

**Optimización del proceso fermentativo Honey
en café especial variedad Pacamara, Finca
Santa Rosa, El Salvador**

Ricardo Alejandro Gálvez López

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE ADMINISTRACIÓN DE AGRONEGOCIOS

Optimización del proceso fermentativo Honey en café especial variedad Pacamara, Finca Santa Rosa, El Salvador

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Administración de Agronegocios en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Ricardo Alejandro Gálvez López

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2018

Optimización del proceso fermentativo Honey en café especial variedad Pacamara, Finca Santa Rosa, El Salvador

Ricardo Alejandro Gálvez López

Resumen. El café de El Salvador se ha posicionado en el segmento de cafés especiales debido a su gran calidad. Con el objetivo de contribuir al conocimiento de algunos factores que afectan la calidad de la taza de café, se realizó la optimización del proceso fermentativo como parte esencial del beneficiado húmedo en café de variedad Pacamara producido en la finca Santa Rosa, El Salvador. Se garantizó que dicho café cumpliera con la normativa necesaria para ser calificado como café especial. Para esto se evaluó el proceso de fermentación Honey mediante el uso de la metodología superficie respuesta, evaluando comparativamente el comportamiento del pH a lo largo del tiempo y estableciendo un grosor de cama con valores desde 3 cm hasta 7 cm. Se determinó la calidad de la taza de los tratamientos mediante el protocolo de catación establecido por la Asociación de Cafés Especiales (SCA) con la participación de catadores certificados (Q graders). En dicho estudio se evaluó la significancia de las variables, del cual se obtuvo que el pH fue significativo, mientras el grosor de cama no muestra una influencia en la calidad de taza. Para obtener una taza con una puntuación final por arriba de 85 puntos específicamente para el café de variedad Pacamara producido en la zona se determinó que la combinación ideal de las variables fue de un pH final de 2.30 y un grosor de cama de 7.52 cm, teniendo en cuenta una temperatura ambiente promedio de 25°C.

Palabras clave: Chalatenango, *Coffea arabica*, grosor, pH, Q graders, SCA, superficie respuesta.

Abstract. El Salvador coffee has positioned itself in the specialty coffee segment due to its high quality. With the objective of contributing to the knowledge of some factors that affect the quality of the coffee cup, the optimization of the fermentation process was carried out as an essential part of the wet beneficiation in Pacamara variety coffee produced in the Santa Rosa farm, El Salvador. It was guaranteed that said coffee would comply with the necessary regulations to qualify as special coffee. For this, the Honey fermentation process was evaluated by using the response surface methodology, comparatively evaluating the behavior of the pH over time and establishing a bed thickness with values from 3 cm to 7 cm. The quality of the cup of the treatments was determined by the cupping protocol established by the Specialty Coffee Association (SCA) with the participation of certified tasters (Q graders). In this study the significance of the variables was evaluated, from which it was obtained that the pH was significant, while the thickness of the bed does not show an influence on the quality of the cup. To obtain a cup with a final score above 85 points specifically for Pacamara variety coffee produced in the area, it was determined that the ideal combination of the variables was a final pH of 2.30 and a bed thickness of 7.52 cm, having Consider an average room temperature of 25 ° C.

Key words: Chalatenango, *Coffea arabica*, pH, Q graders, response surface, SCA, thickness.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firma	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexo.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
4. CONCLUSIONES.....	17
5. RECOMENDACIONES.....	18
6. LITERATURA CITADA.....	19
7. ANEXO.....	21

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXO

Cuadros	Página
1. Representación del diseño experimental.	4
2. Niveles de variables independientes.....	4
3. Lineamientos del diseño experimental.	5
4. Clasificación de los atributos del café.	7
5. Puntuación final del café según la calidad	7
Niveles de las variables grosor de cama (cm) y pH con su respectiva puntuación.	8
6. Coeficiente de regresión para la obtención de la mejor taza en función de grosor de cama (cm) y pH.	11
7. Tiempos de fermentación.	14
8. Porcentaje de oro limpio, defectos, peaberry y sobrante.	16

