

**Universidad Pública de Navarra**

*Nafarroako Unibertsitate Publikoa*

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS AGRÓNOMOS**

*NEKAZARITZAKO INGENIARIEN  
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA*

**EFECTO DEL AUMENTO DE LA HUMEDAD EN LAS  
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y SENSORIALES  
DEL CAFÉ ARÁBICA**



presentado por

**LIDIA AZCÁRATE GÓRRIZ**

**MÁSTER EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD EN LAS INDUSTRIAS  
AGROALIMENTARIAS**

*Junio, 2016/ 2016ko Ekaina*

## **AGRADECIMIENTOS**

Este Trabajo Fin de Máster ha sido posible gracias al apoyo y ayuda de muchas personas a las que me gustaría dar mi agradecimiento.

En primer lugar, quiero dar las gracias a todo el equipo de Café Mocay, por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo con ellos. Me proporcionaron las muestras de café, me dejaron sus instalaciones y sobre todo me trataron como a una más y me prestaron en todo momento su ayuda.

A Teresa, Lucía y Marina que estuvieron siempre dispuestas a ayudarme y transmitirme toda su experiencia.

Especialmente a Lucía y Marina por enseñarme tantas y tantas cosas, por estar siempre disponibles y por resolver todas mis dudas con amabilidad y simpatía. Gracias por toda vuestra ayuda prestada.

A mi directora Montse Navarro por su ayuda y dedicación para que este trabajo pudiera realizarse.

Por supuesto no podía olvidar a todos los catadores ya que sin ellos este trabajo no hubiera sido posible.

A toda mi familia y en especial a mis padres, que me siguen apoyando incondicionalmente.

A todos mis amigos por ayudarme a desconectar en los malos momentos.

*MUCHAS GRACIAS A TODOS*

## **Resumen**

La calidad del producto es un factor primordial en las empresas agroalimentarias, ya que dependiendo de esta se verá afectada la aceptación por parte del consumidor. No hay que olvidar también la búsqueda del rendimiento de la producción, para lo cual las empresas buscan optimizar su proceso productivo, sin olvidar la calidad del producto. En el café tostado una manera sencilla de aumentar el rendimiento del tueste es incrementar el contenido de humedad final del producto. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar si el aumento del porcentaje de humedad en el proceso de tueste (con una mejora productiva del 3%), influye significativamente en la estabilidad del café en su tiempo de almacenaje y en su evolución a nivel sensorial. En el estudio se pudo constatar que no hay diferencias a nivel sensorial en la comparativa del producto pero si penaliza en el parámetro de la crema, parámetro crítico para la aceptación de un café espresso.

**Palabras clave:** Café arábica; humedad; color; índice de crema; análisis sensorial.

## **Summary**

The product's quality is an important factor for food industries due to its influence on the consumers acceptance. However, industries want to increase the efficiency of the production by optimizing the production process, without modifying the final quality. In the roasted coffee production, a simple way to improve the efficiency is to increase the final moisture content of the product. Therefore, the aim of this study was to evaluate if a change in the moisture content during the toasting process (with an increase of the 3% on the efficiency), would cause a significant modification of the coffee stability during the storage period and on its sensory evaluation. After analyzing the results, it can be conclude that they are not differences between both products at sensorial level. However, there are changes in foam, which is a critical factor for the acceptance of the espresso coffee.

**Key words:** arabica coffee, moisture, colour, foam index, sensory analysis

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1. El café y sus orígenes .....	1
2. Botánica y morfología .....	1
3. Diferencias entre las especies de café .....	2
3.1. Café Arábica .....	3
3.2. Café robusta .....	3
4. Principales productores .....	3
4.1. Café de Colombia .....	5
5. Proceso de elaboración del café .....	6
5.1. Cosecha .....	6
5.2. Beneficiado .....	7
5.3. Tecnología del tueste .....	7
5.4. Enfriamiento .....	8
5.5. Envasado y almacenamiento .....	9
5.6. Preparación de la bebida .....	10
6. Composición del café .....	11
7. Efecto del aumento de humedad en la conservación del café .....	13
CAPÍTULO II. OBJETIVOS .....	16
CAPÍTULO III. MATERIAL Y MÉTODOS .....	17
1. Material vegetal .....	17
2. Tratamiento de las muestras de café .....	17
3. Diseño experimental .....	19
4. Métodos de análisis .....	20
4.1. Parámetros físico-químicos .....	20
4.1.1. Rendimiento del tueste .....	20
4.1.2. Humedad .....	20
4.1.3. Densidad aparente .....	21
4.1.4. Color .....	21

4.1.5.	pH.....	22
4.1.6.	Índice de crema.....	22
4.2.	Estudio sensorial.....	23
4.2.1.	Caracterización sensorial del grano de café .....	23
4.2.2.	Prueba de diferenciación.....	23
5.	Tratamiento estadístico de los datos .....	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		25
1.	Estudio de parámetros .....	25
1.1.	Caracterización inicial de los diferentes tratamientos del café.....	25
1.1.1.	Rendimiento del tueste .....	25
1.1.2.	Humedad y densidad aparente .....	26
1.2.	Parámetros físico-químicos .....	27
1.2.1.	Color.....	27
1.2.1.1.	Coordenada L* .....	28
1.2.1.2.	Coordenada a* .....	30
1.2.1.3.	Coordenada b* .....	31
1.3.	pH.....	33
1.4.	Índice de crema .....	34
2.	Estudio sensorial .....	36
2.1.	Caracterización sensorial del grano de café .....	36
2.2.	Prueba de diferenciación .....	38
1.4.1.	Prueba triangular con catadores expertos.....	39
1.4.2.	Prueba triangular con catadores semi-entrenados .....	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....		41
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA .....		42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales países productores de café, producción y % que representan respecto al total en el año 2015. ....	4
Tabla 2. Cambio producido entre 1999, 2000 y 2001 de los principales países productores de café. Producción en toneladas. Fuente: FAOSTAT ( <a href="http://faostat.fao.org/">http://faostat.fao.org/</a> ) .....	5
Tabla 3. Número de muestreos, fecha de realización de los mismos y días que transcurrieron tras el envasado en cada uno de los muestreos. ....	19
Tabla 4. Grado de significancia de los ANOVAS multifactoriales realizados.....	25
Tabla 5. Grado de tostado según el valor L (NTC 3534).....	28
Tabla 6. Sudoración y defectos en el aroma de los distintos tratamientos durante el almacenamiento. ....	36
Tabla 7. Número de aciertos obtenidos y catadores que han participado en cada una de las sesiones realizadas tanto en la cata de expertos como en la cata con catadores semi-entrenados. ....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes del fruto del cafeto. Imagen de la izquierda obtenida de <a href="http://www.nuestrocafe.com/opcion/conocer_el_cafe_17.php">http://www.nuestrocafe.com/opcion/conocer_el_cafe_17.php</a> . Imagen de la derecha obtenida de: <a href="http://www.musetticafe.es/category/cafe/">http://www.musetticafe.es/category/cafe/</a> .....	2
Figura 2. Producción mundial de café en los años 2014-2015 por categoría y región. (Fuente: Panorama Agroalimentario. Café 2015. FIRA.....)	4
Figura 3. Sello distintivo del café de Colombia (IGP).....	5
Figura 4. Evolución del aroma a fresco (rojo), índice de crema (azul) y volátiles totales (verde) a lo largo de 12 meses de almacenamiento. ....	14
Figura 5. Diagrama de flujo del procesado de café. Las rayas discontinuas separan los procesos que tienen lugar fuera de la fábrica (parte superior) o en el tostadero (parte inferior). ....	18
Figura 6. Imagen izquierda: peso de los granos de café y volumen que ocupan en la probeta de un litro. Imagen derecha: detalle del volumen ocupado por los granos de café. ....	21
Figura 7. Colorímetro empleado para la determinación de las coordenadas L*, a* y b*. ....	21
Figura 8. Probeta empleada para determinar el índice de crema. Se puede observar la relación entre el volumen de crema y el volumen de líquido. ....	22
Figura 9. Muestras codificadas (termos y vasos) para la realización de la prueba triangular. ...	23
Figura 10. Evolución de la humedad (%) durante el almacenamiento. ....	26
Figura 11. Evolución de la densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) durante el almacenamiento. ....	27
Figura 12. Evolución de la coordenada L* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad estándar.....	29
Figura 13. Evolución de la coordenada L* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad elevada.....	29
Figura 14. Evolución de la coordenada a* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad estándar.....	30
Figura 15. Evolución de la coordenada a* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad elevada.....	31
Figura 16. Evolución de la coordenada b* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad estándar.....	32
Figura 17. Evolución de la coordenada b* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad elevada.....	32
Figura 18. Evolución del pH durante el almacenamiento. ....	34
Figura 19. Evolución del índice de crema durante el almacenamiento del tratamiento con humedad estándar.....	35
Figura 20. Evolución del índice de crema durante el almacenamiento del tratamiento con humedad elevada.....	35
Figura 21. Ejemplos de los granos de café de cada tratamiento (parte superior). Ampliación de la sudoración encontrada en los granos de café (parte inferior).....	37

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

### **1. El café y sus orígenes**

Café es el término genérico empleado para designar al fruto y granos del cafeto perteneciente al género *Coffea*. Este término se hace extensivo al fruto maduro, cerezas rojas, granos aún con la corteza del pergamino (endocarpio) adherido, liofilizado, descafeinado, tostado, molido e infusión (COVENIN, 1993).

Según el Real Decreto 1676/2012, de 14 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad para el café, se define el café como: «las semillas sanas y limpias procedentes de las diversas especies del género botánico *Coffea*».

Son varias las leyendas que hablan de los orígenes del café situándolo en Etiopía, donde fue descubierto por casualidad. Se cree que el nombre de café proviene de la palabra Kaffa, región de Etiopía, donde crecía como un arbusto silvestre (Martínez, S. 2014). Se comenzó a cultivar y consumir en torno al siglo X pero no fue hasta el siglo XVI cuando llegó a Europa por medio de las tropas turcas. Fue entonces cuando su consumo se popularizó, pero el cafeto no se aclimató al suelo europeo. El descubrimiento de América permitió un mayor desarrollo de su cultivo, expandiéndose de un país a otro. En el siglo XVIII llegó a Brasil desde la Guayana Francesa, siendo actualmente Brasil el principal exportador de café a nivel mundial.

Las condiciones adecuadas para el crecimiento del cafeto son temperaturas constantes de entre 18 y 27 °C, y lluvias abundantes, entre 1700 y 2500 L/m<sup>2</sup>/año. Estas condiciones se encuentran en la banda geográfica comprendida entre los trópicos de Cáncer y Capricornio. Se trata de zonas de gran vegetación, adecuada para el crecimiento del cafeto. La altitud en la que se cultiva varía entre los 400 y 2000 metros sobre nivel del mar, siendo más apreciados los cafés cultivados a gran altura por la repercusión directa en su riqueza de sabores.

### **2. Botánica y morfología**

El café pertenece a la familia de las rubiáceas, en la que se incluyen más de 500 géneros y alrededor de 800 especies, de las cuales 66 pertenecen al género *Coffea* L., descrito por Linneo en 1753. De todas las especies, actualmente se cultivan 10.

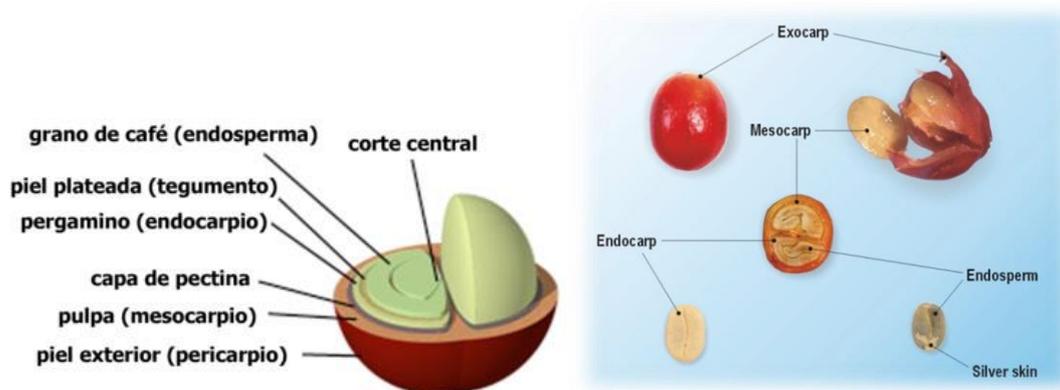
Son dos las especies de café de interés comercial (90% de la producción mundial): *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, conocido como robusta (Varnam y Sutherland, 1997). Algunas especies menos comunes son *Coffea excelsa* y *Coffea liberica*. Cada especie comprende en sí misma distintas variedades, formas, y tipos que hacen todavía más diversas las características específicas de los granos y la calidad de los mismos.

A éstos criterios botánicos se añaden las influencias del medio en el cual es cultivado como el clima, el suelo, los tratamientos fitosanitarios, las practicas agronómicas, la recolección, el almacenamiento, las técnicas de preparación del café, el envejecimiento, etc. Variables que discriminan más aun los conceptos de calidad intrínseca de un café.

La planta del café es una dicotiledónea, perenne, que puede alcanzar 10 metros de altura de forma silvestre, y en una plantación controlada alcanza 3 metros con el fin de facilitar la recolección de los frutos. Las primeras ramas se encuentran opuestas horizontalmente y las hojas crecen en pares cortos. Éstas presentan 15 centímetros de largo en arábica y son ovaladas o lanceadas, brillantes y de color verde oscuro, en robusta estas son largas. (Doyle, M.P., *et al.* 2001; Clarke y Macrae, 1985). La primera floración tiene lugar a los 3 o 4 años, produciendo flores de color blanco cremoso situadas en las axilas de las hojas. Las corolas tienen 20 centímetros de longitud y cinco pétalos. (Clarke y Macrae, 1985). Los ovarios poco a poco se convierten en drupas ovaladas de hasta 18 mm de longitud y 10-15 mm de diámetro, lo que más adelante será el grano de café.

El fruto es una baya, que en lenguaje corriente se denomina cereza por su forma redondeada. En primer lugar se encuentra el exocarpio (piel), primero verde, conforme va madurando se colorea a rojo y posteriormente a granate. Entre el grano y la piel se encuentra el mesocarpio, es la parte carnosa del fruto, mucilaginoso, de aproximadamente medio centímetro de espesor que habrá que eliminar en el tratamiento posterior del fruto (tiene contenidos importantes de azúcares y pectinas). El fruto tiene en su interior dos granos de café enfrentados por su cara plana (Figura 1).

Protegiendo los granos se encuentra el endocarpio, envoltura de celulosa de color amarillo pálido, frágil y dura, que se denomina pergamino. Cada uno de los granos, a su vez, está recubierto por una débil membrana llamada película plateada, cuyos restos suelen permanecer pegados a lo largo del surco que atraviesa la cara plana del grano. El grano es el término comercial que designa la semilla de la planta del café.



**Figura 1. Partes del fruto del cafeto. Imagen de la izquierda obtenida de [http://www.nuestrocafe.com/opcion/conocer\\_el\\_cafe\\_17.php](http://www.nuestrocafe.com/opcion/conocer_el_cafe_17.php) . Imagen de la derecha obtenida de: <http://www.musetticafe.es/category/cafe/>**

### **3. Diferencias entre las especies de café**

Existen notables diferencias morfológicas entre las dos especies de café. Además la composición química pone de manifiesto estas diferencias ya desde su origen, en café verde, existen diferencias cuantitativas y cualitativas (Poisson, J. 1977, Clarke y Macrae, 1985).

### **3.1. *Café Arábica.***

Las semillas del Café Arábica son voluminosas, de forma alargada, más ovalados y aplanados, de longitud media entre 10 y 12 mm, con densidad promedio de 0,6 g/cm<sup>3</sup>, dependiendo de la influencia que ejerce el estado de madurez de los frutos en el momento de la cosecha y los ataques criptogámicos o parasitarios. Los granos lavados tienen en general un color verde azulado o gris azulado uniforme. Tienen una acidez natural agradable, buen sabor y aroma, un contenido promedio en torno a 1,2% en cafeína.

La FAO (2011) indica que el café arábica es el más cultivado en América Latina, pero su cultivo es susceptible a las plagas y a las enfermedades. Representa del 60 al 70% de la producción mundial.

### **3.2. *Café robusta.***

La denominación Robusta hace referencia a que esta especie es menos exigente en cuanto a condiciones de cultivo (altitud, temperatura, etc.).

