

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

*Proyecto de Graduación para optar por el Grado de
Licenciatura en Tecnología de Alimentos*

**EFEECTO DEL EMPAQUE CON ATMÓSFERAS
MODIFICADAS EN LA
CALIDAD DEL CAFÉ TOSTADO**

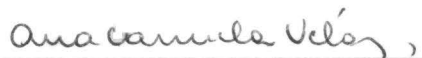
Gerardo Ugalde Herrera

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San José, Costa Rica

2000

TRIBUNAL EXAMINADOR



M. Sc. Carmela Velázquez Carrillo
Presidenta del Tribunal Examinador



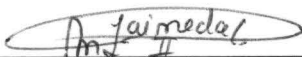
M. Sc. Gisela Kopper Arguedas
Directora del Proyecto



Lic. Sandra Calderón Villaplana
Asesora del Proyecto



Lic. Marta Bustamante Mora
Asesora del Proyecto



Lic. María Lourdes Pineda Castro
Profesora Designada

*Dedicado a quienes me dieron la Vida, mi mamá
y mi papá quien ya no está.*

*A mi tía Hilda, gracias a quienes soy quien soy,
a mi hermana Melissa que ha estado ahí siempre que la he necesitado.*

Y a todas las personas que son importantes para mi ...

AGRADECIMIENTOS

Son tantas las personas a quienes debo agradecerles, no sólo el apoyo en la realización de este trabajo, sino también por el apoyo que me han dado como persona, en las buenas y en las malas.

A mi mamá, porque su amor, cariño y confianza han sido y seguirán siendo mi mayor impulso. A mis tíos, Hilda y Marconi sin quienes esto no sería una realidad.

A la empresa torrefactora, gracias a quienes se pudo llevar a cabo el Proyecto, a Carmen Lidia, Felipe y muy especialmente a Miguel Chavarría por su apoyo en todo momento. A todos los compañeros y compañeras integrantes de mi generación y en especial a Julio y Jorge Vinicio. Al montón de buenos amigas y amigos. A los profesores, porque me enseñaron lo que sé y por eso estoy donde estoy. A toda la gente del CITA, gracias por el apoyo, en especial a Camacho, Rubén y Mónica, y a todos los que me brindaron su ayuda en la realización de este trabajo, muchísimas gracias. Y por supuesto, a mis profesoras Asesoras Sandra Calderón y Marta Bustamante, y a quien debo que gran parte de este proyecto sea lo que es, Juan Ramón Navarro.

Punto y aparte para dar un enorme GRACIAS a usted, Gisela, por sus enseñanzas, por la confianza depositada en mi, y por su dedicación como Directora de este trabajo de tesis y sobre todo, por su humanismo.

Y por encima de todo...

...GRACIAS A DIOS!

ÍNDICE GENERAL

	Página
TRIBUNAL EXAMINADOR	<i>i</i>
DEDICATORIA	<i>ii</i>
AGRADECIMIENTOS	<i>iii</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	<i>vi</i>
ÍNDICE DE CUADROS	<i>ix</i>
RESUMEN	<i>xi</i>
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	5
III. MARCO TEÓRICO	6
3.1 Generalidades del café	6
3.1.1 Tostado del café	7
3.1.1.1 Pérdida de humedad	7
3.1.1.2 Desarrollo de volátiles	8
3.1.1.3 Liberación de dióxido de carbono	10
3.1.2 Molienda del café	11
3.1.3 Empaque del café	11
3.1.3.1 Permeabilidad a gases	12
3.1.3.2 Sellado térmico del empaque	14
3.1.3.3 Permeabilidad al vapor de agua	14
3.1.4 Preparación de la bebida	16
3.1.4.1 Acidez	16
3.1.4.2 Aroma	17
3.1.4.3 Cuerpo	18
3.1.4.4 Sabor	19

IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA	20
4.1 Ubicación	20
4.2 Materia Prima	20
4.3 Metodología	21
4.3.1 Métodos de análisis	21
4.3.1.1 Análisis de la humedad del café T & M	21
4.3.1.2 Análisis de los sólidos solubles del café T & M	21
4.3.1.3 Análisis de la acidez titulable del café T & M	21
4.3.1.4 Análisis sensorial del café T & M	21
4.3.1.5 Análisis de oxígeno en el empaque	22
4.3.2 Materiales y equipo	23
4.3.3 Procedimiento	25
4.3.3.1 Evaluación de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque y su efecto en la calidad química y sensorial del café T & M durante el almacenamiento.	25
4.3.3.2 Evaluación del efecto del empaque con inyección de nitrógeno y la temperatura de almacenamiento en la calidad química y sensorial del café T & M durante el almacenamiento.	25
4.3.4 Análisis estadístico de los resultados	26
4.3.4.1 Prueba de F parciales	26
4.3.4.2 Comparación de pendientes	27
4.3.4.3 Prueba de t	27
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	28
5.1 Evaluación de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque y su efecto en la calidad química y sensorial del café T & M durante el almacenamiento.	28
5.1.1 Evaluación química	28
5.1.1.1 Contenido de oxígeno	28
5.1.1.2 Contenido de humedad	30
5.1.1.3 Acidez titulable	31
5.1.1.4 Contenido de sólidos solubles	32
5.1.2 Evaluación sensorial	33
5.1.2.1 Calidad del aroma	33
5.1.2.2 Calidad del sabor	35
5.1.2.3 Intensidad del nivel de envejecimiento	36
5.1.2.4 Intensidad de la acidez sensorial	38
5.1.2.5 Intensidad del cuerpo	39
5.1.3 Evaluación general del empaque	40

5.2 Evaluación del efecto del empaque con inyección de nitrógeno y la temperatura de almacenamiento en la calidad química y sensorial del café T & M durante el almacenamiento.	41
5.2.1 Evaluación química	41
5.2.1.1 Contenido de humedad	41
5.2.1.2 Acidez titulable	42
5.2.1.3 Contenido de sólidos solubles	45
5.2.2 Evaluación sensorial	45
5.2.2.1 Calidad del aroma	45
5.2.2.2 Calidad del sabor	47
5.2.2.3 Intensidad del nivel de envejecimiento	47
5.2.2.4 Intensidad de la acidez sensorial	49
5.2.2.4 Intensidad del cuerpo	50
5.2.3 Evaluación general del empaque	51
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
VII. BIBLIOGRAFÍA	57
APÉNDICES	60
APÉNDICE I: Hoja de evaluación sensorial del café T & M empacado en atmósferas modificadas	61
APÉNDICE II: Procedimiento de F Parciales para el análisis estadístico de los datos	62
APÉNDICE III. Evaluación de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque.	64
APÉNDICE IV: Evaluación del efecto del empaque con inyección de nitrógeno y la temperatura de almacenamiento en la calidad química y sensorial del café T & M durante el almacenamiento.	70
APÉNDICE V: Resultado de la prueba de F parciales para el análisis estadístico de los datos de la primera etapa experimental.	80
APÉNDICE VI: Información acerca de las líneas de regresión obtenidas con la prueba de F parciales.	81
APÉNDICE VII. Resultados de la prueba de t para los datos de la primera etapa experimental.	82
APÉNDICE VIII. Intervalos de confianza de las rectas obtenidas para el comportamiento de cada variable en la segunda etapa experimental.	83
APÉNDICE IX: Resultados de la prueba de t llevada a cabo para los datos de la segunda etapa.	84
APÉNDICE X: Información acerca de las líneas de regresión obtenidas para la segunda etapa experimental.	86
APÉNDICE XI: Variancias para cada tratamiento y su respectiva prueba de F para todas las variables evaluadas es la segunda etapa.	88
APÉNDICE XII: Comportamiento para el Nivel de Envejecimiento según juez, para los empaques de café con nitrógeno y almacenados a 37°C.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

	Figura	Página
Contenido de oxígeno en el interior de los empaques de café almacenado a 37°C	5.1	29
Contenido de humedad del café almacenado a 37°C según el tratamiento de empaque.	5.2	30
Calidad del aroma del café almacenado a 37°C según tratamiento de empaque	5.3	34
Calidad del sabor del café almacenado a 37°C según tratamiento de empaque	5.4	35
Intensidad del nivel de envejecimiento del café almacenado a 37°C según tratamiento de empaque.	5.5	37
Intensidad del cuerpo del café almacenado a 37°C según tratamiento de empaque.	5.6	39
Contenido de humedad para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas.	5.7	42
Acidez titulable para el café almacenado a 30°C según condición de empaque	5.8	43
Acidez titulable del café almacenado a 37°C según condición de empaque	5.9	44
Acidez titulable del café almacenado a 45°C según condición de empaque	5.10	44
Calidad del aroma para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas.	5.11	46
Calidad del aroma para el café empacado sin nitrógeno a las diferentes temperaturas	5.12	46

Calidad del sabor para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas	5.13	47
Calidad del sabor para el café empacado sin nitrógeno a las diferentes temperaturas	5.14	47
Intensidad del nivel de envejecimiento para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas	5.15	48
Intensidad del nivel de envejecimiento para el café empacado sin nitrógeno a las diferentes temperaturas	5.16	48
Acidez sensorial para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas	5.17	50
Intensidad del cuerpo para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas	5.18	51
Intensidad del nivel de envejecimiento según juez para los empaques de café con nitrógeno y almacenados a 37°C.	A12.1	90

ÍNDICE DE CUADROS

	Cuadro	Página
Composición química del café verde y tostado.	3.1	6
Sustancias volátiles contenidas en el café tostado (agrupadas por clase de compuestos).	3.2	8
Tasa de permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono de algunos materiales de empaque usados para el café tostado y molido.	3.3	12
Presión de apertura y cierre para la válvula externa de una vía.	3.4	14
Tasa de permeabilidad al vapor de agua de algunos materiales de empaque usados para el café tostado y molido.	3.5	15
Ácidos contenidos en el café tostado.	3.6	17
Composición química de los sólidos solubles en el extracto de café.	3.7	18
Características de cada lámina que constituye el material de empaque para el café tostado y molido utilizado en el proyecto.	4.1	20
Equipo de laboratorio utilizado en los análisis químicos y sensoriales.	4.2	23
Datos promedio obtenidos durante la evaluación de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque.	A3.1	64
Datos originales obtenidos durante la evaluación sensorial eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque.	A3.2	65
Datos originales obtenidos durante la evaluación química de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque.	A3.3	68
Datos promedio obtenidos durante la evaluación del empaque con inyección de nitrógeno	A4.1	70

Datos originales obtenidos durante la evaluación sensorial del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 30°C.	A4.2	71
Datos originales obtenidos durante la evaluación química del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 30°C.	A4.3	73
Datos originales obtenidos durante la evaluación sensorial del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 37°C.	A4.4	74
Datos originales obtenidos durante la evaluación química del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 37°C.	A4.5	76
Datos originales obtenidos durante la evaluación sensorial del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 45°C.	A4.6	77
Datos originales obtenidos durante la evaluación química del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 45°C.	A4.7	79
Probabilidades de F (α) para cada característica según tratamientos comparados	A5.1	80
Ecuaciones y coeficientes R^2 para cada línea de regresión presentada en al discusión de la primera etapa experimental	A6.1	81
Probabilidad para la aceptación de la hipótesis de que las pendientes obtenidas para cada comportamiento sean 0 según característica evaluada	A7.1	82
Intervalos de confianza de las pendientes de las rectas obtenidas para el comportamiento de cada variable durante la segunda etapa experimental	A8.1	83
Probabilidad para la aceptación de la hipótesis de que las pendientes obtenidas para cada comportamiento sean 0 según característica evaluada	A9.1	84
Ecuaciones y coeficientes R^2 para cada línea de regresión presentada en al discusión de la segunda etapa experimental	A10.1	86

RESUMEN

El objetivo de este estudio era determinar el efecto del empaque con atmósferas modificadas, en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento, evaluando variables sensoriales como la calidad del sabor y aroma, la intensidad de la acidez, cuerpo y nivel de envejecimiento; así como variables químicas, entre ellas, el contenido de humedad, la acidez titulable, los sólidos solubles y el contenido de oxígeno en el interior de los empaques. En la primera etapa se evaluó la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque y su efecto en la calidad química y sensorial del café, para lo cual, éste se empacó en bolsas de PET/PET metalizado/PE, trabajando con tres condiciones diferentes: empaques con válvula de extracción de gases, empaques intactos y empaques con orificio para la salida de gases; los cuales fueron almacenados en una cámara a temperatura constante (37°C) durante dos meses: Durante cinco oportunidades, se sacaron seis muestras de la cámara para ser analizadas.

Se obtuvo a partir del análisis estadístico de los datos obtenidos en la prueba sensorial, que no existió diferencia significativa entre las tres condiciones de empaque, en lo que respecta a la calidad del sabor, intensidad del nivel de envejecimiento, del cuerpo y de la acidez; sin embargo, los cambios que experimentaron las primeras tres variables sí fueron significativos a través del tiempo para las tres condiciones de empaque. Se evaluó a demás, la calidad del aroma, para el cual sí se obtuvo diferencia significativa entre los tratamientos con válvula e intacto y los empaques con orificio. No se obtuvo diferencia significativa entre las tres condiciones de empaque, para la acidez titulable, sin embargo, la humedad y los sólidos solubles, si fueron distintos entre los empaques con válvula e intacto, y los que tenían un orificio. Los cambios que experimentó la acidez titulable y los sólidos solubles a través del tiempo, no fueron significativos en ninguno de los tres casos; sin embargo, la humedad en los empaques con orificio sí experimentó cambios significativos en el tiempo. Se analizó también el contenido de oxígeno en el interior de los empaques, y se halló que el empaque con orificio difiere con respecto a las otras dos condiciones de empaque, y que los cambios experimentados en este caso, no son significativos en el tiempo.

Los resultados de esta primera etapa permitieron concluir que el empaque con válvula es el más conveniente, y este se seleccionó para empacar el café en la segunda fase de este trabajo.

En la segunda fase experimental se evaluó el efecto de la presencia o ausencia de nitrógeno en el empaque, y la temperatura de almacenamiento sobre la calidad química y sensorial del café. Para esto se empacó el café con o sin nitrógeno, en bolsas con válvula de extracción de gases, y se almacenó a tres temperaturas, a saber, 30, 37 y 45°C, por períodos diferentes y se analizó en cinco oportunidades.

Al realizar el análisis correspondiente a las características sensoriales, se halló que, a excepción de los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del aroma, para las muestras empacadas sin nitrógeno y almacenadas a 37 y 45°C, en ningún otro caso existe diferencia significativa entre sus comportamientos, cuando se varía la temperatura de almacenamiento y se utiliza el mismo tratamiento en el empaque. Los resultados obtenidos a partir del análisis, para cada una de las variables de origen químico, señala que no existe diferencia significativa en ellas, al conservar la condición de empaque y variar la temperatura de

almacenamiento, como tampoco cuando se conserva la temperatura y se varía la condición de empaque, ya sea en presencia o ausencia de nitrógeno.

En este caso, los resultados permiten concluir que el período durante el cual, se mantuvo almacenado el café, y las mismas condiciones de empaque, no indujeron cambios en las variables analizadas, que pudieran confirmar el beneficio que ofrece el empaque con atmósferas modificadas, sobre la calidad química y sensorial del café tostado y molido.

I. INTRODUCCIÓN

Los países Centroamericanos, y muy en especial Costa Rica, utilizan para su desarrollo los recursos originados por la actividad agrícola, entre ellas la caficultura, cuya importancia se mantiene a nivel mundial.

Existen más de 100 especies conocidas de café, de las cuales solamente tres se cultivan en forma comercial, a saber, arábica, robusta y libérica. En Costa Rica sólo se tienen cultivares de la especie arábica (*Coffea arabica*), que produce una bebida agradable, aromática y fina (Cléves, 1995).

En Centroamérica, Costa Rica es uno de los pioneros en este campo, pues el desarrollo del comercio cafetalero se dio desde inicios del Siglo XIX cuando comenzó a incursionar en mercados internacionales, siendo a partir de este momento que el cultivo de café se convierte en uno de los principales agentes económicos del país (ICAFE, 1997).

La consolidación del café como producto de exportación ha activado todos los sectores de la economía nacional, lo que se traduce principalmente en una elevación del nivel de vida del costarricense. En la actualidad, la actividad cafetalera ocupa el tercer lugar en importancia dentro del valor bruto de la producción agropecuaria, además genera gran cantidad de divisas, por ejemplo, para el año 1996 representó el 12.5% del valor FOB de las exportaciones; esto sin olvidar que requiere de mucha mano de obra en sus distintas etapas de cultivo, cosecha, beneficiado y comercialización del grano, por lo que es una fuente importante de empleo (ICAFE, 1997).

Sin embargo, al globalizarse los mercados, la actual situación de competitividad obliga a las empresas cafetaleras a generar productos capaces de superar presiones y ofrecer, con su tecnología, mejor calidad. Esto con el fin de tener una participación dinámica en el mercado del café.

El concepto de calidad del café comprende muy variados aspectos y muchas discusiones se han dado en ese sentido. Se ha dicho que las cualidades propias del café y de su infusión se originan en el cafeto, entre ellas están las condiciones del tueste, de cuerpo, aroma y acidez en la taza, que además se deben mantener intactas a través de los procesos de

recolección, beneficiado, procesamiento y especialmente durante el almacenamiento del mismo (Cléves, 1995).

Entre los mayores problemas que se dan al empaquetar y almacenar el café están la adsorción de humedad, y la generación del dióxido de carbono (CO_2) del café tostado, la descomposición y rancidez del café por causa del oxígeno, así como la pérdida del sabor y aroma por evaporación o migración de aceites esenciales y compuestos volátiles a través de los empaques (Balasubramanyam, 1993). El empaque, en el caso del café tostado, debe entonces proteger el producto evitando su exposición al oxígeno, al vapor de agua, y en general al ambiente externo, dando al mismo tiempo un mayor valor agregado al producto (Dantas y Costa, 1982).

Se han utilizado gran variedad de empaques para el café tostado, sin embargo la mejor garantía de que el café mantenga su calidad, es empaquetarlo en un recipiente que contenga un gas inerte y que cumpla con los requisitos expuestos (Illy, 1980). El usar un gas inerte en el empaque es una técnica reciente conocida como *Empaque en Atmósferas Modificadas* (E.A.M.) que constituye una alteración de la composición del aire dentro del envase, con lo cual se extiende la vida en anaquel durante largo tiempo sin alterar la calidad del producto (Anónimo, 1995). Entre los gases más utilizados está el nitrógeno, pues se ha comprobado su efecto positivo sobre la estabilidad del café tostado, evitando la adsorción de humedad y la pérdida de aromas (Gopalakrishna y Natarajan, 1974).

La sensibilidad del café tostado a la humedad es muy importante, pues ésta facilita el deterioro del aroma que le es característico; por este motivo, el material de empaque debe poseer una baja tasa de permeabilidad al vapor de agua (Dantas y Costa, 1982).

Los empaques laminados son muy utilizados en la actualidad. Generalmente la estructura del empaque es la siguiente, PET/PE/AL/PE en donde el polietileno (PET) sirve como sellador, la lámina de aluminio (AL) como barrera a gases, y el poliéster (PE) como una lámina externa resistente a la ruptura (Jenkins y Harrington, 1991).

Durante el proceso de torrefacción del café, una gran cantidad de dióxido de carbono (CO_2) es producido a partir de la pirólisis de los granos, así como también son generados compuestos químicos volátiles responsables del aroma. Los granos adsorben una cantidad elevada de este gas, el cual luego es en parte liberado cuando las células son fragmentadas

durante la molienda (Roberton y Dekker, 1993). El CO₂ que es liberado por el café que ha sido empacado, puede ser responsable de cambios en la composición de la atmósfera interna del empaque; además, puede causar abombamiento del mismo si el material del que está hecho no presenta una permeabilidad adecuada a este gas (Dantas y Costa, 1982). Entre las soluciones que se han propuesto para este problema, está el acondicionamiento del empaque con una válvula plástica, que a una presión establecida se abre permitiendo liberar el exceso de CO₂ del interior del empaque, al mismo tiempo que impide el ingreso del CO₂, siendo diseñada para mantener un pequeño diferencial de presión a través de ella (Roberton y Dekker, 1993; Balasubramanyam, 1993; Jenkins y Harrington, 1991).

El control de la temperatura de almacenamiento es el aspecto más simple e importante para mantener la calidad de los alimentos, pues está relacionada con las reacciones oxidativas, enzimáticas, el desarrollo de malos olores y con la rancidez oxidativa de los lípidos. Un empaque que es diseñado para mantener la calidad deseable a determinada temperatura, puede no hacerlo a otras temperaturas. Por ejemplo, a temperaturas elevadas la permeabilidad del empaque al oxígeno y al dióxido de carbono puede verse aumentada afectando esto al producto (International Trade Centre UNCTAD/GATT, 1993).

Los procedimientos actuales para definir la calidad del café están basados principalmente en apreciaciones subjetivas por parte de expertos, cuya habilidad se ha desarrollado a través de muchos años de experiencia. Es importante entonces utilizar ensayos físico-químicos que complementen tales parámetros organolépticos, con el fin de hacer más real y menos subjetiva la determinación de la calidad del café. Sensorialmente se evalúan características definidas como lo es el aroma utilizando para esto paneles para la catación en la infusión. Se evalúa además el “cuerpo” del café, que está íntimamente relacionado con los sólidos solubles de la infusión (Menchú, 1966), sobre los cuales se han reportado variaciones en el almacenamiento (Mori *et al.*, 1985), y que son perceptibles como mayor o menor consistencia o densidad en la bebida (Cléves, 1995).

Se evalúa la acidez que es la característica más apreciada en la comercialización internacional del café, sobre la cual también ha habido evidencia de cambios durante el almacenamiento (Mori *et al.*, 1985), determinándose ésta en la prueba de degustación y como acidez total de forma química.

Ante los múltiples factores que deterioran la calidad química y sensorial del café tostado, se presenta la necesidad de evaluar algunos de ellos y así conocer con mayor profundidad los aspectos que podrían mejorar la estabilidad del mismo, sin afectar su vida útil. El presente proyecto responde a esta necesidad y servirá de base para otras investigaciones al respecto de la mejora y mantenimiento de la calidad del café en Costa Rica.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General:

- ◆ Determinar el efecto del empaque con atmósferas modificadas en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.

2.2 Objetivos Específicos:

- ◆ Determinar la efectividad de la válvula de extracción de gases del empaque en evitar el reingreso del oxígeno al mismo y el efecto que esto causa en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.
- ◆ Evaluar el efecto del empaque con inyección de nitrógeno y la temperatura de almacenamiento en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.
- ◆ Determinar el grado de correlación entre los resultados encontrados en la evaluación sensorial de la calidad del café y los encontrados analizando la calidad química del mismo.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades del Café

Se denomina como café (en grano) a las semillas provenientes de las plantas del género *Coffea* (cuyas especies más importantes son *C. arabica* y *C. robusta*) desprovistas por completo de sus vainas y en lo posible de sus tegumentos (envoltura plateada), en estado crudo (café crudo) o tostado (café tostado). Su composición depende del origen, obtención e influencias climáticas (Abraham y Shankaranarayana, 1987; Belitz y Grosch, 1985). En el Cuadro 3.1 a manera de información se detalla la composición química del café verde y tostado.

CUADRO 3.1 Composición química del café verde y tostado.

Componente	% Café Verde	% Café tostado
Agua	9,0-12,0	1,8-2,5
Azúcares reductores	~1,0	1,0-2,0
Sacarosa	7,0-9,0	-
Pectina	~2,0	-
Almidón	10,0	-
Pentosanos	4,5-5,5	-
Hemicelulosa	14,0-16,0	16,0-18,0
Holocelulosa	17,0-19,0	22,0-24,0
Lignina	1,5-2,5	-
Lípidos	12,0-18,0	14,5-20,0
Proteínas	11,0-13,0	13,0-15,0
Ácido clorogénicos	5,5-8,0	1,2-2,3
Otros ácidos	~1,2	2,35
Trigomielina	1,0-1,2	~ 1,0
Cafeína	0,9-1,2	~ 1,0
Azúcares caramelizados	-	10,0-24,0

Fuente: Clarke, 1987.

El procesamiento del café incluye varias etapas, entre ellas las más importantes son la recolección y el beneficiado; ambas influyen enormemente la calidad de la bebida que se desee obtener. En un proceso correcto de recolección, se deben considerar la forma, el

tamaño, el color y la uniformidad del grano recolectado como factores determinantes en la calidad del producto final (Mori *et al.*, 1985).

Durante el beneficiado, se remueven la piel externa y la capa conocida como pulpa; este proceso se puede llevar a cabo de dos formas, a saber la vía húmeda y la vía seca (Robertson y Dekker, 1993; Cléves, 1995). El control en cada una de las vías debe ser estricto para evitar el deterioro del café por aspectos perjudiciales para la calidad como lo es la fermentación del grano (Mori, *et al.*, 1985).