Figuras	Página
1. Diagrama de Pareto de las variables independientes pH y grosor de cama (cm)	9
2. Linealidad de los valores experimentales con los predichos para la obtención de la mejor taza.....	10
3. Gráfica superficie respuesta del efecto del pH y grosor de cama (cm) con respecto a la puntuación final de la taza.	12
4. Comportamiento del pH en relación al tiempo de fermentación.....	13
5. Gráfico de contornos del efecto del pH y grosor de cama (cm) con respecto a la puntuación final de la taza.	14
6. Función de utilidad con respecto a las variables grosor de cama (cm) y pH.	15

Anexo	Página
1. Producción total de café en El Salvador.....	21

1. INTRODUCCIÓN

El café es una bebida estimulante y aromática difundida por el mundo de origen Abisinial, (actual Etiopía). Tras la introducción de éste en Arabia, Yemen se convertiría en un importante centro de cultivo y distribución por todo el mundo musulmán; se le dio el nombre de *qahwa*, que significa excitante, energético, vigorizador (Figueroa, Pérez y Montoya, 2015). Una de las especies más representativas e importante que existe es el Café arábica (*Coffea arábica*) que es nativo de las tierras altas de Etiopía.

El Café arábica es una especie que se autopoliniza, lo que conduce a que sus variedades tiendan a permanecer genéticamente estables. No obstante, se han cultivado cepas con mutaciones espontáneas debido a sus características deseables (Jiménez, 2014). En la década de 1960 el Instituto Salvadoreño de Investigación de Café (ISIC) inició los trabajos de mejoramiento genético del cafeto a través del proceso de hibridación, utilizando como progenitores la variedad Pacas y Maragogipe Rojo. En el año 1980 se efectuó un lanzamiento exitoso de la variedad denominada Pacamara. Esta variedad destaca por su impresionante aroma con notas a chocolate, floral, abundante cuerpo y por su acidez fina. Siendo este un café con características exóticas muy particulares (Consejo Salvadoreño del Café, 2014).

La producción promedio de café en El Salvador entre los años 2000 y 2010 fue de 1.370 millones de sacos anuales. Para la cosecha 2010/11, se produjo alrededor de los 1.873 millones de sacos de café, volumen record en las últimas cosechas. Sin embargo, para la cosecha 2013/14, la presencia de la roya hizo caer la producción de café a un volumen aproximado de 515,000 sacos (FEWS NET, 2016). En El Salvador, el país más afectado en Centro América, la producción disminuyó en un 70 por ciento entre las cosechas 2013/2014. La producción que se estima alcanzar para el presente ciclo 2017/2018, es culminar con una producción por arriba del 15% del ciclo anterior 2016/2017.

El café de El Salvador se ha posicionado en el segmento de cafés especiales debido a su fineza y excelente sabor, en donde destaca la variedad Pacamara, siendo este uno de los más demandados por mercados exclusivos. La Asociación de Cafés Especiales (SCA) define el café de especialidad como granos que están libres de defectos primarios, que no contienen “quakers” (granos inmaduros), de tamaño apropiado, con un secado adecuado, que presente una taza que contenga atributos distintivos (Rhinehart, 2009).

La taza de excelencia que por sus siglas en inglés se abrevia COE (Cup of Excellence), es una competencia de altas exigencias y de prestigio. El Salvador desde el año 2003 ha participado en dicho certamen. Para el año 2017 la finca ganadora del certamen Santa Rosa

logró un nuevo récord para cafés de El Salvador con un precio de venta de USD 95.70 por libra (Alianza de Cafés de Excelencia, 2018).