El café Robusta se cultiva en zonas bajas y generalmente produce un grano pequeño y redondeado, contiene el doble de cafeína que el café arábica. Las infusiones obtenidas tienen mucho cuerpo y mayor amargor, pero posee un sabor menos suave que el arábica, y por eso tiene un precio menor en el mercado.

Son cafés que provienen de países donde la lluvia es más escasa como Brasil, Indonesia, Yemen y Etiopía. La FAO (2011) indica que el café robusta representa entre el 30-40% de la producción mundial

## **4. Principales productores**

El 70 % de la producción mundial de café procede de América Central y Sudamérica mientras que el resto, de África central y del sur de Asia. En España el único lugar en el que todavía se cultiva café es el Valle de Agaete (Gran Canaria), sin embargo la producción es prácticamente testimonial.

El mayor productor de café del mundo actualmente es Brasil, a pesar de que Vietnam consiguió recientemente la segunda posición en el mercado gracias a las grandes cantidades de café Robusta que produce.

En la tabla 1 pueden verse los principales países productores de café del mundo en el año 2015 ordenados según el porcentaje de producción mundial y en la figura 2 la producción mundial según categoría de café y región:

Tabla 1. Principales países productores de café, producción y % que representan respecto al total en el año 2015.

Principales productores de café del mundo en el año 2015			
Puesto	País	Producción (en miles de Kg)	% de producción mundial
1	Brasil	2.594.100	30,16%
2	Vietnam	1.650.000	19,18%
3	Colombia	810.000	9,42%
4	Indonesia	660.000	7,67%
5	Etiopía	384.000	4,46%
6	India	350.000	4,07%
7	Honduras	345.000	4,01%
8	Uganda	285.000	3,32%
9	México	234.000	2,72%
10	Guatemala	204.000	2,37%
11	Perú	192.000	2,23%
12	Nicaragua	130.000	1,52%
13	Costa de Marfil	108.000	1,26%
14	Costa Rica	89.520	1,04%
15	Kenia	50.000	0,58%
16	Tanzania	48.000	0,56%
17	Papúa Nueva Guinea	48.000	0,56%
18	El Salvador	45.701	0,53%
19	Ecuador	42.000	0,49%
20	Camertín	34.200	0,40%

Fuente: International Coffee Organization ([www.ico.org](http://www.ico.org))

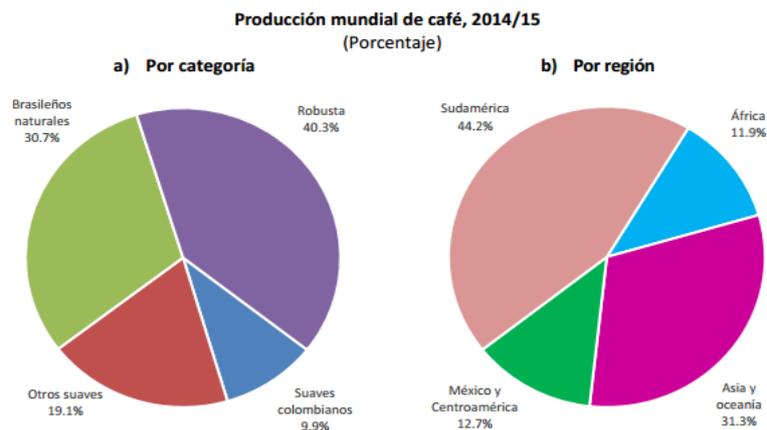


Figura 2. Producción mundial de café en los años 2014-2015 por categoría y región. (Fuente: Panorama Agroalimentario. Café 2015. FIRA.

El 73,3% de la producción mundial de café en 2014/15 se concentró en cinco países: Brasil (30,16%), Vietnam (19,18%), Colombia (9,42%), Indonesia (7,67%) y Etiopía (4,4%). Entre los principales productores también están India (4,07%), Honduras (4,01), Uganda (3,32) y México (2,72 %). Los principales productores de café arábica son Brasil (42,2 %), Colombia (15,4 %), Etiopía (8,0 %), Honduras (6,4 %) y Guatemala (4,0 %). México es el sexto productor de esta

variedad con una participación del 3,8 %. En la producción de café robusta sobresalen Vietnam (41,6 %), Brasil (26,0 %), Indonesia (11,3 %) e India (5,7 %) (FIRA 2015).

#### 4.1. Café de Colombia

##### Producción café colombia

En los últimos años se han producido cambios en la producción del café entre los países productores y el lugar que ocupan (Tabla 2). Brasil era el principal productor de café seguido de Colombia hasta que en los años 90 el gobierno de Vietnam incentivó a los campesinos a producir café. Esto provocó que en el año 2000, Vietnam se convirtiera en el segundo productor del mundo con 15 millones de sacos (Raworth y Wilson, 2002).

**Tabla 2. Cambio producido entre 1999, 2000 y 2001 de los principales países productores de café. Producción en toneladas. Fuente: FAOSTAT (<http://faostat.fao.org/>)**

País	1999	2000	2001
<b>Brasil</b>	1.600.070	1.888.924	1.780.140
<b>Colombia</b>	648.000	636.000	560.000
<b>Vietnam</b>	486.831	802.500	800.000
<b>Indonesia</b>	455.119	399.600	389.700
<b>México</b>	303.191	328.161	330.000

Colombia, es el principal productor de café arábico 100% lavado, sus productores han apostado por la calidad y el compromiso social. Por ello, en 1927 los cafeteros colombianos se unieron con el fin de crear una organización que los representara nacional e internacionalmente, y que velara por su bienestar y el mejoramiento de su calidad de vida. Así nació la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), considerada hoy como una de las ONG rurales más grandes del mundo. Unos años más tarde, en 1938, el IX Congreso Nacional Cafeteros creó el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, con sede en el municipio de Chinchiná, Caldas. Es en la actualidad el Centro de Investigaciones de café más importante de Colombia y del mundo.



**Figura 3. Sello distintivo del café de Colombia (IGP).**

El café de Colombia es una Indicación Geográfica Protegida (IGP) Café de Colombia (Figura 3). Los consumidores perciben las indicaciones geográficas como indicadores del origen y de la calidad de los productos. Estas tienen la ventaja de ser una forma de amparo legal que permite garantizar a clientes y consumidores que un producto que se describa como proveniente de un

lugar geográfico específico cumple con los procesos y los requisitos de calidad asociados con dicho lugar o región. De esta forma, el consumidor puede confiar en lo que está comprando, y el productor se ve justamente recompensado por sus esfuerzos en producir un producto de calidad superior que cumple los estándares de la Indicación Geográfica.

El Café de Colombia se caracteriza por ser una bebida con una taza limpia, con acidez y cuerpo medio/alto, aroma pronunciado y completo. Diferentes variedades vegetales de dicha especie que se adaptan a los entornos específicos de la geografía colombiana, o una mezcla de ellas, constituyen la materia prima del café colombiano. Las principales variedades de café arábigo que se siembran en Colombia son: Típica, Borbón, Maragogipe, Tabi, Caturra y la Variedad Castillo, antes conocida como Variedad Colombia.

Estos cafés se cultivan a más de 2.000 metros de altura, lo que permite que las temperaturas medias varíen en un rango de 18° a 24°

## **5. Proceso de elaboración del café**

### ***5.1. Cosecha***

El café debe ser cosechado cuando las cerezas están maduras, es decir, cuando adquieren un color rojo, estén brillantes y firmes al tacto (Coffee Research Institute, 2011; FAO, 2011). El procesamiento debe comenzar el mismo día de la cosecha, a fin de evitar una fermentación indeseable y reducir el riesgo de contaminación a partir de la pulpa de la fruta, rica en nutrientes y humedad (Bee, S., *et al.* 2005). Las bayas de café alcanzan el estado maduro a lo largo de un amplio periodo, por lo que es conveniente recolectar las bayas de forma individual, repitiendo la operación a intervalos de 7 a 14 días.

En el mundo, la recolección del café se realiza empleando métodos selectivos (picking) y no selectivos (stripping), de acuerdo a cómo se efectúe la cosecha de los frutos (Wilbaux, R. 1963). La recolección selectiva consiste en identificar y desprender uno a uno los frutos maduros de los árboles lo cual unido al beneficio húmedo, entre otras prácticas de postcosecha, garantiza la producción de cafés suaves de buena calidad. Sin embargo, debido a que la cosecha de los frutos es individual y cuidadoso, la eficiencia de la mano de obra empleada en esta actividad es relativamente baja (Wallis G., J.A. 2003., Wang, J.K. 1966.).

Los métodos no selectivos se caracterizan por la cosecha masiva de los frutos, donde no se selecciona el material que se desea recolectar pudiéndose realizar por personas o máquinas. Estos métodos se practican en países donde la mano de obra es escasa o las extensiones del cultivo no permiten una cosecha selectiva. Para este tipo de recolección es frecuente la utilización de maduradores químicos que aceleran el climaterio. Los costes se reducen al concentrar la fructificación dentro de un periodo más breve, con lo cual se consigue obtener la misma cantidad de bayas pero en un número menor de recolecciones. Bajo la recolección no selectiva se obtiene un producto con niveles de frutos verdes entre 20,2% y 38,6% en la masa cosechada (Carvalho, V.D., *et al.* 1987; Teixeira, A.A., *et al.* 1985), con los cuales se afecta la calidad de la bebida, ya que al encontrarse con granos inmaduros o excesivamente maduros se aporta a la taza de café sabores astringentes y fermentados respectivamente, y en consecuencia el producto se cotiza a menor precio en el mercado internacional.

## **5.2. Beneficiado**

El beneficio del café es la siguiente etapa en el procesamiento del café, el cual consiste en eliminar las diversas capas que rodean al grano y secarlo hasta que el contenido de humedad del grano de café sea inferior a 12% (Varnam y Sutherland, 1997). El beneficio del café se lleva a cabo mediante dos métodos como son el húmedo y el seco.

Beneficiado por vía húmeda: Las cerezas maduras se despulpan y se fermentan, obteniéndose un café verde denominado "lavado" o "suave". A excepción del café Arábica de Brasil, todos los demás Arábicas se procesan por esta vía. El café verde obtenido por el procesamiento húmedo generalmente da como resultado un café más selecto y cotizado. Las etapas de este proceso son: clasificación, despulpado, fermentado, lavado y secado.

Beneficiado por vía seca: Las cerezas cosechadas, se secan enteras (generalmente al sol) y se descascarillan, obteniéndose un café verde denominado "natural" (FAO, 2011). El procesamiento seco se aplica prácticamente a todo el café Arábica de Brasil y a la mayoría del café Robusta. Es un proceso más económico que el proceso por vía húmeda. En general, se considera que con esta técnica se obtiene un café de peor calidad y el producto final se cotiza a un precio inferior. Es el método más antiguo para el beneficio del café verde y consta de tres etapas básicas: clasificación, secado y descascarillado. Los cafés denominados naturales o no lavados, proceden del beneficiado por vía seca.

Bustamante, F. (2006) menciona que si el mucílago no se desprende adecuadamente afectará la calidad física y el sabor en la taza (infusión de café). Es por ello que la FAO (2011) menciona que el café verde que se produce mediante un beneficio húmedo, suele considerarse de mejor calidad y obtiene mejores precios y, generalmente, se lleva a cabo en el café arábica.

## **5.3. Tecnología del tueste**

Una vez desprovisto de todas sus envolturas, el café verde está listo para ser tostado. El tostado es el proceso más importante que sufrirá el café y de él dependerán muchas de las cualidades que se desarrollarán en la taza. Durante el tueste, el café sufre una serie de reacciones pirolíticas responsables de la formación de las sustancias que aportan las características sensoriales del café, acompañadas por cambios físicos, importantes (Pascual, L., *et al*, 2003).

Es un proceso que depende básicamente de la naturaleza del café, de la temperatura, del tiempo y de la cinética de transferencia de calor.

Durante el tueste, el café pierde del 14 al 22 % de su peso y duplica su volumen. Cuanto mejor se realice, mayor incremento de volumen se conseguirá para un mismo grado de tueste. Hay una redistribución del agua seguido por reacciones químicas como la de Maillard, caramelización de la sacarosa y una pirolisis final de los carbohidratos y proteínas (Clarke, *et al*. R.J. 1985; Illy y Viani, 1995). Los porcentajes más altos de pérdida de peso (cercana al 20%) se producen cuando el café queda de color oscuro, en este caso los poros que se generan son finos y permiten la movilización de aceite del café que migra hacia la superficie del grano (Illy y Viani, 1995). En este periodo también se produce el hinchamiento del grano, aproximadamente de dos veces su volumen original (Schenker, S., *et al*. 2000).

Se pueden definir cuatro grados de tueste: ligero, medio, oscuro y muy oscuro. Dependiendo del país consumidor, se tendrá en cuenta un tipo de tueste u otro. La uniformidad del color, después del tostado, es atributo de un café de buena calidad (Aguilar, 1995; Gretsche, C., *et al.* 1999; Severini, C., *et al.* 1991; Mwithiga, G., *et al.* 2003). Cuando el tostado produce un color claro, se presenta mayor aroma y acidez, con menos cuerpo y menos amargo y hay una pérdida de peso de 14% (Sivetz y Elliott, 1963).

Por el contrario, cuanto más oscuro sea, estará más tostado, tendrá más cuerpo y el sabor será más fuerte, más amargo y menos ácido. El color es una característica cambiante estrechamente asociada al proceso de tostado del café ya que durante el tostado del café verde este se vuelve marrón, y cuanto más tiempo sea tostado más oscuro se tornará, por lo tanto, en la etapa del tostado se ha enfocado la atención en el resultado final del color deseado (Mabett, T. 2006). La cantidad de materia orgánica perdida en este proceso es proporcional al grado de tueste. En un tueste ligero, la pérdida es del 1 al 5% y en un tueste muy oscuro es mayor del 12 %. Los productos de degradación del tueste son, principalmente, el agua (70 %) y el CO<sub>2</sub> (30 %), un poco de CO y otros productos volátiles.

Existen dos tipos de tueste: natural y torrefacto.

El Real Decreto 1676/2012, de 14 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad para el café define el Café de tueste natural como el obtenido al someter el café verde o crudo en grano a la acción del calor, de forma que adquiera el color, aroma y otras cualidades características.

Este mismo Real Decreto define el café torrefacto como « café tostado en grano, con adición de sacarosa o jarabe de glucosa, antes de finalizar el proceso de tueste, en una proporción máxima de 15 kilogramos de dichos azúcares (expresados en sustancia seca) por cada 100 kilogramos de café verde.

#### **5.4. Enfriamiento**

Una vez que se logra el grado deseado de tostado, se debe realizar un enfriamiento rápido de granos de café con el fin de evitar un tueste excesivo y detener las reacciones exotérmicas dentro de los granos. En la industria esta refrigeración puede realizarse por agua o aire.

Para el enfriamiento por aire son necesarias grandes cantidades de aire frío aplicadas durante varios minutos (Illy, A., *et al.* 1995), lo que implica un proceso relativamente lento. Por ello, las reacciones exotérmicas en los granos de café pueden continuar durante los primeros 15 segundos tras el proceso de enfriamiento (Eggers, R., *et al.* 2004). El enfriamiento por agua baja la temperatura más rápidamente, consiguiendo una disminución de 230 a 100 °C en menos de 1 segundo (Eggers, R., *et al.* 2004). Cuando la temperatura del grano cae por debajo de 100°C se produce la condensación exotérmica de la humedad y los granos de café pueden absorber humedad. Illy, A., *et al.* (1995) mencionan posibles reacciones de oxidación en la superficie de los granos de café, así como la apertura de los poros, lo que permite la salida de sustancias volátiles del grano.

### **5.5. Envasado y almacenamiento**

El café debe envasarse perfectamente protegido de cualquier agente exterior. No podrá ser almacenado ni transportado junto a sustancias tóxicas ni junto a ningún otro producto que pueda perjudicar su calidad o transmitirle sabores u olores extraños.

El café tostado es considerado un producto estable respecto al deterioro enzimático y microbiológico. De hecho, debido a la alta temperatura alcanzada durante el proceso de tueste el café se caracteriza por su baja actividad de agua (aw) así como los productos de las reacciones de Maillard que presentan propiedades antimicrobiológicas (Einarsson, H., 1987 y Daglia, M., *et al.*, 1994).

Sin embargo, durante el almacenamiento, el café puede sufrir importantes cambios químicos y físicos, responsables del enranciamiento del café, lo cual afecta a la calidad y aceptabilidad de la bebida (Nicoli, M. C., *et al.* 2005).

