valores de vida útil en trilaminados con válvula degasificadora entre 120 y 180 días, al evaluarlo con consumidores. Cabe resaltar que ambas investigaciones no tomaron en cuenta el criterio de especialidad.

Es importante tomar en cuenta la variedad de factores que influyen en el café tostado, no solamente sobre su calidad inicial, sino también sobre su tiempo de vida. Illy y Viani; citados por Bhumiratana *et al.* (2011), señalan que a pesar de partir de una misma materia prima, pueden obtenerse experiencias sensoriales distintas de la bebida del café. Resumieron que existen 6 factores que afectan las propiedades sensoriales de la bebida de café: Variedad de

planta, región de cultivo (condiciones de crecimiento), método de procesamiento (desde el fruto del cafeto al café verde), tipo de tostado, grado de molienda, y preparación de la bebida del café.

#### **4.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

En la evaluación estadística, se determinó que a un nivel de significación del 5 por ciento no existen diferencias significativas entre los tres empaques al evaluar el factor de calidad (Aroma), debido a que el Valor de P (0,198) es mayor que el nivel de significación 0,05.

## V. CONCLUSIONES

1. Para el Empaque #1, trilaminado (PET/VMPET/PEBD), de VTO 0,6150 cc/m<sup>2</sup>\*24h y VTVA 0,2047 g/m<sup>2</sup>\*24h, se estimó un tiempo de vida útil del producto café tostado y molido tipo Especial (*Premium*) de 111 días.
2. Para el Empaque #2, trilaminado (PET/VMPET/PEBD), de VTO 0,6200 cc/m<sup>2</sup>\*24h y VTVA 0,2047 g/m<sup>2</sup>\*24h, se estimó un tiempo de vida útil del producto café tostado y molido tipo Especial (*Premium*) de 106 días.
3. Para el Empaque #3, trilaminado (PAPEL/VMPET/PEBD), de VTO 0,6080 cc/m<sup>2</sup>\*24h y VTVA 0,19924 g/m<sup>2</sup>\*24h, se estimó un tiempo de vida útil del producto café tostado y molido tipo Especial (*Premium*) de 129 días.
4. Se encontró que el atributo aroma fue el que tuvo la mayor influencia en la disminución de la calidad sensorial durante el almacenamiento, siendo por tanto escogido como el descriptor crítico en el que se basó la estimación del tiempo de vida.
5. Se determinó un valor límite de 7,082, indicando que valores de aroma inferiores sitúan al café fuera del rango de especialidad.
6. La humedad reportó resultados por debajo de 4 por ciento (b.s.), que es el límite máximo permitido especificado en la NTP 209.028 para café tostado, por lo que se consideró como producto seguro.

7. El análisis microbiológico arrojó resultados acorde a las exigencias especificadas en la NTS N°071, para mohos y levaduras, aerobios mesófilos y coliformes, siendo un producto apto para el consumidor.
  
8. El análisis estadístico mostró que no existen diferencias significativas entre los tiempos de vida obtenidos para los tres empaques, al usar un nivel de significación del 5 por ciento.



## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda evaluar el efecto en el tiempo de vida de la aplicación de vacío, y de gases inertes.
2. Realizar una evaluación del tiempo de vida, posterior a la apertura del empaque del café (tiempo de vida secundario), simulando las condiciones que surgen a los consumidores.
3. Analizar el tiempo de vida de café tipo Especial en otros empaques, tales como en enlatados, ya que estos permiten aplicaciones de presurización, que incrementa el tiempo de vida.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEX (Asociación de Exportadores). 2015. Ranking de Productos – Exportaciones. Consultado el 15 ene. 2015. Disponible en <http://www.adexdatatrade.com/Members/RankingProductos.aspx>
- AL-ABDALALL, A.; AL-TALIB, E. 2014. Aflatoxin and Ochratoxin production in ground coffee during storage. *Canadian Journal of Pure & Applied Sciences* 8(2): 2825-2836.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 2012. Official Methods of Analysis of AOAC International. Chapter 30.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 2011. D 751-06:2011. Standard Test Methods for Coated Fabrics. 19 p.
- BADUI, S. 2013. Química de Alimentos. Editorial Alambra, ME. 723 p.
- BALZER, H. 2001. Chemistry I: Non-Volatile Compounds. Cap. 1B. En: R. Clarke y G. Vitzthum. (Ed.). *Coffee: Recent Developments*. 1. ed. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. p. 18-32.
- BEE, S.; BRANDO, C.; BRUMEN, G.; CARVALHAES, N.; KÖLLIN, I.; SPEER, K.; SUGGI, F.; TEIXEIRA, A.; TEIXEIRA, R.; THOMAZIELLO, R.; VIANI, R.; VITZTHUM, O. 2005. The raw bean. Cap. 3. En: Illy, A. y Viani, R. (Ed.). *Espresso coffee. The Science of Quality*. 2. ed. Elsevier Academic Press. Roma, IT. p. 87-178.