Es a través de los certámenes reconocidos como Taza de Excelencia en donde las empresas dedicadas al procesamiento de café buscan expandir sus fronteras y encontrar nuevas oportunidades. Esta respuesta de las empresas se debe a la constante y profunda influencia que ejerce el proceso de globalización en los mercados a nivel mundial. Siendo así, los caficultores se ven involucrados en el negocio de café especial, buscando una alternativa sobre la oportunidad de involucrarse a la nueva tendencia.

Hoy en día, los mercados internacionales exigen productos de mayor calidad y mejores características del mismo. Estos cambios se deben a la competitividad existente en el mercado mundial de café, sin embargo; los caficultores a pesar de contar con condiciones aptas para el cultivo y beneficiado de café aún no logran cumplir con dichas exigencias.

Cada año las condiciones climáticas cambian y dan como resultado un fruto con diferentes características. Es debido a esto que a pesar de tener un protocolo establecido con el cual se realizan los procesos en el beneficiado de café no se obtiene la misma calidad de taza todos los años. Los procesos dependen de factores intrínsecos en el fruto como es: pH y °Brix, de la misma manera se ve afectado por factores extrínsecos como condiciones de fermentación y secado. Es por esta razón que la empresa Rivera Coffee no ha logrado establecer una estrategia eficiente en la cual se aproveche la calidad de la variedad Pacamara y se represente por completo en la taza de café de manera repetitiva.

En la actualidad existen diferentes métodos en los que el café puede ser procesado después de la recolección. El método Honey o miel, es un método intermedio entre proceso húmedo y seco donde se extrae la cáscara, pero no se remueve el mucílago, sino que se seca el café con esta sustancia (Córdoba y Guerrero, 2016). J. Raúl Rivera S.A de C.V. es una compañía muy reconocida a nivel nacional e internacional por sus divisiones de Bálsamo y Café. La empresa, en la división café, posee la Finca Santa Rosa ubicada en el Cantón Santa Rosa situada en la Cordillera Alotepec – Metapán en la cual se produce cafés de alta calidad de variedad Pacamara.

El objetivo del presente estudio es optimizar el proceso de la fermentación del café, variedad Pacamara en el proceso Honey proveniente de la Finca Santa Rosa. Utilizando un análisis de superficie de respuesta para obtener una taza de alta calidad.

Para el estudio se determinaron los siguientes objetivos:

- Identificar el punto óptimo de combinación entre grosor de cama y pH para obtener una taza de alta calidad.
- Conocer como las variables pH y grosor de cama afectan el tiempo de fermentación en el proceso Honey.
- Determinar el color de café pergamino una vez finalizado el tiempo de secado.
- Evaluar la cantidad de café oro limpio y sus defectos bajo un proceso de fermentación de alta acidez.

1. METODOLOGÍA

Ubicación del estudio.

El estudio se realizó en el Departamento de Chalatenango, El Salvador, en el beneficio San José Sacare. El café se recolectó en la Finca Santa Rosa situada en el cantón Santa Rosa, Chalatenango. Las evaluaciones de los tratamientos fueron ejecutados en el beneficio San José Sacare.

Diseño experimental.

Superficie Respuesta es una herramienta que permite modelar y analizar problemas, determinando la combinación entre las variables independientes, generando el punto óptimo de la variable respuesta haciendo uso de técnicas estadísticas y matemáticas.

Es un diseño factorial con análisis de superficie respuesta de segundo orden con una probabilidad de significancia del 10% (Rodrigues, 2015). Se determinaron las variables axiales $-a$ y $+a$, esto va a depender del número factorial ($F= 2^k$), donde k es el número de variables independientes, grosor de cama y pH ($k=2$), los axiles son determinados por la ecuación 1.

$$\pm\alpha = (F)^{\frac{1}{4}} = (2^k)^{\frac{1}{4}} = (2^2)^{\frac{1}{4}} = 1.414 \quad [1]$$

El número de unidades experimentales se definió a partir de la ecuación 2.

$$n = 2^k + 2k + m \quad [2]$$

Dónde:

2^k = número de puntos factoriales

$2k$ = número de puntos axiales

m = número de réplicas del punto central

Basado en la ecuación 2 se utilizaron 12 unidades experimentales con dos variables independientes, cuatro factoriales, cuatro axiales y cuatro puntos centrales estimando el error experimental y precisión del modelo (cuadro 1).