Las principales causas del enranciamiento son atribuidas a la pérdida de compuestos volátiles y las reacciones oxidativas, siendo este último el responsable de la formación del mal sabor (Holscher, W., *et al.*, 1992)

La temperatura, la concentración de oxígeno y la humedad relativa son los principales factores que afectan a la vida útil del café. Por todo lo anterior, es clave un correcto envasado para preservar la calidad del café durante el almacenamiento.

Existen distintos envases para el café tostado en grano o molido como: hojalata o aluminio, tanto en presencia de aire o bien con atmósfera modificada o al vacío, envases flexible como las bolsas en las que se envasa a presión atmosférica antes o tras desgasificado. También puede envasarse a vacío y envasado en frascos de vidrio a presión atmosférica. En cualquiera de estos casos puede ser usada o no una válvula desgasificadora a fin de sacar del envase el CO<sub>2</sub> liberado por el café tostado. En caso de envases transparentes, se produce además fotooxidación inducida por radiación ultravioleta.

Además de los diferentes tipos de envasado para café, existen diferentes procesos de envasado y tecnologías que permiten lograr diferentes grados de conservación del café. Entre los procesos más comunes están:

- Envasado al aire: En este proceso los envases son llenados manual o automáticamente a presión atmosférica y en presencia de aire o por ende de oxígeno. Los envases son cerrados a presión o termo sellados conteniendo aire. Se estima que el porcentaje de oxígeno residual de este tipo de envase alcanza el 16 a 18%, pudiendo reducirse a 10 a 12% mediante el empleo de una válvula desgasificadora. Esta es justamente la principal desventaja de este proceso de envasado, pues este oxígeno residual genera rancidez provocada por la oxidación de grasas y aceites insaturados. Existe una gran diferencia entre el envasado con pinchazo o válvula ya que la válvula no permite la entrada de aire exterior. En el sistema de pinchazo las características del producto comienzan a mermar tras 7 días, sin embargo, con el empleo de válvula aguanta hasta tres meses desde su envasado.

- Envasado al vacío: Este sistema de envasado elimina casi por completo la atmósfera interna del envase reduciendo el oxígeno residual a niveles de 4 a 6% y aumentando la vida del producto.
- Envasado con atmósfera modificada: En esta modalidad de envasado en vez de eliminar la atmósfera interna, esta es modificada por un gas inerte como el nitrógeno, con este sistema el oxígeno residual puede reducirse hasta 1 a 2% y aumentar la vida útil.

Durante el almacenamiento de café se producen una serie de cambios sensoriales los cuales se han asociado con la oxidación de lípidos, ácidos grasos insaturados libres e hidroperóxidos se encuentran en los cafés almacenados (Speer y Kölling-Speer, 2006). Además, los productos secundarios de la oxidación de lípidos pueden reaccionar con otros componentes del grano de café, como las proteínas, que también pueden contribuir a los cambios sensoriales (Rendón M. Y. 2013).

### **5.6. Preparación de la bebida**

Además de la calidad del café utilizado, la calidad final de un buen café depende de diversos factores, como es la preparación de la bebida. Hay que prestar especial atención a que el punto de molido sea acorde con el tiempo de preparación, es decir, con el tipo de cafetera empleado. Además la calidad del agua y la temperatura de la misma influirán notablemente en el grado de extracción y la calidad de la bebida extraída. Dependiendo del tipo de cafetera empleada la proporción entre café y agua deberá ser modificada. Finalmente, pero no menos importante el equipo empleado debe mantenerse en unas condiciones adecuadas de limpieza y mantenimiento.

Existen distintos métodos para preparar la bebida de café, de los cuales dependerá en buena medida sus características sensoriales.

Dependiendo de si la preparación se realiza en el hogar o en la hostelería los métodos serán distintos.

#### Café en el hogar

##### **- Cafetera de émbolo**

La cafetera de émbolo, de pistón, francesa o prensa francesa, como su nombre lo indica, tiene un pistón, que a su vez lleva adherido un filtro al émbolo, que permite realizar la extracción del café tostado y molido.

Este método permite obtener una textura en boca de cuerpo pronunciado y acidez sutil, con un buen balance.

##### **- Cafetera italiana**

La Cafetera Italiana, también llamada Cafetera Moka, utiliza la presión del agua hirviendo para la extracción, factor que concentra aún más el sabor del café, aunque no llegue a los niveles de un espresso. El punto ideal de molienda para la cafetera italiana ha de ser más bien fino si lo que se quiere es conseguir un café con mucho cuerpo e intensidad.

- **Cafetera de filtro**

La cafetera de filtro o cafetera Melitta o eléctrica produce un café de cuerpo medio-suave y es una forma sencilla de preparar tu café.

Café en la hostelería

- **Café espresso**

El café espresso es una forma de preparación cuyo nombre, de origen italiano, deriva de la obtención de la bebida mediante una cafetera exprés, que hace pasar agua a alta presión a través del café tostado y finamente molido. Este método proporciona una bebida de sabor y textura concentrados.

Esta preparación resalta sobre todo el cuerpo del café, pero permite apreciar todos los atributos intrínsecos, como aroma, acidez, cuerpo.

Los parámetros para obtener un café espresso perfecto son:

- Tiempo percolación: 25 s  $\pm$  5 s
- Temperatura del agua: 92 °C + 5 °C
- Dosis de agua: 35 ml  $\pm$  5 ml
- Dosis café molido: 8 g
- Presión agua: 9 bares

**6. Composición del café**

Químicamente el café se compone de agua y materia seca. La materia seca de los granos del café está constituida por minerales y sustancias orgánicas en los que se encuentran los carbohidratos, lípidos, proteínas, alcaloides (cafeína y trigonelina), ácidos carboxílicos y fenólicos, y compuestos volátiles que dan el aroma al café (Puerta, 2011). Sin embargo, la composición química del café va a depender de la variedad, altura, factores edafológicos, climáticos, agronómicos, procesos tecnológicos, principalmente el tostado (Ruiz, M. 2010).

En estudios sobre la calidad de las variedades de café cultivadas en Chinchiná realizados en 1996 (Puerta Q., G. I., 1998), se encontró que el café colombiano producido y procesado en condiciones adecuadas presenta características sensoriales suaves, con valores altos de acidez y aroma (Pascual, L., *et al*, 2003).

Los glúcidos son la principal fuente de energía de todos los seres vivos, conteniendo en su estructura varios grupos hidroxilo (-OH) y un grupo carbonilo aldosa (-CHO) o uno cetosa (C=O). Los carbohidratos incluyen los monosacáridos como la glucosa, fructosa, ribosa, manosa, los disacáridos como la sacarosa, lactosa y maltosa, los oligosacáridos como la rafinosa y los polisacáridos como el almidón, la celulosa, el glucógeno, las gomas y las sustancias pécticas. Los monosacáridos y algunos disacáridos como la lactosa y la maltosa son azúcares reductores, pueden oxidarse para formar alcoholes y ácidos en las fermentaciones (Menchu, J.F,

1971) o reaccionar con los aminoácidos en el tostado, para formar las melanoidinas. La sacarosa no es reductora, pero puede invertirse y formar glucosa y fructosa mediante hidrólisis. Los granos de café maduros y sanos contienen más sacarosa que los inmaduros y defectuosos. La principal diferencia en la composición de carbohidratos entre especies de café, es el mayor contenido de sacarosa en Arábica (6% a 9%) y en Robusta (3% a 7%).

Los lípidos son sustancias energéticas y protectoras de las células, son insolubles en agua y comprenden los ácidos grasos saturados e insaturados, los lípidos saponificables como los triglicéridos (grasas), ceras y fosfolípidos (lecitina), y los esfingolípidos de las membranas celulares. También incluyen los insaponificables como los monoterpenos del geraniol y limoneno, los diterpenos como el fitol, las vitaminas A, E, K, el cafestol y el kahweol, los triterpenos como el escualeno, los tetraterpenos de los carotenoides, licopenos y xantofila. Los lípidos se oxidan en condiciones de oxígeno, luz, y altas temperaturas, así, se rompen los enlaces insaturados, se forman radicales libres y se producen aldehídos, cetonas y alcoholes que, en general, tienen olores desagradables, como el rancio. Para controlar la oxidación de los lípidos del café es necesario almacenar los granos en condiciones frescas y secas, sin luz directa y controlar la exposición al oxígeno.

El café Arábica contiene menos ácidos grasos libres que el café Robusta, y en los granos almacenados hay más ácidos grasos libres que en los granos frescos. Los triglicéridos contienen principalmente ácidos linoleico y palmítico, y conforman el 75% de los lípidos del café. La materia insaponificable constituye cerca del 20% al 25% de los lípidos del café y en los diterpenos predomina el ácido palmítico.

Las proteínas se componen de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Estas sustancias cumplen diferentes funciones en las células de los seres vivos como estructura, formación, regulación, defensa, contracción, transporte y catálisis. Las proteínas simples comprenden las globulares como las albúminas, enzimas, hormonas, insulina y diferentes proteínas de los vegetales, y las fibrosas que incluyen elastina, colágeno, queratina y fibroína. El contenido total de proteínas es similar entre las especies de café y están conformadas por 50% de albúminas que son solubles en agua y 50% de globulinas insolubles. El contenido total de aminoácidos libres es mayor en granos maduros que en inmaduros y en Robusta que en Arábica, aunque algunos aminoácidos están en menor cantidad en el grano de café maduro, que inmaduro. En granos de café almacenados a altas temperaturas se presenta mayor contenido de aminoácidos libres. Las enzimas que contienen los granos de café pueden catalizar las degradaciones de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos clorogénicos del mismo grano.

El café contiene varios alcaloides que contribuyen al sabor amargo del café como son la cafeína, la trigonelina y otros en menor concentración como paraxantina, teobromina y teofilina. El café Robusta contiene más cafeína (2,1%) que Arábica (1,3%). Por su parte, la trigonelina se encuentra en mayor cantidad en Arábica (0,6% a 1,3%) que en Robusta (0,3% a 0,9%).

Las cenizas del café se determinan mediante la calcinación del grano seco y molido, y contienen los minerales y elementos químicos. El contenido de cenizas es mayor en el café Robusta que en Arábica, y mayor en granos obtenidos del beneficio seco (secado de los frutos o cerezas) que del beneficio húmedo (Amorim, H.V., *et al.* 1977). Los contenidos de cenizas varían de 3,36% a

5,73%, con un promedio de 4,13% y en el tostado entre 3,05% y 5,25%, con un promedio de 4,36%.

## **7. Efecto del aumento de humedad en la conservación del café**

El café tostado es un producto estable del deterioro enzimático y microbiano durante el almacenamiento. De hecho, debido a la alta temperatura alcanzada en el proceso de tostado, el café se caracteriza por una baja actividad de agua (aw), así como por la presencia de productos de reacción de Maillard con propiedades antimicrobianas (Einarsson, H., 1987, Daglia, M., *et al.* 1994). Sin embargo, durante el almacenamiento, el café puede sufrir importantes cambios químicos y físicos, responsables del deterioro del café, que afecta a su calidad y aceptabilidad de la bebida (Nicoli, M., *et al.* 2005). Las principales causas de este deterioro son atribuibles a pérdidas de compuestos volátiles y reacciones de oxidación, siendo este último responsable de la formación de mal sabor (Holscher, W., *et al.* 1992). La temperatura, concentración de oxígeno, y la humedad relativa son los principales factores que afectan a la vida útil del café tostado. Así Cardelli y Labuza (2001) observaron que aproximadamente por cada 10 °C de aumento en la temperatura de conservación produce una disminución de la vida útil del 20%.

Como se ha comentado la humedad afecta a la conservación del producto así Baggenstoss, J., *et al.* (2007) observaron que los granos de café tostados con mayor humedad presentaban una mayor rapidez en la oxidación de tioles. También observaron la evolución del producto durante el almacenamiento observando que la cantidad de hexanal, producto secundario de la oxidación de lípidos, era más del doble tras 83 días de almacenamiento.

Según Labuza, T.P., (1971), la oxidación de lípidos es ligeramente mayor con valores altos de actividad de agua. Las reacciones de degradación son más rápidas en cafés con alto contenido de humedad lo que puede ser explicado por el efecto plastificante del agua. El aumento de la humedad conduce a la reducción de la temperatura de transición vítrea en los sistemas amorfos (Bell L.N. 1995), y, posteriormente, a una mayor movilidad de los reactivos (Karmas, R., *et al.* 1992), incluyendo una difusión de oxígeno más rápida.

Por tanto, los estudios realizados nos permiten constatar que cuanto mayor sea la humedad del producto almacenado mayor será su oxidación, lo que implica una peor conservación. Sin embargo, a excepción del enranciamiento de las grasas son pocos los estudios que evalúan los cambios producidos en el café cuando se modifica su porcentaje de humedad.

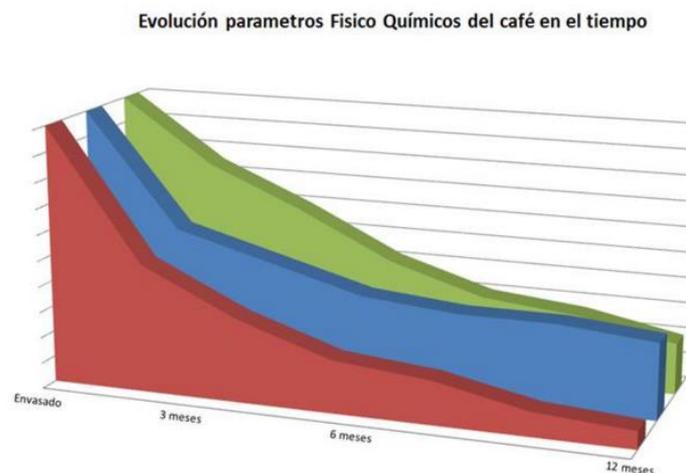
La porosidad del grano influye en la oxidación de los lípidos ya que hace que el agua pueda entrar en el grano con mayor facilidad o las grasas puedan salir del interior del mismo. El tostado induce cambios en la estructura de los poros lo cual influye en la calidad del café. La estructura del poro controla el fenómeno de la transferencia de masa durante el almacenamiento y determina la capacidad de absorción de gases (Radtke, R. 1975; Saleeb, F.Z. 1975; Massini, R., *et al.* 1990). Los microporos finos permiten al aceite del café migrar hacia la superficie del grano (Puhlmann, R., *et al.* 1986; Illy y Viani 1995; Wilson, A. J. 1997). La pérdida de compuestos aromáticos y el consiguiente cambio en el perfil del sabor durante el almacenamiento, están probablemente relacionados con el grado de exposición de la superficie interna y a la accesibilidad del oxígeno (Holscher y Steinhart 1992; Gutiérrez, C., *et al.* 1993).

Los cafés tostados a altas temperaturas muestran un volumen mayor del grano y microporos más grandes en la pared celular comparado con los cafés tostados a temperaturas más bajas. Los microporos grandes pueden promover la desgasificación rápida, la migración del aceite así como aumentar la accesibilidad al oxígeno y acelerar la pérdida de compuestos aromáticos. Sin embargo, el origen y la estructura de la red de microporos en la pared celular permanece poco clara (Snhecker, S., *et al.* 2000).

Además del tostado el método de enfriamiento influye notablemente en la calidad final del producto. El enfriamiento por agua, según mencionan algunos autores (Illy y Viani., 1995) produce posibles reacciones de oxidación en la superficie de los granos de café, así como la apertura de los poros, lo que permite la pérdida de sustancias volátiles del grano.

Otro parámetro estrechamente relacionado con la oxidación de los lípidos es la crema. La crema es una dispersión de burbujas de gas en una fase continua líquida. En el caso de café espresso, la fase de gas es principalmente el dióxido de carbono generado durante el tostado del café y atrapado dentro de la estructura de la célula, mientras que la fase continua es una emulsión de gotitas de aceite microscópicas (90 % <10 µm) en una solución acuosa de varios solutos (incluyendo azúcares, ácidos, material proteico, y cafeína) (Illy, E., *et al.* 2011).

Como se observa en la figura 4 el índice de crema va disminuyendo durante el almacenamiento, lo que es debido a la oxidación de los lípidos que se produce durante el mismo.