- BHUMIRATANA, N.; ADHIKARI, K.; CHAMBERS, E. 2011. Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. *LWT - Food Science and Technology* 44 (10): 2185-2192.
- BICHO, N.; LEITÃO, A.; RAMALHO, J.; LIDON, F. 2012. Use of colour parameters for roasted coffee assessment. *Food Science and Technology (Campinas)* 32(3): 436-442.
- BONNLANDER, B.; EGGERS, R.; ENGELHARDT, U.; MAIER, H. 2005. Roasting. Cap. 4. En: Illy, A. y Viani, R. (Ed.). *Espresso coffee. The Science of Quality*. 2. ed. Elsevier Academic Press. Roma, IT. p. 179-214.
- BOSCH. 2005. Válvula de degasificación de Bosch. Consultado 03 mar. 2015. Disponible en <http://www.imco.es/pdf/431216.pdf>
- BUFFO, R.; CARDELLI, C. 2004. Coffee flavour: an overview. *Flavour and Fragrance Journal* no. 19: 99-104.
- CAÑAS, R.; DÁVILA, J.C.; FUNDES, G.; VILLA, M. 2012. *Manual de Catadores de Cafés Especiales*. 1. ed. Lima, PE. 60 p.
- CARDELLI, C.; LABUZA, T. 2001. Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *LWT - Food Science & Technology* no. 34: 273–278.
- CARRIÓN, M. 2012. Estudio de la estabilidad del extracto de Café Arábigo del Ecuador, para la empresa Café Vélez. Tesis Ing Alim. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, EC. 127 p.
- CÁTEDRA DE TECNOLOGÍA PAPELERA. 1984. *Materiales complejos, envase y embalaje flexible*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. ES. 307 p.

- CLARKE, R.; MACRAE, R. 1987. Coffee: Volume 2 - Technology. Elsevier Applied Science Publishers. Londres, UK. 312 p.
- DECAGON DEVICES. 2007. Aqualab Water Activity Meter. Operator's Manual for Aqualab models Series 3 and 3TE. 106 p.
- DELGADO, S. 2002. Etiquetas y envases: realidad nacional. Lima, PE. 203 p.
- DONNET, L.; WEATHERSPOON, D.; HOEHN, J. 2007. What Adds Value in Specialty Coffee? Managerial Implications from Hedonic Price Analysis of Central and South American E-Auctions. *International Food and Agribusiness Management Review* 10(3): 1-18.
- ECHEVARRÍA, A. 2012. Comparativo en vivero de cinco variedades de café (*Coffea arabica* L.) en San Ramón, Chanchamayo. Tesis Ing Agr. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, PE. 76 p.
- ENELOW, N. 2014. Farm Labor Networks, Cooperatives and Fair Trade: An Empirical Analysis of Peruvian Coffee Growers. Political Economy Research Institute. University of Massachusetts. 44 p.
- ESCARDINO, A.; BERNA, A. 2003. Introducción a la Ingeniería de las reacciones químicas. Editorial Universidad de Valencia. ES. 417 p.
- FARAH, A.; MONTEIRO, M.; CALADO, V.; FRANCA, A.; TRUGO, L. 2006. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. *Food Chemistry* no. 98: 373-380.
- FARAH, A.; PAULIS, T.; TRUGO, L.; MARTIN, P. 2005. Effect of Roasting on the Formation of Chlorogenic Acid Lactones in Coffee. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* no. 53: 1505-1513.

- FENNEMA, O. 2000. Química de Alimentos. 3. ed. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, ES. 1258 p.
- FIGUEROA, R. 1983. La Caficultura en el Perú. Editorial FIESSA. Lima, PE. 202 p.
- FRANCA, A.; MENDOCA, J.; OLIVEIRA, S. 2005. Composition of green and roasted coffees of different cup qualities. 7 p.
- GARCÍA, D. 1989. Estudio de los parámetros óptimos en el procesamiento de café verde, determinantes de su calidad. Tesis Ing Ind. Alim. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, PE. 87 p.
- GARITTA, L.; HOUGH, G.; SÁNCHEZ, R. 2004. Sensory shelf life of dulce de leche. Journal of Dairy Science no. 87: 1601-1607.
- GOGLIO, F.; BOSETTI, O.; BOTTINI, G. 2002. Selective degassing valve for containers of aromatic or odorous products, such as coffee and the like. US Patent 6468332. Washington, US. 4p.
- HANLON, J.; KELSEY, R.; FORCINIO, H. 1998. Handbook of Package Engineering. 3. ed. Editorial Technomic. Lancaster, US. 707 p.
- HERRERA, J.; TORRES, I.; TASCÓN, C.; MONTOYA, J. 2011. Colorimetría del Fruto de Café (*Coffea Arabica* L.) durante su Desarrollo y Maduración. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 64 (2): 6229-6240.
- HILL, G.; GRIEGER, R. 1980. Kinetic data: Generation, interpretation, and use. Food Technology 34 (2): 56-66.