Cuadro 1. Representación del diseño experimental.

Expresión	Tratamientos	Puntos
$2^k = 2^2$	4	Factoriales
$2k = 2 * 2$	4	Axiales
m	4	Centrales

Para ajustar el polinomio de segundo orden se realizó un análisis de regresión, describiendo el comportamiento de las variables dependientes definidas por la ecuación 3.

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon) \quad [3]$$

Dónde:

Y_i = función respuesta

X_1, X_2 = valores de variables independientes

β_0 = coeficiente del intercepto del eje Y

β_1, β_2 = coeficientes lineales encontrados por el método de mínimo cuadrados

β_{11}, β_{22} = coeficientes de variables cuadráticas

β_{12} = coeficiente de interacción entre variables independientes

ε = error del experimento

El arreglo del modelo fue evaluado por el análisis de residuos expresado como “falta de ajuste”, el cual se determinó mediante el R^2 ajustando las respuestas del diseño experimental. Para denominar al modelo predictivo en la interpretación de datos, R^2 debe ser mayor a 0.7 y la falta de ajuste no debe ser significativa. De incumplirse cualquiera de estos parámetros el modelo se considera tendencioso y no predictivo (Cuesta, 2011). De igual forma se realizó un análisis de varianza (ANOVA) empleando una prueba F con 10% de nivel de significancia, por lo que un modelo de regresión es significativo cuando el valor F calculado es mayor o igual que el F tabular, mientras mayor sea el F calculado más predictivo será el modelo. Los niveles de las variables independientes muestran la combinación de todos los niveles, puntos centrales y axiales (cuadro 2).

Cuadro 2. Niveles de variables independientes.

Variables	Niveles				
	-a	-1	0	+1	+a
Grosor de Camas (cm)	2.17	3.00	5.00	7.00	7.83
pH	2.29	2.50	3.00	3.50	3.71

Se realizó un análisis estadístico por medio del programa Statistica 7.0 para Windows. Mostrando los diferentes tratamientos con sus respectivos valores reales y codificados para el análisis de superficies de respuesta (cuadro 3).

Cuadro 3. Lineamientos del diseño experimental.

Tratamientos	Niveles codificados		Niveles reales	
	Grosor de Camas	pH	Grosor de Camas	pH
01	-1	-1	3.00	2.50
02	1	-1	7.00	2.50
03	-1	1	3.00	3.50
04	1	1	7.00	3.50
05	-1.41	0	2.17	3.00
06	1.41	0	7.83	3.00
07	0	-1.41	5.00	2.29
08	0	1.41	5.00	3.71
09 ©	0	0	5.00	3.00
10 ©	0	0	5.00	3.00
11 ©	0	0	5.00	3.00
12 ©	0	0	5.00	3.00

©: Punto central del experimento.

Preparación de tratamientos. Al ingresar la materia prima al beneficio se seleccionó según la madurez del café uva. Se pesaron 500 lb del mismo para ser despulpadas donde se extrajo el pericarpio. Se realizó mediciones de pH, °Brix y temperatura, antes de ser trasladados al área de fermentación. La cantidad de café obtenida se dividió en doce tratamientos, cada uno con un peso inicial de 25 lb de café pergamino y fueron colocados en camas africanas con la altura o grosor definido previamente por el diseño experimental.

Secado de café pergamino. Una vez terminado el tiempo de fermentación del café, se transportó al área de secado donde se mantuvieron en un entorno 50% sol y 50% sombra. Los diferentes tratamientos permanecieron 12 a 14 días de secado en dichas condiciones, una vez ya levantados los tratamientos se realizó las mediciones de humedad, que se encontraban en un rango de 8.7 a 11%.