**Figura 4. Evolución del aroma a fresco (rojo), índice de crema (azul) y volátiles totales (verde) a lo largo de 12 meses de almacenamiento.**

Castaño-Castrillon, J.J. *et al.* (2004) observaron que el color del café tostado varía con el tiempo de almacenamiento. Estos autores observaron que la coordenada L\* variaba significativamente con el tiempo de almacenamiento, tendiendo a aumentar. Los valores más altos de esta coordenada indicaban un blanqueamiento del café tostado. Respecto a la coordenada a\* observaron una “pérdida” de rojo durante el almacenamiento, y esta además dependía de la estructura del envase. Por tanto, estos autores concluyeron que el color del café tostado varía con el tiempo de almacenamiento, tendiendo a aclararse, y a perder la componente roja.

Kreuml, M., (2013), observaron que tras 9 y 18 meses de almacenamiento el café tostado perdió intensidad de sabor y aroma. El olor y el sabor asociado a atributos negativos como ahumado, madera y terroso, así como la astringencia, sabor amargo, y el regusto aumentaron durante el almacenamiento. Además, el sabor y el olor rancio, los cuales indican procesos de oxidación, fueron perceptibles.

Por ello, conociendo por investigaciones realizadas con anterioridad que el aumento de la humedad afecta a la estabilidad del café, vamos a estudiar también si sensorialmente es posible detectarlo.

## **CAPÍTULO II. OBJETIVOS**

El presente trabajo final de Máster tiene como objetivo estudiar la influencia del porcentaje de humedad final en granos de café tostado durante el almacenamiento.

Este objetivo general se aborda a través de los siguientes objetivos específicos:

1. Estudio del efecto del porcentaje de humedad sobre las propiedades físico-químicas y sensoriales de café Colombia tostado.
2. Estudio de la evolución de las características físico químicas de los cafés a lo largo del tiempo de almacenamiento.
3. Estudio de la existencia de diferencias sensoriales entre los cafés con distinto porcentaje de humedad a lo largo del tiempo de almacenamiento.

## **CAPÍTULO III. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **1. Material vegetal**

Para la realización de este trabajo final de master se utilizaron muestras de café arábica (*Coffea arabica* L). Tras la recolección los granos de café fueron ensacados y transportados en barco desde Colombia hasta el puerto de Barcelona. Una vez recibidos en el tostadero fueron almacenadas durante menos de tres meses en primer lugar en sacos para después almacenarse en silos hasta su tostado. La temperatura media de almacenamiento fue de 17 °C y la humedad relativa del 60%.

Las muestras de café arábica proceden de Colombia, han sido recolectadas mediante la técnica del picking y su beneficiado ha sido por vía húmeda. Todos los granos de café provienen del mismo lote y fueron almacenados y procesados de la misma manera excepto la fase de enfriamiento en que se empleó diferentes volúmenes de agua.

Los granos de café arábica son grandes, planos y alargados presentando un tono verdoso. Las bebidas obtenidas con esta especie de café se caracterizan por tener acidez alta, cuerpo medio y un aroma afrutado además de una cantidad de cafeína baja.

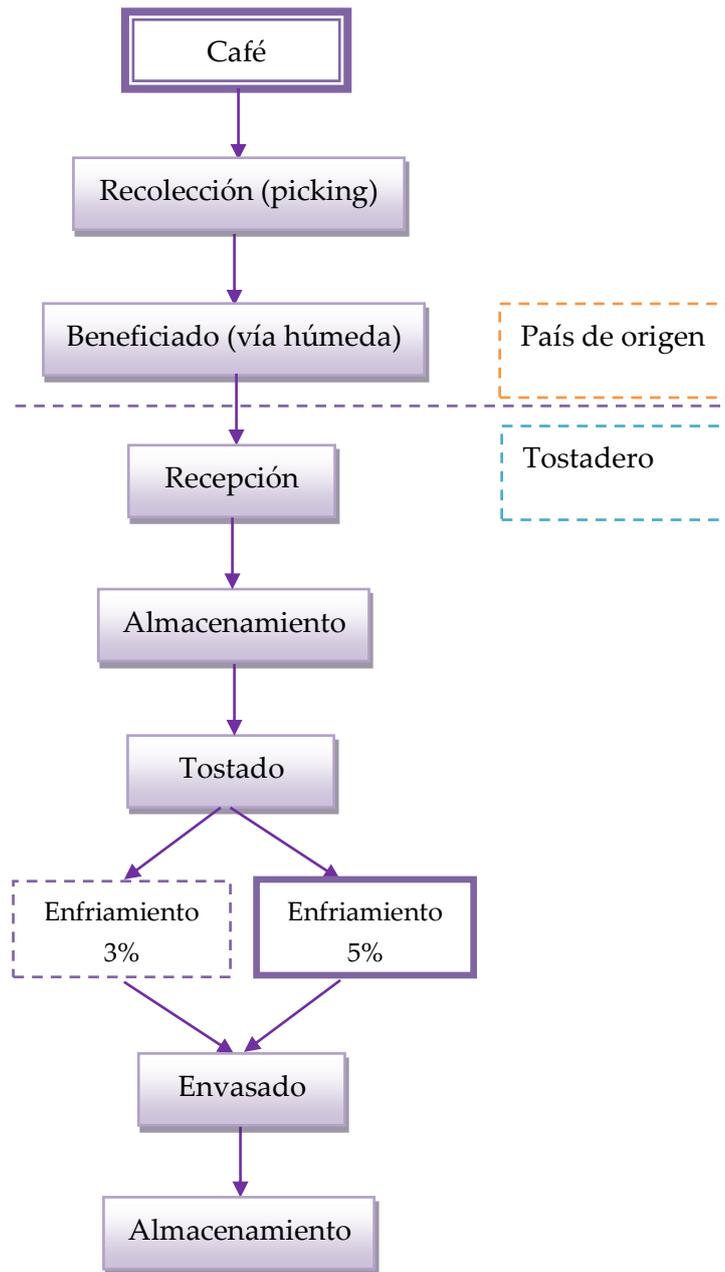
### **2. Tratamiento de las muestras de café.**

En este estudio se realizaron dos tratamientos variando el volumen de agua empleado en la etapa de enfriamiento tras el tueste. El tueste se realizó durante 10 minutos alcanzando un punto máximo de 206 °C en los dos tratamientos.

En primer lugar el café fue enfriado del modo habitual, este se trata de nuestro tratamiento control con humedad estándar.

Para este estudio como hemos explicado anteriormente el principal objetivo fue conocer cómo influye el aumento de la humedad en el café tostado en grano. Por ello el valor que se eligió fue cercano al 5%, ya que se trata de la humedad máxima permitida por la legislación para la producción y venta de café (Real Decreto 1676/2012). Para conseguir esta humedad se empleó un 5% más de la cantidad habitual de agua para enfriar el café.

En la figura 5 podemos observar el proceso que lleva el café desde su recolección hasta que se encuentra preparado para su venta.



**Figura 5. Diagrama de flujo del procesado de café. Las rayas discontinuas separan los procesos que tienen lugar fuera de la fábrica (parte superior) o en el tostadero (parte inferior).**

El café una vez tostado desprende compuestos volátiles (aromas) y CO<sub>2</sub>, principalmente, en lo que se conoce como desgasificación, proceso que se puede extender hasta 3 meses después de haberse tostado el grano. Por lo anterior, se debe evitar envasar el café y cerrarlo herméticamente, pues esto puede generar problemas de hinchamiento y aperturas indeseadas en el envase (Bonilla, Y. 2010). Por ello para el envasado del café se emplea una válvula desgasificadora mono-direccional para liberar los gases y presión e impedir la entrada de oxígeno. El café fue envasado en grano en envases de 1 kg de material tricompuesto que aísla al café de la humedad y la luz. El periodo en el que el café fue almacenado fue de 4 meses y medio, este tiempo fue determinado sabiendo que la vida útil del producto es de 3 meses, pero

se quiso ampliar este tiempo para ver los posibles efectos que tiene el paso del tiempo sobre la calidad del café.

### **3. Diseño experimental**

Con este estudio se trató de evaluar las posibles diferencias físico-químicas y sensoriales del café con las distintas humedades a lo largo del tiempo. Para ello se llevaron a cabo cada 15 días durante 4 meses y medio aproximadamente los siguientes análisis:

- Humedad
- Densidad aparente
- Color
- pH
- Índice de crema
- Análisis sensorial

Las fechas de los muestreos se muestran en la Tabla 3:

**Tabla 3. Número de muestreos, fecha de realización de los mismos y días que transcurrieron tras el envasado en cada uno de los muestreos.**

<b>Muestreo</b>	<b>Fecha de muestreo</b>	<b>Días tras envasado</b>
<b>M1</b>	02/12/2015	5
<b>M2</b>	22/12/2015	25
<b>M3</b>	12/01/2016	46
<b>M4</b>	28/01/2016	62
<b>M5</b>	16/02/2016	81
<b>M6</b>	02/03/2016	94
<b>M7</b>	21/03/2016	114
<b>M8</b>	07/04/2016	133
<b>M9</b>	20/04/2016	146

#### **4. Métodos de análisis.**

##### **4.1. *Parámetros físico-químicos***

###### **4.1.1. *Rendimiento del tueste***

Se calculó el rendimiento del tostado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{m_f}{m_i} \times 100\%$$

Siendo:

- $m_f$ = peso del producto tras el proceso de tostado.
- $m_i$ = peso del café verde previo tostado

###### **4.1.2. *Humedad***

La determinación del porcentaje de humedad es fundamental para controlar que el estudio se desarrolle de manera correcta ya que este valor debería permanecer constante a lo largo del tiempo. El envase presenta una válvula monodireccional que impide la entrada de gases y humedad.

Para la determinación de la humedad se utilizó una estufa convencional siguiendo la norma ISO 11294:1994. Para realizar este método en primer lugar se secaron cápsulas de aluminio en una estufa a  $103\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$  durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, se sacaron de la estufa y se introdujeron en el desecador, hasta que alcanzaron la temperatura ambiente. En ese momento, se pesó con una balanza de precisión de 0,1 mg ( $m_0$ ). Tras ello, se colocaron en las capsulas aproximadamente 5 g de muestra y se pesaron nuevamente teniendo en cuenta la misma precisión ( $m_1$ ). Las muestras se secaron durante 2 h en la estufa a  $103\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ . Transcurrido este tiempo se retiraron de la estufa y se colocaron en el desecador, hasta temperatura ambiente. Por último, se pesaron de nuevo ( $m_2$ ).

El porcentaje de humedad se calcula con la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{(m_1 - m_0)}$$

Siendo:

- $m_0$ = peso, en gramos, de la capsula.
- $m_1$ = peso, en gramos, de la capsula y la muestra antes de secado.
- $m_2$ = peso, en gramos, de la capsula y la muestra después del secado.

Para cada una de las muestras, el proceso se realizó por triplicado.

#### 4.1.3. Densidad aparente

Para la determinación de la densidad aparente se midió el volumen ocupado por 250 g de café en una probeta de 1 litro (Figura 6). Tras esto se determinó realizado el cociente del peso del café entre el volumen ocupado.



**Figura 6. Imagen izquierda: peso de los granos de café y volumen que ocupan en la probeta de un litro. Imagen derecha: detalle del volumen ocupado por los granos de café.**

#### 4.1.4. Color

El color es una característica cambiante estrechamente asociada al proceso de tostado del café. Durante el tostado del café verde este se vuelve marrón, y cuanto más tiempo sea tostado más oscuro se tornará, por lo tanto, en la etapa del tostado se ha enfocado la atención en el resultado final del color deseado.

El color fue determinado mediante un colorímetro (Color Reader CR 10, Konica Minolta) (Figura 7), que determinaba los valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . El café fue molido, tamizado y prensado suavemente para ser medido. Los resultados se expresan como la media de 5 repeticiones.



**Figura 7. Colorímetro empleado para la determinación de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .**

#### 4.1.5. pH

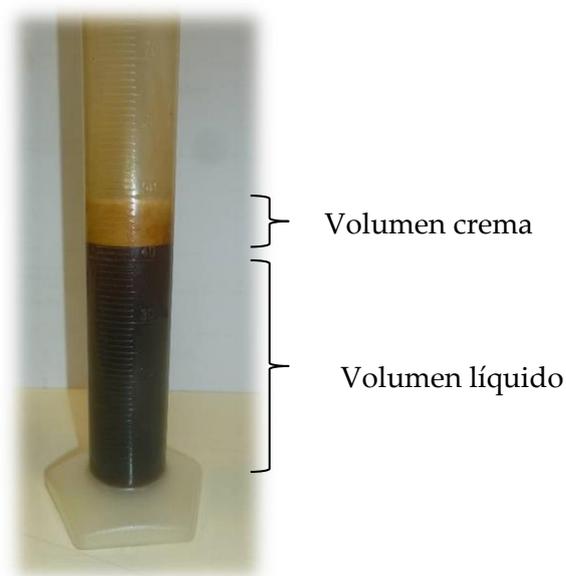
Tras la realización del análisis sensorial se determinó el pH de los dos tratamientos mediante un pHmetro (pH meter GLP 22, Crison). Esta determinación se llevó a cabo conforme a AOAC (1996a, 1996b) a 25°C por triplicado.

#### 4.1.6. Índice de crema

Para determinar el índice de crema en primer lugar las muestras fueron molidas mediante un molino (Modelo Q10; Marca, Quality espresso). Dependiendo del tipo de café y en este caso de la cantidad de agua los cafés presentaron un punto de molido distinto. El punto de molido es determinado de manera indirecta como el tiempo que tarda en salir el café de la cafetera espresso (Modelo, Mariella; Marca Quality espresso), tiempo que se denomina tiempo de erogación. Para que el cálculo del índice de crema sea comparable entre los cafés el tiempo de erogación tiene que ser similar. En primer lugar se pesaron 8 gramos de café molido, los cuales fueron prensados mediante una prensa manual, para asegurar que la presión ejercida en todos los casos fuera la misma. El café se coloca en la cafetera espresso y se cronometra el tiempo que tarda en salir el café a la taza, tiempo de erogación. El tiempo de erogación que se empleó fue de  $21 \pm 3$  s (Moeenfard, M. *et al.* 2014). Al presentar una humedad distinta el punto de molido cambiará, por lo que hay que ajustar el punto de molido para que sea similar al anterior, esto se consigue apretando o aflojando las muelas del molino. Una vez modificado este parámetro se determinó el índice de crema.

El índice de crema se define como el ratio entre la crema y el volumen del líquido (Vol vol-1 %), medido transcurridos 30 segundos desde la extracción (Parenti, A., *et al.* 2014). El café al salir cae sobre una probeta. Como puede observarse en la figura 8, en una probeta se mide la proporción de café respecto a la espuma mediante la siguiente ecuación:

$$Ic = \frac{\text{Volumen crema}}{\text{Volumen líquido}} \times 100$$



**Figura 8. Probeta empleada para determinar el índice de crema. Se puede observar la relación entre el volumen de crema y el volumen de líquido.**

## 4.2. Estudio sensorial

### 4.2.1. Caracterización sensorial del grano de café

En cada muestreo se abrieron los envases de café de cada tratamiento y se evaluaron de manera sensorial los granos de café. En primer lugar se evaluó si existían diferencias en cuanto al tacto de los granos, para ello los granos eran palpados y se determinaba el grado de adherencia de los mismos a la mano.

Visualmente se comprobó si existían diferencias respecto al sudado de los granos de café. Este factor es fácilmente identificable ya que se trata de unas manchas brillantes aceitosas que se localizan en la superficie del grano.

Finalmente se determinó el olor de los granos de café, esta medida nos permite detectar aromas a rancio en el envase del producto.

### 4.2.2. Prueba de diferenciación

Se llevaron a cabo pruebas triangulares siguiendo las directrices de la norma UNE EN ISO 4120:2008.

La bebida fue preparada con 60 g de café tostado molido, el cual fue extraído con 750 ml de agua a 98°C. El agua y el café molido se dejaron durante 5 min en contacto tras lo cual se bajó el émbolo (Pérez-Martínez, M., *et al.* 2010). Se prepararon dos cafeteras por cada tratamiento y fueron almacenados en termos hasta la realización de la cata (Figura 9).



**Figura 9. Muestras codificadas (termos y vasos) para la realización de la prueba triangular.**

Se llevaron a cabo dos grupos de pruebas triangulares utilizando dos grupos diferentes de jueces:

- Catadores expertos: Esta cata fue realizada en el centro fabril por catadores formados y gran experiencia en la cata de café. Se realizaron 9 sesiones con 8 catadores siendo el 100% mujeres. El 50% de los catadores se encontró entre 18-35 años mientras que el otro 50% fue mayor de 35 y menor de 65 años.
- Catadores semientrenados: Esta cata fue realizada en la sala de catas de la Universidad Pública de Navarra. Los catadores poseían entrenamiento y experiencia previa en la realización de análisis sensoriales. Se realizaron 8 sesiones con una media de 18 catadores. Los catadores fueron un 32% hombres frente a un 68% de mujeres. El 30% de los catadores se encontró entre 18-35 años mientras que el otro 70% fue mayor de 35 y menor de 65 años.