- HOMMA, S. 2001. Chemistry II: Non-Volatile Compounds, Part II. Cap. 3. En: R. Clarke y G. Vitzthum. (Ed.). Coffee: Recent Developments. 1. ed. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. p. 50-67.
- HOUGH, G.; FISZMAN, F. 2005. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. 1. ed. Madrid, ES. 114 p.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods). 2000. Vol I. Parte II. Ed. II.
- IFT (Institute of Food Technologists). 1974. Shelf life of food. Journal of Food Science no. 39: 861-865.
- ILLY, E.; NAVARINI, L. 2011. Neglected Food Bubbles: The Espresso Coffee Foam. Food Biophysics no. 6: 335-348.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). 2005a. NTP 202.108. Leche y productos lácteos. Manjarblanco. Requisitos. 2 ed.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). 2005b. NTP 209.028. Café tostado en grano o molido. Requisitos. 2 ed.
- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). 2001. NTP ISO 11294. CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO. Determinación del contenido de humedad. Método de determinación de pérdida de masa a 103 °C. Método de rutina.

- INDECOPI (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual). 1998. NTP ISO 4593:1998. PLÁSTICOS. Películas y laminados. Determinación del espesor por examen mecánico. 1 ed.
- ISO (International Organization for Standardization). 1995. ISO 2528:1995. Sheet Materials -- Determination of water vapour transmission rate -- Gravimetric (dish) method. 11 p.
- JIMENEZ, S. 2002. Utilización de la cebada (*Hordeum vulgare*) como sucedáneo del café (*Coffea arabica*). Tesis Ing Ind. Alim. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, PE. 116 p.
- JOHNSON, J.; BRADDOCK, R.; CHEN, C. 1995. Kinetics of ascorbic acid loss and nonenzymatic browning in orange juice serum: experimental rate constants. *Journal Food Science* 60(3): 502-505.
- KILCAST, D.; SUBRAMANIAM, P. 2000. *The Stability and Shelf Life of Food*. Woodhead Publishing Limited. England.
- KREUML, M.; MAJCHRAK, D.; PLOEDERL, B.; KOENIG, J. 2013. Changes in sensory quality characteristics of coffee during storage. *Food science & Nutrition* 1(4): 267-272.
- LABUZA, T. 1979. A theoretical comparison of losses in foods under temperature sequences. *Journal of Food Science* no. 44: 1162-1168.
- LABUZA, T. 1999. *Determination of the Shelf Life of Foods*. Department of Food Science and Nutrition. University of Minnesota. St Paul, MN 55108. USA.
- LABUZA, T. 1972. Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods. *Critical Reviews in Food Science* no. 3: 217-240.

- LABUZA, T.; RIBOH, D. 1982. Theory and applications of Arrhenius kinetics to prediction of nutrient losses in foods. *Food Technology* 36(10): 66-74.
- LABUZA, T.; SCHMIDL, M. 1985. Accelerated shelf-life testing of food products. *Food Technology* 39(9): 57-64.
- LABUZA, T.; TAOUKIS, P. 1990. The relationship between processing and shelf life. Cap. 6. En: Birch, G y Campbell, G (Ed.). *Foods for the 90`s*. Elsevier Applied Science Publishers. Londres, UK. p. 73-105.
- LÄDERACH, P.; OBERTHÜR, T.; COOK, S.; ESTRADA, M.; POHLAN, J.; FISHER, M.; LECHUGA, R. 2011. Systematic agronomic farm management for improved coffee quality. *Field Crops Research* 120(3): 321-329.
- LINGLE, T. 2010. *Adding value to Robusta coffees*. Londres, UK. p. 21.
- LINGLE, T. 1996. *The Coffee Brewing Handbook: A Systematic Guide to Coffee Preparation*. Specialty Coffee Association of America (SCAA). California, US. 60 p.
- MAKRI, E.; TSIMOGIANNIS, D.; DERMESONLUOGLU, E.; TAOUKIS, P. 2011. Modeling of Greek Coffee Aroma loss during storage at different temperatures and water activities. *Procedia Food Science* no. 1: 1111-1117.
- MAN, C.; JONES, A. 2000. *Shelf life Evaluation of Foods*. Blackie Academic and Professional. Londres. 225 p.
- MASELLA, P.; GUERRINI, L.; SPINELLI, S.; CALAMAI, L.; SPUGNOLI, P.; ILLY, F.; PARENTI, A. 2015. A new espresso brewing method. *Journal of Food Engineering* no. 146: 204-208.