Análisis de color. Se identificó el color de cada tratamiento antes de ser almacenadas por medio de una aplicación Color Suit. Los datos obtenidos por medio de la aplicación mostraban en escala L*A*B*, donde L* se encuentra en el rango (0 a 100) y representa la luminosidad, A* en el eje verde-rojo en los niveles (60 a -60), B* ubicadas en el eje azul-amarillo que pueden estar comprendidos entre (127 y -128) (Camarena, Gregori, Morillas, Almanzor, 2013).

Preparación de muestras. Se prepararon 18 muestras el cual se obtuvo 500 gramos de cada uno con café pergamino y se colocaron en bolsas herméticamente selladas (ziplocs). Fueron codificados de manera aleatoria, ya en el laboratorio de utilizó una trilladora (ING-C-200) para cada una de las muestras donde se removió el endocarpio. Se clasificó el café oro por medio de zaranda #15 y #16, donde se elimina cualquier grano que presente defectos como: grano negro, grano agrío, cereza seca, daño por hongos, brocado severo, negro parcial, agrío parcial, pergamino, flotador, inmaduro, averanado, cortado y concha.

Tostado de café oro. De acuerdo al protocolo de la Asociación de Cafés Especiales (SCA) se tostó las diferentes muestras, 24 horas antepuestas al análisis sensorial con un reposo de 8 horas. Se utilizó una tostadora PROBAT para muestras, colocando 100 gramos de café oro con un rango de 8 a 9 minutos. La temperatura de entrada fue de 150°C y una salida de 180°C-200°C. El primer crack, donde el grano sufre una expansión y evapora la humedad logrando un quebrantamiento, en el cual se desarrolla diferentes sabores y aromas, obteniendo a los 7 minutos en promedio de todas las muestras (Fórum Cultural Café, 2010).

Análisis sensorial. De acuerdo al protocolo de la Asociación de Cafés Especiales de América (SCAA) se colocó 8.25 gramos de café para 150 ml de agua. De acuerdo a la taza que se utilizó la capacidad de agua es de 227 ml con 12 gramos de café molido. La molienda que realizó fue ligeramente grueso y la temperatura del agua que se vertió fue de 96°C. Se ubicaron las tazas aleatoriamente con su respectivo código para poder identificar el tratamiento. La evolución se efectuó con 8 panelista certificados (Q Grader) que evaluaron atributos como:

- Fragancia/Aroma
- Sabor
- Post gusto
- Acidez
- Cuerpo
- Balance
- Uniformidad
- Dulzura
- Limpieza de taza
- Defectos

La calificación que se asignó a cada muestra sumando las notas individuales de los atributos sabor, fragancia/aroma, regusto, acidez y cuerpo con valores de 6 a 9 puntos, mientras los atributos de dulzura, uniformidad y limpieza con un máximo de 10 puntos (cuadro 4). La puntuación final se colocó según el rango de calidad del café en el que se encuentran (cuadro 5).

Cuadro 4. Clasificación de los atributos del café.

Escala de calidad			
Bueno	Muy bueno	Excelente	Sobresaliente
6.00 - 6.75	7.00 - 7.75	8.00 - 8.75	9.00 - 9.75

Fuente: Asociación de Cafés Especiales de América. 2017

Cuadro 5. Puntuación final del café según la calidad

Café	Descripción	Rango
Especial	Sobresaliente	90 - 100
	Excelente	85 - 89.99
	Muy Bueno	80 - 84.99
No Especial	Debajo de calidad especial	< 80.0

Fuente: Asociación de Cafés Especiales de América. 2017

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para encontrar las variables significativas de la puntuación de la taza con más alta calidad se realizó el análisis de superficie respuesta. Se consideró las variables independientes tales como pH de 2.5 hasta 3.5 y grosor de cama expresado en cm con valores 3.00 hasta 7.00, así como la variable dependiente la puntuación de taza obtenida de cada tratamiento. Para establecer los puntos centrales se usó literatura y datos históricos recolectados por el beneficio, en donde se reconoció que el valor de pH más utilizado por parte del beneficio es de 3 y el grosor de cama comúnmente utilizado es de 5 cm. Por lo tanto, estos valores se convierten en el punto central del estudio (cuadro 6).