### **5. Tratamiento estadístico de los datos**

Con los datos de humedad, color, densidad, pH e índice de crema se realizaron análisis de la varianza (ANOVA). Para ello, se empleó el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI. Versión 16.2.04.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. Estudio de parámetros

Se realizó el estudio estadístico de los diferentes parámetros físico-químicos, para ello se llevaron a cabo los correspondientes ANOVAS multivariantes en los que los factores seleccionados fueron el tratamiento y el tiempo. Se comprobó si existían diferencias significativas e interacción entre ambos. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 4. Grado de significancia de los ANOVAS multifactoriales realizados**

	TRATAMIENTO	TIEMPO	INTERACCIÓN
Humedad	***	n.s	n.s
pH	n.s	***	n.s
Densidad	***	n.s	n.s
Índice crema	***	***	***
L*	n.s	***	**
a*	n.s	***	**
b*	***	***	**

Siendo: n.s.= no significativo; \* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\*p<0,001

Como podemos observar en la tabla no hubo interacción entre el tratamiento y el tiempo en la humedad, el pH y la densidad. Sin embargo, en el índice de crema y las coordenadas de color L\*, a\* y b\* sí que encontramos diferencias significativas. Para el estudio de resultados de estos parámetros se realiza ANOVA de un factor para estos parámetros.

#### 1.1. *Caracterización inicial de los diferentes tratamientos del café*

##### 1.1.1. *Rendimiento del tueste*

El rendimiento obtenido para la condición estándar fue del 86,4% mientras que en la condición modificada este aumentó hasta 89,2% lo que supone un incremento del 2,8%.

El objetivo de aumentar el rendimiento del tueste se ha conseguido aumentando la humedad del café., pero hay que evaluar las posibles consecuencias que puede conllevar en la calidad del café. No sólo es necesario conocer los cambios que esta modificación puede producir sino también, si los consumidores son capaces de detectarlos.

### 1.1.2. Humedad y densidad aparente

La modificación realizada en el proceso productivo de la fábrica consistió en el aumento del porcentaje de humedad.

El valor que se va a estudiar es próximo al 5% (que el Real Decreto 1676/2012 fija como límite) (humedad elevada) y se va a comparar con la humedad estándar del café.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 10 los valores de humedad en los dos tratamientos se mantuvieron constantes a lo largo del tiempo, no existiendo diferencias significativas dentro del mismo tratamiento ( $p=0,5967$  (humedad elevada);  $p=0,7781$  (humedad estándar);  $\alpha=95\%$ ). Las diferencias encontradas entre tratamientos presentaron un  $p=0,0000$ ;  $\alpha=95\%$ .

El tratamiento control presentó una humedad media de 2,92% mientras que el tratamiento con una humedad más elevada presentó una humedad media de 4,96%, no sobrepasando en ningún momento del almacenamiento el valor límite del 5%.

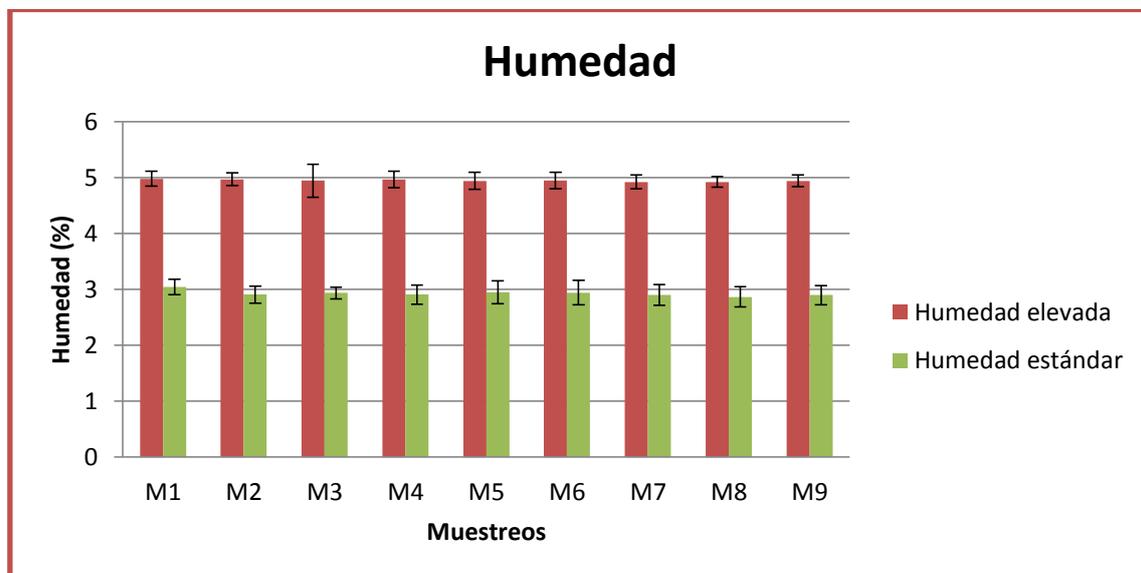


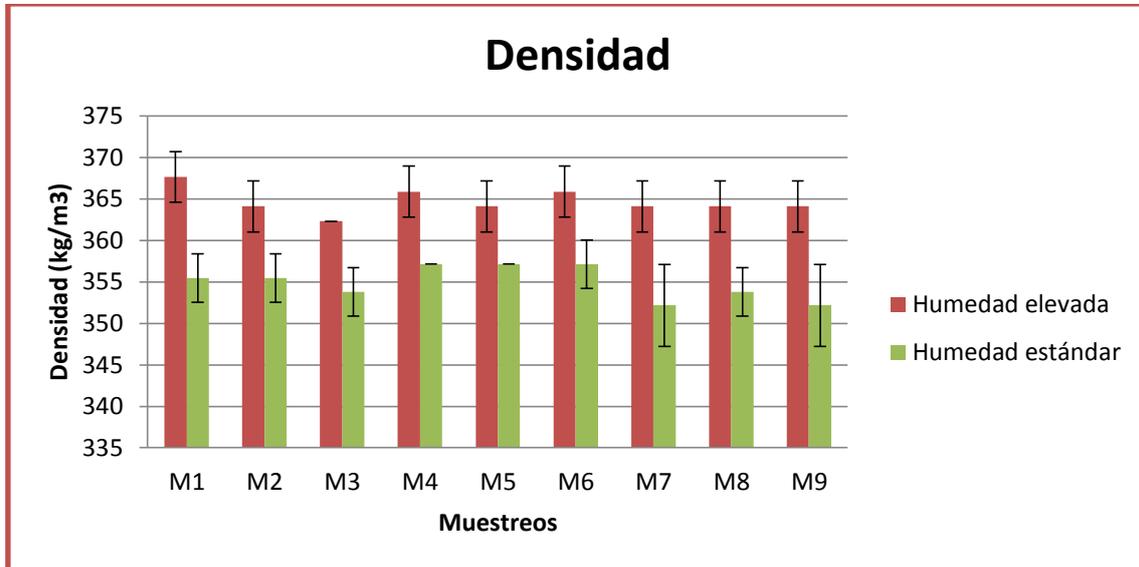
Figura 10. Evolución de la humedad (%) durante el almacenamiento.

La humedad nos da información valiosa sobre la efectividad del envasado, ya que como podemos observar esta se mantiene constante. Este dato nos permite constatar que el envasado es correcto, es decir, no se ha producido ningún fallo en el envase que haya permitido la entrada de humedad exterior lo que podría provocar pérdida de calidad del producto y afectar negativamente al desarrollo de este trabajo.

La humedad empleada en el tratamiento control es la habitual en la fábrica y la bibliografía consultada nos muestra que se trata de una humedad utilizada de manera habitual en otras empresas ya que Castaño y Torres (1999) mostraron valores similares de humedad (2,75%). Fermín, N., *et al.* (2012) estudiaron tres marcas comerciales de café reportando humedades de 2,72%, 2,44% y 2,54% similares a las empleadas en este estudio. Baggentoss, J., *et al.* (2007) informó sobre cómo los fabricantes actualmente tienden a aumentar el contenido de humedad

hasta el máximo permitido (5 g / 100 g) aunque todavía hay poco conocimiento acerca de las consecuencias de un mayor contenido de agua frente al deterioro del café tostado.

Respecto a la densidad aparente (Figura 11), como era de prever, no presentó diferencias significativas a lo largo del tiempo ( $p= 0,3353$  (humedad elevada);  $p= 0,4781$  (humedad estándar);  $\alpha=95\%$ ), encontrándose diferencias significativas ( $P= 0,0000$ ;  $\alpha=95\%$ ) entre los tratamientos ya que el café con mayor humedad presenta una densidad mayor.



**Figura 11. Evolución de la densidad aparente ( $\text{kg/m}^3$ ) durante el almacenamiento.**

La densidad aparente media del café con humedad elevada fue de  $364,69 \text{ kg/m}^3$  mientras que el café con humedad estándar presentó un valor de  $354,92 \text{ kg/m}^3$ . Los valores de densidad obtenidos en este estudio son similares a los obtenidos por otros autores (Franca, S., *et al.* 2003) los cuales obtuvieron valores de  $337 \pm 1,4 \text{ kg/m}^3$  en granos de café arábica tostados.

Con todo esto, podemos constatar que un aumento del porcentaje de humedad conlleva un aumento de la densidad y un incremento del rendimiento cercano al 3%. Por tanto esta modificación podrá aplicarse si se demuestra que no implica cambios en la calidad del café detectables por el consumidor, ya que otros autores han constatado que una humedad elevada puede acelerar el deterioro del producto, favoreciendo el desarrollo de microorganismos como los hongos; además del deterioro de los lípidos presentes (Castaño y Torres, 1999).

## **1.2. Parámetros físico-químicos**

### **1.2.1. Color**

El color del grano de café está relacionado con la calidad de la bebida y es un factor importante en la valoración del producto (Meira, F. 2012).

En este estudio se evaluaron las coordenadas L\*, a\*, b\* de los dos tratamientos y su evolución durante el almacenamiento.

#### 1.2.1.1. Coordenada L\*

Según el análisis estadístico (tabla 4) no existieron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,3654$ ;  $\alpha=95\%$ ). Sin embargo, la coordenada L\* mostró interacción entre el factor tratamiento y el factor tiempo de almacenamiento. Por ello se realizará el estudio estadístico de forma independiente para cada tratamiento.

La norma NTC 3534 (1998) establece como requisito el grado de tostado en función de la coordenada L\*, como se señala en la tabla 5.

**Tabla 5. Grado de tostado según el valor L (NTC 3534)**

Grado de tostado	Valor (L)
<b>Claro</b>	21,5-24,5
<b>Medio</b>	18,5-21,4
<b>Oscuro</b>	15,5-18,4
<b>Severo</b>	12,5-15,4

Según esta clasificación nuestro café estaría en un grado de tostado medio con un valor medio de 18,35, siendo este valor similar a los reportados por Riaño y Jaramillo (2000), los cuales encontraron un valor de 18,58 en café Colombia tostado. Otros autores como Castaño-Castrillon, J.J., *et al.* (2004) reportan valores promedios de 23,04, entrando en la clasificación de grado de tostado claro, mientras que Yela, L., *et al.* (1999) reportan valores más bajos (17,922) entrando en la clasificación de grado de tostado oscuro.

Las diversas clasificaciones del grado de tostado van a depender tanto de la variedad de café como del segmento de mercado a quien vaya dirigido el producto, ya que el color no solo influye en la aceptación visual por consumidor del café, sino que como menciona Cuellar y Castaño (2001) el grado de tostado tiene influencia en otras características como el contenido de sólidos solubles y la acidez en el café.

Se encontraron diferencias significativas en la coordenada L\* durante el almacenamiento en los dos tratamientos. El tratamiento con humedad estándar presentó diferencias significativas durante su almacenamiento ( $p=0,0000$ ;  $\alpha=95\%$ ). Tal y como se observa en la figura 12, parece existir una evolución creciente de este parámetro durante el almacenamiento. En el tratamiento con humedad elevada, también existieron diferencias significativas durante el almacenamiento ( $p=0,0000$ ;  $\alpha=95\%$ ). En este caso, también se observó una tendencia similar (figura 13). Estos resultados evidencian que durante el almacenamiento en ambos tratamientos el café va tomando un color más blanquecino.

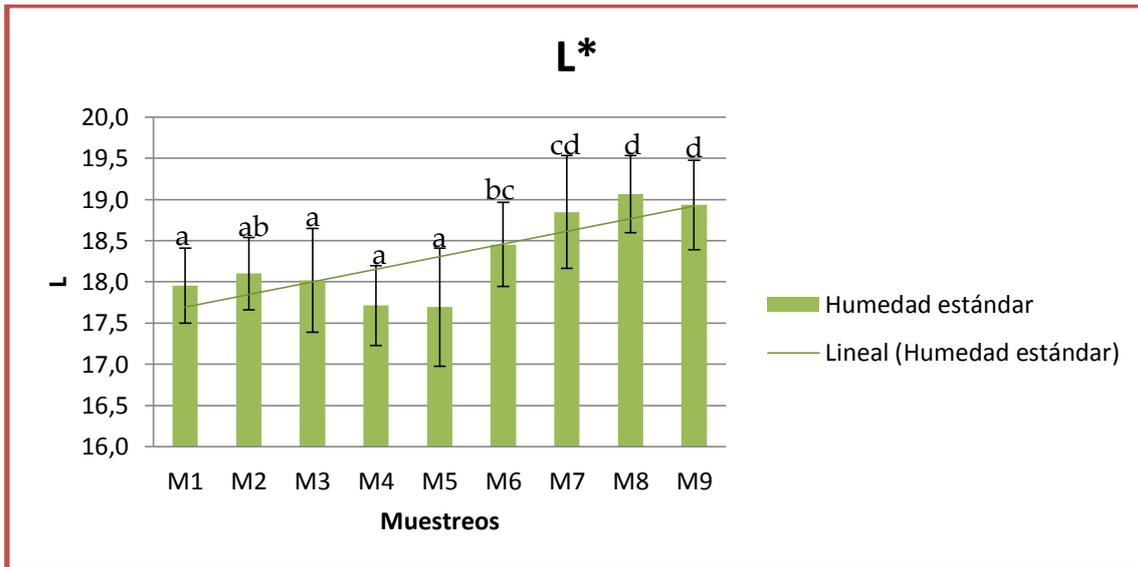


Figura 12. Evolución de la coordenada L\* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad estándar.

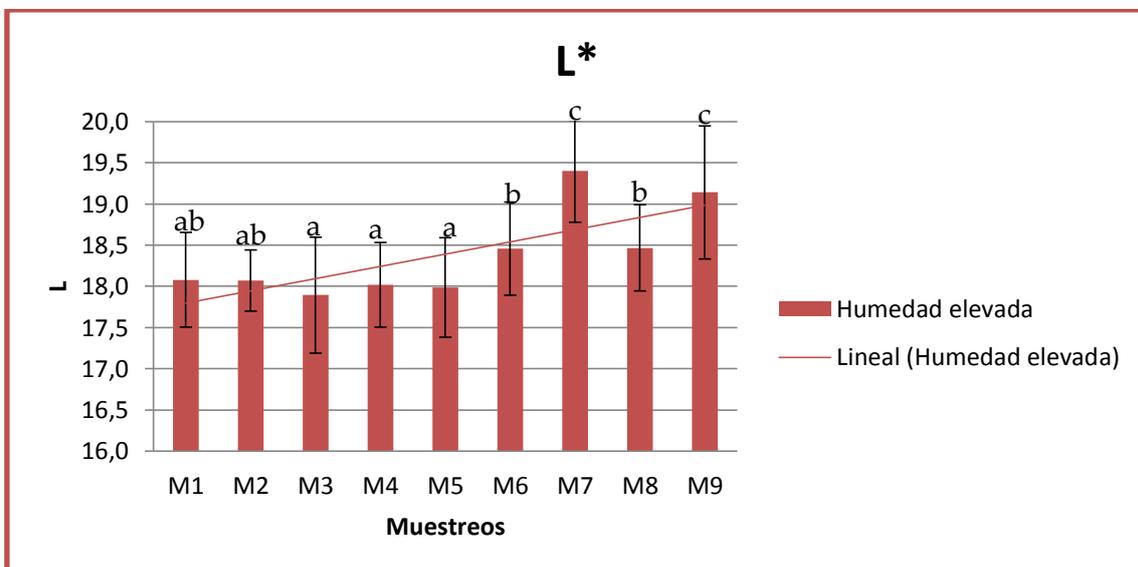


Figura 13. Evolución de la coordenada L\* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad elevada.