Posteriormente al beneficiado se requieren cuatro operaciones unitarias para convertir los granos de café verde en una bebida apta para el consumo, el tostado, molienda, empaque y preparación de la bebida.

3.1.1 Tostado del café

El tueste del café es un proceso dependiente del tiempo y la temperatura, necesario para el desarrollo del sabor y aroma característicos de la bebida, durante el cual se producen en la zona térmica de los 200-250°C profundas transformaciones químicas en los granos de café verde, así como cambios físicos en su estructura. Estos cambios están caracterizados principalmente por pérdida de humedad, desarrollo de volátiles (causado por la pirólisis de componentes solubles como azúcares, aminoácidos y trigonina) y liberación de dióxido de carbono, además de un aumento en el volumen del grano (50-80%), cambios estructurales y de color en el mismo acompañados de una progresiva exudación de aceites en la superficie, que aumenta con el grado de tueste (Mori, *et al.*, 1985; Jenkins y Harrington, 1991; Robertson y Dekker, 1993; Cabral y Fernández, 1982; Clarke, 1987).

3.1.1.1 Pérdida de humedad

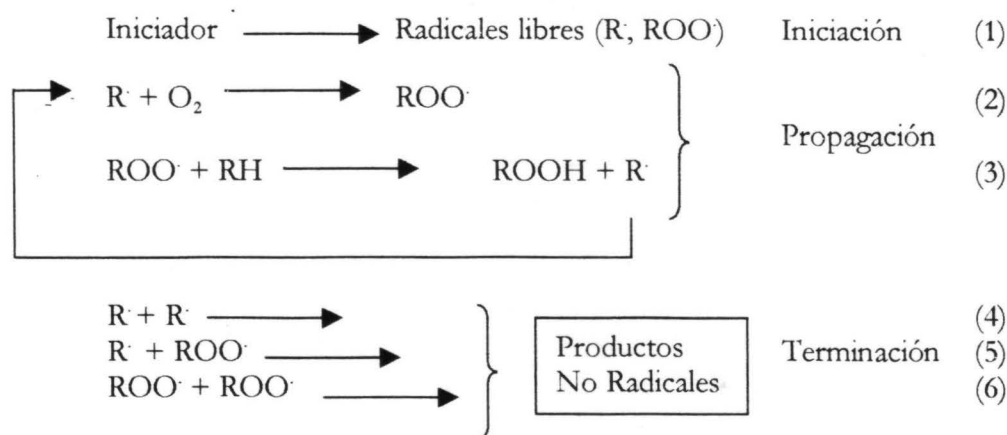
La pérdida total de peso del café durante su tostado es de un 14.7 % (Abraham y Shankaranarayana, 1978), y esta incluye la variación de humedad contenida en el grano verde original, valor que oscila alrededor del 8 al 12% y que alcanza valores hasta del 2.1% posteriormente al tostado (Holscher *et al.*, 1990; Clarke, 1987; Belitz y Grosch, 1985).

Se puede observar que el aroma del café es bastante complejo, formado por compuestos con una amplia variedad de grupos funcionales que individualmente contribuyen a obtener el gusto característico del café tostado.

La estabilidad de la mezcla de los compuestos orgánicos responsables del aroma decrece a medida que ocurre su contacto con el oxígeno atmosférico (Nicoli, *et al.*, 1993; Steinhart y Holscher, 1992; Brazsak, 1981), siendo esta reacción acelerada por el aumento en la temperatura durante el almacenamiento y la presencia de humedad (Zarate, 1983; Balasubramanyam *et al.*, 1989; Robertson y Dekker, 1993; Abraham y Shankaranarayana, 1978; Mori *et al.*, 1985; Cabral y Fernández, 1982; Balasubramanyam, 1993), aspectos que originan pérdida de frescura, envejecimiento y rancidez (Balasubramanyam *et al.*, 1989).

La rancidez, también conocida como oxidación autolítica o autooxidación puede definirse como una reacción autogeneradora entre un lípido y el oxígeno molecular. Estas reacciones van acompañadas de muchas reacciones secundarias. El mecanismo más aceptable que se ha propuesto es el de los radicales libres, que da lugar a un ataque sobre el carbono alfa al carbono del doble enlace en un ácido graso insaturado. Este, a su vez, origina la formación de un hidroperóxido, o un puente de peróxido, en el doble enlace, el cual, por último, produce la ruptura en ese sitio con la formación subsecuente, en una reacción secundaria, de aldehídos, cetonas, polímeros y lipoperóxidos que, a su vez, dan lugar a la formación de más radicales libres, de ahí el término de autocatalítica (Fessenden y Fessenden, 1982) y que son responsables de los aromas desagradables que se desprenden del café cuando este ha sido almacenado durante largos períodos de tiempo. La autooxidación depende de la composición en ácidos grasos, de la concentración y actividad de los pro y antioxidantes, de la presión parcial de oxígeno, de la superficie que entra en contacto con el oxígeno y de las condiciones en que se almacena el alimento (temperatura, luz y contenido acuoso) (Fessenden y Fessenden, 1982).

El mecanismo de formación de radicales libres, se puede describir esquemáticamente por medio de tres pasos que se detallan a continuación (Fennema, 1985)



Se ha comprobado que el café tostado puede mantener las condiciones adecuadas para su consumo durante los primeros cuatro días posteriores a su torrefacción si es colocado en empaques con una atmósfera interna normal (21% de oxígeno). Si el contenido residual de este gas en el empaque es menor a 0.5%, el tiempo de conservación puede alargarse hasta 6 meses (Cabral y Fernández, 1982).

3.1.1.3 Liberación de dióxido de carbono

Durante el proceso de torrefacción del café, al mismo tiempo en que ocurren las reacciones químicas responsables de la formación del aroma del producto, hay generación de gran cantidad de dióxido de carbono (CO₂)_a causada por la pirólisis de los granos y otras reacciones químicas, de una forma proporcional a la intensidad de la torrefacción (Nicoli, *et al.*, 1993; Meister y Puhlman, 1989; Jenkins y Harrington, 1991; Robertson y Dekker, 1993; Mori *et al.*, 1985; Cabral y Fernández, 1982; Clarke, 1987).

Gran parte del dióxido de carbono es contenido en los espacios libres en el interior del grano (2-5 mL/g) y lentamente es liberado junto con componentes aromáticos para ser reemplazado por oxígeno, el cual reacciona con los componentes del aroma remanentes originando compuestos desagradables (Jenkins y Harrington, 1991; Robertson y Dekker, 1993). Se sabe que la liberación del dióxido de carbono ocurre, casi en su totalidad, en el momento de la molienda y durante las primeras 8 horas después, luego la evolución del mismo es lenta y depende del grado de subdivisión de los granos (Mori, *et al.*, 1985; Cabral y Fernández, 1982).

3.1.2 Molienda del café

En el proceso de molienda, el grano de café tostado es subdividido por acción mecánica, en partículas bastante pequeñas. Este proceso trae consigo dos consecuencias básicas, la primera es mayor liberación del dióxido de carbono contenido en el grano, y la segunda es que aumenta el área expuesta al oxígeno residual que contenga el empaque así como a la humedad proveniente del ambiente en donde el café ha sido almacenado, lo que puede afectar la calidad del mismo (Jenkins y Harrington, 1991; Cabral y Fernández, 1982). Por esta causa, y dependiendo de la disponibilidad de oxígeno, el café tostado y molido sufrirá oxidación de los componentes del aroma y rancidez en los lípidos con mucha facilidad, atribuyéndose a estos cambios la pérdida de sabor y generación de malos olores durante el almacenamiento del café (Nicoli, *et al.*, 1993; Steinhart y Holscher, 1992; Lee, 1971; Janicek y Pokorny, 1970; Krayner, 1983; Zarate, 1983; UNCTAD/GATT, 1993; Robertson y Dekker, 1993; Abraham y Shankaranarayana, 1978; Cabral y Fernández, 1982; Balasubramanyam, 1993). Este tipo de inconvenientes se puede reducir con los métodos de empaque adecuados, además del control de la temperatura de almacenamiento, del contenido de humedad y del contenido de oxígeno en el mismo (Cabral y Fernández, 1982).

3.1.3 Empaque del café

En el caso específico del café tostado y molido, el empaque, junto con el control adecuado de la temperatura de almacenamiento, tiene como objetivo primordial evitar el ingreso de vapor de agua y por ende la absorción de humedad, facilitar la liberación selectiva del dióxido de carbono, prevenir el envejecimiento y rancidez del café por el oxígeno, y prevenir la pérdida de sabor y aroma (Anónimo, 1980; Oliviera, 1986; Gopalakrishna y Natarajan, 1974; Robertson y Dekker, 1993; Cabral y Fernández, 1982; Balasubramanyam, 1993; Clarke, 1987).

Entre los parámetros a considerar en la especificación del empaque para café tostado y molido están:

3.1.3.1 Permeabilidad a gases

Uno de los principales parámetros a considerar es la permeabilidad del empaque al oxígeno y al dióxido de carbono, la cual aumenta con la temperatura. Se recomienda por esta razón el uso de empaques con una baja permeabilidad al oxígeno, pues se encuentra documentado que el límite de aceptabilidad en cuanto al contenido de este gas en el empaque es de $0.030 \text{ cm}^3/\text{g}$ (UNCTAD/GATT, 1993; Cabral y Fernández, 1982; Balasubramanyam, 1993). A manera de información se presenta en el siguiente cuadro la permeabilidad a gases de los materiales de empaque más comúnmente usados para el café tostado y molido (Cabral y Fernández, 1982).

CUADRO 3.3 Tasa de permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono de algunos materiales de empaque usados para el café tostado y molido.

Material	Grosor (g/cm ²)	Tasa de permeabilidad (cm ³ /m ² .día.atm) (23 °C / 0% H.R.)	
		Oxígeno	Dióxido de Carbono
Celofán/polietileno	35/25	30-45	700-1300
Celofán/goma/polietileno	35/3/30	9/15	800/1100
Poliéster metalizado/goma/ Polietileno	16/3/45	4-12	25-45
Polipropileno/polietileno	20/35	900-1150	3000-3500
Polipropileno metalizado/ polietileno	20/35	40-60	130-170
Polipropileno	50	900-1200	3000-4200
Polietileno	70	1300-1850	5100-7900
Celofán/polietileno/aluminio/ Polietileno	30/15/20/35	Despreciable	Despreciable

Fuente: Sivetz, 1963.

Existen en la práctica dos vías para reducir el contenido de oxígeno en el empaque a valores menores del 1%, con los cuales la vida útil del producto es prolongada. El primer método es aplicar alto vacío al empaque antes de sellarlo y el otro es inyectar un gas inerte al empaque (Clarke, 1987). El empleo de alto vacío puede verse alterado por la liberación de dióxido de carbono dentro del empaque, que puede causar abombamiento del mismo, por esto el segundo método es más conveniente (Cabral y Fernández, 1982). Este último se conoce como empaque en atmósferas modificadas (E.A.M.), y consiste en la alteración de la

composición del aire dentro del empaque, con lo que se extiende su vida útil en el anaquel sin alterar la calidad del producto (Gopalakrishna y Natarajan, 1974; Anónimo, 1995).

La alteración de la atmósfera interna se lleva a cabo inyectando nitrógeno o dióxido de carbono individualmente o en combinación para crear una atmósfera ideal en el empaque dentro de la cual se preservan los productos alimenticios (Anónimo, 1995). Sin embargo en el caso específico del café se utiliza únicamente nitrógeno ya que se halló que además de ser un gas inerte, sin color, aroma o sabor, es eficaz para prevenir el deterioro del café causado por la rancidez oxidativa, además de que beneficia su estabilidad pues actúa de manera sinérgica con el material de empaque evitando el incremento en los niveles de humedad, pérdida de sustancias aromáticas y penetración de gases (Gopalakrishna y Natarajan, 1974; Anónimo, 1995; 23, UNCTAD/GATT, 1993; Balasubramanyam, 1993).

Por otro lado, entre las soluciones encontradas para el problema de la liberación del dióxido de carbono en el café tostado están: (a) empleo de empaques rígidos para el café; (b) utilizar materiales permeables al CO₂ o colocar en el empaque válvulas plásticas de una vía (Meister y Puhlman, 1989; Haevecker, 1979; Krayner, 1983; Zarate, 1983; Anónimo, 1980; Jenkins y Harrington, 1991; Robertson y Dekker, 1993; Thomas, 1994; Cabral y Fernández, 1982); (c) empacar al vacío y (d) permitir la liberación suficiente de CO₂ reposando el café después de ser tostado (Balasubramanyam, 1993). De ellas, una de las prácticas más comunes es la utilización de las válvulas especiales que permiten el paso del dióxido de carbono liberado hacia el exterior sin permitir el ingreso de oxígeno o humedad, pudiéndose obtener una vida útil de 20 a 25 meses cuando el contenido de oxígeno en el empaque es de 0.1% o menor después de sellado (Nicoli, *et al*, 1993; Meister y Puhlman, 1989; Anónimo, 1980; Jenkins y Harrington, 1991; Cabral y Fernández, 1982; Balasubramanyam, 1993). La válvula se abre facilitando la desgasificación cuando la presión de apertura o presión en el interior del empaque es mayor que la presión externa, mientras que un exceso de presión externa hace que la válvula se selle inmediatamente, ya que ésta es diseñada para trabajar a un diferencial de presión establecido (Balasubramanyam, 1993). En el cuadro 3.4 se detallan las presiones de apertura y cierre para la válvula externa de una vía.

CUADRO 3.4 Presión de apertura y cierre para la válvula externa de una vía.

	Presión de apertura (cm H₂O)	Presión de cierre (cm H₂O)
Máximo	8	2
Mínimo	4	1
Promedio	5,7	1,2
Desviación estándar	0,9	0,4

Fuente: Gruppo GOGLIO.

La válvula consiste de cinco componentes básicos: un tapón circular con punto giratorio y un hueco pequeño para el escape del gas, un disco elástico, una lámina de líquido viscoso que mejora el sello de la válvula e impide el ingreso de aire cuando la válvula se abre o cierra, una base plástica y un filtro, normalmente de papel, que es colocado en la base del tapón para evitar el paso de partículas muy pequeñas de café que pueden impedir el funcionamiento correcto de la válvula (Robertson y Dekker, 1993).

3.1.3.2 Sellado térmico del empaque

Un perfecto sello térmico del material de empaque es esencial para mantener la calidad del alimento, pues impide el contacto de este con el oxígeno y el vapor de agua. Por esas razones, el sellado constituye un punto débil en la estructura del empaque, y puede representar el canal por el cual se da la penetración del oxígeno y la humedad a los paquetes, así como la pérdida o liberación de sus componentes aromáticos y del dióxido de carbono (Cabral y Fernández, 1982), además de contrarrestar los beneficios que se obtienen al utilizar un material de empaque impermeable.

3.1.3.3 Permeabilidad al vapor de agua

La humedad es otra importante causa de deterioro del café. En condiciones normales de procesamiento, la cantidad de humedad originalmente presente en el producto (2.1%) no llega a acelerar el proceso de su deterioro. Pero en situaciones en que el café está expuesto a ambientes con una elevada humedad relativa, el mismo producto puede presentar problemas de aglomeración cuando esta variable llega a alcanzar valores de 6.6 % b.s. (6.2 b.h.) (Cabral y

Fernández, 1982). Se menciona que cuando el café es mantenido en ambientes con 50% y 65 % de H.R., absorbe vapor de agua en concentraciones de 6 y 8 % respectivamente, lo que hace suponer que un café almacenado a 30°C y 80 % H.R., o el mismo a 25°C y 75% H.R., tendrá sus cualidades sensiblemente disminuidas por las reacciones conducidas o catalizadas por el agua (Cabral y Fernández, 1982; Clarke, 1987) en la medida que esta facilita el deterioro del aroma que le es característico. Por esto el empaque se debe caracterizar por su baja permeabilidad al vapor de agua (Cabral y Fernández, 1982). A título de información se presenta en el cuadro 3.5 las tasas de permeabilidad al vapor de agua de los materiales de empaque más comúnmente usados (Cabral y Fernández, 1982).

Se ha demostrado que un producto expuesto a atmósferas con humedades relativas variadas, adquiere sabor a viejo, al estar expuesto cerca de 4 días a 100% H.R. (Clarke, 1987).

CUADRO 3.5 Tasa de permeabilidad al vapor de agua de algunos materiales de empaque usados para el café tostado y molido.

Material	Grosor (g/cm ²)	Tasa de permeabilidad al vapor de agua (g/m ² .día)	
		25°C/75% H.R.	38°C/90% H.R.
Celofán/polietileno	35/25	7,0	24,0
Celofán/goma/polietileno	35/3/30	2,4	9,1
Poliéster metalizado/goma/ Polietileno	16/3/45	1,5	5,5
Polipropileno/polietileno	20/35	0,8	3,0
Polipropileno metalizado/ polietileno	20/35	0,4	0,9
Polipropileno	50	1,0	4,9
Polietileno	70	2,0	5,9
Celofán/polietileno/aluminio/ Polietileno	30/15/20/35	Despreciable	Despreciable

Fuente: Sivetz, 1963.

La verificación en el cumplimiento de estas especificaciones deben ser acompañadas del control adecuado de la temperatura, la cual constituye un factor decisivo en la pérdida de las características del café tostado y molido durante su almacenamiento.

Se sabe que a bajas temperaturas se disminuyen las reacciones de oxidación, el desarrollo de malos olores y la rancidez oxidativa de los lípidos. Por ejemplo, cuando esta se

disminuye de 30°C a 20°C o de 17°C a 10°C, la vida útil del café se duplica, lo cual justifica una práctica muy común en el ámbito doméstico, de almacenarlo refrigerado (UNCTAD/GATT, 1993; Cabral y Fernández, 1982).

3.1.4 Preparación y calidad de la bebida

El tostado, molienda y empaque del café, así como la forma de elaboración ejercen influencia decisiva en el carácter de la bebida que se desea preparar (Cléves, 1995).

La calidad de la bebida puede ser evaluada mediante la degustación de esta por catadores expertos, quienes son capaces de reconocer las características básicas de la misma gracias a la habilidad que han desarrollado a través de muchos años de experiencia. El proceso consiste en la evaluación sensorial de un conjunto de aspectos relacionados con el olor y sabor de una infusión de café tostado y molido preparado bajo condiciones de laboratorio estandarizadas, que definen la calidad inherente de la taza de café.

Entre las características sensoriales mayormente estudiadas por los catadores durante la infusión de la bebida destacan la acidez, aroma, cuerpo y sabor de la misma. A continuación se detalla el rol de cada una de estas en la calidad de la bebida.

3.1.4.1 Acidez

La acidez presente en la bebida siempre ha sido reconocida como un importante atributo de su calidad y sensorialmente describe una característica deseable del café, la cual se detecta en la infusión y durante el análisis de acidez titulable (Sivetz, 1963).

Los tipos de ácidos encontrados en el café y en las infusiones del mismo se detallan en el cuadro 3.6. Cada ácido posee características de aroma y/o sabor que contribuyen individualmente a la impresión total de acidez y sabor de la bebida dependiendo de las propiedades de la solución y de la disociación de los mismos (Sivetz, 1963).

CUADRO 3.6 Ácidos contenidos en el café tostado.

Ácido	P.M.	mg/g de Café tostado
<u>Ácidos no volátiles</u>		
Clorogénico	345	46
Cafeíco	180	3
Quínico	192	3
Cítrico	210	5
Málico	134	5
Tartárico	150	4
Oxálico	126	2
Pirúvico	88	0,6
Sub Total		68,6
Acético	60	3,6
Propiónico	74	0,2
Butírico	88	0,1
Valérico	102	0,2
Sub Total		4,1
TOTAL		72,7

Fuente: Sivetz, 1963.

Se sabe de la pérdida de ácidos volátiles durante el almacenamiento del café tostado, sin embargo se ha notado un aumento en la acidez durante el almacenamiento, detectada como una disminución en el pH y un aumento en la acidez titulable de la bebida (Clarke, 1987). Estos cambios se deben básicamente a la formación de ácidos cafeíco y quínico como resultado de la hidrólisis de los ácido clorogénicos (Rosa *et al.*, 1990); y a la oxidación aldehídica que se acelera con la temperatura de almacenamiento y provoca la generación de ácidos (Rosa *et al.*, 1990; Clarke, 1987; Sivetz, 1963).

3.1.4.2 Aroma

Es la cualidad que el catador capta en la infusión por medio de su capacidad olfatoria adiestrada para detectar olores "sui generis" a cada calidad de café o bien a defectos o contaminaciones. Si el proceso de beneficio, tueste, molienda o bien de almacenamiento fueron defectuosos, aparecerán en el aroma defectos más o menos marcados y además se harán notar ciertas contaminaciones durante el propio almacenamiento (ICAITI, 1975).

Como se mencionó anteriormente, la pirólisis de los granos de café es responsable del desarrollo de los más de 660 diferentes compuestos volátiles que han sido identificados hasta hoy, como se muestra en el cuadro 3.1, y cada uno de ellos contribuye de forma distinta para lograr el aroma característico de la bebida (Clarke, 1987).

3.1.4.3 Cuerpo

Es la cualidad que se detecta principalmente con el sentido del gusto, y que busca evaluar la sensación de consistencia o abundancia de principios disueltos en la infusión, además da la impresión táctil, del peso y la textura en la boca (ICAITI, 1975). Esta característica está íntimamente relacionada con la naturaleza y cantidad de sólidos solubles en la infusión (Menchú, 1966). En el cuadro 3.7 se muestra la composición química de los solubles presentes en el extracto de café.

Este tipo de compuestos se extraen del café tostado cuando se prepara la bebida; el agua caliente remueve el material soluble contenido en el café tostado y molido por un proceso que combina disolución y extracción. El agua primero penetra los granos, luego disuelve algo de los componentes químicos que encuentra y hace una solución de esos materiales para dar como resultado la bebida característica. Entre los principales factores que influyen la extracción de estos compuestos está la composición química de la variedad de café utilizada, el grado de tueste, la molienda, el tiempo de contacto entre el café y el agua, la temperatura del agua, la composición del agua, y la forma de extracción del café con el agua (Menchú, 1966).

CUADRO 3.7 Composición química de los sólidos solubles en el extracto de café.

Compuesto Químico	Porcentaje en la porción soluble (%)
Carbohidratos	50,0
Aceites (y ácidos grasos)	0,2
Proteínas (aminoácidos y complejos)	4,0
Ceniza	14,0
Ácidos no volátiles	
Clorogénico	13,0
Cafeico	1,4
Quínico	1,4
Otros	3,0
Trigomielina	3,5

CUADRO 3.7 Continuación.

Cafeína	3,5
Fenoles (valor estimado)	5,0
Volátiles	1,0
TOTAL	100,0

Fuente: Belitz y Grosch, 1985.

3.1.4.4 Sabor

Es la cualidad que el catador capta en la infusión por medio del sentido del gusto, y que responde a una sensación compleja y subjetiva impartida al paladar a través de la boca (ICAITI, 1975). Esta sensación puede ser placentera, indiferente e incluso una experiencia desagradable. y puede variar con la concentración, temperatura, limpieza de los utensilios, condiciones anímicas del catador, etc. (Sivetz, 1963).

La habilidad para analizar o asociar la impresión de sabor resulta de años de experiencia y es en este caso procedente de la impresión total de aroma, acidez y cuerpo (ICAITI, 1975).

IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA

4.1 Ubicación:

La investigación se realizó en parte en las instalaciones del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) localizado en la Ciudad Universitaria Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica. Se utilizaron los equipos disponibles en los laboratorios de Vida Útil y Química.

Los paneles de catación (análisis sensorial) y el análisis de O₂ en el empaque se efectuaron en las instalaciones de una empresa torrefactora, disponiendo del equipo y personal entrenado que ellos poseen para efectuar estas pruebas.

4.2 Materia Prima:

Se utilizó café tostado y molido de la especie arábica (*Coffea arábica*) elaborado y empacado por una empresa torrefactora. El material de empaque utilizado para el café consiste en un trilaminado compuesto por Polietilen-terftalato(PET)/Polietilen-terftalato metalizado/Polietileno de alta densidad (HDPE). Las propiedades y composición de cada lámina se detallan a continuación.

CUADRO 4.1 Características de cada lámina que constituye el material de empaque para el café tostado y molido utilizado en el proyecto.

Material	Grosor en el empaque (µm)	Tasa de permeabilidad al Oxígeno (cm ³ /100 in ² .día.atm) a 25 °C & 0% H.R.
Polietilen-terftalato (PET)	12	3,0-6,0
Polietilen-terftalato metalizado (PET metalizado)	12	No se encontró información
Polietileno de alta densidad (HDPE)	90	100,0-200,0

Fuente: Empresa torrefactora

4.3 Metodología:

4.3.1 Métodos de análisis:

4.3.1.1 Análisis de humedad del café tostado y molido

La humedad del café tostado y molido se determinó siguiendo el método 968.11 descrito en el AOAC (1990) utilizando la estufa de vacío.