Cuadro 6. Niveles de las variables grosor de cama (cm) y pH con su respectiva puntuación.

Tratamientos	Grosor de Camas	pH	Puntuación
1	3.00	2.50	85.82
2	7.00	2.50	86.71
3	3.00	3.50	83.81
4	7.00	3.50	83.82
5	2.17	3.00	84.21
6	7.83	3.00	85.31
7	5.00	2.29	87.61
8	5.00	3.71	83.88
9 ©	5.00	3.00	85.11
10 ©	5.00	3.00	84.18
11 ©	5.00	3.00	85.29
12 ©	5.00	3.00	85.22

©: Punto central del experimento

Como se observa el tratamiento 7 con un pH final de 2.29, presenta la mejor puntuación de 87.61. Se evaluó la significancia de las variables con una probabilidad $P < 0.10$, del cual se obtuvo que el pH fue significativo ($P < 0.006$), en cambio el grosor de cama no muestra una influencia en la calidad de la taza evaluada ($P > 0.1924$). Esto se puede corroborar en el diagrama de Pareto, el cual se muestra en la figura 1, en donde se observa la variable significativa para la puntuación de la taza final.

Estudios realizados por Jackels y Jackels en el año 2005 y Velmourougane en el año 2013 demostraron la importancia que tiene el parámetro de pH final y como este puede afectar la calidad de la taza si no se controla de manera adecuada. Este parámetro es considerado como un indicador para la etapa de fermentación demostrando la finalización de la fase incluso percibiendo valores de sobre-fermentación. Uno de los compuestos evaluados que se correlacionan con la disminución del pH es el ácido láctico, este es uno de los tantos compuestos que los microorganismos generan por los granos de café.