Castaño-Castrillon, J.J., *et al.* (2004) y Yovana M., *et al.* (2013), ya observaron que esta coordenada iba aumentando a medida que aumentaba la duración del almacenamiento. Por tanto, nuestros resultados confirman esta evolución durante el almacenamiento del café.

1.2.1.2. Coordenada a\*

La coordenada a\* va desde colores verdes cuando a\* es negativo a rojos cuando este es positivo, por tanto valores más altos de este parámetro indican un color más rojo. En este caso nuestros valores varían entre 8 y 10, lo que indica color rojo. Este es un valor esperable ya que la coloración del café tostado es marrón. Se encontró interacción tiempo-tratamiento por lo que los resultados se analizaron por separado.

Según el análisis estadístico no existen diferencias significativas ( $p= 0,5334$   $\alpha= 95\%$ ) entre los tratamientos. Esto es importante ya que diferencias en el color del café podrían conllevar a la no aceptación por parte del consumidor.

Sin embargo, se encuentran diferencias significativas cuando se evalúa este parámetro a lo largo del tiempo en los dos tratamientos. En el tratamiento con humedad estándar existieron diferencias significativas ( $p= 0,0000$ ;  $\alpha= 95\%$ ) y tal como se observa en la figura 14, parece existir una tendencia decreciente. El tratamiento con humedad elevada (figura 15) también presentó diferencias significativas durante el almacenamiento ( $p= 0,0000$ ;  $\alpha= 95\%$ ), con una tendencia similar al tratamiento con humedad estándar. La evolución de este parámetro parece presentar una tendencia decreciente durante el almacenamiento aunque esta no es muy acusada (Figuras 14 y 15). Castaño-Castrillon, J.J., *et al.* (2004), observaron que esta coordenada tiene a disminuir indicando una “pérdida” de rojo.

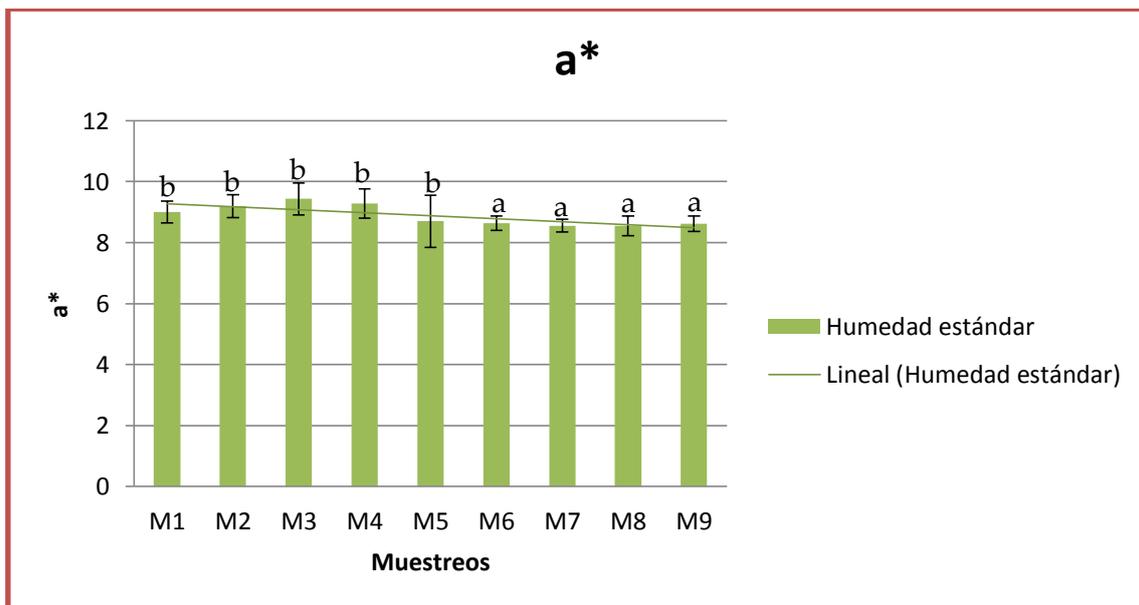


Figura 14. Evolución de la coordenada a\* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad estándar.

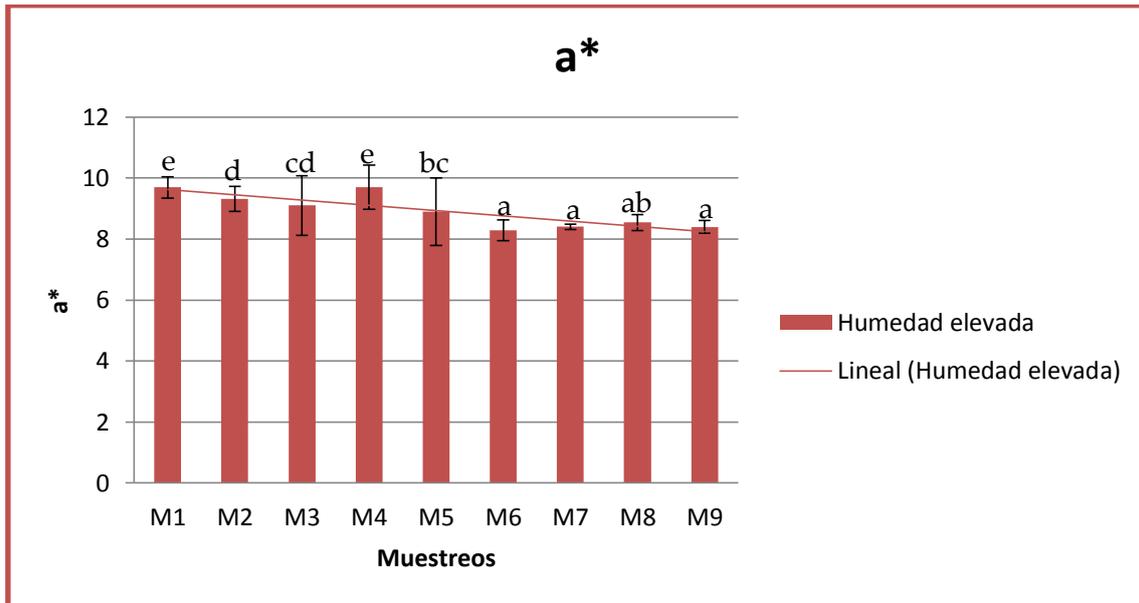


Figura 15. Evolución de la coordenada a\* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad elevada.

#### 1.2.1.3. Coordenada b\*

La coordenada b\* se mueve entre colores azules (negativo) a amarillo (positivos). En nuestro estudio obtuvimos valores en el rango de 14 a 16, lo que indica valores amarillentos. Según el análisis estadístico existieron diferencias significativas tanto entre tratamientos como durante el almacenamiento, existiendo interacción, por lo que los tratamientos se evaluaron de manera independiente.

Castaño-Castrillon, J.J., *et al.* (2004) indicaron que este parámetro no es importante para el café tostado ya que las tonalidades azules y amarillas no son características del mismo.

El análisis estadístico reporta diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0041$ ,  $\alpha=95\%$ ) reportando valores medios de 15,55 en el tratamiento con la humedad control y 15,33 en el tratamiento con humedad elevada.

Durante el almacenamiento se encontraron diferencias significativas en los dos tratamientos. En el tratamiento con humedad estándar existieron diferencias significativas ( $p= 0,0000$ ;  $\alpha= 95\%$ ), y tal y como se observa en la figura 16, parece existir una tendencia al incremento de esta coordenada. En el tratamiento con humedad elevada, también existieron diferencias significativas ( $p= 0,0000$ ;  $\alpha= 95\%$ ), y tal y como ocurre con una humedad estándar existió una tendencia creciente (figura 17).

Esto indicaría que el café va tomando coloraciones cada vez más amarillas. Votavova., L., *et al.* (2009) también observaron una tendencia al aumento de esta coordenada en café Robusta durante un año de almacenamiento.

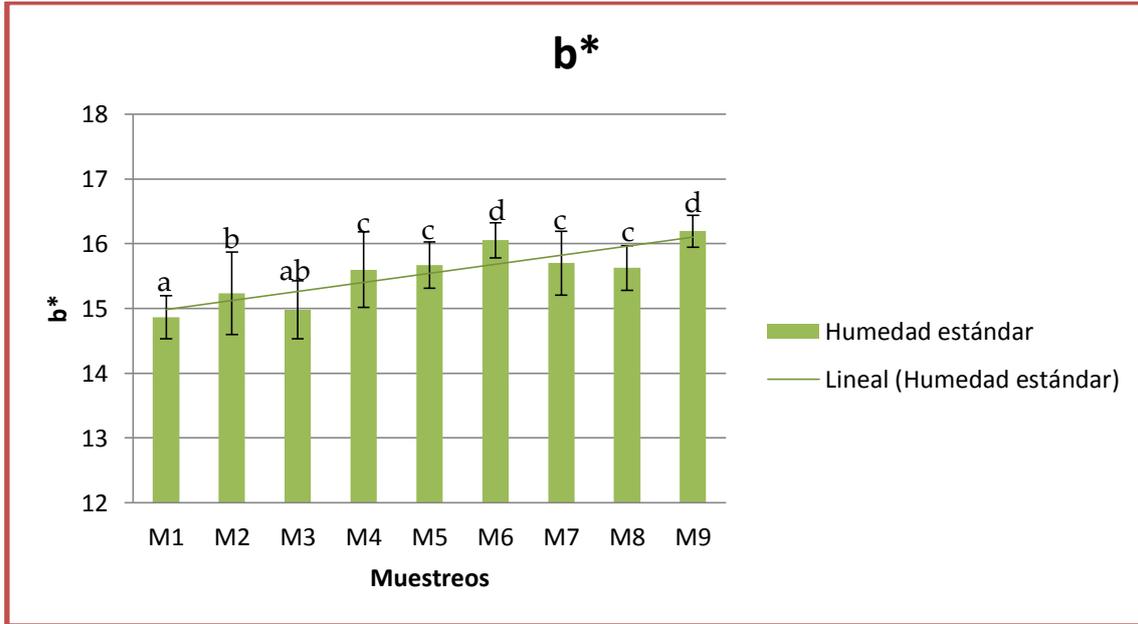


Figura 16. Evolución de la coordenada b\* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad estándar.

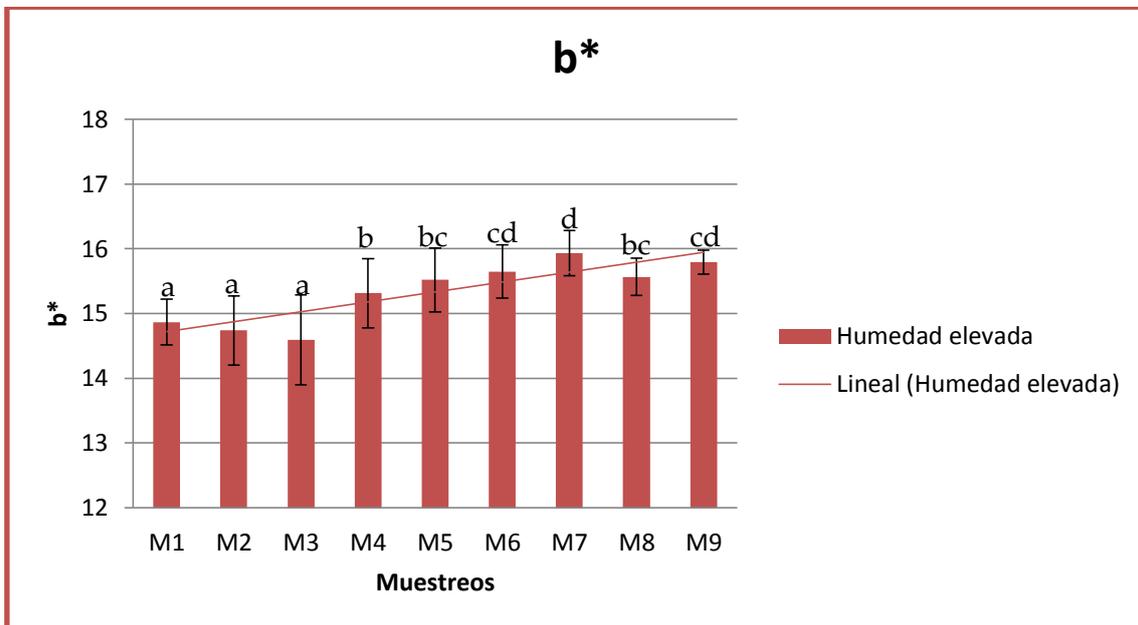


Figura 17. Evolución de la coordenada b\* durante el almacenamiento del tratamiento con humedad elevada.

Analizando los resultados parece existir una mayor influencia del tiempo de almacenamiento que del aumento de humedad. La evolución sufrida durante el almacenamiento parece ser la habitual de los granos de café que tienden a presentar una pérdida de color. En la coordenada b\* se existieron diferencias entre tratamientos, por lo que el estudio sensorial nos permitirá evaluar

si las diferencias encontradas son detectadas por los consumidores lo que supondría un inconveniente a la hora de realizar este cambio en el proceso productivo.

### **1.3. pH**

Durante el tueste se produce simultáneamente la generación, volatilización y la degradación de ácidos (Clifford MN, 1987). Sin embargo, dependiendo de la cantidad de ácidos formados durante la pirólisis de los granos de café, el pH pueden variar (Mendonca LMVL., *et al.* 2005).

El análisis estadístico nos indica que no existieron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p=0,6342$ ,  $\alpha=95\%$ ), como podemos observar en la figura 18. Esto evidencia que independientemente de la humedad que presente el café este parámetro no se verá afectado por lo que no deberían encontrarse diferencias sensoriales debido a este factor. Sin embargo, pese a que la percepción sensorial de acidez está relacionada con la concentración de iones  $H^+$ , pocos autores observaron una buena correlación lineal entre el pH y la acidez percibida de las bebidas de café. Por otra parte, estudios recientes sobre los mecanismos de transducción de la percepción del sabor ácido, evidencian el papel de la forma no disociada de moléculas de ácido como primeros responsables de la percepción de la acidez (Brollo G., *et al.* 2008). Por lo tanto, la acidez titulable se considera una forma más fiable de vincular la acidez percibida con las propiedades químicas.

Por ello, pese a no existir diferencias significativas en el pH entre tratamientos, los catadores podrían detectar diferencias en acidez en boca entre los productos catados.

El pH de nuestro estudio varió entre 4,8 y 5,2, estos valores están de acuerdo con los criterios de Maeztu, L., *et al.* (2001) y Fujioka y Shibamoto (2008), que consideran valores entre 4,8 y 5,8 dentro de los límites de aceptación sensorial de las bebidas de café.

Como podemos observar en la Figura 18 y nos reporta el análisis estadístico, se produjeron diferencias significativas en este valor a lo largo del tiempo ( $p=0,0000$ ,  $\alpha=95\%$ ) en los dos tratamientos. No parece existir una tendencia clara en el pH con el tiempo sin embargo, existen diferencias significativas a lo largo del tiempo, como se puede observar en la gráfica 18. Maeztu, L., *et al.* 2004, no encontraron diferencias significativas en el valor de pH a lo largo de 120 días de almacenamiento.