- MEIRA, F.; CARMANINI, F.; PEREIRA, L.; SILVA, G.; APARECIDA, V.; PEDROZA, E. 2013. Evaluation of the sensory and color quality of coffee beans stored in hermetic packaging. *Journal of Stored Products Research* no. 52: 1-6.
- MINAG (Ministerio de Agricultura). 2015. Series Históricas de Producción Agrícola (en línea). Consultado el 15 ene. 2015. Disponible en <http://frenteweb.minag.gob.pe/sisca/>
- MINSA-DIGESA. 2008. NTS N°071. Norma Sanitaria que establece los requisitos microbiológicos de calidad sanitaria e Inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Lima, PE.
- NICOLI, M.; MANZOCCO, L.; CALLIGARIS, S. 2009. Packaging and the Shelf Life of Coffee. Cap 11. En: Robertson, G. (Ed). *Food Packaging and Shelf Life: A Practical Guide*. CRC Press. US. p. 199-214.
- NICOLI, M.; SAVONITTI, O. 2005. Storage and packaging. Cap. 6. En: Illy, A. y Viani, R. (Ed.). *Espresso coffee. The Science of Quality*. 2. ed. Elsevier Academic Press. Roma, IT. p. 230-258.
- OTA (Office of Technology Assesment). 1979. Open shelf-life dating of foods. Washinton, DC: Office of Technology, US. 108 p.
- PACIFICBAG. 2015. One-Way Degassing Valve. Technical Fact Sheet. Consultado 03 mar. 2016. Disponible en <http://pacificbag.com/pbiarticles/ValvesTechSheetFinal.pdf>.
- PETRACCO, M. 2005. The Cup. Cap. 8. En: Illy, A. y Viani, R. (Ed.). *Espresso coffee. The Science of Quality*. 2. ed. Elsevier Academic Press. Roma, IT. p. 290-313.

- PICCINO, S.; BOULANGER, R.; DESCROIX, F.; SHUM, A. 2014. Aromatic composition and potent odorants of the “specialty coffee” brew “Bourbon Pointu” correlated to its three trade classifications. *Food Research International* no. 61: 264-271.
- PRESTON, W. 2014. Coffee roasting acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 135(6): 1-5.
- PUERTA, G. 1999. Influencia de proceso de beneficio en la calidad del café. *Cenicafé* 50(1): 78-88.
- PUERTA, G.; RÍOS, S. 2011. Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé* 62(2): 23-40.
- REDGEWELL, R.; FISHER, M. 2006. Coffee Carbohydrates. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18(1): 165-174.
- RIBEIRO, J.; AUGUSTO, F.; SALVA, T.; FERREIRA, M. 2012. Prediction models for Arabica coffee beverage quality based on aroma analyses and chemometrics. *Talanta* 101(0): 253-258.
- RIBEIRO, J.; FERREIRA, M.; SALVA, T. 2011. Chemometric models for the quantitative descriptive sensory analysis of Arabica coffee beverages using near infrared spectroscopy. *Talanta* 83(5): 1352-1358.
- ROBERTSON, G. 2012. *Food Packaging Principles and Practice*. 3. ed. CRC Press. US. 704 p.
- ROBERTSON, G. 2016. Permeation through the heat seal. (correo electrónico). Universidad de Queensland. AU.

- ROSS, C.; PECKA, K.; WELLER, K. 2006. Effect of storage conditions on the sensory quality of ground arabica coffee. *Journal of Food Quality*, 29(6): 596-606.
- SAGUY, I.; KAREL, M. 1980. Modeling of Quality Deterioration during Food Processing and Storage. *Food Technology* 34(2): 78-80.
- SÁNCHEZ, M. 2012. Estudio de la estabilidad del extracto de café Arábigo del Ecuador, para la empresa Café Vélez. Tesis Ing Ind. Alim. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, EC. 127 p.
- SCAA (Specialty Coffee Association of America). 2009. SCAA Protocol; Cupping Specialty Coffee. California, US. 8 p.
- SIVETZ, M.; FOOTE, H. 1963. Coffee processing technology. Westport, US. v. 1. 598 p.
- SKOOG, D. 2005. Fundamentos de química analítica. ME. 1065 p.
- SONGER, P. 2001. A Question of Freshness. Specialty Coffee Association of America (SCAA). California, US. 6 p.
- SOTO, C. 2010. Guía técnica para el beneficiado de café protegido bajo una indicación geográfica o denominación de origen. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). GT. 107 p.
- STARK, M. 2012. What is the Shelf Life of Roasted Coffee? A Literature Review on Coffee Staling. Consultado el 19 ene. 2015. Disponible en <http://www.scaa.org/chronicle/2012/02/15/what-is-the-shelf-life-of-roasted-coffee-a-literature-review-on-coffee-staling/>

- STEELE, R. 2004. Understanding and measuring the shelf life of food. Editorial CRC Press, Boca Raton. 413 p.
- SURAMYA, F. 2012. Investigations of Heat Seal Parameters and Oxygen Detection in Flexible Packages. Ph.D. Thesis. University of Guelph, Ontario, CA. 189 p.
- TAOUKIS, S.; LABUZA, P.; SAGUY, S. 2000. Kinetics of food deterioration and Shelf Life Prediction. Cap 9. En: Valentas, K. y Rotstein, R. (Ed.). Handbook of Food Engineering Practice. 1 ed. Editorial CRC, Boca Raton. p. 361-404.
- TOCI, A.; NETO, V.; TORRES, A.; FARAH, A. 2013. Changes in triacylglycerols and free fatty acids composition during storage of roasted coffee. LWT - Food Science and Technology 50 (2): 581-582.
- VÁSQUEZ, L. 2005. Star Cupper Manual. Regional Quality Coffee Program. Ed. Central America. 446 p.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1