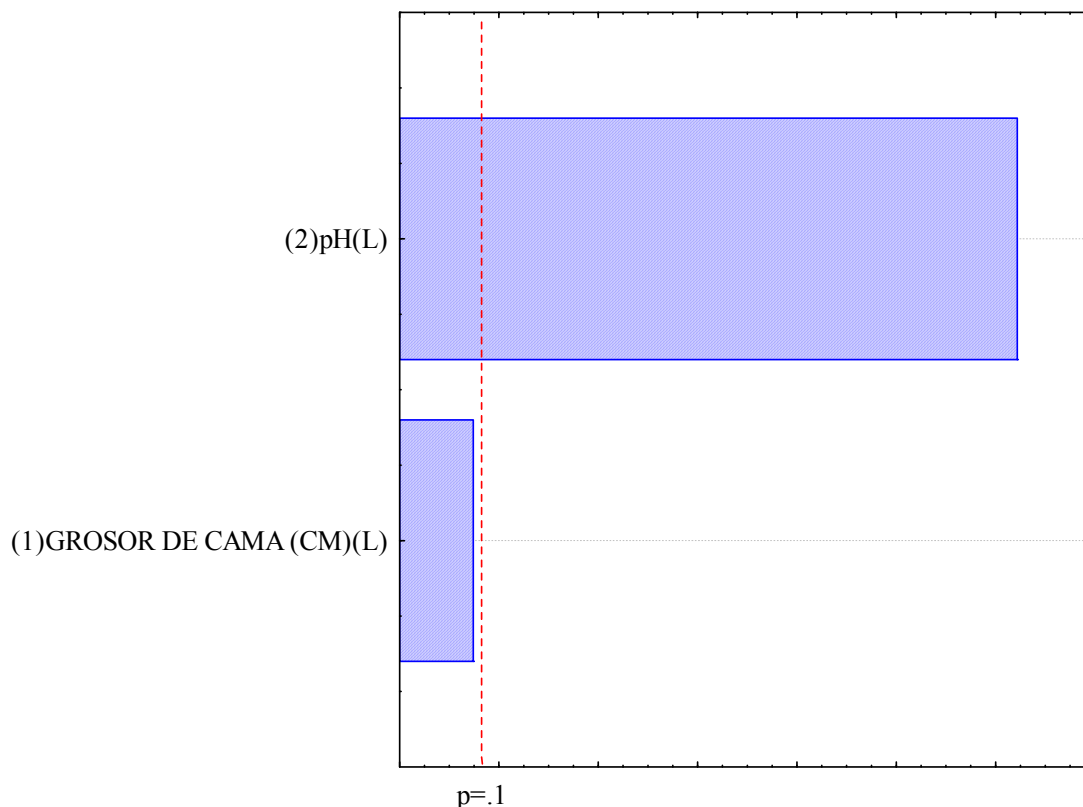


Figura 1. Diagrama de Pareto de las variables independientes pH y grosor de cama (cm).

El ajuste de los datos al modelo lineal se observa en la figura 2. En donde se representa las funciones de los valores predichos y la de los datos experimentales obtenidos de la variable respuesta, puntuación de taza. En el eje de ordenadas se representa la función teórica bajo el supuesto de normalidad y en el eje abscisa la función de los valores observados. Desviaciones de los puntos del gráfico, representados en color azul, con respecto a la diagonal indican alteraciones de la normalidad. Se observa que la ubicación de los puntos del gráfico se aproxima a los datos esperados, lo que demuestra la hipótesis de normalidad en los datos recolectados. Es decir que los datos experimentales no están tan dispersos de los predichos.