4.3.1.2 Análisis de sólidos solubles del café tostado y molido

El contenido de sólidos solubles en el café tostado y molido se evaluó utilizando el método 973.21 descrito en el AOAC (1990).

4.3.1.3 Análisis de acidez total del café tostado y molido

La acidez total del café tostado y molido se analizó siguiendo el método 920.92 descrito en el AOAC (1990).

4.3.1.4 Análisis sensorial

Se realizaron paneles de catación (análisis sensorial) de tipo descriptivo en las características aroma, cuerpo, sabor, acidez y nivel de envejecimiento del café en la taza. Con la colaboración de tres catadores expertos que laboran en la empresa torrefactora. Se usó una escala semiestructurada de categoría (0 a 100) para cada característica definida. Para la definición y selección de las características a evaluar se contó con la colaboración de tres catadores expertos, con quienes se llevó a cabo sesiones de trabajo en grupo para la estandarización de conceptos usados en la prueba.

En el Apéndice I se muestra la escala utilizada en el proyecto.

El procedimiento seguido en cada panel se describe a continuación:

1. Se pesaron 10 g. de cada muestra por triplicado, se transfirió a tazas limpias y secas, y se colocaron las tazas con las muestras alrededor de la mesa de catación, a aproximadamente 25 mm del borde de la misma; las tazas se colocaron en forma aleatoria para la evaluación de cada panelista.

2. Se colocaron en el centro de la mesa una taza con la muestra de referencia, y un recipiente de loza con agua caliente y cucharas; bajo la mesa y frente al catador se colocó una escupidera.

3. Se agregó a las muestras, agua hirviendo, en cantidad suficiente para llenar la taza pero sin que su contenido se rebalsase; inmediatamente se procedió a romper la capa que se había formado en la superficie de cada taza, utilizando la cuchara caliente, y acercando simultáneamente la nariz al lugar de ruptura para detectar los olores "sui generis" de la muestra de café. Se cuantificó el aroma en la hoja de evaluación de cada muestra.

4. Se retiraron de la taza las partículas que flotaban sobre el líquido y se permitió que el mismo alcanzara una temperatura que permitiera sorberlo (aproximadamente 60 °C); con la cuchara previamente enjuagada en el agua caliente, se tomó una porción de líquido y luego se sorbió éste fuertemente con la boca casi cerrada, de manera que el líquido se introdujera en forma atomizada y se dispersara completamente en el interior de la boca, produciéndose un ruido característico. Se retuvo el líquido en la boca justamente el tiempo necesario para evaluar el cuerpo, sabor, acidez y nivel de envejecimiento y luego se escupió en la escupidera.

5. Una misma muestra se cató varias veces, si así lo consideró necesario el catador para la evaluación de la misma; se cuantificó cada característica en la hoja de evaluación de cada muestra.

4.3.1.5 Análisis de oxígeno en el empaque.

Se realizó el análisis de oxígeno utilizando un instrumento denominado "*Oxybaby*" de marca WITT-GASETECHNIK.

El "*Oxybaby*" utiliza el oxígeno proveniente del espacio de cabeza del empaque para producir una diferencia de voltaje en una célula de medición química transformando la lectura en porcentaje de oxígeno contenido en el empaque (0,1 a 100,0 % con tres cifras digitales).

4.3.2 Materiales y equipo:

Los materiales que se utilizaron en el proyecto fueron:

Café tostado y molido empacado en un trilaminado PET/PET metalizado/PE.

Alcohol etílico al 80%

Disolución de hidróxido de sodio 0,1 N.

Agua destilada

En el Cuadro 4.3 se presenta una lista del equipo que se utilizó en el proyecto.

Cuadro 4.2 Equipo de laboratorio utilizado en los análisis químicos y sensoriales.

Nombre	Marca	Capacidad
Balanza Analítica	Mettler	0.0000-160.0000 g
Balanza Semianalítica	Mettler	0.000-440.000 g
Estufa de Vacío	National Appliance Co.	0-30 psi. 0-260 °C
pH-metro	Orion Research	-
Agitador - Calentador	CORNING	-
Balanza Granataria	Centi -O- Gram	0.0 – 311.0 g
Agitador - Mezclador	Fermentation Desing Inc.	-
Cámara 30 °C	GCA/ Precision Scientific	-
Cámara 37 °C	GCA/ Precision Scientific	-
Cámara 45 °C	GCA/ Precision Scientific	-
Analizador de oxígeno	WITT-GASETECHNIK	0 – 100% de O ₂
Tamizador	CE - TYLER	0 – 20 min.
Tazas de porcelana	-	250 mL

4.3.3 Procedimiento:

4.3.3.1 Evaluación de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque y su efecto en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.

El café tostado y molido proporcionado por la empresa torrefactora fue empacado en bolsas con la siguiente estructura, PET/PET metalizado/PE.

Se trabajó con tres condiciones diferentes: empaques con válvula de extracción de gases, empaques intactos, y empaques con un orificio hecho con una aguja, para la salida de CO₂, los cuales fueron almacenados en una cámara a temperatura constante (37°C) durante dos meses. Cada semana y media hasta completar los dos meses, es decir, en cinco oportunidades, se sacaron 6 muestras de la cámara para ser analizadas en cuanto a la calidad química y sensorial, así como en el contenido de O₂ en el empaque de las mismas.

4.3.3.2 Evaluación el efecto del empaque con inyección de nitrógeno y la temperatura de almacenamiento en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.

El empaque con la válvula de extracción de gases, se seleccionó, en base a los resultados de la etapa anterior, para empacar el café para la fase siguiente, y este se utilizó para evaluar el efecto de la presencia o ausencia de nitrógeno en el empaque y de la temperatura de almacenamiento sobre la calidad química y sensorial del café. Para esto se realizó un estudio acelerado de vida útil, almacenando las muestras en cámaras a tres temperaturas, a saber, 30, 37 y 45°C por períodos diferentes en cinco oportunidades.

Para esta fase se utilizó también café tostado y molido proporcionado por la empresa torrefactora, la cual proporcionó las facilidades para realizar la inyección de nitrógeno en el empaque.

Para ambas etapas se presentan el gráfico de las variables analizadas utilizando los valores promedio y los rangos entre los valores máximos y mínimos.

4.3.4 Análisis estadístico de los resultados:

4.3.4.1 Prueba de F parciales

Para la comparación de los tratamientos evaluados en la primera etapa de la investigación, se hizo uso de la prueba de F parciales, la cual se fundamenta en un modelo de regresión ampliado en el cual se incluye una variable sustituta z (requisito indispensable). El modelo está descrito por la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 z + \beta_3 zx$$

En el cual la variable sustituta z puede tomar dos valores, 0 y 1. Cuando z toma el valor de 0, el modelo queda descrito por la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x$$

Cuando z toma el valor de 1, el modelo obtenido se describe por:

$$Y = (\beta_0 + \beta_2) + (\beta_1 + \beta_3) x$$

De la comparación resultante entre estas dos ecuaciones, surgen las hipótesis que se deben probar para determinar si los comportamientos, que ambas ecuaciones representan, son paralelos, coincidentes o distintos

Paralelismo:

$$H_0: \beta_3 = 0 \text{ (Pendientes iguales)}$$

Coincidencia

$$H_0: \beta_2 = \beta_3 = 0 \text{ (Interceptos y pendientes iguales)}$$

El procedimiento está descrito en detalle en el apéndice II.

4.3.4.2 Comparación de pendientes

Para la comparación de los tratamientos evaluados en la segunda etapa, se utilizaron las pendientes de las rectas, obtenidas para el comportamiento de cada variable y calculadas con todos los datos, a través del tiempo, como una estimación del deterioro de las características analizadas; a pesar de la poca significancia de las mismas y que no representen fielmente la dispersión de los datos, ya que, este tipo de prueba permite, de una forma objetiva, analizar los resultados obtenidos. Para esto, se tomaron los intervalos de confianza de las pendientes y se analizó el traslape entre ellos, de forma que si se da traslape entre los intervalos, no hay diferencia significativa entre los comportamientos y viceversa.

Se realizaron dos tipos de comparaciones necesarias. La primera consistió en evaluar el comportamiento de las variables a través del tiempo, cuando se mantiene el tratamiento de empaque y se varía la temperatura de almacenamiento. La otra comparación pretende evaluar el comportamiento a través del tiempo, pero variando el tipo de tratamiento de empaque (con o sin nitrógeno), y manteniendo la temperatura de almacenamiento.

4.3.4.3 Prueba de t.

Los comportamientos individuales se sometieron por aparte al análisis de regresión, utilizando al tiempo como variable independiente, con el fin de poder establecer una prueba de t para la pendiente cuya hipótesis nula general está dada por $H_0: m = 0$; esta prueba permite estimar si el efecto del tratamiento es significativo en el tiempo; en caso de rechazar la hipótesis se dice que hay un efecto significativo y viceversa.

En los tres casos se utilizó un $\alpha=0.15$ o menor para definir la significancia de los comportamientos.

V. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

5.1 Evaluación de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque y su efecto en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.

5.1.1 Evaluación química

5.1.1.1 Contenido de Oxígeno

No se encontró diferencia significativa entre los empaques con válvula y los empaques intactos ($\alpha=0,44$ para paralelismo y un $\alpha=0,55$ para la coincidencia). Este resultado se debe a que tanto el material de empaque como la misma válvula de extracción de gases representan una barrera prácticamente impermeable a este gas, como lo han demostrado varios autores, entre ellos Kraye (1993).

Sin embargo, sí se encontró diferencia significativa entre los anteriores tratamientos de empaque y aquellos a los que se les hizo un orificio con la aguja, ya que se trata de comportamientos paralelos ($\alpha=0,47$), pero no coincidentes ($\alpha=0,001$). Esto se explica porque el orificio permite el ingreso directo del aire al interior del empaque, por lo que el nivel de oxígeno está siempre alrededor del 20,9% (contenido del gas en el aire), a diferencia de los otros dos casos en donde los niveles oscilan entre valores bajos del 9 y 13%, desde el inicio hasta el final de los 60 días probablemente porque el oxígeno se encuentra diluido con el dióxido de carbono que se generó en el interior del empaque.

La figura 5.1 muestra el comportamiento de los datos promedio para cada tratamiento, así como las líneas de regresión correspondientes en cada caso. En ella se observa una sola línea para los tratamientos con válvula e intacto, ya que como se mencionó, no se encontró diferencia significativa entre ellos; la otra línea representa al tratamiento con orificio que fue el que resultó ser diferente de los otros dos.

Se puede decir que la incorporación de la válvula de extracción de gases al empaque, o mantener el mismo intacto, utilizando además un material de empaque impermeable, no inducen cambios en el contenido de oxígeno en el interior de las bolsas; pero sí existe un inconveniente importante con el uso de empaques con un orificio, en los cuales los altos niveles de oxígeno en contacto con el café, podrían acelerar el deterioro de aromas y sabores en la bebida (Blasubramayan, *et al.*, 1989), reduciendo el beneficio de utilizar un empaque impermeable.

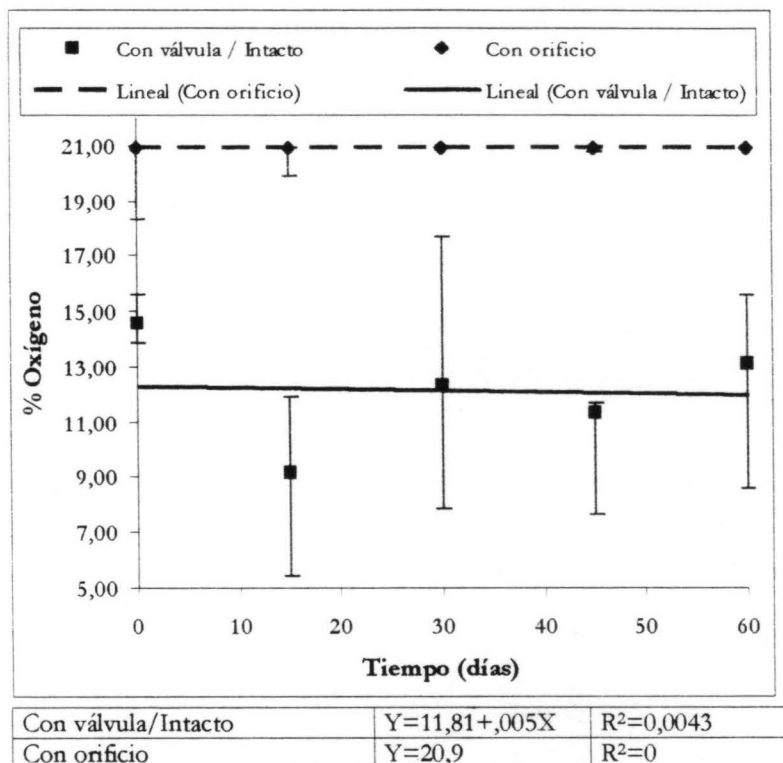


FIGURA 5.1 Contenido de oxígeno en el interior de los empaques de café almacenado a 37°C.

La prueba de t evidenció que a través del tiempo los cambios en el contenido de oxígeno no son significativos ($\alpha=0,15\%$) en ninguno de los tres casos. Esto permite suponer que con un tiempo de almacenamiento más extenso, la calidad sensorial del café se podría ver afectada mayormente en los empaques con orificio, ya que los niveles de oxígeno se mantienen altos, y es muy probable que se den las reacciones de deterioro de los compuestos volátiles (Nicoli *et al.*, 1993).

5.1.1.2 Contenido de humedad

Estadísticamente no se encontró diferencia significativa entre utilizar empaques con válvula y empaques intactos (paralelos con $\alpha=0,97$ y coincidentes con $\alpha=0,98$), por lo que se confirma que la válvula impide el ingreso de humedad en el interior de los empaques. Sin embargo, sí se encontró diferencia entre estos y los empaques con orificio, porque se trata de comportamientos con la misma pendiente ($\alpha=0,98$), osea, que presentan la misma tasa de ganancia de humedad, sin embargo no tienen el mismo intercepto con el eje Y ($\alpha=0,075$). Esto se debe a que al principio del estudio el café empacado en bolsas con orificio contenía una humedad mayor que el de los otros dos casos, ya que a pesar de ser el mismo lote, fue procesado en un momento distinto y esto influyó en el resultado.

En la figura 5.2 se representan los valores promedio y las líneas de regresión correspondientes. En ella se puede observar que las líneas tienen su origen en niveles de humedad distintos, y alcanzan valores máximos de 3,5% en el caso de los empaques con orificio, el cual no es suficiente para causar la aglomeración del café (6,6%), por lo que este factor no afectaría las variables de calidad durante el período de estudio

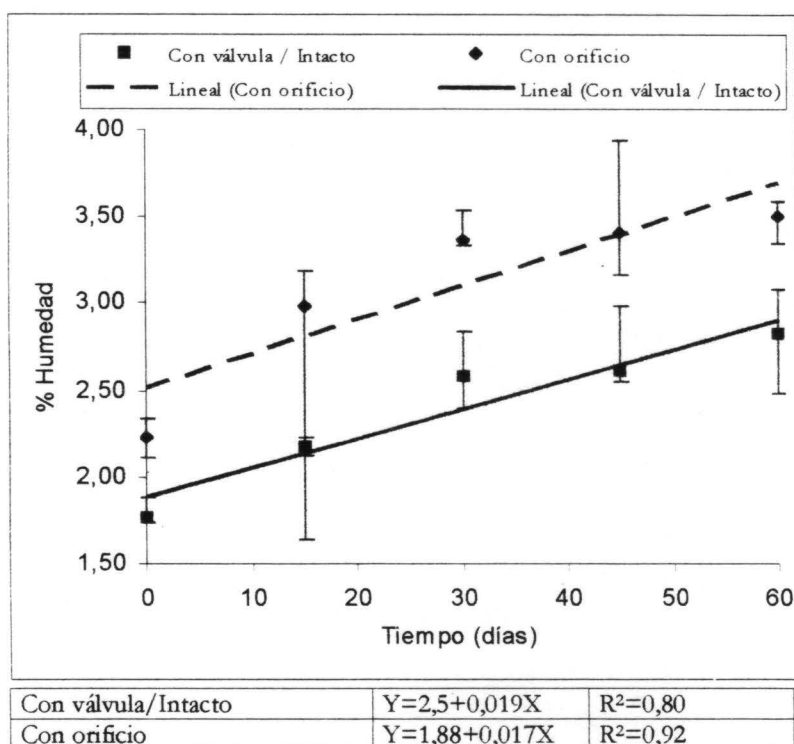


FIGURA 5.2 Contenido de humedad del café almacenado a 37°C según el tratamiento de empaque.

La pendiente de cada comportamiento fue sometida a la prueba de t , dando como resultado que las variaciones experimentadas por la humedad en el café a través del tiempo, son significativas ($\alpha=0,15$) unicamente para el caso de los empaques con orificio, por lo que se confirma que esta práctica desfavorece los beneficios que implican la utilización de materiales de empaque de alta barrera a la humedad, y puede provocar que el café pierda sus características de frescura en un corto período de tiempo.

El aumento en el contenido de humedad a través del tiempo, acompañado de la presencia de oxígeno en el interior de los empaques, son factores que influyen cambios importantes en variables como el aroma, el sabor y el nivel de envejecimiento (Brazak, 1981), las cuales se pueden ver afectadas de forma negativa especialmente en los empaques con un orificio. El análisis de estas variables (humedad y oxígeno), es el más recomendable para corroborar si un empaque va a afectar o no las características sensoriales deseables del café, debido a su permeabilidad, y la de los complementos que lo acompañen, como la válvula de extracción de gases en este caso.

5.1.1.3. Acidez titulable (mL NaOH 0,1N/100 gr. café).

La acidez titulable se definió como los mL de NaOH 0,1 N consumidos por cada 100 g de café.

No se encontró diferencia significativa entre los tres tratamientos, y la única recta que describe su comportamiento, se puede representar por la ecuación $Y=13,89+0,056X$, obteniéndose para ella, un coeficiente de determinación de 0,59. Esto significa que ni el tratamiento de empaque ni el tiempo durante el cual se mantuvieron las muestras a 37°C, son factores que puedan provocar cambios en la acidez, de forma que se pueda diferenciar cuál tratamiento es el mejor.

Por otro lado, al parecer la acidez presenta una tendencia al aumento en el tiempo, sin embargo según la prueba de t , tampoco se observó que tal variación fuera significativa en el tiempo ($\alpha=0,15$). Es por esto que se puede afirmar que esta característica no es un buen parámetro para decidir cuál tratamiento de empaque es el más conveniente para la preservación de las características del café, sea en empaques con válvula, intactos o con orificio. Además, al no existir información documentada acerca de los valores normales de acidez titulable en un café de calidad, no se puede decir si los obtenidos en este estudio (apéndice III) son normales para un café de calidad.

5.1.1.4 Contenido de sólidos solubles

Según Menchú (1966), el cuerpo del café está muy relacionado con el contenido de sólidos solubles de la infusión. Los factores que influyen en el grado de extracción de estos, y por lo tanto en su contenido en la bebida, son básicamente, la composición química de la variedad de café, el grado de tueste, el tiempo de contacto entre el café y el agua y la temperatura del agua entre otros (Lackhart, 1957), sin embargo en la literatura consultada no se encontraron estudios que evaluaran la relación entre los sólidos solubles del café y su empaque durante el almacenamiento.

Con la comparación estadística de los tratamientos se obtuvo que el café empacado con válvula presenta un comportamiento igual al del café en empaques intactos ($\alpha=0,52$ para el paralelismo y $\alpha=0,76$ para la coincidencia). Esto demuestra que es indiferente para el contenido de sólidos solubles del café, si este se empaqueta en bolsas con válvula o sin ella.

La ecuación de la recta que ilustra el comportamiento de los dos tratamientos anteriores está descrita por $Y=2,82+0,0077X$ con un coeficiente de determinación de 0,92. En este caso la pendiente es muy pequeña, y los cambios presentados a través del tiempo no son estadísticamente significativos ($\alpha=0,15$).

Por otro lado, las muestras empacadas en bolsas con orificio, experimentaron un comportamiento estadísticamente distinto con respecto a los otros dos ($\alpha=0,02$ para el paralelismo y $\alpha=0,04$ para la coincidencia), y la ecuación de la recta que lo representa es $Y=3,26-0,0051X$ con un coeficiente de determinación de 0,66. Además, la variación de los sólidos solubles tampoco es estadísticamente significativa en el tiempo para este tratamiento ($\alpha=0,15$).

Aunque la literatura no reporta cambios en el tiempo para esta variable, hubo diferencia entre los primeros dos tratamientos, por lo que se recomienda realizar estudios más profundos que permitan explicar los cambios observados.

5.1.2 Evaluación sensorial

5.1.2.1. Calidad del aroma

El resultado del análisis de esta variable refleja que no hubo diferencia significativa en su comportamiento entre los empaques con válvula e intacto ($\alpha=0,64$ paralelismo y $\alpha=0,88$ coincidencia), situación que se repite en el presente estudio con otros parámetros sensoriales, y en este caso permite afirmar que es indiferente utilizar uno u otro tratamiento de empaque, en el comportamiento del aroma del café en el tiempo.

Tampoco se encontró diferencia válida estadísticamente entre el aroma del café en empaques intactos y con orificio ($\alpha=0,24$ para el paralelismo y $\alpha=0,47$ para la coincidencia). Este resultado es bastante particular, porque se supone que al haber un orificio en la bolsa, primeramente hay liberación de volátiles a través del mismo, además el ingreso de humedad y oxígeno al empaque no se pueden evitar, y esto causa un deterioro más acelerado en los compuestos químicos responsables de dar el aroma a fresco del café; por lo que sí debería existir diferencia entre estos tratamientos. Una explicación que se le puede dar a esta situación es el hecho de que los panelistas, a pesar de ser expertos experimentaron dificultades para evaluar este tipo de parámetro sensorial, y para encontrar diferencias entre los tratamientos, además de que no estaban acostumbrados a usar el tipo de escala que se les facilitó.

Por otro lado, sí se encontró diferencia significativa entre el aroma de los empaques con válvula y con orificio, ya que se obtuvo un $\alpha=0,14$ para rechazar la hipótesis de que son comportamientos paralelos.

En la figura 5.3 se representan en una única línea de regresión los tratamientos con válvula e intacto, y se decidió representar aparte la línea de regresión para el aroma del café en los empaques con orificio, ya que el deterioro del aroma a través del tiempo es estadísticamente significativo sólo en este caso. Se aprecia la alta variabilidad en las calificaciones asignadas por los jueces en el tiempo cero; en donde las muestras en los diferentes empaques deben ser sensorialmente iguales. Al obtenerse valores 75 y 82 (valores promedio) se confirma que los jueces no mantuvieron los mismos criterios para la evaluación.

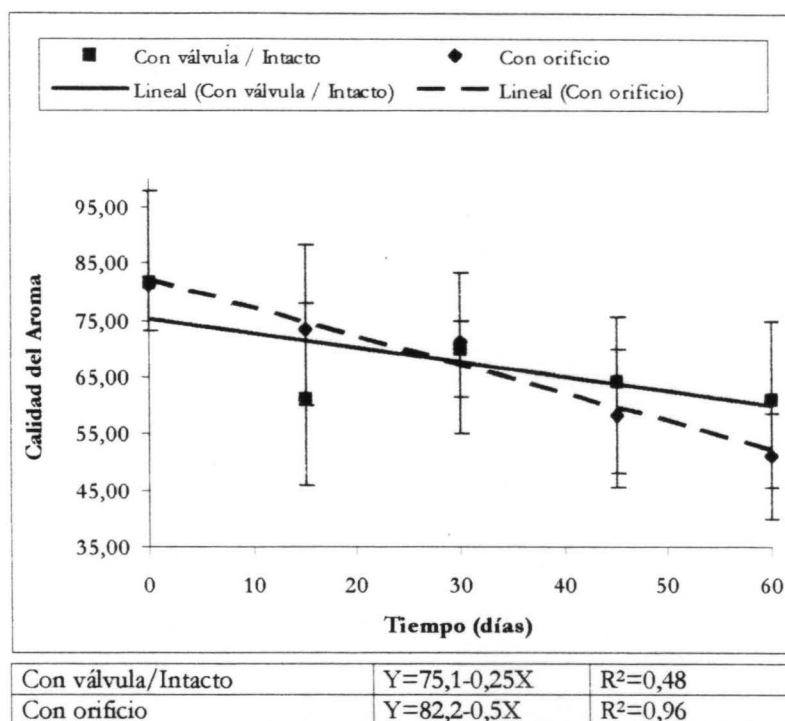


FIGURA 5.3 Calidad del aroma del café almacenado a 37°C según tratamiento de empaque.