#### PERFIL DE TOSTADO TIPO GOURMET

Tiempo (min)	Temperatura ( °C)*	Aire (Capacidad Total de Ingreso)	Comentarios
0:00	152	25 %	
0:20	133		
0:40	125		
1:00	114		
1:20	110		
1:40	110		
2:00	110		
2:20	111		
2:40	112		
3:00	114		
3:20	115		
3:40	117		
4:00	119		
4:20	121		
4:40	123		
5:00	124		
5:20	126		
5:40	128		
6:00	129		
6:20	131		
6:40	133		
7:00	134		
7:20	135		
7:40	137		

«Continuación»

8:00	139		
8:20	140		
8:40	142		
9:00	144		
9:20	146		
9:40	147		
10:00	149		
10:20	150		
10:40	152		
11:00	153		
11:20	156		
11:40	157		1° Crack
12:00	159		
12:20	161	100 %	
12:40	162		
13:00	163		
13:20	164		
13:40	165		
14:00	166		
14:20	166		Fin de Tostado

\* Las mediciones se hicieron con una termocupla a 1,5cm del tambor de tostado, en el lecho del café. Variación de  $\pm 2$  °C.

RESUMEN DE VARIABLES CALIFICADAS

<b>Tiempo Final</b>	<b>Temp. Final</b>	<b>Pot. fuego final</b>	<b>Aire Final</b>	<b>Cap. de Carga</b>	<b>Color Agtron</b>
14:20 min	166 °C	1,5	100 %	12 Kg	55
<b>Tiempo de Enfriamiento</b>		<b>Pérdida de Peso</b>	<b>Humedad final (b.s.)</b>	<b>Zaranda</b>	
8 min		15 %	1,76 %	600 $\mu$ m	

## ANEXO 2

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EMPAQUE #1

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN		VALOR MEDIDO		METODO DE ENSAYO	UNIDADES
	STD	TOLER	PROM	Desv.STD		
<b>DEL MATERIAL</b>						
GRAMAJE	120	± 11,0	119,2	0,6	ME.CAL.008	(g/m <sup>2</sup> )
FUERZA DE ADHESION FINAL						
PET-TINTA / VMPET		> 50	230		ME.CAL.028	(g/cm)
VMPET / PEBD		> 100	350		ME.CAL.028	(g/cm)
FUERZA DE SELLO						
PEBD / PEBD		> 1650	3744		ME.CAL.030	(g/cm)
PROPIEDAD BARRERA						
VTO (23 °C, EN SECO)		< 1,0	0,615		ME.CAL.032	(cc/m <sup>2</sup> *24h)
VTVA (38 °C, 90% H.R.)		< 0,75	0,255		ME.CAL.033	(g/m <sup>2</sup> *24h)
<b>DIMENSIONAL</b>						
ANCHO	80	± 5,0	79	0,5	ME.CAL.005	(mm)
LARGO	275	±11,0	275	0,5	ME.CAL.005	(mm)

### ANEXO 3

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EMPAQUE #2

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN		VALOR MEDIDO		METODO DE ENSAYO	UNIDADES
	STD	TOLER	PROM	Desv.STD		
<b>DEL MATERIAL</b>						
GRAMAJE	120	± 11,0	119,2	0,6	ME.CAL.008	(g/m <sup>2</sup> )
FUERZA DE ADHESION FINAL						
PET-TINTA / VMPET		> 50	230		ME.CAL.028	(g/cm)
VMPET / PEBD		> 100	350		ME.CAL.028	(g/cm)
FUERZA DE SELLO						
PEBD / PEBD		> 1650	3744		ME.CAL.030	(g/cm)
PROPIEDAD BARRERA						
VTO (23 °C, EN SECO)		< 1,0	0,620		ME.CAL.032	(cc/m <sup>2</sup> *24h)
VTVA (38 °C, 90% H.R.)		< 0,75	0,265		ME.CAL.033	(g/m <sup>2</sup> *24h)
<b>DIMENSIONAL</b>						
ANCHO	80	± 5,0	79	0,5	ME.CAL.005	(mm)
LARGO	275	±11,0	275	0,5	ME.CAL.005	(mm)



## ANEXO 4

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EMPAQUE #3

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN		VALOR MEDIDO		METODO DE ENSAYO	UNIDADES
	STD	TOLER	PROM	Desv.STD		
<b>DEL MATERIAL</b>						
GRAMAJE	160	± 11,0	159,1	0,6	ME.CAL.008	(g/m <sup>2</sup> )
FUERZA DE ADHESION FINAL						
PAPEL / VMPET		> 50	230		ME.CAL.028	(g/cm)
VMPET / PEBD		> 100	350		ME.CAL.028	(g/cm)
FUERZA DE SELLO						
PEBD / PEBD		> 1650	3744		ME.CAL.030	(g/cm)
PROPIEDAD BARRERA						
VTO (23 °C, EN SECO)		< 1,0	0,608		ME.CAL.032	(cc/m <sup>2</sup> *24h)
VTVA (38 °C, 90% H.R.)		< 0,75	0,248		ME.CAL.033	(g/m <sup>2</sup> *24h)
<b>DIMENSIONAL</b>						
ANCHO	80	± 5,0	79	0,5	ME.CAL.005	(mm)
LARGO	245	±11,0	245	0,5	ME.CAL.005	(mm)