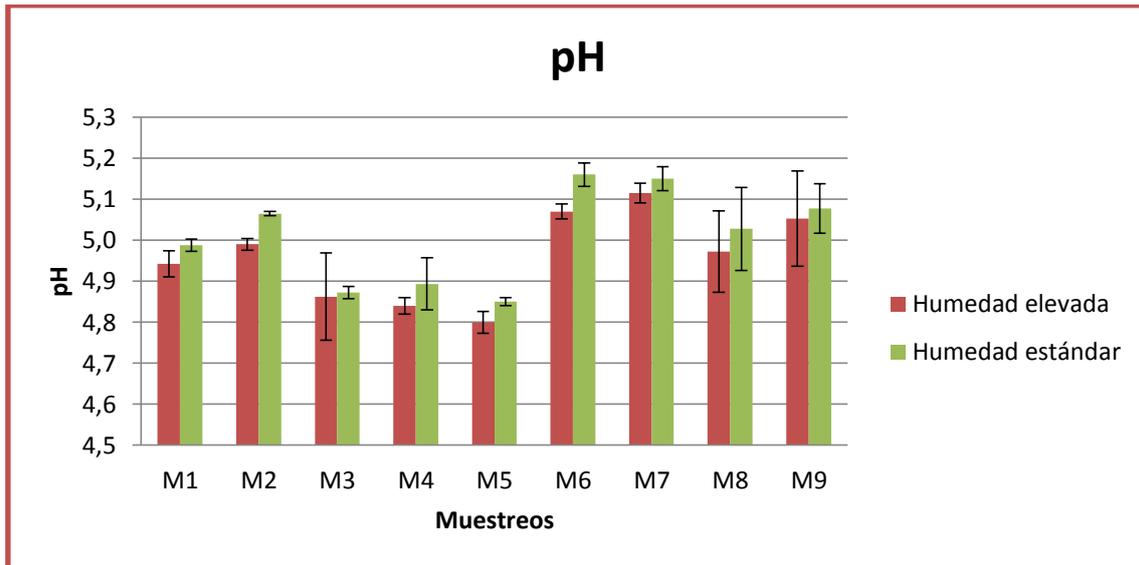


Figura 18. Evolución del pH durante el almacenamiento.

#### 1.4. Índice de crema

La crema o espuma del café, es la capa cremosa que se forma en la superficie del café espresso.

Se trata de una red coloidal compuesta principalmente por aceites y partículas solubles. Tiene una fase líquida de café y una fase gaseosa de vapor de agua, dióxido de carbono formado durante el tueste (reacción de Maillard) y los compuestos volátiles del aroma (Dold, S., et al. 2011).

Según el análisis estadístico (Tabla 4) existieron diferencias significativas entre tratamientos ( $p=0,0007$   $\alpha=95\%$ ) y durante el almacenamiento ( $p=0,0000$   $\alpha=95\%$ ). Como existió interacción entre los tratamientos ( $p=0,0043$   $\alpha=95\%$ ) se llevó a cabo el estudio de la influencia de los factores en el índice de crema de forma separada para cada tratamiento.

Como podemos observar en las figuras 19 y 20 el índice de crema del café fue disminuyendo durante las primeras semanas de manera más acusada hasta que este índice se estabilizó a los dos meses aproximadamente desde su envasado.

La crema está compuesta principalmente por aceites, los cuales durante el almacenamiento pueden ser hidrolizados química o enzimáticamente y la velocidad a la que se producen estas reacciones depende de aspectos ambientales y tecnológicos, así como la disponibilidad de oxígeno, la humedad, la temperatura y el material de embalaje (Manzocco y Lagazio, 2009). Por tanto, con el paso del tiempo los cafés presentan peor presencia por la disminución de los aceites y por ello de la crema como puede observarse en las figuras 19 y 20.

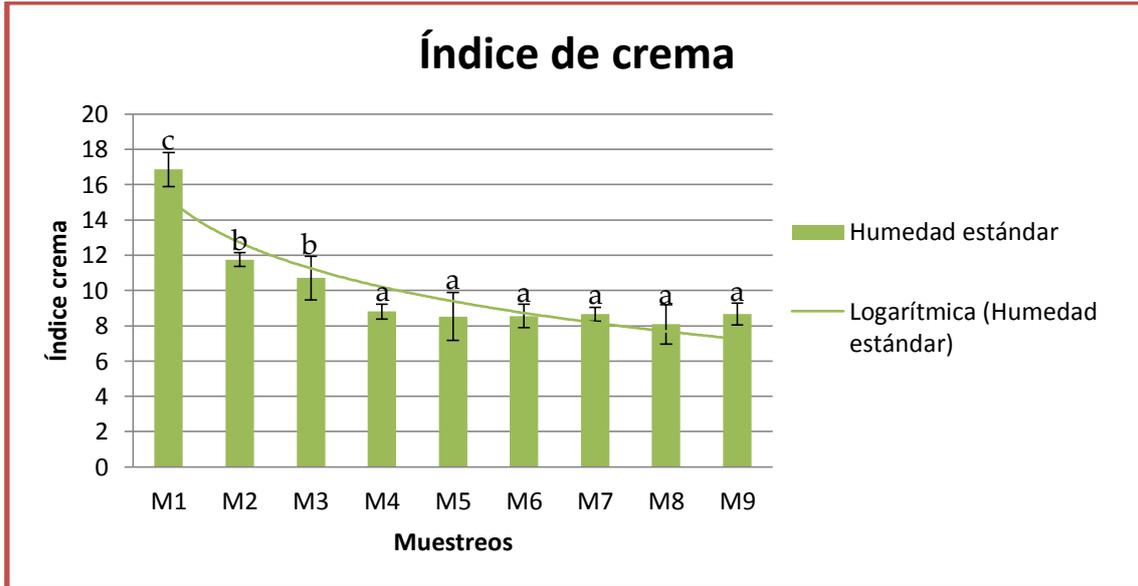


Figura 19. Evolución del índice de crema durante el almacenamiento del tratamiento con humedad estándar.

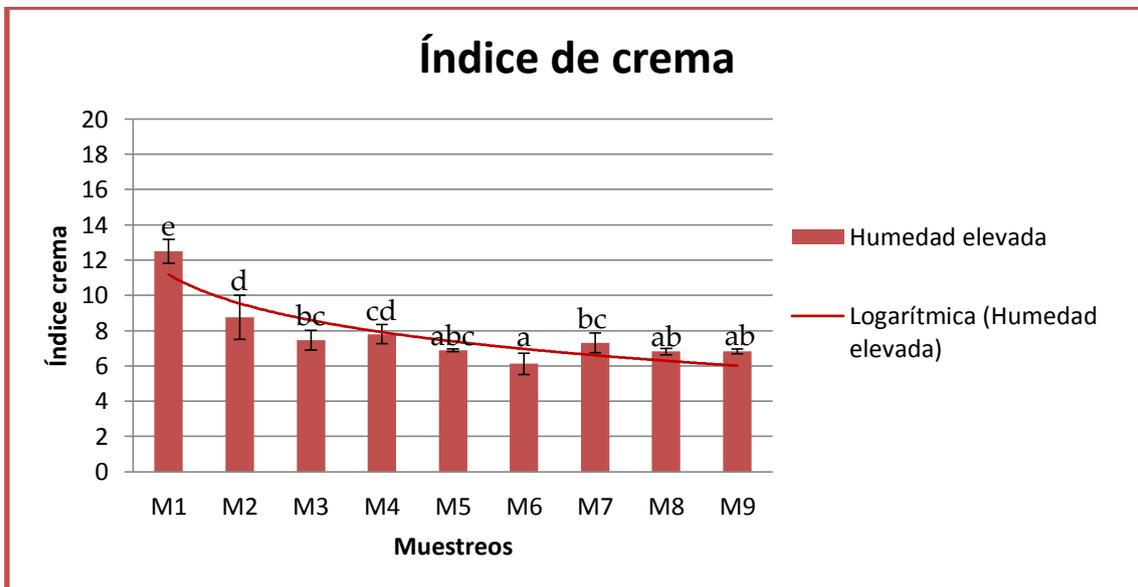


Figura 20. Evolución del índice de crema durante el almacenamiento del tratamiento con humedad elevada.

Además se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. Las diferencias se observan desde el inicio y se mantienen a lo largo de todo el almacenamiento. El tratamiento con la humedad estándar presentó un índice de crema medio de 10,07, mientras que en el café con mayor porcentaje de humedad tuvo de media 7,77. Esto pone de manifiesto las diferencias detectadas en este índice entre los tratamientos.

Los estándares de calidad para un buen café espresso es que la crema debe ser > 10 ml (Illy, A., *et al.* 1995), por lo que el café con humedad elevada no cumple este requisito, mientras que la humedad estándar la cumple durante todo el estudio.

El índice de crema es un parámetro crítico en la calidad de un café espresso, destino del café comercializado para la Hostelería. La crema es la primera apreciación que el consumidor tiene de un café. La humedad más elevada afecta negativamente a este parámetro, disminuyendo la crema del café.

## 2. Estudio sensorial

### 2.1. *Caracterización sensorial del grano de café*

En esta caracterización se evaluó el tacto, la sudoración y el olor de los granos de café en cada uno de los muestreos realizados.

Durante los cuatro meses y medio de conservación del café el tacto de los granos de café en los dos tratamientos fue similar. Sin embargo, se encontraron diferencias respecto a la sudoración y el olor de los mismos (Tabla 6).

**Tabla 6. Sudoración y defectos en el aroma de los distintos tratamientos durante el almacenamiento.**

Muestreos	Sudoración		Defectos aroma	
	Humedad estándar	Humedad elevada	Humedad estándar	Humedad elevada
M1	+	-	Sin defectos	
M2	+	-	Sin defectos	
M3	≈		+	-
M4	+	-	+	-
M5	+	-	+	-
M6	+	-	+	-
M7	-	+	+	-
M8	+	-	+	-
M9	+	-	+	-

Siendo: + el tratamiento que presenta mayor sudoración o más defectos en el aroma. - tratamiento que presenta menor sudoración o defectos en el aroma. ≈ sin diferencias.

Como podemos observar en la figura 21, se observa como el tratamiento con una humedad baja presenta mayor sudado, es decir, gotitas de aceite que se sitúan en la superficie del grano.

Este parámetro fue mayor en el café envasado con una menor cantidad de humedad prácticamente durante todo el almacenamiento excepto en dos momentos puntuales (Tabla 7).



**Figura 21. Ejemplos de los granos de café de cada tratamiento (parte superior). Ampliación de la sudoración encontrada en los granos de café (parte inferior).**

El tostado induce cambios en la porosidad, lo cual influye en la calidad del café. La estructura del poro controla el fenómeno de la transferencia de masa durante el almacenamiento y determina la capacidad de absorción de gases (Radtke, R., 1975; Saleeb, F.Z. 1975; Massini, R., *et al.* 1990). Con un tostado intenso, los lípidos se reúnen en la superficie externa del grano, lo que se conoce como “sudado” (Oestreich-Janzen, S. 2013).

En este caso el tostado fue igual en ambos tratamientos, sin embargo, el enfriamiento varió, por lo que podemos determinar que no solo el tostado influye en los cambios en la porosidad.

Los microporos grandes pueden promover la desgasificación rápida, la migración del aceite así como aumentar la accesibilidad al oxígeno y acelerar la pérdida de compuestos aromáticos (Snhecker S., *et al.* 2000). Esto podría indicar que nuestro café con menor humedad presenta microporos de mayor tamaño o un mayor número de estos, lo que conlleva a que los aceites migren hacia la superficie como se observa en la figura 21.

En este estudio además de la sudoración se evaluó los defectos percibidos en el aroma (Tabla 6). Cabe destacar que en este caso, también el café con un menor porcentaje de humedad presentó aromas anómalos con anterioridad, aproximadamente a los dos meses desde su envasado y de manera más acusada. Sin embargo, estos aromas no fueron detectadas sensorialmente en la cata triangular, como se verá más adelante. Como se ha comentado anteriormente, los microporos permiten al aceite del café migrar hacia la superficie del grano (Puhmann, R., *et al.* 1986; Illy y Viani 1995; Wilson, A. J. 1997) y se produce la pérdida de compuestos aromáticos y el consiguiente cambio en el perfil del sabor durante el almacenamiento, lo que probablemente esté relacionado con el grado de exposición de la superficie interna y a la accesibilidad del oxígeno (Holscher y Steinhart 1992; Gutiérrez, C., *et al.* 1993).

Baggenstoss, J., *et al* (2007) observaron que tras 133 días de almacenamiento los granos de café que se enfriaron lentamente (enfriamiento por aire) exhibieron cantidades notablemente más altas de hexanal, sustancia marcador de las reacciones de oxidación de lípidos, esto evidencia que la oxidación de lípidos es más rápida en el café enfriado lentamente.

Esto pone de manifiesto la importancia del proceso de enfriamiento, debido a que de alguna manera el aumento del volumen de agua empleado para el mismo, parece provocar una bajada más drástica de la temperatura consiguiendo que se generen menos microporos o que estos sean de menor tamaño. De este modo, parece que a diferencia de lo que cabría esperar en un primer momento el aumento de la humedad no conlleva una mayor degradación de los aceites localizados en la superficie del grano.

La degradación inicialmente es mayor en el café con menor humedad ya que la mayoría de los lípidos se encuentran en la superficie del grano, sin embargo, no se conoce si una vez que esta oxidación se va haciendo más acusada es posible que el café con mayor humedad presente una oxidación más rápida de los lípidos que se localizan más internamente debido a la mayor disponibilidad de agua.

## **2.2. Prueba de diferenciación**

Se llevaron a cabo dos catas, la primera de ellas se realizó en la empresa con catadores expertos los cuales tenían un conocimiento profundo del producto y la segunda fue realizada en la sala de catas de la Universidad Pública de Navarra con catadores semi-entrenados, los cuales, tenían conocimientos del producto y estaban familiarizados con la prueba sensorial que se realizó. Los resultados de las sesiones de cata se presentan en la tabla 7.

**Tabla 7. Número de aciertos obtenidos y catadores que han participado en cada una de las sesiones realizadas tanto en la cata de expertos como en la cata con catadores semi-entrenados.**

Muestras	Cata expertos		Cata semi-entrenados	
	Aciertos	Dif. sig	Aciertos	Dif. sig
M1	2/8	n.s	-	-
M2	0/8	n.s	9/24	n.s
M3	1/8	n.s	8/20	n.s
M4	5/8	**	11/18	*
M5	3/8	n.s	9/18	n.s
M6	1/8	n.s	6/18	n.s
M7	2/8	n.s	2/18	n.s
M8	2/8	n.s	4/16	n.s
M9	5/8	**	6/18	n.s

Siendo: n.s.= no significativo; \*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,1$

#### 1.4.1. Prueba triangular con catadores expertos

Analizando los datos obtenidos en la cata realizada por catadores expertos observamos que existieron diferencias significativas en dos de las 9 sesiones (Tabla 7). La primera de ellas se produce a los dos meses de almacenamiento, correspondiendo a la 4ª sesión de cata. En este momento los catadores obtienen un total de 5 aciertos de 8 lo que según la norma UNE EN ISO 4120 indica que existen diferencias significativas con una probabilidad del 90%.

En las siguientes sesiones de cata no se produjeron diferencias significativas entre los productos hasta que en la última sesión realizada en el tostadero reportó diferencias significativas entre los tratamientos con una probabilidad del 90% (5 aciertos sobre 8 catadores), sin embargo, estas diferencias no se encontraron en la cata de la Universidad. Esta cata se llevó a cabo cuando el producto ya se encontraba fuera del plazo de consumo preferente indicado por la empresa, por lo que las causas pueden ser debidas a un deterioro importante del producto.

#### 1.4.2. Prueba triangular con catadores semi-entrenados

En la catas realizadas por catadores semi-entrenados, únicamente existió una sesión en la que se produjeron diferencias significativas con una probabilidad del 95% obteniendo un total de 11 aciertos de los 18 catadores que evaluaron las muestras. Este momento parece ser clave en la evolución del café ya que fue la primera sesión en la que se perciben aromas a rancio en los granos de café como se refleja en la Tabla 6.

En las siguientes sesiones de cata no se produjeron diferencias significativas entre los productos.

Dentro de las observaciones realizadas por los catadores acerca de la naturaleza de la diferencia encontrada para la selección de una u otra muestra en la mayoría de los casos lo achacan a diferencias tanto en el amargor como en la acidez del café. Sin embargo, los catadores no son

capaces de determinar que muestra es más o menos ácido o amarga ya que evaluando la misma muestra a veces la identifican como más amargo o como menos que el resto.

En ningún caso los catadores alegan diferencias en el color, por lo que las diferencias detectadas en este parámetro no son detectadas sensorialmente.

No se encontraron diferencias significativas en el pH, sin embargo, los catadores detectaron diferencias respecto a la acidez, lo que podría corroborar como indican otros autores que la acidez en boca está relacionado con la acidez titulable y no con el pH.