El hecho de que la pérdida del aroma en el tiempo sea significativa para los empaques con orificio se debe a la pérdida de compuestos volátiles a través del mismo, a la exposición directa del café al oxígeno, a la humedad y el almacenamiento a altas temperaturas (Cabral y Fernández, 1982), por lo que a pesar de ser una práctica común, afecta seriamente las cualidades propias de la bebida del café y contrarresta los beneficios que se obtienen al utilizar un material de empaque impermeable.

Con respecto a los tratamientos de empaque con válvula e intacto, se supone que con ellos se evita el contacto directo del aire y la humedad con el café tostado y molido, por lo que los cambios observados no son significativos en el tiempo y se respalda este resultado con la afirmación de Krayner (1993), quien señala que el uso de válvulas evita la pérdida del aroma del café; pudiendo obtenerse con su utilización, una vida útil de 20 a 25 meses, cuando el contenido de oxígeno en el interior del empaque es de 0,1% o menor, después de que ha sido sellado.

5.1.2.2 Calidad del sabor

Según los resultados obtenidos no se encontró diferencia significativa entre los tres tratamientos de empaque ($\alpha=0,63$ para el paralelismo y un $\alpha=0,81$ para la coincidencia). Esto significa que los comportamientos presentan la misma pendiente y además el mismo intercepto, por lo que pueden ser representados por una única ecuación y una única línea. En la figura 5.4 se presenta el comportamiento de la calidad del sabor, y la línea de regresión correspondiente a los tres tratamientos.

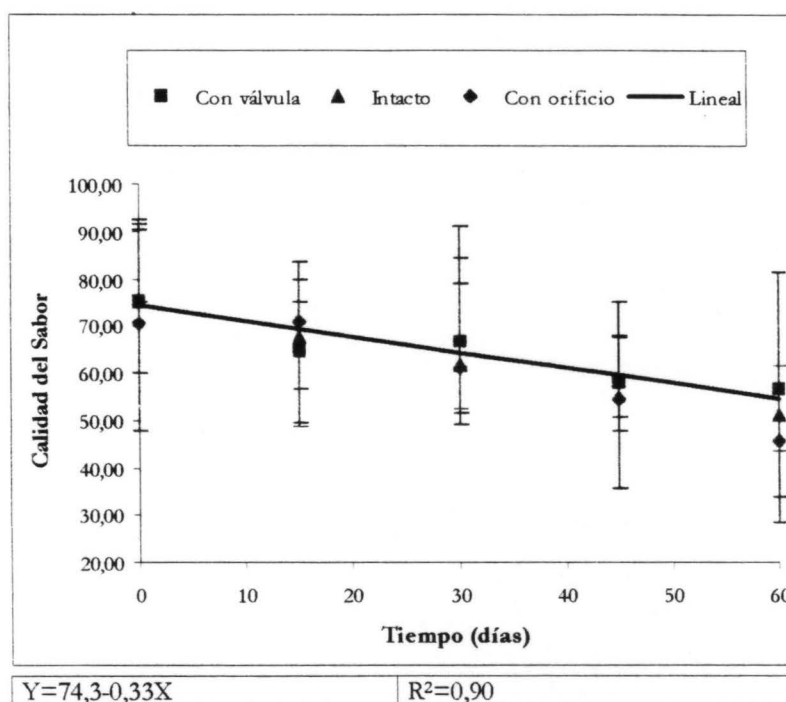


FIGURA 5.4 Calidad del sabor del café almacenado a 37°C según tratamiento de empaque.

El hecho de no haber hallado diferencias entre los tratamientos puede deberse a que el tiempo de almacenamiento fue insuficiente para provocar diferencias que pudieran ser detectadas por los panelistas, a diferencia de lo reportado por Kraye (1983), quien afirma que el uso de válvulas para la extracción de gases del empaque contribuye a la preservación de las características sensoriales del café. Lo que implica que según el resultado obtenido, no se encontró ninguna ventaja al utilizar la válvula de extracción de gases o utilizar empaques con orificio o intactos en lo que respecta a la calidad del sabor de la bebida del café. Cabe destacar nuevamente que en este caso los panelistas evaluaron de forma muy diferente las mismas muestras, lo cual pudo verse en las amplias desviaciones reportadas.

Al efectuar la prueba de t ($\alpha=0,15$) se encontró evidencia estadística que permite afirmar que la pendiente es distinta de cero para los tres casos, como se muestra en el apéndice VII; esto significa que la tendencia hacia la pérdida en la calidad del sabor a través del tiempo si es significativa. De hecho los valores promedio al inicio del estudio están alrededor de 70, y disminuyen hasta alcanzar valores cercanos a 40, que según los panelistas, corresponden a un café con un sabor entre malo y regular. Entre las razones para esta variación están la pérdida de componentes volátiles experimentada en el interior de los empaques, y que puede ser causada por la presencia de oxígeno, el cual provoca la oxidación de los mismos, catalizada por la temperatura a la que el café fue almacenado (37°C). Además, otro factor que puede contribuir al deterioro del sabor, es la presencia de humedad en el empaque, que contribuye a la descomposición de compuestos volátiles característicos del café (Nicoli *et al.*, 1993).

Es bien sabido que el sabor en el café se debe a compuestos solubles no volátiles, pero en gran parte es originado por la presencia de compuestos químicos volátiles, es por eso que cuando hay variación en el aroma, paralelamente se observará un efecto negativo en el sabor de la bebida (Cabral y Fernández, 1982). Por otro lado, vale la pena señalar que al realizar las correlaciones respectivas, se obtuvo entre el contenido de humedad y aroma un coeficiente de correlación $r=-0,75$; y entre la humedad y el sabor, un valor idéntico $r=-0,75$.

5.1.2.3 Intensidad del nivel de envejecimiento

Los resultados del análisis del nivel de envejecimiento de la bebida van de la mano con los resultados del análisis de la calidad del sabor y aroma, pues se trata de características sensoriales que definen la calidad de la bebida del café.

Durante el transcurso de los dos meses de estudio no se obtuvo diferencia estadística entre los tratamientos ($\alpha=0,61$ para el paralelismo y $\alpha=0,52$ para la coincidencia), por lo que esta variable no se puede utilizar como discriminatoria entre ellos. Esto se puede deber, al igual que en el caso del sabor, a que el tiempo y la temperatura de almacenamiento no fueron suficientes para provocar cambios que los panelistas pudieran detectar con facilidad, y por esto no se pudiera decir que alguno de los tratamientos de empaque es mejor en evitar el envejecimiento del café.

Sin embargo, si hubo evidencia estadística (tabulada en el apéndice VII) que demuestra que en el tiempo, las condiciones de almacenamiento del café en los tres casos,

favorecen el desarrollo de aromas y sabores desagradables, que incrementan el gusto a viejo de la bebida, lo que se demuestra en la figura 5.5. en donde se ve que el nivel de envejecimiento es evaluado con valores promedio alrededor de 15 (de muy bajo a bajo) al inicio del estudio, y alcanza valores cercanos a 40 (de bajo a medio), pero nunca llega a valores en donde se pueda describir como alto o muy alto.

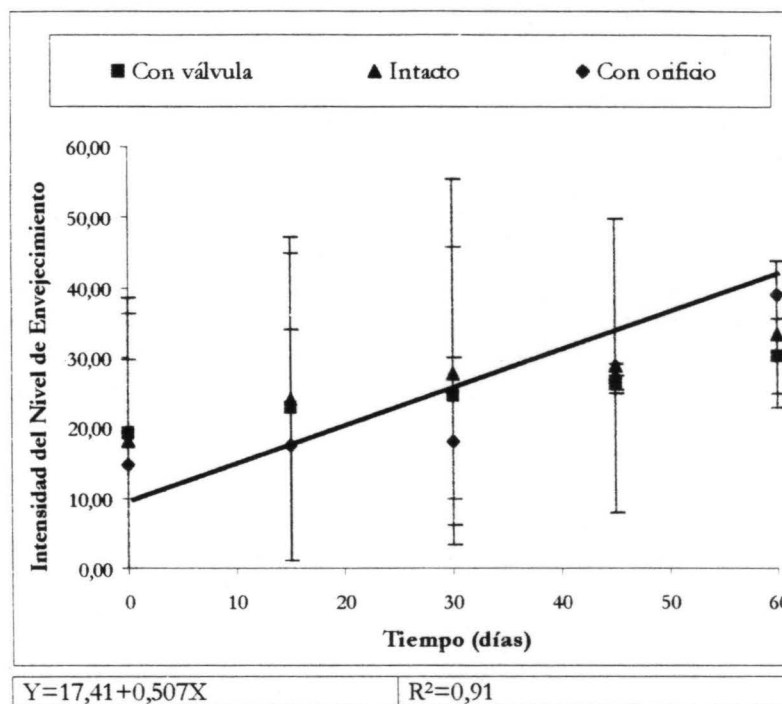


FIGURA 5.5 Intensidad del nivel de envejecimiento del café almacenado a 37°C según tratamiento de empaque.

La pérdida del aroma a fresco, los cambios que experimentó el sabor del café en los dos meses de estudio, y el aumento o desarrollo de la sensación a viejo, son resultados que evidencian el deterioro en la calidad sensorial del café, inducidas entre otros factores por la temperatura de almacenamiento (común para los tres tratamientos), ya que acelera las reacciones de oxidación, y rancidez oxidativa de los compuestos responsables de las características de frescura (Nicoli *et al.*, 1993). El análisis de estas variables (aroma, sabor y nivel de envejecimiento) es muy importante, y debe ser considerado cuando se está evaluando organolépticamente la bebida, ya que su comportamiento en el tiempo, puede reflejar problemas que se originan en las condiciones en las que se está almacenando el café.

5.1.2.4 Intensidad de la acidez sensorial

La intensidad de la acidez de la bebida también fue evaluada, y en este caso tampoco se encontró diferencia significativa entre los tres tratamientos de empaque, por lo que según este resultado, es independiente la condición de empaque para el comportamiento de la variable a través del tiempo. La ecuación que representa los tres tratamientos está dada por $Y=70,0-0,295X$, donde Y representa la variable acidez, y X a la variable tiempo.

A pesar de que la pendiente de la recta sugiere una tendencia a que la acidez sensorial disminuya, al obtener los resultados de la prueba de t no se encontró evidencia estadística que permitiera afirmar que ese cambio sea significativo a través del tiempo. De hecho, en la literatura no se halló información acerca de variaciones en la acidez sensorial con las condiciones de almacenamiento, diferentes a las dadas por la pérdida de ácidos volátiles debido a la exposición del café al oxígeno, humedad o altas temperaturas (Rosa *et al.*, 1990); y en este caso las condiciones de almacenamiento no fueron suficientes para provocar que los cambios que pudiera experimentar el café, fueran detectados por los panelistas.

Por otro lado, la determinación R^2 obtenida es muy pequeña (0,47), lo que indica que el ajuste lineal no explica satisfactoriamente la tendencia que presenta esta característica. Además, la subjetividad del análisis sensorial en este caso y condiciones del mismo afectan los resultados obtenidos.

Cabe resaltar que la evaluación de la acidez sensorial en el café, se debe a que es un parámetro de importancia para determinar si es un café de calidad o no, y no necesariamente porque se esperen variaciones durante el almacenamiento o debidas a las condiciones de empaque utilizado en este estudio.

Por otro lado no se encontró relación acidez titulable acidez sensorial, por lo que valdría la pena profundizar en el estudio de este tipo de variables para validar y dar explicación a los resultados encontrados.

5.1.2.5 Intensidad del cuerpo

El cuerpo en la bebida del café es detectado por el sentido del gusto, y se evalúa con esta característica la sensación de consistencia o abundancia de los principios disueltos en la infusión, y al igual que en el caso de la acidez, su evaluación se debe a que esta característica se asocia, con un café de calidad, pero no necesariamente porque a través del tiempo se esperen cambios en su comportamiento por causa de aspectos relacionados con su almacenamiento. De hecho, al estar el cuerpo del café relacionado con la naturaleza de los sólidos solubles, y las variaciones del cuerpo entre un café y otro, se debe a razones como la forma de extracción de estos (Menchú, 1966).

Al realizar la comparación estadística entre los tres tratamientos de empaque, no se halló diferencia significativa entre ellos, en lo que respecta a esta variable, ya que se obtuvo una probabilidad de $\alpha=0,68$ para el paralelismo y un $\alpha=0,58$ para la coincidencia entre tratamientos. Esto permite afirmar que el uso de la válvula de extracción de gases tiene un efecto idéntico que el usar empaques intactos o con orificio en la intensidad del cuerpo del café.

El comportamiento de los datos promedio reales y la línea de regresión correspondiente se representa en la figura 5.6.

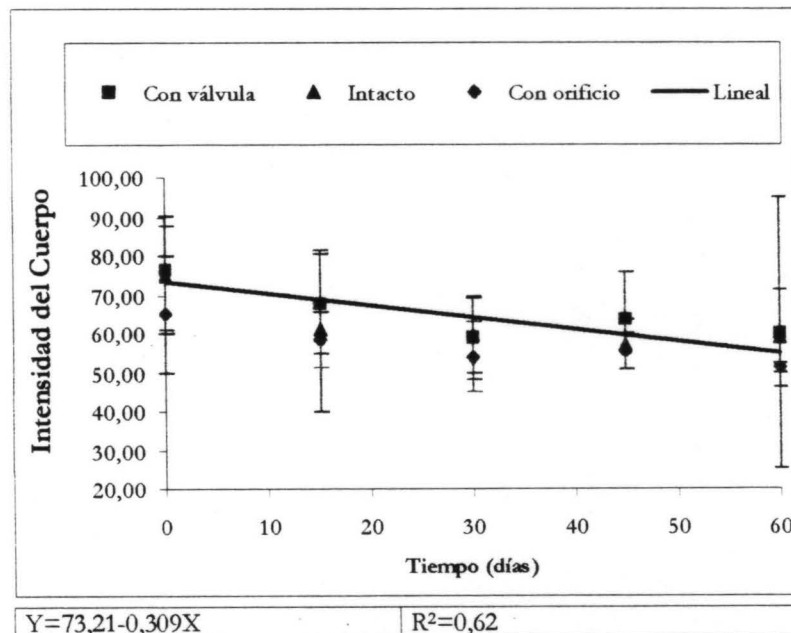


FIGURA 5.6 Intensidad del cuerpo del café almacenado a 37°C según tratamiento de empaque.

La pendiente negativa sugiere una tendencia a la disminución en la intensidad del cuerpo en las muestras evaluadas, desde alta (75) hasta media (50); y se halló evidencia que permita afirmar que este cambio en el cuerpo de la bebida sí es significativo durante los dos meses que duró el estudio, a pesar de que no se llega a calificar con valores inferiores a 50. Estos cambios pueden deberse a que, al realizar la infusión de las muestras, que a través del tiempo han perdido cualidades sensoriales deseables, la impresión total de la calidad de la bebida afecta la calificación de características individuales, en este caso específico, el cuerpo, y no que en realidad los compuestos químicos responsables de esta característica, hayan sufrido cambio alguno durante el almacenamiento.

5.1.3 Evaluación general del empaque

Para elegir un tratamiento de empaque entre los evaluados, como el idóneo para mantener la calidad, se evaluaron los resultados obtenidos en el análisis del aroma, el oxígeno y la humedad. Se obtuvo suficiente evidencia para afirmar que el uso de empaques con orificio afecta la calidad sensorial del café, por lo que esta opción de empaque no es recomendable, a diferencia de los otros dos tratamientos, ya que permite el ingreso de aire, vapor de agua y pérdida de compuestos volátiles, que provocan la alteración de características deseables para el café.

Por otro lado, aunque en muchos casos los resultados fueron iguales, el uso de válvulas en el empaque tiene la ventaja de que evita el abombamiento del mismo, hasta el grado de que puedan estallar, lo cual ocurre en los empaques intactos. Además facilita la liberación de dióxido de carbono que se genera luego del tueste, sin permitir el ingreso de oxígeno ni humedad.

Lo anterior es una de las razones principales para decir que éste empaque es el más adecuado para mantener características sensoriales y químicas de la bebida, así como la apariencia e integridad de la bolsa misma. Se justifica así el costo adicional que puede significar el uso de las válvulas, que alcanza los \$0.02 U.S acompañado del costo de la maquinaria, que es de alrededor de \$15000 U.S.; apesar de que el comportamiento de las variables fue prácticamente igual que para el café empacado intacto. Además, se presenta el beneficio de que, el café una vez tostado, no requiere ser almacenado para su desgasificación, lo cual es una práctica común cuando se utilizan empaques intactos, sino que puede ser empacado inmediatamente, y esto aumenta la eficiencia del proceso.

Con base en las razones expuestas, se seleccionó el empaque con válvula para empacar el café en la etapa siguiente de este trabajo.

5.2 Evaluación del efecto del empaque con inyección de nitrógeno y la temperatura de almacenamiento en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.

En la segunda fase del estudio se evaluó el efecto de la atmósfera modificada dentro del empaque y de la temperatura de almacenamiento sobre la calidad química y sensorial del café. Inicialmente, se determinó en los empaques con nitrógeno, el contenido de oxígeno residual, que resultó ser de un 0% en el interior de las bolsas, mientras que en el interior de los empaques a los que no se les inyectó nitrógeno, se obtuvo un contenido de oxígeno entre un 9 y un 16% al inicio del estudio.

Una evaluación previa de las variancias para los tratamientos con y sin nitrógeno, demostró que existe diferencia significativa entre las variancias correspondientes a estos dos tratamientos, lo que viola el supuesto básico para el análisis de variancias, que indica que los tratamientos deben tener variancias homogéneas. Esta situación, definida como heterosedasticidad de las variancias, impide realizar el análisis de variancia tanto para las variables generadas por el panel de catadores, como para las variables químicas. En el apéndice XI, se presenta un cuadro con las variancias para cada tratamiento y la respectiva prueba de F para todas las variables evaluadas en esta segunda etapa, y que demuestra lo anteriormente expuesto.

5.2.1 Evaluación química

5.2.1.1 Contenido de humedad

Con base a los resultados obtenidos con la comparación estadística de tratamientos ($\alpha=0,15$), no se encontró ninguna ventaja al realizar la inyección de nitrógeno en el empaque cuando se desea evitar el aumento en los niveles de humedad del café. Sin embargo, si el tiempo del estudio fuera mayor, podría ser que el café de los empaques almacenados a las temperaturas más altas, hubieran presentado niveles de humedad mayores, dado que se ha comprobado que la permeabilidad del empaque al vapor de agua aumenta conforme la temperatura de almacenamiento aumenta (Robertson y Dekker, 1993).

En la figura 5.7 se grafican las líneas de regresión correspondientes a la humedad de las muestras empacadas en presencia de nitrógeno a cada temperatura.

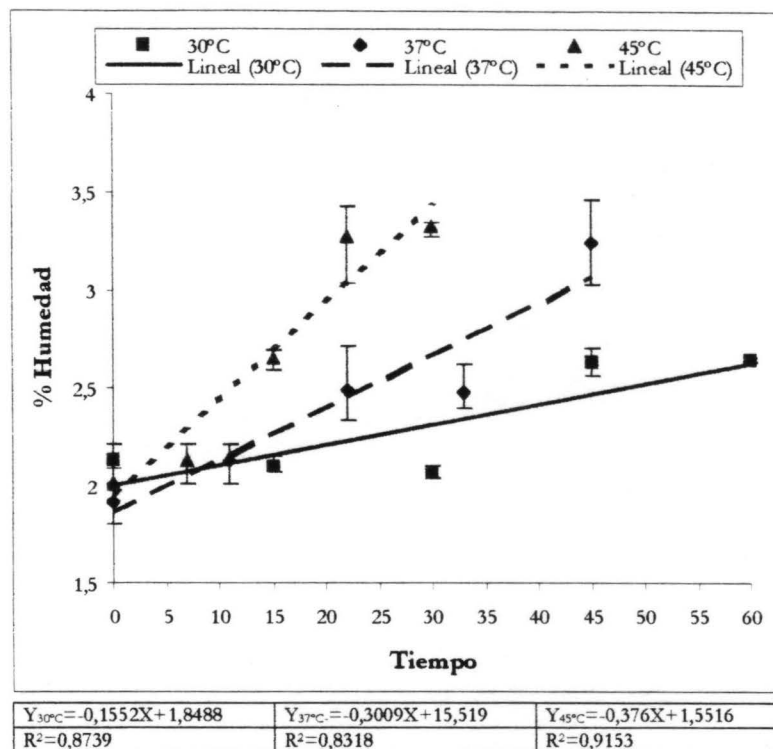


FIGURA 5.7 Contenido de humedad para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas.

En los tres casos se observa una tendencia al aumento en el porcentaje de humedad a través del tiempo, sin llegar a valores que causen el apelmamiento del café (6,6%), u otras reacciones de deterioro; y este cambio resultó ser significativo ($\alpha=0,15$) para las muestras almacenadas a 37° y 45°C, en cuyo caso el comportamiento es esperable por el aumento en la permeabilidad del empaque con la temperatura de almacenamiento (Robertson y Dekker, 1993), lo que significa un riesgo para la conservación de las características de frescura del café, ya que los altos niveles de humedad pueden provocar el deterioro de los compuestos químicos volátiles responsables del sabor y aroma propios de este producto.

5.2.1.2 Acidez titulable (mL NaOH 0,1 N/100 gr. café).

Según los resultados obtenidos experimentalmente y luego del análisis de los mismos, se puede decir que la acidez titulable del café, no se ve beneficiada o perjudicada al modificar el contenido gaseoso en el empaque, como tampoco sufre cambios significativos al variar la

temperatura de almacenamiento. Sin embargo, el cambio experimentado a través del tiempo, resultó ser significativo estadísticamente, ya que se parte de valores alrededor de 13 mL NaOH/100 gr. y se llegan a alcanzar valores cercanos a 20 mL NaOH/100 gr. Cabe destacar aquí el hecho de que en la literatura no se encontró información que establezca valores de acidez titulable que se consideren normales para el café, sin embargo si se encontró que los cambios que se experimentan en el tiempo, se explican por la descomposición del ácido clorogénico, acompañado de la oxidación aldehídica que también genera compuestos ácidos (Rosa *et al.*, 1990).

A manera de ilustración, al graficar el comportamiento para cada uno de los dos tratamientos de empaque (con o sin nitrógeno), a cada temperatura, se observa la similitud entre ellos, lo que confirma el hecho de que no existe diferencia significativa entre los comportamientos a una misma temperatura. Las figuras 5.8, 5.9 y 5.10 presentan dicha situación.

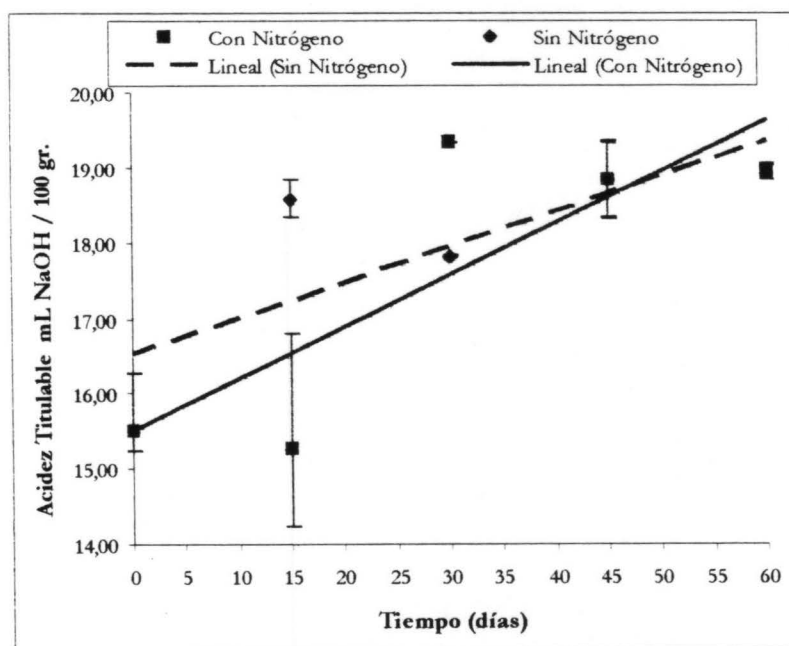


FIGURA 5.8 Acidez titulable para el café almacenado a 30°C según condición de empaque.