## ANEXO 5

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL REALIZADA AL CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO ESPECIAL EN EL EMPAQUE #1

Temperatura	Día	Aroma	Sabor	Resabio	Acidez	Cuerpo	Uniformidad	Taza Limpia	Balance	Dulzura	Puntaje del catador	Total
40 °C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	11	7,19	7,31	7,25	7,25	7,19	10,00	10,00	6,94	10,00	7,25	80,38
	21	7,13	7,19	7,19	7,19	7,19	10,00	10,00	6,94	10,00	7,19	80,02
	33	6,81	7,25	7,25	7,06	7,13	10,00	10,00	6,94	10,00	7,25	79,69
	41	6,88	7,00	7,25	7,00	7,13	10,00	10,00	6,81	10,00	7,19	79,26
	50	6,56	7,00	7,06	7,00	7,19	10,00	10,00	6,50	10,00	7,00	78,31
	60	6,69	6,88	6,63	7,06	7,13	10,00	10,00	6,75	10,00	6,94	78,08
	70	6,50	7,00	6,69	7,06	7,06	10,00	10,00	6,75	10,00	6,81	77,87
50°C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	6	7,19	7,31	7,19	7,19	7,25	10,00	10,00	6,75	10,00	7,19	80,07
	11	7,19	7,38	7,06	7,13	7,25	10,00	10,00	6,88	10,00	7,06	79,95
	18	7,06	7,38	7,13	7,00	7,19	10,00	10,00	6,81	10,00	6,88	79,45
	25	7,13	7,19	7,19	7,06	7,13	10,00	10,00	6,75	10,00	7,06	79,51
	32	6,81	7,00	7,06	7,00	7,19	10,00	10,00	6,88	10,00	6,88	78,82
	41	6,50	6,81	6,81	7,06	7,13	10,00	10,00	6,75	10,00	6,50	77,56
	48	6,31	6,50	6,56	7,00	7,06	10,00	10,00	6,75	10,00	6,63	76,81
60°C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	4	7,19	7,44	6,75	7,25	7,25	10,00	10,00	6,75	10,00	7,50	80,13
	7	7,25	7,31	7,00	7,06	7,25	10,00	10,00	6,50	10,00	7,31	79,68
	11	7,13	7,25	7,13	7,13	7,19	10,00	10,00	6,81	10,00	6,94	79,58
	14	7,00	6,75	6,81	6,94	7,13	10,00	10,00	6,56	10,00	7,00	78,19
	18	6,69	6,88	6,63	6,81	7,19	10,00	10,00	6,44	10,00	6,50	77,14
	21	6,38	6,44	6,44	6,94	7,06	10,00	10,00	6,13	10,00	6,75	76,14
	25	6,25	6,44	6,19	6,88	7,00	10,00	10,00	6,00	10,00	6,19	74,95

## ANEXO 6

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL REALIZADA AL CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO ESPECIAL EN EL EMPAQUE #2

Temperatura	Día	Aroma	Sabor	Resabio	Acidez	Cuerpo	Uniformidad	Taza Limpia	Balance	Dulzura	Puntaje del catador	Total
40 °C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	11	7,25	7,44	7,25	7,25	7,25	10,00	10,00	7,06	10,00	7,13	80,63
	21	7,06	7,44	7,06	7,19	7,25	10,00	10,00	6,94	10,00	7,25	80,19
	33	6,75	7,38	6,94	7,13	7,19	10,00	10,00	6,94	10,00	6,94	79,27
	41	6,81	7,25	7,00	7,19	7,19	10,00	10,00	6,69	10,00	6,56	78,69
	50	6,50	7,25	6,81	7,19	7,13	10,00	10,00	6,75	10,00	6,63	78,26
	60	6,69	7,19	6,88	7,13	7,13	10,00	10,00	6,50	10,00	6,44	77,96
	70	6,50	7,25	6,88	7,06	7,19	10,00	10,00	6,81	10,00	6,56	78,25
50°C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	6	7,13	7,31	7,31	7,19	7,25	10,00	10,00	6,81	10,00	7,00	80,00
	11	6,94	7,25	7,31	7,13	7,19	10,00	10,00	6,88	10,00	6,75	79,45
	18	7,00	7,13	7,06	7,06	7,13	10,00	10,00	6,75	10,00	7,31	79,44
	25	6,88	7,00	7,00	7,13	7,13	10,00	10,00	6,69	10,00	7,00	78,83
	32	6,56	6,81	6,81	7,13	7,13	10,00	10,00	6,75	10,00	7,00	78,19
	41	6,38	6,88	6,88	7,06	7,19	10,00	10,00	6,31	10,00	6,75	77,45
	48	6,19	6,94	6,63	7,06	7,13	10,00	10,00	6,25	10,00	6,50	76,70
60°C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	4	7,19	7,06	7,00	7,13	7,19	10,00	10,00	6,75	10,00	7,50	79,82
	7	7,06	7,00	6,81	7,06	7,13	10,00	10,00	6,50	10,00	7,31	78,87
	11	6,94	6,81	6,81	7,13	7,19	10,00	10,00	6,81	10,00	6,88	78,57
	14	6,88	6,75	6,56	7,06	7,06	10,00	10,00	6,50	10,00	7,00	77,81
	18	6,50	6,63	6,44	6,94	7,00	10,00	10,00	6,00	10,00	6,50	76,01
	21	6,31	6,69	6,25	7,00	6,94	10,00	10,00	6,00	10,00	6,75	75,94
	25	6,25	6,25	6,00	6,94	7,06	10,00	10,00	6,00	10,00	6,00	74,50