En resumen, parece claro que las posibles diferencias existentes entre los dos tratamientos no son detectadas a lo largo del tiempo, lo que indicaría que el aumento de la humedad no implica una pérdida de calidad del producto detectable por el consumidor.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES**

Con el material y métodos empleados y a partir de los resultados obtenidos, en el presente trabajo se han alcanzado las siguientes conclusiones:

1. El aumento del porcentaje de humedad del café mediante la adición de un mayor volumen de agua en la fase de enfriamiento, conlleva un aumento de la densidad final del café. Esto supone además un aumento de aproximadamente el 3% del rendimiento del proceso de tueste.
2. Existieron diferencias significativas en los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , sin embargo, estas diferencias no fueron detectadas visualmente en el grano entero ni en el estudio sensorial de la bebida de café.
3. El índice de crema, parámetro clave para evaluar la calidad de un café espresso, se vio disminuido notablemente por el aumento de humedad. Esta merma de calidad además es fácilmente detectable por los consumidores.
4. Existieron diferencias notables en la superficie de los granos ya que el café con menor humedad presentó mayor sudoración (gotitas de aceite que se aprecian en la superficie del grano), esto puede relacionarse con la porosidad del café.
5. Del total de catas realizadas, tan sólo se encontraron diferencias entre los tratamientos de café en dos ocasiones, en el muestreo 4 y 9. En esas dos sesiones se encontraron diferencias significativas con una probabilidad del 90% (5/8) en el tostadero y en la cuarta sesión con una probabilidad del 95% (11/18) en la Universidad. Esto parece indicar que a pesar de las diferencias detectadas estas no son percibidas sensorialmente por el consumidor durante prácticamente la totalidad del tiempo de almacenamiento.
6. Como conclusión final podemos señalar que el incremento del porcentaje de humedad final no se ve reflejado sensorialmente, sin embargo, la pérdida de crema hace inviable el aumento de humedad manteniendo los ESTÁNDARES DE CALIDAD que definen a un CAFÉ ESPRESSO.

## CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, R. (1995). Calidad organoléptica de algunas variedades de cafetos. Diplomado en caficultura y cultivos alternativos en México. CRUO. Universidad Autónoma Chapingo, Huatusco, Ver. México, 8-9.
- Amorim, H.V.; Cruz, A.R.; Angelo, A.J.S.; Dias, R.M.; Melo, M.; Teixeira, A.A.; Gutierrez, L.E.; Ory, R.L. (1997). Biochemical physical and organoleptical changes during raw coffee quality deterioration. In: *Colloque Scientifique International sur le Café*, 8. Abidjan, Novembre 28-December 3) 1977. París, ASIC. p. 183-186
- AOAC (1996a) Coffee and tea. AOAC *International Association of Official Analytical Chemists*, vol. 2, chapter 30.
- AOAC (1996b) Definition of terms and explanatory notes. AOAC *International Official methods of analysis*, vol. 1, note 11
- Baggenstoss J., Poisson L., Luethi R., Perren R., Escher F. (2007). Influence of Water Quench Cooling on Degassing and Aroma Stability of Roasted Coffee. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, 55 (16), pp 6685–6691
- Baggenstoss, J., Escher, F.(2007)..Quenching method, moisture content, and aroma stability of roast and ground coffee. *Institute of Food Science and Nutrition, Swiss Federal Institute of Technology (ETH)*.
- Baggenstoss, J., Poisson, L., Luethi, R., Perren, R., Escher, F., (2007). Influence of Water Quench Cooling on Degassing and Aroma Stability of Roasted Coffee *Institute of Food Science and Nutrition, Swiss Federal Institute of Technology (ETH)*, Zurich, Switzerland and Nestlé´ Product Technology Centre, Orbe, Switzerland *J. Agric. Food Chem.* 55, 6685-6691.
- Bee, S.; C. Brando, G. Brumen, N. Carvalhaes, I. Kölling Speer, K. Speer, F. Suggi, A. Teixeira, R. Teixeira, R. Thomaziello, R. Viani, and O. Vitzthum. (2005). The raw bean. Chapter 3. Espresso coffee. *The Science of Quality. 2nd edition. Elsevier Academic Press.* Rome, Italy. p. 87-178.
- Bell, L. N. (1995). Kinetics of nonenzymatic browning in amorphous solid systems: distinguishing the effects of water activity and the glass transition. *Food Res. Int*, 28, 591-597.
- Brollo, G., Cappucci, R., Navarini, R., Illy, E., (2008). Acidity in Coffee: Bridging the Gap Between Chemistry and Psychophysics.
- Bustamante, F. (2006). Guía de implementación UTZ. Seminario-Taller. Diferenciación de calidades y catación de café. *Curso dictado en Barquisimeto*, Venezuela.
- Cardelli C., Labuza T.P. (2001). Application of Weibull Hazard Analysis to the determination of the shelf-life of roasted ground coffee. *LWT-Food Sci. Technol.* 34: 273-278.
- Carvalho, V.D., Chalfoun, S.M. (1987). Quality of coffee: influence of pre-harvest factors. *Planters' Chronicle* 81(6): 189-193.
- Castaño C., J.J.; Mayorga, I.M.; Rodríguez., D.; Lozano, A. (2004). Análisis comparativo de tres estructuras de empaque para café tostado. *Cenicafé* 55 (4): 277-301
- Castaño C., J.J.; Torres, M.L. (1999). Características de la tostión de algunos subproductos de la trilla de café. *Cenicafé* 50(4): 259-285.
- Clarke, R. J., Macrae, R. (1985). Coffee. *Volume 1: Chemistry*. Eds. Clarke, R.J., Macrae, R. Elsevier. EUA. 306.

- Clifford MN (1987). Chemical and physical aspects of green coffee products. In: Clifford MN, Wilson KC (eds) *Coffee, botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Croom Helm & Methuen Inc, New York, pp 305–374
- Coffee Research Institute. (2011). Coffee. Disponible: <http://www.coffeeresearch.org/>
- Covenin. Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1993). Café. Definiciones. *Comisión Venezolana de Normas Industriales*. Nro: 604. Ministerio de Fomento. Caracas, Venezuela.
- Cuellar, P. y J. Castaño. (2001). Influencia de la materia prima, del grado de tostión y de molienda en la densidad del café tostado y molido y en algunas propiedades del extracto obtenido. *Cenicafé* 52 (2): 127-140.
- Daglia, M.; Cuzzoni, M. T.; Dacarro, C. (1994). Antibacterial activity of coffee. *J. Agric. Food Chem.* 42, 2270-2272.
- Dold, S., Kolodziejczyk, E., Pollien, P., Ali, S., Germain, J.C., Garcia Perin, S., Pineau, N., Folmer, B., Engel, K.H., Barron, D., Hartmann, C. (2011). Influence of Foam Structure on the Release Kinetics of Volatiles from Espresso. Coffee Prior to Consumption. *Journal of agricultural and food chemistry*. 59: p. 11196-111203.
- Doyle, M. P., Beuchat, L. R., Montville, T. J. (2001). *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*. ASM. Press: E.E.U.U. p. 768.
- Eggers, R. (2004). Zum Wärme und Stofftransport bei der Röstung von Kaffeebohnen. In *Jahresbericht; FEI Forschungsvereinigung der Ernährungsindustrie*: Bonn, Germany; pp 11-28.
- Einarsson, H.(1987). The effect of time, temperature, pH, and reactants on the formation of antibacterial compounds in the Maillard reaction. *Lebensm. Wiss. Technol.* 20, 51-55.
- Franca, A.S., Oliveira, L. S., Mendonca, J., Silva, X.A. (2004). Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans.
- Fujioka K, Shibamoto T. (2008). Chlorogenic acid and caffeine contents in various commercial brewed coffees. *Food Chemistry*. 106: p. 217–221.
- Gretsch, C., Sarrazin, C., Liardon, R., editors. (1999). Proceedings of the 18th ASIC Colloquium on the Evolution of coffee aroma Characteristics during Roasting. *Association Scientifique Internationale du café*, 828
- Gutiérrez C, Ortolá MD, Chiralt A, Fito P. (1993). Análisis por meb de la porosidad del café tostado. *Proceed. 15th ASIC Colloquium*; Paris. p 661-671.
- Holscher, W., Steinhart, H.(1992). Investigation of roasted coffee freshness with an improved headspace technique. Volume 195, Issue 1, pp 33-38
- Illy, A.; Viani, R. (1995). Espresso Coffee: The chemistry of quality. Londres, *Academic Press Limited*. 253 p.
- Illy, A., Navarini, L., (2011). Neglected Food Bubbles: The Espresso Coffee Foam Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Biophys.* 2011 Sep; 6(3): 335–348.
- ISO 11294:1994. Roasted ground coffee - Determination of moisture content -Method by determination of loss in mass at 103 °C (Routine method)
- Karmas, R., Buera M. P., Karel M. (1992). Effect of glass Transition on Rates of Nonenzymatic Browning in Food Systems. *J. Agric. Food Chem.* 40: 873-879.
- Kreuml, M., Majchrzak, D., Ploederl, B., Koenig, J. (2013). Changes in sensory quality characteristics of coffee during storage. *Food Science & Nutrition* 2013; 1(4): 267–272

- Labuza T.P. (1971). Kinetics of lipid oxidation in foods. *Critical Reviews in Food Science* (2)3:355-405.
- Mabett, T. (2006). Essence of coffee roasting. *Tea and Coffee Trade Journal*. 178 (8). <http://www.teaandcoffee.net/>.
- Maeztu, L., Andueza, S., Ibañez, C., de Peña, M.P., Bello, J., Cid, C. (2001). A multivariate method for differentiation of espresso from botanical varieties and types of roast by foam, taste and mouthfeel characteristics. *J Agric Food Chem* 49:4743–4747.
- Manzocco, L., y Lagazio, C. (2009). Coffee brew shelf life modeling by integration of acceptability and quality data. *Food Qual. Prefer.* 20:24–29.
- Martínez López, S., (2014) Cacao y café, alimentos ricos en fitoquímicos con propiedades beneficiosas en salud. Estudios de biodisponibilidad de metilxantinas y efectos en salud en voluntarios sanos y con riesgo cardiovascular. Universidad Complutense de Madrid (UCM).
- Massini R, Nicoli MC, Cassarà A, Lericri CR. (1990). Study on physical and physicochemical changes of coffee beans during roasting. Note 1. *Italian J Food Sci* (2):123-130.
- Meira, F., Damasceno, P., Pedroza, E., da Silva, G., Saath, R., Alves, R., (2012). Scanning electron microscopy of coffee beans subject to different forms processing and drying. *Coffee Science, Lavras*, v. 8, n. 2, p. 218 – 225.
- Menchu, J.F. (1971). La determinación de la calidad del café. Guatemala, *Asociación Nacional del Café*. Subgerencia de Asuntos Agrícolas. 51 p. (Boletín N° 8).
- Mendonca LMVL, Pereira RGFA, Mendes ANG. (2005). Parámetros bromatológicos de granos cruse torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). *Ciencias Tecnología Alimentar* 25: 239–243.
- Moenfard, M., Silva, J.A., Borges, N., Santos, A., Alves, A., (2014). Diterpenes in espresso coffee: impact of preparation parameters. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*.
- Mwithiga, G., Jindal, V. K. (2003). Physical changes during coffee roasting in rotary conduction type heating units. *Journal of Food Process Engineering*, 26, 543-558
- Nicoli, M., Savonitti, O. (2005). Storage and packaging. In Espresso Coffee, 2nd ed.; Illy, A., Viani, R., Eds.; Elsevier Academic Press: San Diego, CA; pp 230-258.
- NTC 3534. Norma Técnica Colombiana. (1998). Café tostado y Molido. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- Oestreich-Janzen, S., (2013). Chemistry of Coffee. In: Reedijk, J. (Ed.) Elsevier Reference Module in chemistry, *Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Waltham, MA: Elsevier.
- Parenti, A., Guerrini, L., Masella, P., Spinelli, S., Calamai, L., Spugnoli, P. (2014) Comparison of espresso coffee brewing techniques. *J Food Eng* 121:112–117
- Pascual, L., Ibañez, C., Cid, C. (2003). Estimulantes, condimentos y especias. *Alimentos Composición y Propiedades*
- Poisson, J., (1977). Aspects chimiques et biologiques de la composition du café vert. En: 8<sup>th</sup> *International Colloquium on the Chemistry of Coffee*, ASIS, París. P. 38-58.
- Pérez-Martínez, M., Caemmerer, B., De Pen, M.P., Cid, C., Kroh, L.W. (2010) Influence of Brewing Method and Acidity Regulators on the Antioxidant Capacity of Coffee Brews.
- Puerta, Q., (1998). La calidad de las variedades de café *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia. *Cenicafé* 49 (4): 265-278.
- Puerta Q., (2011). Calidad en taza de algunas muestras de variedades de café. Disponible en: [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051\(01\)005-019.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc051(01)005-019.pdf)

- Puhlmann R, Sobek E, Bartsch G. (1986). Strukturveränderungen der Kaffeebohne im Röstprozess. *Lebensmittelindustrie* 33(6):278-279.
- Radtke R. (1975). Das Problem der CO<sub>2</sub>-Desorption von Röstkaffee unter dem Gesichtspunkt einer neuen Packstoffentwicklung. *Proceed. 7th ASIC Colloquium*; Paris. p 323-333.
- Raworth y Wilson. (2002). *Pobreza en tu taza. La verdad sobre el negocio del café, comercio con justicia.* Oxfam
- Real Decreto 1676/2012, de 14 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad para el café
- Riaño, C. y B. Jaramillo. (2000). Uso de válvulas desgasificadoras para el empaque y almacenamiento de café tostado. *Cenicafé* 51 (1): 66-77.
- Ruiz M. (2010). Composición y calidad nutritiva de los alimentos. *Ed. Médica Panamericana.* Panamá.
- Saleeb FZ. (1975). Adsorption of carbon dioxide on roast and ground coffees. *Proceed. 7<sup>th</sup> ASIC Colloquium*; Paris. p 335-339.
- Schenker, S., Andschin, S., Frey, B., Perren, B., Escher, F., (2000). Pore Structure of Coffee Beans Affected by Roasting Conditions. *Journal of food science.* Vol. 65, No. 3, Institute of Food Technologists.
- Severini, C., Nicoli, M.C., Mastrocola, D., Lerici, C.R. (1991). Influence of heating rate on some physical and physicochemical properties of coffee beans during the roasting process. *Quatorzieme colloquy scientifique international sur le café.* 14-19. Paris, France.
- Sivetz, M., Elliot, F. H. (1963). Coffee processing technology. *The Avi Publishing Company, Inc, Westport, Conn.* Vol. I, 598
- Speer K, Kölling-Speer I (2001) Lipids In: Coffee Recent Developments, edited by R. J. Clarke and O. G. Vitzthum, *Blackwell Science*, pp.33-49
- Teixeira, A.A.; Fazouli, L.C. (1985). Influencia de graos preto-verdes em ligas com cafés de bebida mole. In: *Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras*, 12. Caxambu, Outubro 28 - 31, 1985. Trabalhos. Rio de Janeiro, IBC. p. 43-44.
- UNE-EN ISO 4120:2008. Análisis sensorial. Metodología. Prueba triangular (ISO 4120:2004)
- Varnam, A. y Sutherland J. (1997). Café. Capítulo 5. En: A. Varnam y J. Sutherland (Ed.). *Bebidas: Tecnología, Química y Microbiología.* Editorial Acribia. Zaragoza, España. p. 197- 263.
- Votavová, L., Voldřich, M., Ševčík, R., Čížková, H., Mlejnecká, J., Stolař, M., et al. (2009). Changes of antioxidant capacity of Robusta coffee during roasting. *Czech Journal of Food Science*, 27, S49-S52.
- Wallis G., J.A. (2003). Estudio de sistemas no selectivos para la recolección manual del café Coffea arabica. Universidad del Valle. p. 78.
- Wang, J.K. (1966). Time and motion studies of coffee picking in Kona. *Kenya Coffee* 31 (372): 555-557.
- Wilbaux, R. (1963). El beneficio del café. Roma, FAO. Subdirección de Ingeniería Rural, p. 232.
- Wilson A. J. (1997). Preliminary investigations of oil biosynthesis in the coffee cherry. *Proceed. 17th ASIC Colloquium*; Paris. p 92-99.
- Yela, L.; C. Riaño y L. Orozco. (1999). Utilización de removedores de oxígeno y gas carbónico en el empaque y el almacenamiento de café tostado. *Cenicafé* 50 (2): 145-165

- Yovana, M., de Jesús, T., Bragagnolo, N., (2013). Impact of chemical changes on the sensory characteristics of coffee beans during storage. *Food Chemistry* Volume 147, 15 March 2014, Pages 279–286
- Yurán, S. (2010). Proyecto AgroCafta Estudio 3: Análisis técnico de tueste y empaque de café tostado: opciones disponibles en el mercado nacional y tendencial del mercado global para Coopevictoria R.L.