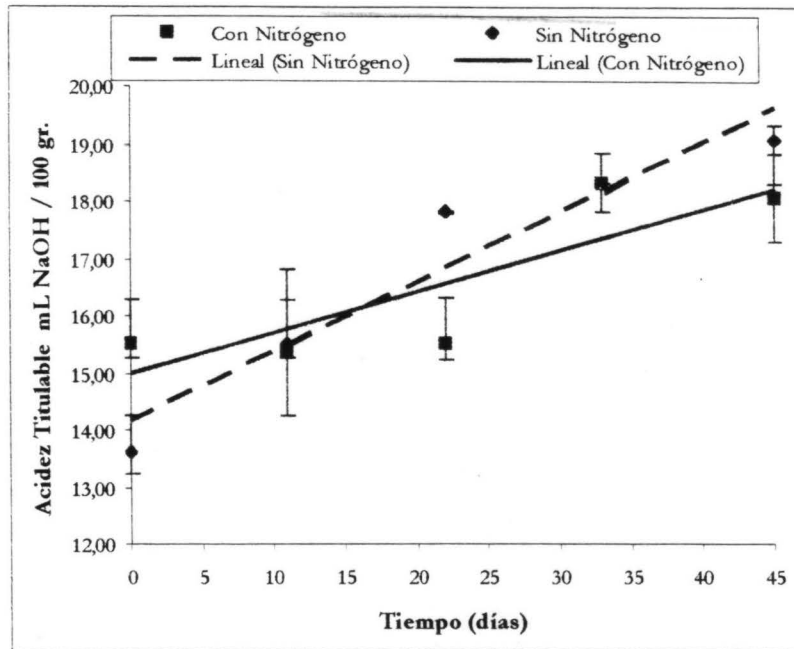


FIGURA 5.9 Acidez titulable del café almacenado a 37°C según condición de empaque.

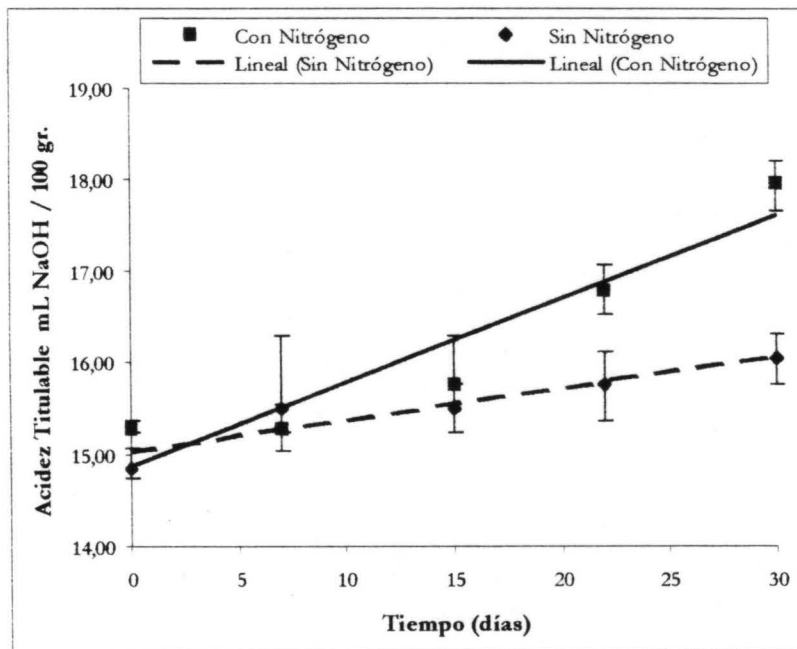


FIGURA 5.10 Acidez titulable del café almacenado a 45°C según condición de empaque.

5.2.1.3. Contenido de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles no sufrió ningún tipo de variación a través del tiempo, como tampoco modificaciones con la temperatura o la condición de empaque. Este resultado permite confirmar que no hay cambio alguno durante el almacenamiento en el contenido de sólidos solubles en el café, y únicamente se han registrado cambios con la forma de extracción de los mismos (Lockhart, 1957), por lo que no es un parámetro recomendable, en este caso, para ser considerado como discriminatorio entre los tratamientos de empaque a que se sometió el café en este estudio.

5.2.2 Evaluación sensorial

5.2.2.1 Calidad del aroma

No se encontró diferencia en la calidad del aroma del café, almacenado a diferentes temperaturas y empacado con nitrógeno. Sin embargo, se halló suficiente evidencia estadística ($\alpha=0,15$) para afirmar que sí existen diferencias al empacar el café sin nitrógeno y almacenarlo a 37 y 45°C. El anterior resultado confirma nuevamente que el aumento en la temperatura de almacenamiento del café, acompañado de la presencia de oxígeno en el empaque puedan provocar el deterioro de características sensoriales deseables en la bebida por la oxidación y pérdida de los compuestos responsables (Brazak, 1981).

En la figura 5.11 y 5.12 se presentan las líneas correspondientes al café con y sin nitrógeno a las tres temperaturas. Para ellas se obtuvieron coeficientes de determinación muy bajos porque es muy probable que en este caso un ajuste lineal no sea el adecuado para explicar las tendencias que se observan.

En ambas figuras se observa una tendencia a la disminución en la calidad del aroma del café desde valores que lo describen como bueno (al inicio del estudio), hasta valores que corresponden a un café con aroma malo. Sin embargo este comportamiento es significativo ($\alpha=0,15$) sólo para el café empacado con nitrógeno y almacenado a 37°C; y para el empacado sin nitrógeno y almacenado a 30°, 37° y 45°C. Esto se explica por las razones anteriormente expuestas, como la elevada temperatura de almacenamiento y la presencia de oxígeno en el empaque, que provocan el deterioro de los compuestos volátiles, lo que resulta en la pérdida de la calidad del café. Nótese la alta variabilidad presentada en el punto cero.

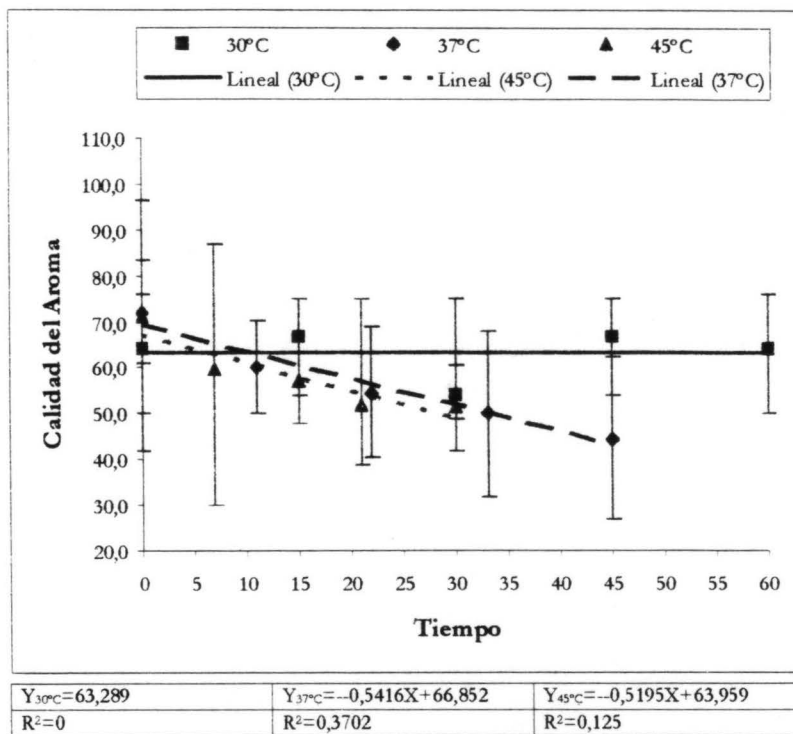


FIGURA 5.11 Calidad del aroma para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas.

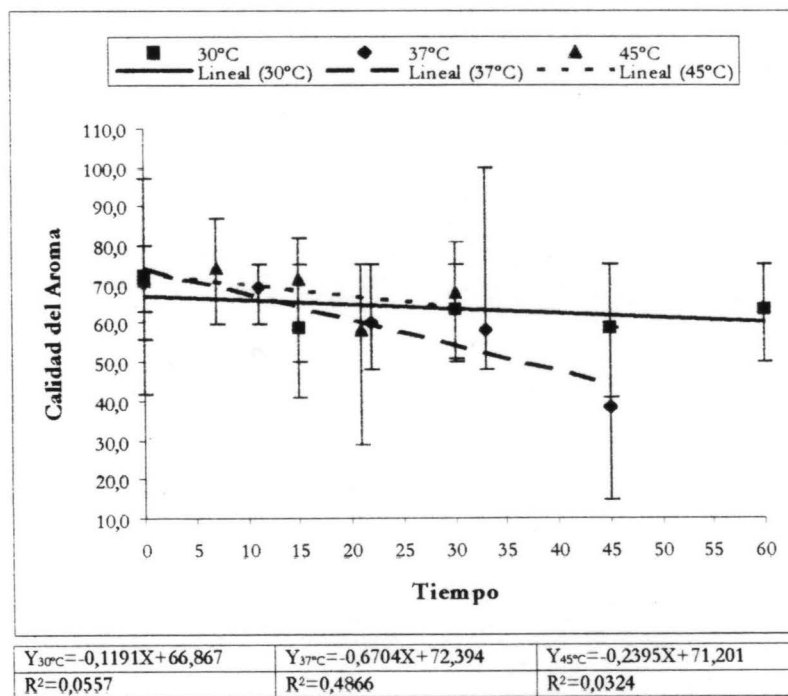


FIGURA 5.12 Calidad del aroma para el café empacado sin nitrógeno a las diferentes temperaturas.

Según los anteriores resultados se puede afirmar que la presencia de nitrógeno en el empaque ayuda a preservar el aroma del café, y que probablemente si el período de estudio hubiese sido mayor, las diferencias entre ambos tratamientos serían más evidentes favoreciendo sin duda alguna a los empaques con nitrógeno en su interior.

5.2.2.2 Calidad del Sabor

Se obtuvo que no hay diferencia significativa ($\alpha=0,15$) para la calidad del sabor cuando al empaque se le inyecta nitrógeno, con respecto al empaque que no lleva este complemento, así como tampoco si el mismo se almacena a temperaturas diferentes. Lo que confirma que los dos meses durante los que se mantuvo almacenado el café, y las condiciones de almacenamiento y empaque no indujeron variaciones en la calidad del sabor, que fueran detectables por los panelistas. Esto señala que según este estudio la utilización de nitrógeno en el empaque no representa ningún beneficio para la conservación del sabor a fresco en el café; sin embargo, si el tiempo de almacenamiento se extiende, es posible que se pueden magnificar las diferencias y comprobar los beneficios que ofrece el empaque con atmósferas modificadas, según se ha reportado ampliamente en la literatura.

En las figuras 5.13 y 5.14 se representa el comportamiento de esta característica.

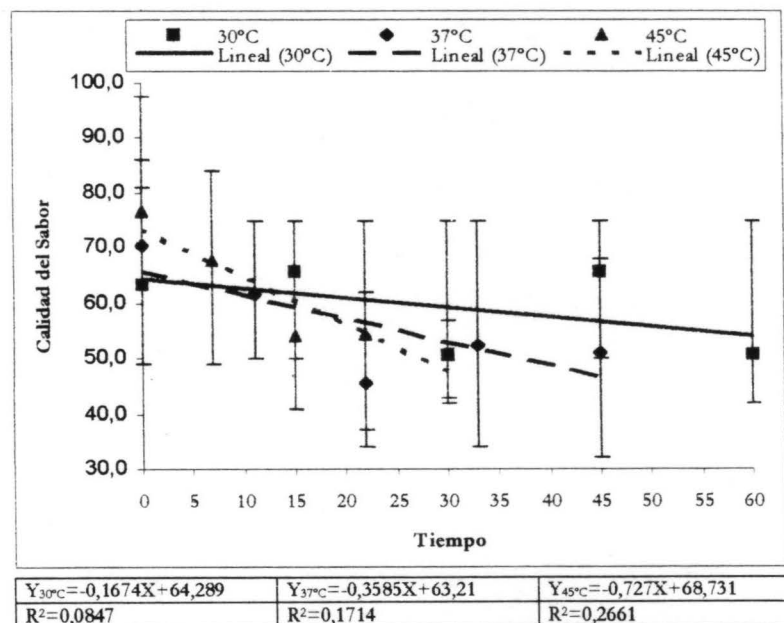


FIGURA 5.13 Calidad del sabor para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas.

La tendencia que se observa en el tiempo es significativa para el café empacado en presencia de nitrógeno a 30° y 37°C, y sin nitrógeno a 37° y 45°C, por lo que nuevamente se puede decir que un aumento en la temperatura de almacenamiento provoca el deterioro de la calidad sensorial del café. Sin embargo, vale la pena resaltar el hecho de que según la escala utilizada los panelistas evaluaron el aroma y el sabor en un rango de regular a bueno durante esta etapa, ya que en la mayoría de los casos está por encima del valor 50, lo que permite afirmar que a lo largo de los dos meses no se llegó a un rechazo marcado del producto. Véase nuevamente la amplia variación que se obtuvo para las muestras evaluadas en el punto cero.

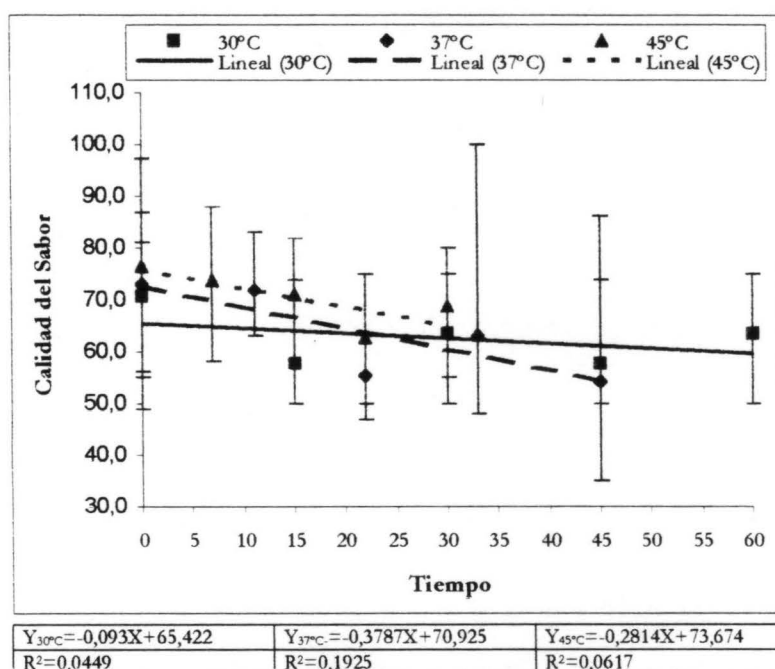


FIGURA 5.14 Calidad del sabor para el café empacado sin nitrógeno a las diferentes temperaturas.

5.2.2.3 Intensidad del nivel de envejecimiento

No se encontró diferencia significativa ($\alpha=0,15$) cuando se empaca el café en una atmósfera modificada con nitrógeno o se almacena a temperaturas elevadas, ni tampoco cuando se mantiene constante la temperatura y se varía la condición de empaque; sin embargo es muy probable que al aumentar el período de estudio, la diferencias entre tratamientos sean evidentes y se confirme de este que la utilización de empaques con atmósferas modificadas aumenta significativamente la vida útil del café (Clarke, 1987), justificándose el costo que este tipo de tecnología lleva consigo.

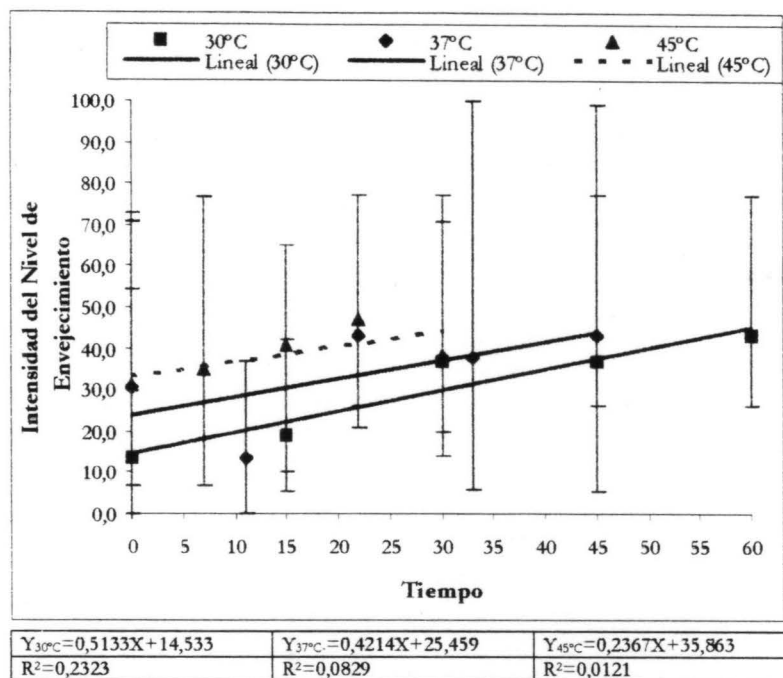


FIGURA 5.15 Intensidad del nivel de envejecimiento para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas.

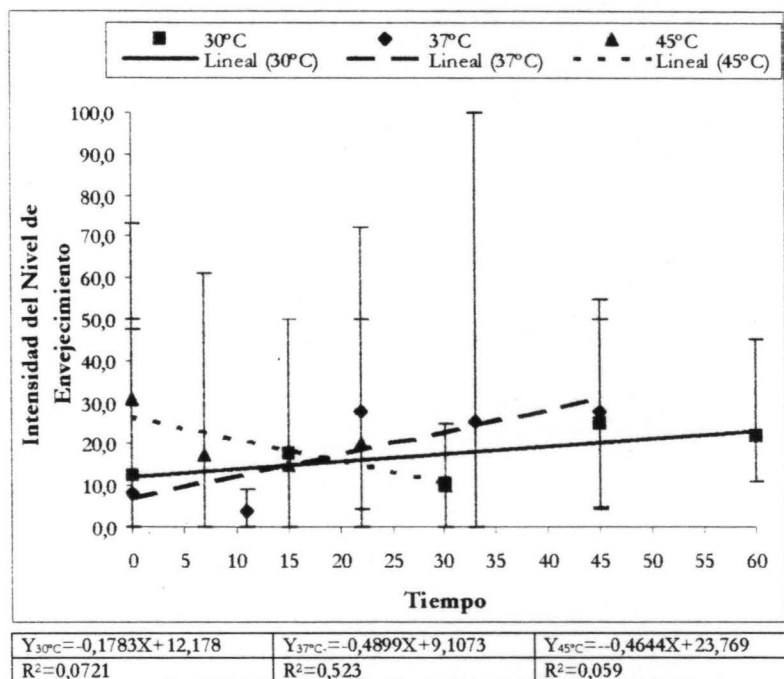


FIGURA 5.16 Intensidad del nivel de envejecimiento para el café empacado sin nitrógeno a las diferentes temperaturas.

En las figuras 5.15 y 5.16 se muestran las líneas de regresión para el nivel de envejecimiento del café empacado con nitrógeno y sin nitrógeno respectivamente. Aquí se observa también la variación en las calificaciones de las muestras en el día cero.

Según la prueba de t se obtuvo que la tendencia al aumento en el tiempo es significativa ($\alpha=0,15$) para las muestras sin nitrógeno almacenadas a 30° y 45°C. Este resultado respalda la afirmación de que un aumento en la temperatura de almacenamiento acelera el desarrollo de “sabores a viejo” hasta que estos sean fácilmente detectados por los panelistas. Sin embargo, cabe resaltar que desde el inicio del estudio, los panelistas evaluaron las muestras con valores entre 10 y 40, de forma que erróneamente afirmaron que el café estaba algo deteriorado cuando en realidad tenía menos de 24 horas de tostado.

5.2.2.4 Intensidad de la acidez sensorial

En ningún caso se observó diferencia significativa en la acidez cuando se mantiene constante el contenido gaseoso en el empaque (sea aire o nitrógeno), y se varía la temperatura de almacenamiento, o cuando se varía el gas en el empaque y se mantiene la temperatura. De acuerdo a este resultado el tiempo y la temperatura de almacenamiento, así como la atmósfera interna del empaque no provocaron cambios en esta característica, por lo que los panelistas tuvieron dificultades para evaluar las muestras con la escala que se les proporcionó, asignándole valores que se pueden observar en la figura 5.17, en donde, por ejemplo, para el tiempo cero los valores están bastante dispersos, sin embargo siempre variaron entre 50 y 75, es decir, entre una acidez media y alta que es esperable para un café de calidad.

Además los coeficientes de determinación son muy pequeños, por lo que es muy probable que un ajuste lineal no sea el adecuado para explicar la tendencia que se observa aquí, la cual de todas formas no es significativa en ninguno de los casos, y esto se explica ya que no son de esperar cambios evidentes en el comportamiento de la acidez sensorial durante el almacenamiento, y su evaluación se hizo por considerarse como una característica de calidad del café (Menchú, 1966).

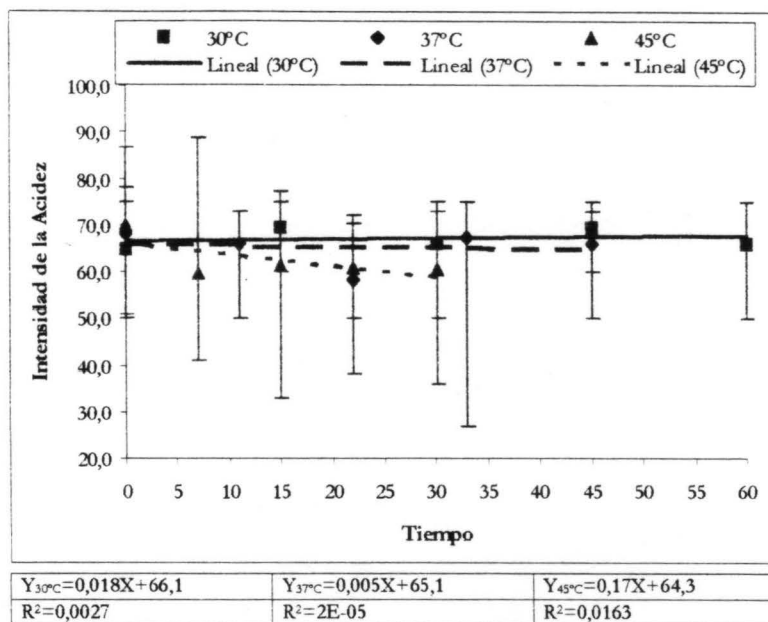


FIGURA 5.17 Acidez sensorial para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas.

5.2.2.5 Intensidad del cuerpo

La intensidad del cuerpo en la bebida de café, es una característica sensorial importante, que no experimentó cambio alguno al utilizar las dos condiciones de empaque distintas, ni tampoco al variar la temperatura de almacenamiento. El hecho de no haber hallado diferencia entre tratamientos, ni entre las temperaturas de almacenamiento, no es extraño, pues en la literatura no se han registrado cambios para esta característica con las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, se observó una disminución significativa en el tiempo, en el caso de las muestras empacadas con nitrógeno y almacenadas a 45°C, cambio que debe responder a la evaluación por parte de los catadores, y la influencia que las otras características sensoriales, puedan tener sobre sus apreciaciones. La figura 5.18 muestra este comportamiento.

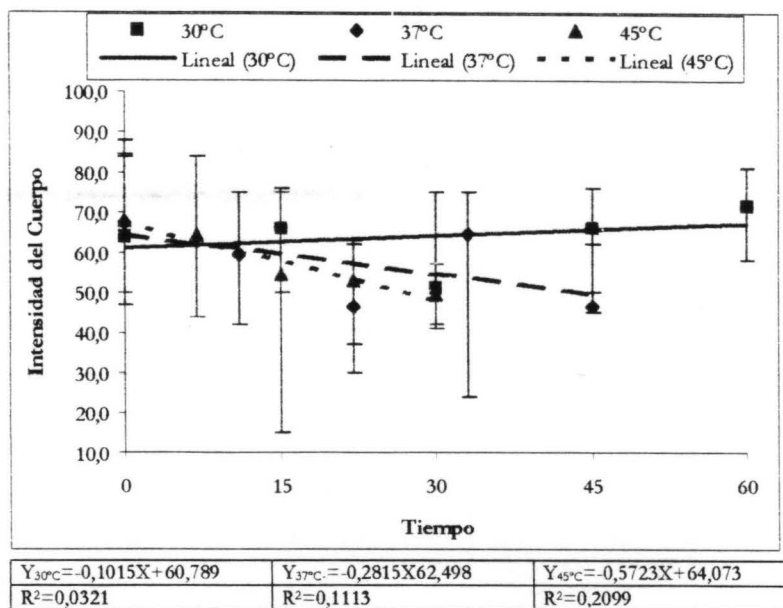


FIGURA 5.18 Intensidad del cuerpo para el café empacado con nitrógeno a las diferentes temperaturas.