## ANEXO 7

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL REALIZADA AL CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO ESPECIAL EN EL EMPAQUE #3

Temperatura	Día	Aroma	Sabor	Resabio	Acidez	Cuerpo	Uniformidad	Taza Limpia	Balance	Dulzura	Puntaje del catador	Total
40 °C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	11	7,44	7,56	7,50	7,25	7,38	10,00	10,00	6,81	10,00	7,13	81,07
	21	7,25	7,44	7,25	7,31	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,25	80,81
	33	7,19	7,31	7,19	7,13	7,25	10,00	10,00	6,94	10,00	7,06	80,07
	41	6,94	7,38	7,06	7,19	7,25	10,00	10,00	6,75	10,00	7,13	79,70
	50	6,88	7,31	7,13	7,13	7,13	10,00	10,00	6,94	10,00	6,94	79,46
	60	6,75	7,25	7,13	7,06	7,19	10,00	10,00	6,75	10,00	6,81	78,94
	70	6,75	7,25	7,00	7,13	7,13	10,00	10,00	6,75	10,00	6,75	78,76
50°C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	6	7,31	7,38	7,31	7,13	7,25	10,00	10,00	6,88	10,00	7,06	80,32
	11	7,31	7,38	7,31	7,19	7,19	10,00	10,00	7,00	10,00	7,19	80,57
	18	7,19	7,19	7,25	7,13	7,25	10,00	10,00	7,00	10,00	6,88	79,89
	25	6,94	7,38	7,19	7,13	7,19	10,00	10,00	6,81	10,00	7,00	79,64
	32	6,75	7,19	7,19	7,06	7,13	10,00	10,00	7,06	10,00	6,81	79,19
	41	6,75	7,06	7,13	6,94	7,19	10,00	10,00	6,88	10,00	7,00	78,95
	48	6,56	7,00	6,94	7,00	7,13	10,00	10,00	6,81	10,00	7,06	78,50
60°C	0	7,38	7,50	7,31	7,19	7,31	10,00	10,00	7,00	10,00	7,31	81,00
	4	7,19	7,44	7,19	7,06	7,25	10,00	10,00	7,06	10,00	7,31	80,50
	7	7,31	7,19	7,00	7,13	7,31	10,00	10,00	6,88	10,00	6,88	79,70
	11	7,19	7,00	6,88	7,00	7,13	10,00	10,00	7,06	10,00	6,94	79,20
	14	6,88	6,81	6,88	7,00	7,19	10,00	10,00	6,88	10,00	6,94	78,58
	18	6,63	6,75	6,69	6,94	7,25	10,00	10,00	6,81	10,00	6,81	77,88
	21	6,44	6,69	6,44	6,94	7,13	10,00	10,00	6,63	10,00	6,75	77,02
	25	6,50	6,50	6,25	7,00	7,06	10,00	10,00	6,19	10,00	6,50	76,00

## ANEXO 8

### CORRELACIÓN DE LA REGRESIÓN LINEAL PARA DIFERENTES ÓRDENES DE REACCIÓN PARA EL EMPAQUE #1 A LAS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO

Orden de Reacción (n)	R <sup>2</sup>		
	40 °C	50 °C	60 °C
0	0,919	0,9122	0,9139
1	0,9186	0,9062	0,9065

## ANEXO 9

### CORRELACIÓN DE LA REGRESIÓN LINEAL PARA DIFERENTES ÓRDENES DE REACCIÓN PARA EL EMPAQUE #2 A LAS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO

Orden de Reacción (n)	R <sup>2</sup>		
	40 °C	50 °C	60 °C
0	0,8853	0,955	0,9692
1	0,8851	0,9544	0,9652

## ANEXO 10

### CORRELACIÓN DE LA REGRESIÓN LINEAL PARA DIFERENTES ÓRDENES DE REACCIÓN PARA EL EMPAQUE #3 A LAS TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO

Orden de Reacción (n)	R <sup>2</sup>		
	40 °C	50 °C	60 °C
0	0,9308	0,9543	0,8932
1	0,9315	0,9537	0,8913

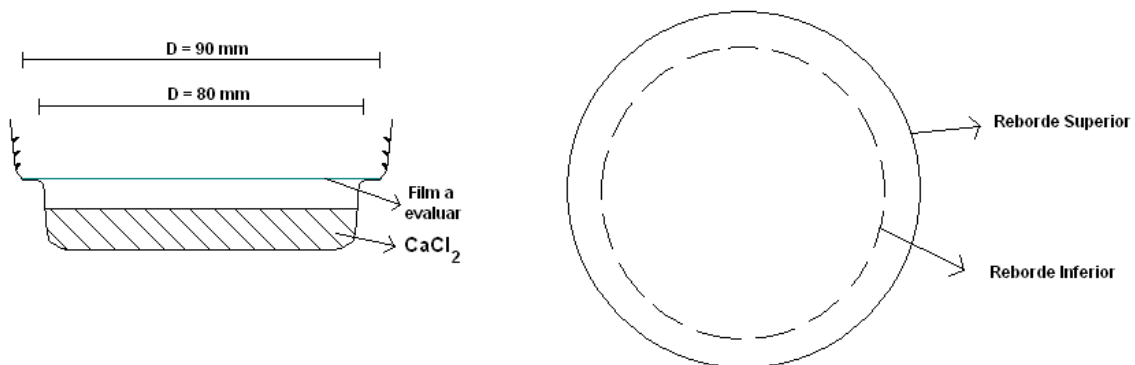
## ANEXO 11

### METODOLOGÍA DE MEDICIÓN PARA TRANSMISIÓN DE VAPOR DE AGUA. MÉTODO GRAVIMÉTRICO SEGÚN ISO 2528:1995

#### Materiales

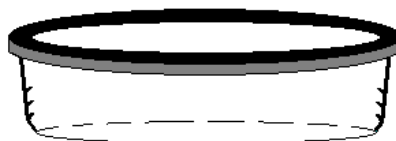
Los recipientes usados están compuestos de 2 partes:

- **Placa:** Las placa está hecha por un material impermeable al vapor de agua, comúnmente metálicas, aunque también puede usarse placas de vidrio. Cada placa consiste en una base cerrada (inferior) y una base abierta (superior). La placa cuenta con un reborde usado para colocar el film a evaluar.



**Figura #1:** Vista Frontal y Superior de Placas usadas en el ensayo

- **Plantilla:** Se cuenta con una plantilla metálica en forma de anillo. El reborde externo está diseñado para encajar perfectamente sobre la parte interior de la Placa. La Plantilla cumple la función de aprisionar el *film* evaluado, para evitar que ingrese el vapor de agua por los bordes. Para ello, se colocó entre el Film y la Plantilla, una membrana de caucho de forma anillada.



**Figura #2:** Vista Frontal de Plantilla Metálica usada en el ensayo.

## Metodología

En las placas, se colocó  $\text{CaCl}_2$  anhidrido, distribuyéndolo uniformemente en un espesor de 6 mm. Se colocó como cubierta el film a evaluar, recortado en forma circular de 90 mm de diámetro. Posteriormente se colocó una membrana de caucho, y encima la Plantilla metálica tipo rosca, presionando para evitar la entrada de vapor de agua por los bordes.

Una vez acondicionados los recipientes, se procedió a realizar el pesado, y posteriormente se llevaron a un ambiente controlado de  $38\text{ }^\circ\text{C}$  y H.R.  $80 \pm 5$  por ciento, durante 24h.

Al concluir este período, se retiró del ambiente, y se colocó en una campana desecadora, dejándolo enfriar por 15 min. Finalmente se procedió al pesado, obteniendo el valor de VTVA, mediante la siguiente ecuación:

$$G = \frac{m_f - m_o}{S}$$

Donde:

$G$  = Velocidad de Transferencia de Vapor de Agua ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ )

$m_f$  = Masa al finalizar el período en el ambiente controlado (g)

$m_o$  = Masa antes de entrar al ambiente controlado (g)

$S$  = Área de Exposición de *film* ( $\text{m}^2$ )

## ANEXO 12

### ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA EL ATRIBUTO AROMA EN BASE AL FACTOR EMPAQUE

Factor	Tipo	Niveles	Valores
EMPAQUE	Fijo	3	1, 2, 3

Análisis de Varianza para el Atributo Aroma, utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
EMPAQUE	2	0,4001	0,2000	1,66	0,198
Error	69	8,3307	0,1207		
Total	71	8,7307			

S = 0,347469      R-cuad, = 4,58%      R-cuad(ajustado) = 1,82%

Conclusión: No existen diferencias significativas al 5 por ciento (Valor p: 0,198 > 0,05) entre los tres empaques al evaluar como factor de calidad el Atributo Aroma.