5.2.3 Evaluación general del empaque con inyección de nitrógeno

Al realizar los análisis correspondientes para las características sensoriales (aroma, sabor, cuerpo, acidez y nivel de envejecimiento), se halló que a excepción de los resultados obtenidos en la evaluación de la calidad del aroma, para las muestras empacadas sin nitrógeno y almacenadas a 37 y 45°C; en ningún otro caso existe diferencia significativa entre los comportamientos de las características cuando se varía la temperatura de almacenamiento y se utiliza el mismo tipo de empaque.

Además, los resultados obtenidos a partir del análisis realizado a los intervalos de confianza de las pendientes, para cada una de las variables de origen químico, señalan que no existe diferencia significativa entre ellas, al conservar la condición de empaque y cambiar la temperatura de almacenamiento, como tampoco cuando se conserva la temperatura y se varía la condición de empaque, ya sea en presencia o ausencia de nitrógeno. Sin embargo, es muy probable, que si se extiende el tiempo del estudio, se puedan hacer mucho más evidentes las diferencias entre los tratamientos, y las ventajas que representa la utilización de la tecnología de las atmósferas modificadas, como han comprobado autores tales como Cabral y Fernández (1982).

Por otro lado, cabe destacar algunas limitaciones del estudio realizado, que pueden haber influido en mayor o menor grado, en las conclusiones que se obtuvieron. Entre ellos, está el corto tiempo de almacenamiento escogido para llevar a cabo las dos etapas de la investigación, dado que no fue posible durante ese tiempo que se dieran variaciones fácilmente observables en la mayoría de las variables sensoriales, y químicas; por lo que a pesar de que varios autores hayan comprobado los beneficios que ofrece, por ejemplo, la utilización de la tecnología de atmósferas modificadas, que en esta investigación no fue posible confirmar.

Un factor también importante que afectó el estudio, fue el panel utilizado. Se trató de catadores de café con amplia experiencia, y a pesar del intento de lograr la estandarización de criterios y definiciones empleadas, así como la comprensión absoluta de la escala utilizada, no se logró una armonización entre ellos, lo que provocó una gran variabilidad en la mayoría de las respuestas.

Fue casi imposible la coordinación para estandarizar los conceptos de las variables evaluadas y la escala utilizada, pues a pesar de que varias veces se aclaró, cada uno calificó las muestras de forma distinta, ya que no están acostumbrados a utilizar escalas de este tipo, por lo que no se ajustaron a la metodología requerida para la investigación. También la actitud individual, las ocupaciones, la fatiga y la indisposición de cada uno debido a la falta de tiempo y al esfuerzo que requería, afectó los resultados que se obtuvieron, y que se reflejan con el análisis presentado. En el apéndice XII se muestra, a manera de ejemplo, una gráfica en donde se observa la inconsistencia de los jueces que participaron en el estudio, pues en la evaluación de la Intensidad del Nivel de Envejecimiento a 37°C para los empaques con nitrógeno, uno de ellos (el número 1) la califica de forma muy diferente a los otros dos, lo que justifica en parte, los resultados obtenidos en el estudio, y no se pudo descartar a ninguno de ellos, pues además de ser solo tres, las inconsistencias se dieron en algunos casos debido al juez 1, en otras al 2 y otras veces al 3.

Además, se debe mencionar el intento que se llevó a cabo, para capacitar jueces acostumbrados a efectuar análisis sensoriales, pero sin experiencia en la catación de café, sin embargo, luego de un mes de preparación, no fue posible observar un avance en ellos, lo cual indica que se requiere de un proceso de entrenamiento muy intenso.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio permiten derivar las siguientes conclusiones:

1. La válvula de extracción de gases evita el ingreso del oxígeno al interior de los empaques, y de esta forma contribuye a evitar el deterioro de la calidad química y sensorial de café tostado.
2. El uso de empaques con orificio afecta en forma negativa la calidad del aroma, el contenido de oxígeno en el interior de los empaques, y la humedad.
3. La pérdida del aroma a fresco, los cambios que experimentó el sabor del café, y el aumento o desarrollo de la sensación a "viejo", durante los dos meses de estudio, en los empaques con orificio, son cambios que evidencian un deterioro en la calidad sensorial del café, y fueron inducidos por la temperatura de almacenamiento, la presencia de oxígeno y el aumento de humedad en los empaques.
4. Se encontró una correlación entre el contenido de humedad del café y la calidad del aroma en la bebida, así como entre la humedad y la calidad del sabor de la bebida, lo cual confirma que el aumento en el contenido de humedad del café tostado y molido afecta desfavorablemente las anteriores características sensoriales de la bebida.
5. Al no haberse encontrado diferencias significativas entre las condiciones de empaque, para la acidez titulable, y la acidez sensorial, sugiere que ni el tiempo, ni la temperatura de almacenamiento, son condiciones que puedan provocar cambios que sean detectables por medio de los análisis llevados a cabo.

6. Desde el punto de vista sensorial, no se halló evidencia significativa que permitiera decir, que el empaque con nitrógeno favorece la conservación de las características deseables del café, a pesar de que esté ampliamente comprobado el beneficio que este tipo de tecnología ofrecen a la preservación del producto.

7. La calidad del aroma de la bebida se ve afectada negativamente, al almacenar el café a temperaturas elevadas (37 y 45°C), y empacarlo en ausencia de nitrógeno.

8. La alta temperatura de almacenamiento el incremento en los niveles de humedad en el café.

9. El panel de catadores que colaboró en el estudio, presentó serias inconsistencias en la evaluación de las características sensoriales propuestas, y además no logró adaptarse a la hoja de evaluación utilizada y su escala.

10. El aroma, sabor y nivel de envejecimiento son características sensoriales que pueden, con el tiempo, evidenciar fielmente, cambios en las características del café, que reflejen problemas con su empaque y almacenamiento.

11. La humedad del café, y el contenido de oxígeno en el interior de los empaque, son parámetros que pueden reflejar problemas con el empaque del mismo, y provocar el deterioro de sus características.

6.2 Recomendaciones

Sin duda alguna, las experiencias de este estudio han arrojado resultados muy interesantes, y algunos de ellos inquietantes. Esto ha permitido, no sólo establecer algunas conclusiones concretas, sino también abrir nuevas interrogantes en relación al tema planteado. En función a un futuro interés por dar seguimiento a esta investigación, se brindan las siguientes recomendaciones:

1. Realizar el estudio de almacenamiento durante un período de tiempo más largo (mínimo seis meses), con el fin de lograr cambios en el producto, que permitan ser medidos con mayor facilidad y evidencien las ventajas que presentan las nuevas tecnologías, como el empaque el café con atmósferas modificadas.
2. Llevar a cabo un exhaustivo entrenamiento a los catadores, para lograr que los resultados sean congruentes entre ellos, de forma que reflejen la realidad de los cambios y que se logre uniformidad de criterios.
3. Evaluar sensorialmente el café, con jueces específicamente entrenados para el producto, quienes además estén acostumbrados a escalas del tipo de las utilizadas en este estudio.
4. Utilizar escalas más estructuradas para la evaluación sensorial del café, de forma que se simplifique su utilización, por parte de los catadores.
5. Cuantificar durante todo el período experimental, el contenido de oxígeno en los empaques al evaluar la modificación de la atmósfera interna, para comprobar que no hay pérdida de nitrógeno, o el consecuente ingreso de oxígeno.
6. Complementar las evaluaciones subjetivas del aroma, sabor y nivel de envejecimiento, con ensayos físico-químicos como la cuantificación de los compuestos volátiles, por medio de cromatografía de gases, a lo largo del período de almacenamiento, de forma que se puedan corroborar los resultados obtenidos con el panel.

7. Utilizar para la evaluación sensorial del café durante el almacenamiento, las variables que se tenga evidencia de cambios, tales como el aroma, sabor y nivel de envejecimiento.

8. Realizar el análisis de la heteroscedasticidad de variancias entre tratamientos, cuando se lleve a cabo un estudio de vida útil similar a este, para evitar problemas a la hora del análisis e interpretación de los resultados.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ABRAHAM, K. & SHANKARANARAYANA, L. 1987. Volatile flavour compounds in coffee. *Indian Coffee*. 51 (6-7):8-19
- ALLEN, J. & HAMILTON, J. 1994. Rancidity in foods. 3^{era} Edición. Blackie Academic & Professional. UK.
- ANÓNIMO. 1980. More rational coffee packing. Aroma protection valve for flexible pressure pack. *Verpackungs Rundschau*. 31 (4):475-476, & 478.
- ANÓNIMO. 1995. Envases en atmósfera modificada. *Alimentos Procesados* 14(3): 50-54
- ANÓNIMO. 1997. How food technology covered modified-atmosphere packaging over the years. *Food Technology*. 51 (6)
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. 1990. Official methods of analysis. 15 ed. Association of Analytical Chemists Inc, Virginia, USA.
- BALASUBRAMANYAM, N. 1993. Trends in packaging of coffee and coffee products. *Indian Coffee* 57(5): 17-19.
- BALASUBRAMANYAM, N; INDIRAMME, R; RAJASE, T; ABRAHAM, K. & SHANKARANA, M. 1989. Studies on packaging of roasted coffee powder and raw seeds in flexible packages. *Indian Coffee*. 53 (1):5-16
- BELITZ, H. & GROSCH, W. 1985. *Química de los alimentos*. Editorial Acribia. Barcelona.
- BRAZSAK, J. 1981. Factors affecting the quality of roasted coffee. *Edesipar*. 32 (3):79-81
- CABRAL, A. & FERNANDEZ, M. 1982. Embalagem para café torrado e moído. *Boletim do Instituto de tecnologia de Alimentos*. 19 (1): 1-19
- CLARKE, R., ed. 1987. *Coffee chemistry*.
- CLEVES, R. 1995. *Tecnología en beneficiado de café*. Tecnicafé Internacional, San José.
- DANTAS, A. & COSTA, M. 1982. Embalagem para café torrado e moído. *Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos* 19(1): 1-15.
- FESSENDEN, R. & FESSENDEN, J. 1982. *Química Orgánica*. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F.

- GOPALAKRISHNA, N. & NATARAJAN, C. 1974. Some aspects of packaging of coffee. *Indian Coffee* 38 (1): 54-55.
- HAEVECKER, U. 1979. Influence of packaging upon sensory quality of roasted coffee under different storage conditions. *Chemie-Mikrobiologie-Technologie del Lebensmittel*. 6 (2) 33-35
- HOLCHER, W; VITZTHUM, O; STEINHART, H. 1990. Identificación and sensorial evaluation od aroma impact compounds in roasted colombian coffee. *Café, Cacao, Thé*. 34(3): 56-62
- HUG, M. 1990. El control de la calidad del café exportado mediante la degustación. *Forum de comercio internacional*. 14 (26):4-7
- ICAITTI. 1975. Determinación de las características de la taza
- INSTITUTO DEL CAFÉ. 1997. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica. ICAFE, San José.
- INTERNATIONAL TRADE CENTRE UNCTAD/GATT. 1993. Export packaging note N° 38. London.
- ILLY, E. 1980. Factores que afectan a la calidad de la taza de café en las diversas fases del proceso agrícola e industrial: Organización internacional del café, Londres.
- JANICEK, G & POKORNY, J. 1970. Changes in coffee lipids during storage of coffee beans. *Zeitschrift fuer Lebensmitteluntersuchung und Forschung*. 144 (3):189-191
- JENKINS, W. & HARRINGTON, J. 1991. Packaging foods with plastics. Technomic Publishing, USA.
- KALLIO, H. LEINO, M., KOULLIAS, K., KALLIO, S. & KAITARANTA, J. 1990. Headspace of roasted ground coffee as an indicator of storage time. *Food Chemistry* 36(1): 135-148.
- KLEINBAUM, D.G., & L.L. KUPPER. 1978. Applied regression analysis and other multivariable methods. Duxbury Press. North Scituate, Massachusetts. 556 p.
- KRAYER, B. 1983. Flavour protection valve used for coffee packs. *Verpackungs Rundschau*. 34 (5): 471-473
- LEE, S. 1971. Oil and coffee beverage. *Tea and Coffee Trade Journal*. 141 (1): 14 & 24-25
- LOCKHART, E. 1957. Soluble solids in beverage coffee as index to cup quality. *Coffee and Tea Industries and The Flavour Field*. 80 (7):16-19

- MACHADO, R; ANGELUCCI, E; SHIROSE, I. & MEDINA, J. 1974. Determinação de sólidos solúveis em cafés Arabica e Canephora. Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos. 5: 199-221
- MEISTER, U. & PUHLMANN, R. 1989. Degassing behavior of roasted coffee. *Lebensmittelindustrie*. 36 (4): 155-158
- MENCHÚ, J. 1966. La determinación de la calidad del café. Asociación Nacional del Café, Guatemala.
- MORI, E., FERREIRA, V., GUEDES, L., ARDITO, E., YOTSUYANAGI, K. & SOLER., R. 1985. Vida de prateleira do café torrado e moido embalado a vacuo. *Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos* 22(1): 67-89.
- NICOLI, M; INOCENTE, N; PITTIA, P. & LERICI, C. 1993. Staling of roasted coffee: volatile release and oxidation reactions during storage. *Association Scientifique Internationale du Café*.
- OLIVIERA, P. 1986. Soluble coffee: quality control and development. *Tea and Coffee Trade Journal*. 158 (1):82-83
- RADTKE, G. & PIRINGER, O. 1981. Problems of quality evaluation of roasted coffee by quantitative trace analysis of volatile aroma compounds. *Deutsche Lebensmittel Rundschau*. 77 (6): 203-210
- ROBERTSON, G. & DEKKER, M. 1993. *Food packaging: principles and practice*. Technomic Publishing, USA.
- ROSA, M; BARBANT, D. & LERICI, C. 1990. Changes in coffee acidity brews in relation to storage temperature. *Journal of Food Science of Food Agriculture*. 50 (2):227-235
- SIVETZ, M. 1963. *Coffee processing technology*. The Avi Publishing Company, Inc. USA.
- SIVETZ, M. 1971. Many variables can influence acidity. *Tea and Coffee Journal*. 141(1):12-26.
- STEINHART, H. & HOLSHER, W. 1992. Storage related changes of low boiling volatiles in whole coffee beans. *Association Scientifique Internationale du café*.
- THOMAS, J. 1994. Packaging industries focuses on adding value for the customer. *World Coffee and Tea*. 35 (8):21-41

APÉNDICE I

Hoja de evaluación sensorial del café tostado y molido empacado en atmósferas modificadas.

Nombre del catador: _____.

Fecha: _____.

Muestra: _____.

Indicaciones:

Por favor, proceda a realizar **la degustación individual** de las muestras de café que se le presentan a continuación, empezando siempre de **izquierda a derecha**, y siguiendo el procedimiento acostumbrado. Una vez probada la muestra califique según su criterio cada característica sensorial abajo indicada, marcando con una línea vertical y el número correspondiente de la muestra sobre la línea horizontal.

Evalúe por su **grado de calidad** las siguientes características:

AROMA _____
Muy Malo Malo Regular Bueno Muy Bueno

SABOR _____
Muy Malo Malo Regular Bueno Muy Bueno

Evalúe por **la intensidad percibida** las siguientes características:

CUERPO _____
Muy Bajo Bajo Medio Alto Muy Alto

ACIDEZ _____
Muy Baja Baja Media Alta Muy Alta

NIVEL DE ENVEJECIMIENTO

Muy Baja Baja Media Alta Muy Alta

APÉNDICE II

Procedimiento de F's Parciales para el análisis estadístico de los datos

La prueba parcial de F:

El procedimiento para realizar pruebas parciales de F se fundamenta en el análisis de regresión, para el cual se inicia con un modelo ampliado por la adición de una variable sustituta Z que es la que permite la construcción de las hipótesis necesarias.

El modelo de regresión corriente es de la forma:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X$$

donde β_0 es el intercepto y β_1 es la pendiente

En una prueba sencilla se comparan dos comportamientos o líneas de regresión, por eso en estos casos la variable sustituta Z toma dos valores 0 y 1.

$$Z = \begin{cases} 0 & \text{si comportamiento 1} \\ 1 & \text{si comportamiento 2} \end{cases}$$

El modelo de regresión ampliado con la inclusión de la variable sustituta quedaría de la forma:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 Z + \beta_3 XZ$$

De tal manera que, si Z tiene un valor de 0 el modelo de regresión quedaría:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1 X \quad (\text{ecuación para el comportamiento 1})$$

y si Z tiene un valor de 1, el modelo de regresión resultante sería:

$$\hat{Y} = (\beta_0 + \beta_2) + (\beta_1 + \beta_3) X \quad (\text{ecuación para el comportamiento 2})$$

Del modelo anterior es sencillo deducir las siguientes hipótesis:

- 1) Ambos comportamientos son paralelos si $H_0 : \beta_3 = 0$
- 2) Ambos comportamientos son coincidentes si..... $H_0 : \beta_2 = \beta_3 = 0$

La manera de probar estas hipótesis es por medio del análisis de regresión; primero que nada se realiza un análisis para el modelo completo ampliado con la variable sustituta, de este análisis se obtiene una suma de cuadrados para el modelo completo (SCmc). Luego se vuelve a hacer el análisis de regresión pero eliminando el último término (la interacción XZ) y se obtiene una suma de cuadrados para el modelo recortado en un término (SCmr1); la diferencia entre la SCmc y la SCmr1, se puede considerar como el aporte de la interacción XZ y evalúa el término β_3 ; si la diferencia entre esas sumas de cuadrados es significativa, la presencia de β_3 en el modelo sería significativa y se tendría que rechazar la hipótesis nula que se definió para el paralelismo entre comportamientos.

El modelo se puede seguir recortando y calculando los aportes individuales de cada uno de los términos del modelo de regresión ampliado, y de esa forma, evaluar los aportes de cada uno de los coeficientes β . Esa es la razón por la que se le denomina a esta técnica prueba de F's parciales, por los diferentes análisis de regresión que se deben realizar. Básicamente, este es el procedimiento de la prueba; para mayor información sobre el procedimiento, referirse a Kleinbaun & Kupper, 1978.

La tecnología de las hojas electrónicas como la de EXCEL facilita al máximo este procedimiento, por lo que cada vez su utilización es más corriente.

APÉNDICE III

Evaluación de la eficiencia de la válvula

en la extracción de gases del empaque y su efecto en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.

CUADRO A3.1 Datos promedio obtenidos durante la evaluación de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque.

Condición de Empaque	Tiempo (días)	Aroma	Acidez	Cuerpo	Sabor	Nivel de Envejecimiento	Humedad (%)	Sólidos Solubles (%)	Oxígeno (%)	Acidez titulable mL NaOH 0.1N/100 g.
<i>Con válvula</i>	0	82.11	76.22	76.17	75.17	19.28	1.808	2.74	15.12	13.27
	15	72.00	59.00	67.78	64.78	23.00	2.158	2.94	7.98	16.00
	30	63.00	57.11	59.00	66.78	24.67	2.650	3.12	11.72	16.19
	45	74.22	64.78	63.50	57.85	26.56	2.620	3.15	9.38	15.68
	60	68.72	67.61	59.94	56.72	30.33	2.812	3.26	12.60	16.60
<i>Intacto</i>	0	81.11	73.00	75.06	75.28	18.17	1.732	2.90	12.53	13.41
	15	59.00	55.94	60.78	67.39	24.11	2.208	2.84	10.40	15.76
	30	67.72	61.28	59.56	61.50	27.67	2.504	3.16	12.95	15.83
	45	64.50	58.22	57.17	58.33	28.89	2.604	3.13	13.32	17.60
	60	61.56	61.50	58.72	51.00	33.44	2.842	3.27	13.64	16.01
<i>Con Orificio</i>	0	81,11	73.22	65.06	70.72	14.83	2.236	3.23	20.90	14.86
	15	73,61	69.50	58.50	71.11	17.52	2.983	3.23	20.90	16.00
	30	71,56	63.06	53.94	61.44	18.17	3.368	3.16	20.90	13.51
	45	58,44	60.00	55.56	54.39	27.06	3.407	2.89	20.90	14.66
	60	51,11	65.11	51.17	45.78	38.94	3.500	3.02	20.90	15.75

CUADRO A3.2 Datos originales obtenidos durante la evaluación sensorial de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque.

Tratamiento	Tiempo	Juez	Réplica	Aroma	Sabor	Cuerpo	Acidez	Nivel Envejecimiento
1	1	1	1	74.5	74.0	76.0	76.0	50.5
1	1	1	2	73.0	68.0	70.0	61.0	65.0
1	1	1	3	73.0	58.0	61.0	68.0	51.0
1	1	2	1	89.0	90.5	87.5	94.5	2.5
1	1	2	2	73.5	87.0	85.0	78.0	2.5
1	1	2	3	80.5	79.0	86.0	86.0	2.0
1	1	3	1	90.0	73.5	77.0	76.5	0.0
1	1	3	2	87.5	73.5	71.5	68.0	0.0
1	1	3	3	98.0	73.0	71.5	78.0	0.0
1	2	1	1	78.0	68.0	60.5	66.5	35.5
1	2	1	2	73.0	80.0	80.0	68.0	25.5
1	2	1	3	73.0	74.0	75.5	55.5	25.0
1	2	2	1	58.0	62.0	72.0	42.0	75.0
1	2	2	2	72.0	77.0	82.5	54.5	6.5
1	2	2	3	66.5	55.5	66.0	43.0	70.5
1	2	3	1	46.0	57.0	58.5	56.5	1.0
1	2	3	2	50.0	54.5	60.0	58.0	1.0
1	2	3	3	50.5	55.0	55.0	61.0	3.0
1	3	1	1	73.0	74.0	50.0	51.0	40.0
1	3	1	2	72.0	73.5	57.0	52.0	26.0
1	3	1	3	72.0	72.0	49.5	50.0	26.0
1	3	2	1	79.0	63.0	51.0	48.0	50.5
1	3	2	2	83.5	49.0	48.0	67.5	82.0
1	3	2	3	74.0	59.0	51.5	49.0	75.0
1	3	3	1	66.5	70.5	76.0	63.0	5.0
1	3	3	2	66.5	72.0	73.5	65.0	4.0
1	3	3	3	61.5	72.0	74.5	68.5	3.5
1	4	1	1	74.0	48.0	51.0	47.0	68.5
1	4	1	2	70.5	48.5	51.0	54.0	51.0
1	4	1	3	71.0	49.0	51.0	55.0	55.5
1	4	2	1	71.0	79.0	84.5	67.0	77.0
1	4	2	2	73.5	80.5	88.5	88.5	29.0
1	4	2	3	75.5	79.5	81.0	82.0	27.5
1	4	3	1	45.5	78.5	57.0	67.5	31.0
1	4	3	2	48.5	74.0	68.0	62.0	42.0
1	4	3	3	48.5	64.0	66.5	59.0	46.5
1	5	1	1	67.5	53.0	25.0	25.5	25.0
1	5	1	2	70.5	47.5	37.0	25.0	25.5
1	5	1	3	75.0	39.0	45.0	41.0	33.5
1	5	2	1	62.0	41.5	60.5	70.0	57.0
1	5	2	2	58.5	34.0	59.5	66.0	69.0
1	5	2	3	62.0	32.0	60.0	69.0	70.0
1	5	3	1	40.0	53.0	55.0	44.0	45.0
1	5	3	2	45.0	55.0	57.0	45.0	40.0
1	5	3	3	48.0	47.5	50.5	43.0	61.0

2	1	1	1	74.5	74.0	76.0	76.0	50.5
2	1	1	2	73.0	68.0	60.0	51.0	55.0
2	1	1	3	74.0	59.0	61.0	51.0	51.0
2	1	2	1	89.0	90.5	87.5	94.5	2.5
2	1	2	2	73.5	87.0	85.0	78.0	2.5
2	1	2	3	80.5	79.0	86.0	86.0	2.0
2	1	3	1	90.0	73.5	77.0	76.5	0.0
2	1	3	2	77.5	73.5	71.5	68.0	0.0
2	1	3	3	98.0	73.0	71.5	76.0	0.0
2	2	1	1	58.0	78.5	57.0	57.0	21.0
2	2	1	2	78.5	78.5	76.0	76.0	25.0
2	2	1	3	73.0	74.0	76.0	76.0	25.0
2	2	2	1	52.0	74.0	70.0	58.0	73.5
2	2	2	2	49.0	74.0	69.0	45.5	74.0
2	2	2	3	70.0	62.5	55.0	42.0	77.0
2	2	3	1	58.5	61.5	59.0	57.5	1.0
2	2	3	2	45.5	52.5	40.0	38.5	2.0
2	2	3	3	46.5	51.0	45.0	53.0	8.5
2	3	1	1	73.0	72.5	51.0	51.0	50.0
2	3	1	2	73.0	73.5	50.0	51.0	44.5
2	3	1	3	73.0	73.0	67.0	57.0	56.0
2	3	2	1	73.0	42.0	51.0	72.0	0.0
2	3	2	2	55.0	51.0	51.0	58.5	0.0
2	3	2	3	75.0	32.0	51.0	61.0	0.0
2	3	3	1	66.0	72.5	75.0	64.5	3.5
2	3	3	2	66.5	74.0	76.0	72.5	2.5
2	3	3	3	55.0	63.0	64.0	64.0	2.5
2	4	1	1	70.0	48.5	51.0	51.0	63.0
2	4	1	2	63.0	48.5	51.0	50.5	76.5
2	4	1	3	58.0	49.0	51.0	51.0	51.0
2	4	2	1	81.0	80.0	86.5	86.0	28.0
2	4	2	2	81.0	81.0	81.0	81.0	27.0
2	4	2	3	75.0	78.0	80.0	80.0	20.5
2	4	3	1	51.0	64.0	63.0	59.5	8.0
2	4	3	2	46.0	61.0	69.0	59.0	15.0
2	4	3	3	55.5	69.0	72.0	51.0	25.0
2	5	1	1	73.5	61.0	65.5	50.0	62.0
2	5	1	2	73.5	73.5	76.0	66.0	66.0
2	5	1	3	73.0	73.0	61.0	50.0	60.0
2	5	2	1	68.0	40.5	65.0	59.5	44.0
2	5	2	2	75.0	49.5	59.0	59.0	51.0
2	5	2	3	58.0	53.5	46.0	67.0	51.5
2	5	3	1	48.0	59.0	51.0	50.5	51.0
2	5	3	2	55.0	48.0	50.0	43.5	48.5
2	5	3	3	48.0	55.0	55.0	45.0	65.0
3	1	1	1	74.5	74.0	76.0	76.0	50.5
3	1	1	2	73.0	48.0	50.0	51.0	25.0
3	1	1	3	74.0	48.0	51.0	51.0	51.0
3	1	2	1	89.0	90.5	87.5	94.5	2.5
3	1	2	2	73.5	77.0	85.0	78.0	2.5
3	1	2	3	80.5	79.0	86.0	86.0	2.0

3	1	3	1	90.0	73.5	77.0	76.5	0.0
3	1	3	2	77.5	73.5	71.5	68.0	0.0
3	1	3	3	98.0	73.0	71.5	78.0	0.0
3	2	1	1	78.0	72.5	73.5	57.0	5.0
3	2	1	2	68.5	73.5	73.5	76.0	4.0
3	2	1	3	70.5	73.0	73.0	76.0	3.5
3	2	2	1	60.0	48.5	80.0	70.0	1.0
3	2	2	2	78.0	78.5	74.5	66.0	2.0
3	2	2	3	68.5	74.0	65.5	69.0	8.5
3	2	3	1	80.0	80.0	76.0	65.5	4.0
3	2	3	2	88.5	74.5	76.0	76.0	4.5
3	2	3	3	70.5	65.5	69.0	70.0	5.0
3	3	1	1	73.0	72.5	86.5	50.5	31.0
3	3	1	2	73.0	74.0	81.0	82.0	6.2
3	3	1	3	73.0	63.0	80.0	75.0	16.5
3	3	2	1	73.0	74.0	63.0	57.0	8.0
3	3	2	2	55.0	74.0	69.0	76.0	15.0
3	3	2	3	75.0	52.5	72.0	76.0	25.0
3	3	3	1	74.0	78.0	79.0	73.0	17.5
5	3	3	2	74.0	79.0	79.0	72.0	18.5
3	3	3	3	74.0	76.0	76.0	69.0	20.0
3	4	1	1	70.0	66.0	65.5	59.5	45.0
3	4	1	2	63.0	66.5	76.0	59.0	40.0
3	4	1	3	48.0	55.0	51.0	67.0	31.0
3	4	2	1	52.0	48.0	70.0	59.5	51.0
3	4	2	2	49.0	75.0	69.0	59.0	25.5
3	4	2	3	70.0	58.0	55.0	51.0	25.0
3	4	3	1	60.0	69.0	73.0	72.5	38.0
3	4	3	2	60.0	60.0	62.0	61.5	39.0
3	4	3	3	54.0	55.0	56.0	51.0	39.0
3	5	1	1	51.0	61.5	51.0	56.5	57.0
3	5	1	2	56.0	52.5	50.0	58.0	39.0
3	5	1	3	45.5	51.0	55.0	31.0	70.0
3	5	2	1	58.5	59.0	76.0	58.0	59.5
3	5	2	2	45.5	48.0	50.0	45.5	44.0
3	5	2	3	46.5	55.0	51.0	42.0	51.0
3	5	3	1	49.5	54.0	51.0	51.0	49.0
3	5	3	2	53.5	55.0	55.0	55.0	50.5
3	5	3	3	54.0	48.0	51.0	45.0	65.5

Tratamiento 1 (Empaque con válvula)

Tratamiento 2 (Empaques intactos)

Tratamiento 3 (Empaques con orificio)

CUADRO A3.3 Datos originales obtenidos durante la evaluación química de la eficiencia de la válvula en la extracción de gases del empaque.

Tratamiento	Tiempo	Réplica	% Humedad	%Sólidos Sol.	% Acidez Titulable
1	1	1	1.81	2.85	13.57
1	1	2	1.73	2.61	13.10
1	1	3	1.88	2.75	13.14
1	1	4	1.81	2.74	13.27
1	2	1	2.13	2.93	16.24
1	2	2	2.23	2.99	15.28
1	2	3	2.12	2.92	16.23
1	2	4	2.16	2.93	16.24
1	3	1	2.73	3.09	14.54
1	3	2	2.64	3.17	14.06
1	3	3	2.83	3.18	14.06
1	3	4	2.40	3.06	14.11
1	4	1	2.98	3.17	18.42
1	4	2	2.81	3.12	18.18
1	4	3	2.68	3.17	18.18
1	4	4	2.82	3.15	17.94
1	5	1	2.58	3.21	16.00
1	5	2	2.55	3.52	16.97
1	5	3	2.51	3.19	16.48
1	5	4	2.48	3.14	16.97
2	1	1	1.68	2.89	14.54
2	1	2	1.78	2.85	12.63
2	1	3	1.74	2.96	13.08
2	1	4	1.73	2.90	13.41
2	2	1	2.25	2.88	15.28
2	2	2	2.07	2.93	16.00
2	2	3	2.30	2.64	15.75
2	2	4	2.21	2.93	16.00
2	3	1	2.23	3.16	13.57
2	3	2	3.03	3.17	13.62
2	3	3	2.85	3.16	14.06
2	3	4	2.70	3.13	14.06
2	4	1	2.83	3.14	18.18
2	4	2	2.80	3.10	18.42
2	4	3	2.73	3.15	18.42
2	4	4	2.89	3.13	17.94
2	5	1	2.61	3.24	14.06
2	5	2	2.27	3.30	16.96
2	5	3	2.42	3.31	16.97
2	5	4	2.51	3.25	16.05
3	1	1	2.13	3.15	15.03
3	1	2	2.36	3.27	15.02

3	1	3	2.22	3.27	14.54
3	1	4	2.24	3.23	14.86
3	2	1	2.78	3.23	15.99
3	2	2	3.55	3.25	15.99
3	2	3	2.96	3.20	16.00
3	2	4	4.33	3.24	16.01
3	3	1	3.20	3.17	12.11
3	3	2	3.48	3.21	10.18
3	3	3	3.49	3.15	12.12
3	3	4	3.30	3.11	11.63
3	4	1	2.90	2.96	15.02
3	4	2	2.88	2.87	13.57
3	4	3	2.99	2.79	15.04
3	4	4	3.16	2.93	15.02
3	5	1	3.47	3.12	15.51
3	5	2	3.66	3.21	15.51
3	5	3	3.41	3.21	15.98
3	5	4	3.47	3.13	16.00

Tratamiento 1 (Empaque con válvula)

Tratamiento 2 (Empaques intactos)

Tratamiento 3 (Empaques con orificio)

APÉNDICE IV

*Evaluación el efecto del empaque con inyección de nitrógeno y
la temperatura de almacenamiento*

en la calidad química y sensorial del café tostado y molido durante el almacenamiento.

CUADRO A4.1 Datos promedio obtenidos durante la evaluación del empaque con inyección de nitrógeno.

Condición de Empaque	Temperatura de Almacenamiento	Tiempo (días)	Aroma	Acidez	Cuerpo	Sabor	Nivel de Envejecimiento	Humedad (%)	Sólidos Solubles (%)	Acidez titulable mL NaOH 0,1N/100 g.
<i>Con nitrógeno</i>	30°C	0	64,3	64,7	64,1	63,4	13,8	2,13	0,85	15,51
		15	66,8	69,4	66,1	65,6	18,8	2,10	3,16	15,26
		30	54,1	66,1	51,2	50,9	37,0	2,07	3,28	19,34
		45	66,8	69,4	66,1	65,6	36,9	2,63	0,85	18,83
		60	64,3	66,1	71,7	50,9	43,2	2,64	0,86	18,91
<i>Sin nitrógeno</i>	30°C	0	72,3	68,3	64,3	70,7	12,3	2,13	0,27	15,51
		15	58,7	64,5	57,9	57,6	17,8	2,15	3,33	18,58
		30	63,8	66,7	61,4	63,4	10,4	2,23	3,32	17,82
		45	58,7	64,5	57,9	57,6	24,8	2,67	0,23	18,85
		60	63,8	66,7	61,4	63,4	22,2	2,66	0,24	18,93
<i>Con nitrógeno</i>	37°C	0	72,2	68,2	67,5	70,6	30,6	1,92	2,98	15,51
		11	60,2	65,9	59,6	61,6	13,4	2,13	3,35	15,39
		22	54,7	58,3	46,7	45,7	43,2	2,49	3,28	15,52
		33	50,0	67,3	64,4	52,4	37,7	2,48	3,34	18,32
		45	44,7	65,9	46,7	51,0	43,2	3,25	3,30	18,08
<i>Sin nitrógeno</i>	37°C	0	70,2	71,8	71,0	73,1	8,4	2,04	2,98	13,62
		11	69,6	69,7	71,3	71,9	3,9	2,07	3,31	15,51
		22	60,3	62,7	53,8	55,6	27,7	2,13	3,29	17,81
		33	58,2	69,6	62,7	63,2	25,3	2,29	3,30	18,33
		45	38,7	69,7	53,8	54,1	27,7	2,57	3,31	19,08
<i>Con nitrógeno</i>	45°C	0	71,06	69,9	67,9	76,4	30,9	2,02	2,98	15,29
		7	59,61	59,5	64,3	67,8	35,0	2,13	3,14	15,29
		15	57,17	61,3	54,5	54,3	40,8	2,65	3,34	15,77
		22	51,83	61,0	52,8	54,4	47,1	3,27	3,20	16,78
		30	51,56	60,3	49,3	50,7	38,5	3,33	3,19	17,95
<i>Sin nitrógeno</i>	45°C	0	71,06	69,9	67,9	76,4	30,9	2,08	2,98	14,84
		7	74,33	69,9	72,0	73,9	17,3	2,13	3,12	15,51
		15	71,39	73,1	69,6	71,3	15,1	2,71	3,38	15,51
		22	58,11	64,8	59,4	62,6	20,0	2,63	3,28	15,75
		30	67,94	70,1	69,2	68,7	10,0	2,68	3,26	16,03

CUADRO A4.2 Datos originales obtenidos durante la evaluación sensorial del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 30°C.

Tratamiento	Tiempo	Juez	Réplica	Aroma	Sabor	Cuerpo	Acidez	Nivel Envejecimiento
1	1	1	1	50	50	48	50	50
1	1	1	2	50	50	50	50	0
1	1	1	3	75	75	67	65	2
1	1	2	1	76	81	84	75	4
1	1	2	2	75	55	64	72	12
1	1	2	3	60	49	47	65	23
1	1	3	1	50	75	75	66.5	7
1	1	3	2	69	69	71	69	12
1	1	3	3	74	67	71	70	14
1	2	1	1	75	75	75	74	0
1	2	1	2	75	75	70	73	25
1	2	1	3	74	74	75	75	76
1	2	2	1	69.5	61	63.5	64	9
1	2	2	2	70	59	60	60	10
1	2	2	3	73	73	76	69	9
1	2	3	1	55	73	73	70	5
1	2	3	2	56	50	52	72	10
1	2	3	3	54	50	50	68	25
1	3	1	1	75	75	75	75	26
1	3	1	2	50	49	50	50	75
1	3	1	3	50	50	50	50	100
1	3	2	1	57	50	50	70	16
1	3	2	2	50	42	42	70	25
1	3	2	3	49	50	51	70	25
1	3	3	1	57	50	50	70	16
1	3	3	2	50	42	42	70	25
1	3	3	3	49	50	51	70	25
1	4	1	1	75	75	75	74	31
1	4	1	2	75	75	70	73	70
1	4	1	3	74	74	75	75	65
1	4	2	1	69.5	61	63.5	64	25
1	4	2	2	70	59	60	60	30
1	4	2	3	73	73	76	69	30
1	4	3	1	55	73	73	70	21
1	4	3	2	56	50	52	72	30
1	4	3	3	54	50	50	68	30
1	5	1	1	50	75	80	75	50
1	5	1	2	50	49	75	50	65
1	5	1	3	75	50	80	50	50
1	5	2	1	76	50	68.5	70	30
1	5	2	2	75	42	65	70	26
1	5	2	3	60	50	81	70	45
1	5	3	1	50	50	78	70	52
1	5	3	2	69	42	60	70	26
1	5	3	3	74	50	58	70	45

2	1	1	1	75	75	76	76	0
2	1	1	2	75	75	66	67	50
2	1	1	3	75	75	50	50	0
2	1	2	1	69	69	61	70	6
2	1	2	2	76	55	42	69	23
2	1	2	3	64	56	51	69	11.5
2	1	3	1	80	81	83	78	6
2	1	3	2	63	75	75	68	9
2	1	3	3	74	75	75	68	5.5
2	2	1	1	75	74	75	75	0
2	2	1	2	65	62	75	50	0
2	2	1	3	61	60	50	50	50
2	2	2	1	61	50	46	61.5	30.5
2	2	2	2	55	55	57	66	17
2	2	2	3	59	53	56.5	65	22
2	2	3	1	55	55	50	71	13
2	2	3	2	56	50	50	71	17
2	2	3	3	41	59	62	71	11
2	3	1	1	75	63	72	75	0
2	3	1	2	75	59	50	50	0
2	3	1	3	75	75	50	51	0
2	3	2	1	62	62	64.5	70	9
2	3	2	2	75	75	75	71	13
2	3	2	3	50	50	51	71	25
2	3	3	1	57	62	64.5	70	9
2	3	3	2	55	75	75	71	13
2	3	3	3	50	50	51	71	25
2	4	1	1	75	74	75	75	5
2	4	1	2	65	62	75	50	7
2	4	1	3	61	60	50	50	55
2	4	2	1	61	50	46	61.5	36.2
2	4	2	2	55	55	57	66	25
2	4	2	3	59	53	56.5	65	26
2	4	3	1	55	55	50	71	15
2	4	3	2	56	50	50	71	28
2	4	3	3	41	59	62	71	26
2	5	1	1	75	63	72	75	11
2	5	1	2	75	59	50	50	12
2	5	1	3	75	75	50	51	45
2	5	2	1	62	62	64.5	70	32
2	5	2	2	75	75	75	71	26
2	5	2	3	50	50	51	71	12
2	5	3	1	57	62	64.5	70	15
2	5	3	2	55	75	75	71	26
2	5	3	3	50	50	51	71	21

Tratamiento 1 (Empaques con nitrógeno)

Tratamiento 2 (Empaques sin nitrógeno).

CUADRO A4.3 Datos originales obtenidos durante la evaluación química del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 30°C.

Tratamiento	Tiempo	Réplica	% Humedad	%Sólidos Sol.	% Acidez Titulable
1	1	1	2.145	0.913	15.25
1	1	2	2.143	0.811	15.26
1	1	3	2.006	0.844	16.28
1	1	4	2.219	0.828	15.25
1	2	1	2.070	2.927	14.24
1	2	2	2.152	3.206	14.75
1	2	3	2.090	3.249	15.26
1	2	4	2.104	3.254	16.79
1	3	1	2.054	3.193	19.35
1	3	2	2.038	3.306	19.33
1	3	3	2.098	3.306	19.33
1	3	4	2.079	3.309	19.34
1	4	1	2.557	0.841	18.31
1	4	2	2.707	0.793	19.35
1	4	3	2.632	0.869	18.32
1	4	4	2.633	0.889	19.34
1	5	1	2.633	0.848	18.827
1	5	2	2.651	0.850	18.957
1	5	3	2.637	0.864	18.859
1	5	4	2.639	0.863	18.995
2	1	1	2.145	0.304	15.25
2	1	2	2.143	0.250	15.26
2	1	3	2.006	0.263	16.28
2	1	4	2.219	0.258	15.25
2	2	1	2.304	3.258	18.85
2	2	2	2.149	3.280	18.82
2	2	3	2.079	3.399	18.33
2	2	4	2.075	3.370	18.34
2	3	1	2.232	3.256	17.82
2	3	2	2.244	3.293	17.81
2	3	3	2.301	3.389	17.82
2	3	4	2.124	3.329	17.83
2	4	1	2.685	0.232	18.33
2	4	2	2.671	0.204	19.36
2	4	3	2.664	0.247	18.34
2	4	4	2.640	0.257	19.35
2	5	1	2.665	0.235	18.845
2	5	2	2.660	0.235	18.975
2	5	3	2.657	0.243	18.878
2	5	4	2.656	0.243	19.013

Tratamiento 1 (Empaques con nitrógeno)

Tratamiento 2 (Empaques sin nitrógeno).

CUADRO A4.4 Datos originales obtenidos durante la evaluación sensorial del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 37°C.

Tratamiento	Tiempo	Juez	Réplica	Aroma	Sabor	Cuerpo	Acidez	Nivel Envejecimiento
1	1	1	1	75	75	50	50	50
1	1	1	2	75	75	65	52	32
1	1	1	3	74	49	51	51	71
1	1	2	1	80	80	82	77	7
1	1	2	2	63	64	66	77	64
1	1	2	3	80.5	71	73	75	13.5
1	1	3	1	61	61	64	77	21
1	1	3	2	67	74	68.5	77	8
1	1	3	3	74	86	88	78	9
1	2	1	1	50	50	50	50	37
1	2	1	2	75	75	62	50	0
1	2	1	3	75	75	68	66	0
1	2	2	1	50	50	42	72	15
1	2	2	2	53	56	57.5	72	15
1	2	2	3	56	50	50	69	23.5
1	2	3	1	54	59.5	60.5	70.5	13
1	2	3	2	73.5	75	75	73	8.5
1	2	3	3	55	64	71	71	9
1	3	1	1	48	50	62	65	77
1	3	1	2	64	62	50	50	43
1	3	1	3	57	55	50	50	65
1	3	2	1	70	40	40	52	39
1	3	2	2	51	34	37	50	39
1	3	2	3	55	40	41	50	38
1	3	3	1	54	46	45	68	31
1	3	3	2	40.5	41	50	69	26
1	3	3	3	53	43	45	70.5	31
1	4	1	1	32	34	24	27	100
1	4	1	2	75	75	75	75	75
1	4	1	3	75	75	75	74	66
1	4	2	1	40	50	60	72	18
1	4	2	2	42	44	72	72	6
1	4	2	3	52	50	71	71	25
1	4	3	1	40	50	60	72	18
1	4	3	2	42	44	72	72	6
1	4	3	3	52	50	71	71	25
1	5	1	1	27	32	62	50	77
1	5	1	2	65	65	50	50	43
1	5	1	3	68	68	50	66	65
1	5	2	1	36	65	40	72	39
1	5	2	2	38	54	37	72	39
1	5	2	3	46	45	41	69	38
1	5	3	1	35	44	45	70.5	31
1	5	3	2	38	38	50	73	26
1	5	3	3	49	48	45	71	31

2	1	1	1	75	75	50	50	0
2	1	1	2	74	74	77	76	0
2	1	1	3	75	75	67	64	0
2	1	2	1	55.5	56	57	73	13
2	1	2	2	74	81	82	77	4
2	1	2	3	80	74	78	77	6
2	1	3	1	64	74	77	77	3
2	1	3	2	72.5	87	88	77	2
2	1	3	3	62	62	63	75	47.5
2	2	1	1	75	75	75	75	0
2	2	1	2	75	75	75	70	0
2	2	1	3	60	63	50	50	0
2	2	2	1	63	63	64.5	71	8
2	2	2	2	62	70	71	72	6
2	2	2	3	68	69	73	71	7
2	2	3	1	75	75	75	73	5
2	2	3	2	75	83	85	74	0
2	2	3	3	73	74	73	71	9
2	3	1	1	50	51	50	50	50
2	3	1	2	75	62	62	61	39
2	3	1	3	48	49	49	50	50
2	3	2	1	75	50	45	60	30
2	3	2	2	63	62	62	64	24
2	3	2	3	63	47	45	65	20
2	3	3	1	65.5	75	67	70	4.5
2	3	3	2	50	50	50	71	15
2	3	3	3	53	54	54	73	17
2	4	1	1	100	100	100	100	0
2	4	1	2	48	48	50	50	100
2	4	1	3	50	59	50	50	50
2	4	2	1	58	75	75	73	6
2	4	2	2	55	56	56	70	17
2	4	2	3	50	50	51	70	16
2	4	3	1	58	75	75	73	6
2	4	3	2	55	56	56	70	17
2	4	3	3	50	50	51	70	16
2	5	1	1	59	86	50	75	50
2	5	1	2	35	35	62	70	39
2	5	1	3	46	46	49	50	50
2	5	2	1	48	65	45	71	30
2	5	2	2	39	49	62	72	24
2	5	2	3	28	49	45	71	20
2	5	3	1	15	68	67	73	4.5
2	5	3	2	44	43	50	74	15
2	5	3	3	34	46	54	71	17

Tratamiento 1 (Empaques con nitrógeno)

Tratamiento 2 (Empaques sin nitrógeno).

CUADRO A4.5 Datos originales obtenidos durante la evaluación química del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 37°C.

Tratamiento	Tiempo	Réplica	% Humedad	%Sólidos Sol.	% Acidez Titulable
1	1	1	2.145	3.064	15.253
1	1	2	2.143	2.912	15.258
1	1	3	2.006	3.000	16.280
1	1	4	2.219	2.945	15.252
1	2	1	3.448	3.404	15.257
1	2	2	3.712	3.330	16.786
1	2	3	2.058	3.392	14.238
1	2	4	3.340	3.293	15.261
1	3	1	3.031	3.346	15.273
1	3	2	3.356	3.265	16.298
1	3	3	3.145	3.327	15.245
1	3	4	3.464	3.175	15.281
1	4	1	1.927	3.319	18.334
1	4	2	1.806	3.317	18.304
1	4	3	1.949	3.360	18.315
1	4	4	2.007	3.375	18.318
1	5	1	2.619	3.293	18.843
1	5	2	2.396	3.298	17.307
1	5	3	2.439	3.296	18.839
1	5	4	2.484	3.296	17.311
2	1	1	2.145	3.064	15.253
2	1	2	2.143	2.912	15.258
2	1	3	2.006	3.000	16.280
2	1	4	2.219	2.945	15.252
2	2	1	2.224	3.098	19.323
2	2	2	2.076	3.390	19.333
2	2	3	2.486	3.323	19.335
2	2	4	2.372	3.409	18.335
2	3	1	2.757	3.288	13.738
2	3	2	2.243	3.260	14.253
2	3	3	2.641	3.304	13.233
2	3	4	2.634	3.291	13.238
2	4	1	2.057	3.353	17.824
2	4	2	2.041	3.343	17.812
2	4	3	1.998	3.282	17.800
2	4	4	2.051	3.225	17.808
2	5	1	2.049	3.300	18.851
2	5	2	2.359	3.322	17.805
2	5	3	1.832	3.311	17.818
2	5	4	2.044	3.311	18.837

Tratamiento 1 (Empaques con nitrógeno)

Tratamiento 2 (Empaques sin nitrógeno).

CUADRO A4.6 Datos originales obtenidos durante la evaluación sensorial del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 45°C.

Tratamiento	Tiempo	Juez	Réplica	Aroma	Sabor	Cuerpo	Acidez	Nivel Envejecimiento
1	1	1	1	67	68.5	51.5	51	51.5
1	1	1	2	74	89	77	77	0
1	1	1	3	49	49	50	51	50.5
1	1	2	1	96	96.5	84.5	85	0
1	1	2	2	96.5	97.5	84.5	85	0
1	1	2	3	95.5	96	84	86.5	0
1	1	3	1	60	61	66	68	73
1	1	3	2	59.5	74.5	57	67	58.5
1	1	3	3	42	56	56.5	58.5	44.5
1	2	1	1	49	49	51	51	33
1	2	1	2	34	74	44	41	65
1	2	1	3	30	65	50	51	17.5
1	2	2	1	74	75	77	51.5	19
1	2	2	2	72	75	78	50	18
1	2	2	3	74.5	74.5	76	50	18
1	2	3	1	57	56	59	76	61
1	2	3	2	87	84	84	76	7
1	2	3	3	59	58	60	89	76.5
1	3	1	1	75	75	75	50	25
1	3	1	2	49	50	50	50	50
1	3	1	3	48	48	35	33	65
1	3	2	1	49	41	46	74	23
1	3	2	2	54	49	51.5	75.5	46
1	3	2	3	67	68	68	72	10
1	3	3	1	63	49	51	62	50
1	3	3	2	54	53	58	58	41
1	3	3	3	55.5	55.5	56	77	57.5
1	4	1	1	50	50	50	50	77
1	4	1	2	40	37	38	38	75
1	4	1	3	75	75	61	60.5	65
1	4	2	1	64.5	55	56.5	72	21
1	4	2	2	70	60	63	71	21
1	4	2	3	41	39	30	55	72
1	4	3	1	44	59	60	68.5	34
1	4	3	2	43	60	62	69	34
1	4	3	3	39	55	55	65	25
1	5	1	1	50	50	50	39	50
1	5	1	2	50	50	50	36	45
1	5	1	3	50	48	41	40	77
1	5	2	1	42	51	47	70	14
1	5	2	2	54	57	57	73	42
1	5	2	3	56.5	43	43	71	42.5
1	5	3	1	60.5	55	56	70	30.5
1	5	3	2	51	52	50	72	23.5
1	5	3	3	50	50	50	72	22

2	1	1	1	67	68.5	51.5	51	51.5
2	1	1	2	74	89	77	77	0
2	1	1	3	49	49	50	51	50.5
2	1	2	1	96	96.5	84.5	85	0
2	1	2	2	96.5	97.5	84.5	85	0
2	1	2	3	95.5	96	84	86.5	0
2	1	3	1	60	61	66	68	73
2	1	3	2	59.5	74.5	57	67	58.5
2	1	3	3	42	56	56.5	58.5	44.5
2	2	1	1	75	74	61	51	0
2	2	1	2	73	73.5	77	77	0
2	2	1	3	67	66	54	51	21
2	2	2	1	74	72	71	85	21
2	2	2	2	73	75	76	85	19
2	2	2	3	73	73	77	86.5	19.5
2	2	3	1	60	58	60	68	61
2	2	3	2	87	88	89	67	7
2	2	3	3	87	86	83	58.5	7
2	3	1	1	50	50	50	50	50
2	3	1	2	74	74	76	77	0
2	3	1	3	75	74	77	77	0
2	3	2	1	74	73.5	77	75	8
2	3	2	2	81	71	74	76	15
2	3	2	3	74	82	83	77	4
2	3	3	1	81.5	69	52	72	24
2	3	3	2	58	74	60	77	26
2	3	3	3	75	74	77	77	9
2	4	1	1	75	62	50	50	72
2	4	1	2	63.5	50	50	50	40
2	4	1	3	74	75	67	67	0
2	4	2	1	75	61	53	70	9
2	4	2	2	59	75	71	69	7
2	4	2	3	55.5	50	50	66	22
2	4	3	1	50	55	57	72	10
2	4	3	2	42	75	66	64	6
2	4	3	3	29	60	71	75	14
2	5	1	1	81	80	91	75	0
2	5	1	2	75	75	66.5	64	25
2	5	1	3	75	74	72	64.5	0
2	5	2	1	69	57	58	70	8
2	5	2	2	70	61	63	71	9
2	5	2	3	51	55	52	71	20
2	5	3	1	54.5	75	75	71	10
2	5	3	2	74	75	76	72	8
2	5	3	3	62	66	69	72	10

Tratamiento 1 (Empaques con nitrógeno)

Tratamiento 2 (Empaques sin nitrógeno).

CUADRO A4.7 Datos originales obtenidos durante la evaluación química del efecto del empaque con inyección de nitrógeno en el café almacenado a 45°C.

Tratamiento	Tiempo	Réplica	% Humedad	%Sólidos Sol.	% Acidez Titulable
1	1	1	2.145	3.064	15.25
1	1	2	2.143	2.912	15.26
1	1	3	2.006	3.000	16.28
1	1	4	2.219	2.945	15.25
1	2	1	2.630	3.158	16.29
1	2	2	2.694	3.112	16.29
1	2	3	4.390	3.113	14.25
1	2	4	1.895	3.180	16.28
1	3	1	1.985	3.384	14.77
1	3	2	2.016	3.395	14.76
1	3	3	1.983	3.213	14.76
1	3	4	2.088	3.369	14.77
1	4	1	3.039	3.246	14.75
1	4	2	3.287	3.209	15.25
1	4	3	3.343	3.038	15.26
1	4	4	3.430	3.296	15.79
1	5	1	3.275	3.197	16.29
1	5	2	3.334	3.185	16.29
1	5	3	3.345	3.179	14.25
1	5	4	3.346	3.214	16.28
2	1	1	2.145	3.064	15.25
2	1	2	2.143	2.912	15.26
2	1	3	2.006	3.000	16.28
2	1	4	2.219	2.945	15.25
2	2	1	2.861	3.135	16.28
2	2	2	2.751	3.116	15.77
2	2	3	2.691	3.100	15.78
2	2	4	2.540	3.134	16.30
2	3	1	2.087	3.380	15.27
2	3	2	2.005	3.397	14.75
2	3	3	1.995	3.379	14.76
2	3	4	2.228	3.360	14.77
2	4	1	2.434	3.347	15.25
2	4	2	2.604	3.234	15.26
2	4	3	2.700	3.333	16.28
2	4	4	2.796	3.194	15.25
2	5	1	2.633	3.277	16.28
2	5	2	2.683	3.259	15.77
2	5	3	2.703	3.266	15.78
2	5	4	2.704	3.249	16.30

Tratamiento 1 (Empaques con nitrógeno)

Tratamiento 2 (Empaques sin nitrógeno).

APÉNDICE V

Resultados de la prueba de F's Parciales para el análisis estadístico de los datos de la primera etapa experimental.

CUADRO A5.1 Probabilidades de F (α) para cada característica según tratamientos comparados¹.

<i>Característica</i>	<i>α para paralelismo</i>	<i>α para coincidencia</i>
<i>Sabor</i>	0,63 (promedio entre los 3 tratamientos)	0,81 (promedio entre los 3 tratamientos)
<i>Aroma</i>	0,64 (entre tratamientos 1 y 2) 0,24 (entre tratamientos 2 y 3) 0,14 (entre tratamientos 1 y 3)	0,88 (entre tratamientos 1 y 2) 0,47 (entre tratamientos 2 y 3) 0,31 (entre tratamientos 1 y 3)
<i>Nivel de Envejecimiento</i>	0,61 (promedio entre los 3 tratamientos)	0,52 (promedio entre los 3 tratamientos)
<i>Humedad</i>	0,97 (entre tratamientos 1 y 2) 0,98 (entre tratamientos 1 y 2 contra el tratamiento 3)	0,98 (entre tratamientos 1 y 2) 0,075 (entre tratamientos 1 y 2 contra el tratamiento 3)
<i>Oxígeno</i>	0,44 (entre tratamientos 1 y 2) 0,47 (entre tratamientos 1 y 2 contra el tratamiento 3)	0,55 (entre tratamientos 1 y 2) 0,001 (entre tratamientos 1 y 2 contra el tratamiento 3)
<i>Acidez Sensorial</i>	0,50 (promedio entre los 3 tratamientos)	0,55 (promedio entre los 3 tratamientos)
<i>Acidez Titulable</i>	0,55 (promedio entre los 3 tratamientos)	0,66 (promedio entre los 3 tratamientos)
<i>Cuerpo</i>	0,68 (promedio entre los 3 tratamientos)	0,58 (promedio entre los 3 tratamientos)
<i>Sólidos Solubles</i>	0,52 (entre tratamientos 1 y 2) 0,02 (entre tratamientos 1 y 2 contra el tratamiento 3)	0,76 (entre tratamientos 1 y 2) 0,04 (entre tratamientos 1 y 2 contra el tratamiento 3)

¹ Tratamiento 1 (Empaques con válvula)
Tratamiento 2 (Empaques intactos)
Tratamiento 3 (Empaques con orificio)

APÉNDICE VI

Información acerca de las líneas de regresión obtenidas con la prueba de F's Parciales para la primera etapa experimental.

CUADRO A6.1 Ecuaciones y coeficientes R² para cada línea de regresión presentada en al discusión de la primera etapa experimental.

<i>Característica</i>	<i>Tratamiento que representa²</i>	<i>Ecuación</i>	<i>R²</i>
<i>Sabor</i>	1-2-3	$Y=74,3-0,33X$	0,90
<i>Aroma</i>	1-2	$Y=75,1-0,25X$	0,48
	3	$Y=82,2-0,5X$	0,96
<i>Nivel de Envejecimiento</i>	1-2-3	$Y=17,41+0,507X$	0,91
<i>Humedad</i>	1-2	$Y=2,5085+0,0197X$	0,80
	3	$Y=1,88+0,017X$	0,92
<i>Acidez Sensorial</i>	1-2-3	$Y=70,0-0,295X$	0,47
<i>Acidez Titulable</i>	1-2-3	$Y=13,89+0,056X$	0,59
<i>Cuerpo</i>	1-2-3	$Y=73,21-0,309X$	0,62
<i>Sólidos Solubles</i>	1-2	$Y=2,82+0,0077X$	0,92
	3	$Y=3,26-0,0051X$	0,66
<i>Oxígeno</i>	1-2	$Y=11,815+0,005X$	0,0043
	3	$Y=20,9$	0

² Tratamiento 1 (Empaques con válvula)
 Tratamiento 2 (Empaques intactos)
 Tratamiento 3 (Empaques con orificio)

APÉNDICE VII

Resultados de la Prueba de t llevada a cabo para los datos experimentales de la primera etapa.

CUADRO A7.1 Probabilidad para la aceptación de la hipótesis de que las pendientes obtenidas para cada comportamiento sean 0 según característica evaluada.

<i>Característica</i>	<i>Tratamiento³</i>	<i>Probabilidad</i>
<i>Sabor</i>	1	0,023
	2	0,001
	3	0,006
<i>Aroma</i>	1	0,68
	2	0,76
	3	0,12
<i>Nivel de Envejecimiento</i>	1	0,015
	2	0,004
	3	0,024
<i>Humedad</i>	1	0,017
	2	0,006
	3	0,040
<i>Oxígeno</i>	1	0,89
	2	0,65
	3	0,76
<i>Acidez Sensorial</i>	1	0,70
	2	0,40
	3	0,52
<i>Acidez Titulable</i>	1	0,78
	2	0,85
	3	0,79
<i>Cuerpo</i>	1	0,08
	2	0,11
	3	0,028

³ Tratamiento 1 (Empaques con válvula)
 Tratamiento 2 (Empaques intactos)
 Tratamiento 3 (Empaques con orificio)

APÉNDICE VIII

Intervalos de confianza de las pendientes de las rectas obtenidas para el comportamiento de cada variable durante la segunda etapa experimental.

CUADRO A8.1 Intervalos de confianza de las pendientes de las rectas obtenidas para el comportamiento de cada variable durante la segunda etapa experimental.

<i>Característica</i>	<i>Condición de empaque</i>	<i>Temperatura de Almacenamiento</i>					
		<i>30°C</i>		<i>37°C</i>		<i>45°C</i>	
		<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
<i>Acidez Sensorial</i>	Con nitrógeno	-0.069	0.202	-0.398	0.404	-0.738	0.394
	Sin nitrógeno	-0.589	0.310	-0.586	0.412	-0.500	0.396
<i>Aroma</i>	Con nitrógeno	-0.450	0.164	-0.927	-0.157	-1.801	0.883
	Sin nitrógeno	-0.291	0.001	-1.064	-0.277	-2.236	-0.333
<i>Sabor</i>	Con nitrógeno	-0.351	0.002	-0.877	0.027	-1.089	0.248
	Sin nitrógeno	-0.565	0.274	-1.179	-0.382	-1.723	0.210
<i>Cuerpo</i>	Con nitrógeno	-0.180	0.278	-0.943	0.666	-1.176	0.031
	Sin nitrógeno	-0.271	0.439	-0.867	0.391	-0.802	0.632
<i>Nivel de Envejecimiento</i>	Con nitrógeno	0.109	0.412	0.086	0.977	-0.965	1.141
	Sin nitrógeno	0.001	0.683	-0.616	2.357	0.030	2.194
<i>Humedad</i>	Con nitrógeno	-0.001	0.019	-0.066	0.050	0.006	0.061
	Sin nitrógeno	-0.005	0.019	-0.025	0.015	-0.007	0.038
<i>Sólidos Solubles</i>	Con nitrógeno	-0.112	0.081	-0.009	0.018	-0.015	0.022
	Sin nitrógeno	-0.146	0.104	-0.006	0.016	-0.014	0.027
<i>Acidez Titulable</i>	Con nitrógeno	0.022	0.116	0.005	0.142	-0.027	0.335
	Sin nitrógeno	-0.017	0.151	0.037	0.177	0.020	0.255

APÉNDICE IX

Resultados de la Prueba de t llevada a cabo para los datos experimentales de la segunda etapa.

CUADRO A9.1 Probabilidad para la aceptación de la hipótesis de que las pendientes obtenidas para cada comportamiento sean 0 según característica evaluada.

<i>Característica</i>	<i>Condición de empaque</i>	<i>Temperatura de almacenamiento (°C)</i>	<i>Probabilidad</i>
<i>Sabor</i>	Con nitrógeno	30	0,05
		37	0,06
		45	0,44
	Sin nitrógeno	30	0,35
		37	0,008
		45	0,09
<i>Aroma</i>	Con nitrógeno	30	0,24
		37	0,02
		45	0,36
	Sin nitrógeno	30	0,05
		37	0,01
		45	0,02
<i>Nivel de Envejecimiento</i>	Con nitrógeno	30	0,01
		37	0,03
		45	0,80
	Sin nitrógeno	30	0,05
		37	0,16
		45	0,05
<i>Humedad</i>	Con nitrógeno	30	0,70
		37	0,07
		45	0,03
	Sin nitrógeno	30	0,17
		37	0,50
		45	0,12
<i>Acidez Sensorial</i>	Con nitrógeno	30	0,21
		37	0,98
		45	0,40
	Sin nitrógeno	30	0,40
		37	0,62
		45	0,74
<i>Acidez Titulable</i>	Con nitrógeno	30	0,02
		37	0,04
		45	0,07
	Sin nitrógeno	30	0,03
		37	0,02
		45	0,03

CUADRO A9.1 Continuación.

<i>Cuerpo</i>	Con nitrógeno	30	0,55
		37	0,62
		45	0,06
	Sin nitrógeno	30	0,50
		37	0,32
		45	0,73

APÉNDICE X

Información acerca de las líneas de regresión obtenidas para la segunda etapa experimental.

CUADRO A10.1 Ecuaciones y coeficientes R^2 para cada línea de regresión presentada en al discusión de la segunda etapa experimental.

<i>Característica</i>	<i>Condición de empaque</i>	<i>Temperatura de almacenamiento (°C)</i>	<i>Ecuación</i>	R^2
<i>Sabor</i>	Con nitrógeno	30	$Y = -0,1674X + 64,289$	0,0847
		37	$Y = -0,3585X + 63,21$	0,1714
		45	$Y = -0,727 + 68,731$	0,2661
	Sin nitrógeno	30	$Y = -0,093X + 65,422$	0,0449
		37	$Y = -0,3787X + 70,925$	0,1925
		45	$Y = -0,2814X + 73,674$	0,0617
<i>Aroma</i>	Con nitrógeno	30	$Y = 63,289$	0
		37	$Y = -0,5416X + 66,852$	0,3702
		45	$Y = -0,5195X + 63,959$	0,125
	Sin nitrógeno	30	$Y = -0,1191X + 66,867$	0,0557
		37	$Y = -0,6704X + 72,394$	0,4866
		45	$Y = -0,2395X + 71,201$	0,0324
<i>Nivel de Envejecimiento</i>	Con nitrógeno	30	$Y = 0,5133X + 14,533$	0,2323
		37	$Y = 0,4214X + 25,459$	0,0829
		45	$Y = 0,2367X + 35,863$	0,0121
	Sin nitrógeno	30	$Y = 0,1783X + 12,178$	0,0721
		37	$Y = 0,4899X + 9,1073$	0,523
		45	$Y = -0,4644X + 23,769$	0,059
<i>Humedad</i>	Con nitrógeno	30	$Y = 0,1552X + 1,8488$	0,8739
		37	$Y = 0,3009X + 15,519$	0,8318
		45	$Y = 0,376X + 1,5516$	0,9153
	Sin nitrógeno	30	$Y = 0,0069X + 2,05$	0,52
		37	$Y = 0,004X + 2,31$	0,16
		45	$Y = 0,015X + 2,28$	0,61
<i>Acidez Sensorial</i>	Con nitrógeno	30	$Y = 0,0185X + 66,11$	0,0027
		37	$Y = 0,005X + 65,082$	2E-05
		45	$Y = -0,1722X + 64,295$	0,0163
	Sin nitrógeno	30	$Y = -0,022X + 66,8$	0,003
		37	$Y = -0,0086X + 68,834$	0,0002
		45	$Y = -0,052X + 70,12$	0,0029
<i>Acidez Titulable</i>	Con nitrógeno	30	$Y = 0,069X + 15,09$	0,88
		37	$Y = 0,074X + 15,136$	0,80
		45	$Y = 0,154X + 16,126$	0,71
	Sin nitrógeno	30	$Y = 0,067X + 14,1508$	0,68
		37	$Y = 0,107X + 15,08$	0,89
		45	$Y = 0,138X + 16,47$	0,82

CUADRO A10.1 Continuación.

<i>Cuerpo</i>	Con nitrógeno	30	$Y = -0,1015X + 60,789$	0,0321
		37	$Y = -0,2815X + 62,498$	0,1113
		45	$Y = -0,5723X + 64,073$	0,2099
	Sin nitrógeno	30	$Y = 0,084X + 59,49$	0,16
		37	$Y = -0,24X + 68,23$	0,33
		45	$Y = -0,084X + 68,54$	0,05
<i>Sólidos Solubles</i>	Con nitrógeno	30	$Y = -0,015X + 2,257$	0,08
		37	$Y = 0,004X + 3,16$	0,28
		45	$Y = 0,0038X + 3,128$	0,12
	Sin nitrógeno	30	$Y = -0,02X + 2,107$	0,09
		37	$Y = 0,005X + 3,14$	0,39
		45	$Y = 0,0066X + 3,13$	0,26

APÉNDICE XI

Variaciones para cada tratamiento y su respectiva prueba de F para todas las variables evaluadas es la segunda etapa.

CUADRO A11.1 Variaciones para cada tratamiento y su respectiva prueba de F para todas las variables químicas evaluadas es la segunda etapa según temperatura.

TEMPERATURA 30°C			
	% Humedad	% Sólidos Solubles	Acidez Titulable
Con Nitrógeno	0.0752	1.4228	3.6708
Sin Nitrógeno	0.0667	2.3894	1.8219
Valor de F	1.1283	1.6793	2.0148
Prob.(F)	0.3976	0.1337	0.0679

TEMPERATURA 37°C			
	% Humedad	% Sólidos Solubles	Acidez Titulable
Con Nitrógeno	0.3919	0.0222	2.2628
Sin Nitrógeno	0.0619	0.0219	4.4565
Valor de F	6.3319	1.0160	1.9695
Prob.(F)	0.0001	0.4864	0.0743

TEMPERATURA 45°C			
	% Humedad	% Sólidos Solubles	Acidez Titulable
Con Nitrógeno	0.5086	0.0182	0.5498
Sin Nitrógeno	0.0932	0.0219	0.3110
Valor de F	5.4572	1.2053	1.7678
Prob.(F)	0.0003	0.3441	0.1117

CUADRO A11.2 Variancias para cada tratamiento y su respectiva prueba de F para todas las variables sensoriales evaluadas es la segunda etapa según temperatura.

TEMPERATURA 30°C					
	Aroma	Sabor	Cuerpo	Acidez	Nivel de Envejecimiento
Con Nitrógeno	0.682	116.562	152.336	147.466	58.432
Sin Nitrógeno	0.682	107.616	95.118	129.434	75.198
Valor de F	1.000	1.083	1.602	1.139	1.287
Prob.(F)	0.500	0.396	0.061	0.334	0.203

TEMPERATURA 37°C					
	Aroma	Sabor	Cuerpo	Acidez	Nivel de Envejecimiento
Con Nitrógeno	0.682	213.464	202.030	196.857	132.768
Sin Nitrógeno	0.682	248.840	200.704	184.250	97.864
Valor de F	1.000	1.166	1.007	1.068	1.357
Prob.(F)	0.500	0.307	0.491	0.414	0.158

TEMPERATURA 45°C					
	Aroma	Sabor	Cuerpo	Acidez	Nivel de Envejecimiento
Con Nitrógeno	255.303	234.848	184.506	215.030	548.880
Sin Nitrógeno	209.189	151.738	148.487	112.975	432.203
Valor de F	1.220	1.548	1.243	1.903	1.270
Prob.(F)	0.256	0.076	0.237	0.018	0.216

APÉNDICE XII

Comportamiento para el Nivel de Envejecimiento según juez, para los empaques de café con nitrógeno y almacenados a 37°C.

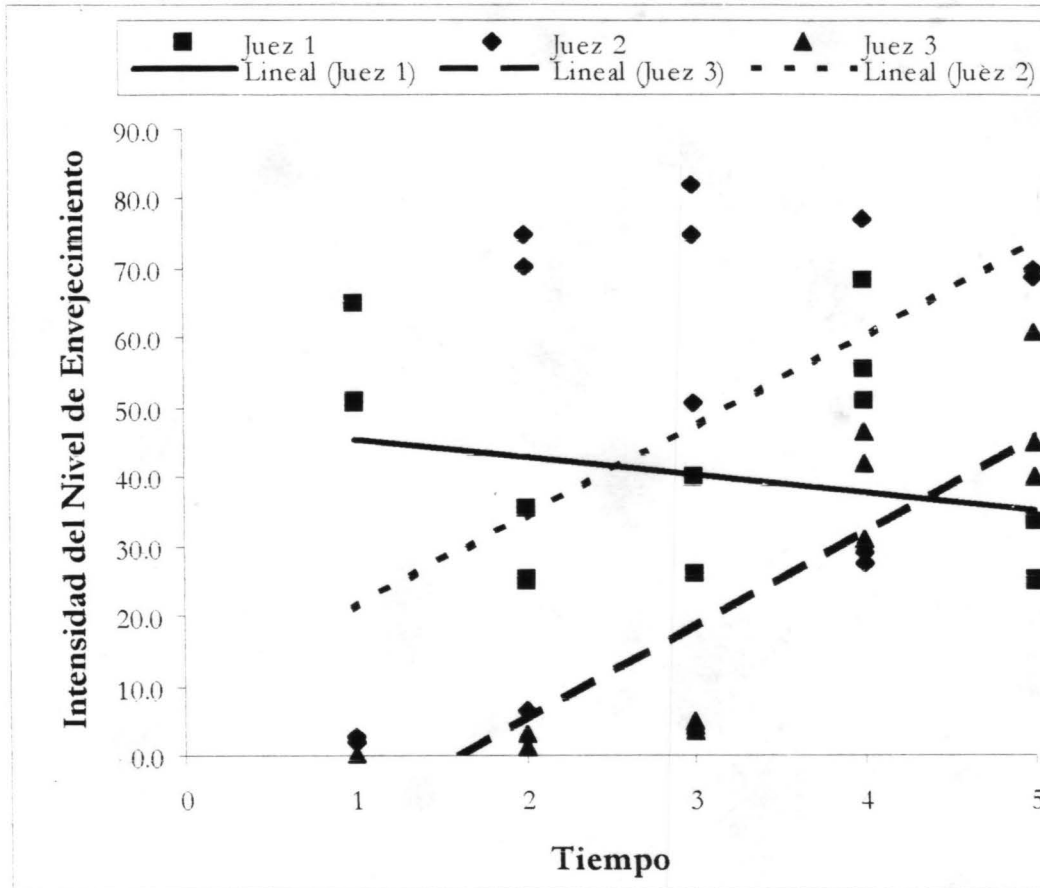


FIGURA A12.1 Intensidad del nivel de envejecimiento según juez, para los empaques de café con nitrógeno y almacenados a 37°C.