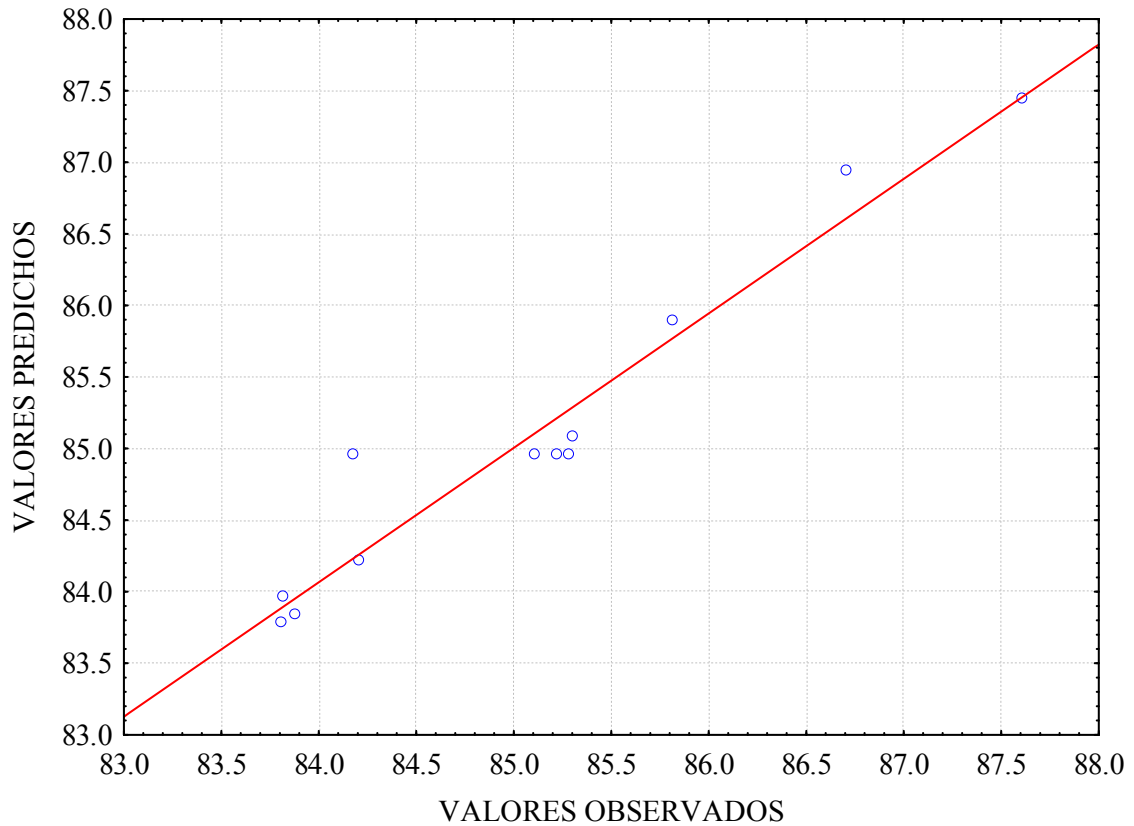


Figura 2. Linealidad de los valores experimentales con los predichos para la obtención de la mejor taza.

En el cuadro 7 se observa que el valor del ajuste de modelo es mayor al 70% ($R^2= 0.81$), esto señala que el 81% de los datos fueron predichos por el modelo. De igual forma se expone que la falta de ajuste no fue significativa ($P>0.497$), dentro de los modelos de análisis de la regresión la falta de ajuste explica cuanto el modelo no logra describir la relación de las variables independientes con las variables dependientes (Rodrigues, 2015). Con respecto a la prueba F se indica que el valor del F calculado (43.52) es mayor al F tabular (3.29). Para clasificar el análisis efectuado se debe de cumplir con factores como el ajuste del modelo, la significancia de la falta de ajuste y el valor de F calculado. Debido a que todos los factores evaluados no cumplieron para clasificar el modelo como tendencioso, el modelo es clasificado como predictivo.

Cuadro 7. Coeficiente de regresión para la obtención de la mejor taza en función de grosor de cama (cm) y pH.

Factor	Coefficiente de regresión
Intercepto	92.727*
X_1	0.000
X_2	-2.549*
Falta de ajuste	0.497
R^2	0.813
F. Calculado	43.52
F. Tabular	3.29

Los coeficientes con * son significativos ($P < 0.10$)

X_1 = grosor de cama (cm)

X_2 = pH

De acuerdo con los valores obtenidos para el intercepto y la variable independiente de pH, se expresó la ecuación matemática para obtener la variable respuesta de la puntuación final de la taza. El polinomio expresado es cuadrático de segundo orden el cual fue descrito por los coeficientes de regresión para las variables significativas presentes en la ecuación 4.

$$\text{Puntuación de taza} = 92.727 - 2.549X_2 \quad [4]$$

Donde:

X_2 = pH

Los gráficos generados por el modelo demuestran que la región de color rojo representa la combinación de pH y grosor de cama óptimos, para que se obtenga la mayor calidad en la taza. Esto demuestra que existe una interacción entre las variables independientes, siendo el pH la variable que tiene mayor influencia dentro de la obtención de la mejor taza (figura 3). La correlación entre la variable dependiente e independiente se muestra en un valor negativo demostrando que a medida el pH disminuye la puntuación obtenida de la taza se incrementa; sin embargo, estudios demuestran que existe una relación contraria en donde el parámetro evaluado disminuye la calidad de taza.

Puerta (2013), afirma que un proceso de fermentación de café no controlado, es decir que reduzca el pH más de lo establecido pueden generar defectos en la taza. En esta investigación se controlaron los parámetros de pH y grosor de cama de acuerdo a cada tratamiento. Un factor importante que se controló fue la selección de café según su estado de maduración, se utilizaron cerezas con un valor de sólidos solubles clasificados como maduros según la escala que estableció Puerta en el año 2012. Los tratamientos que no son sometidos a una clasificación pueden presentar menor calidad en la taza final por defectos como sabor a vinoso, vinagre y fermento (Peñuela 2010).

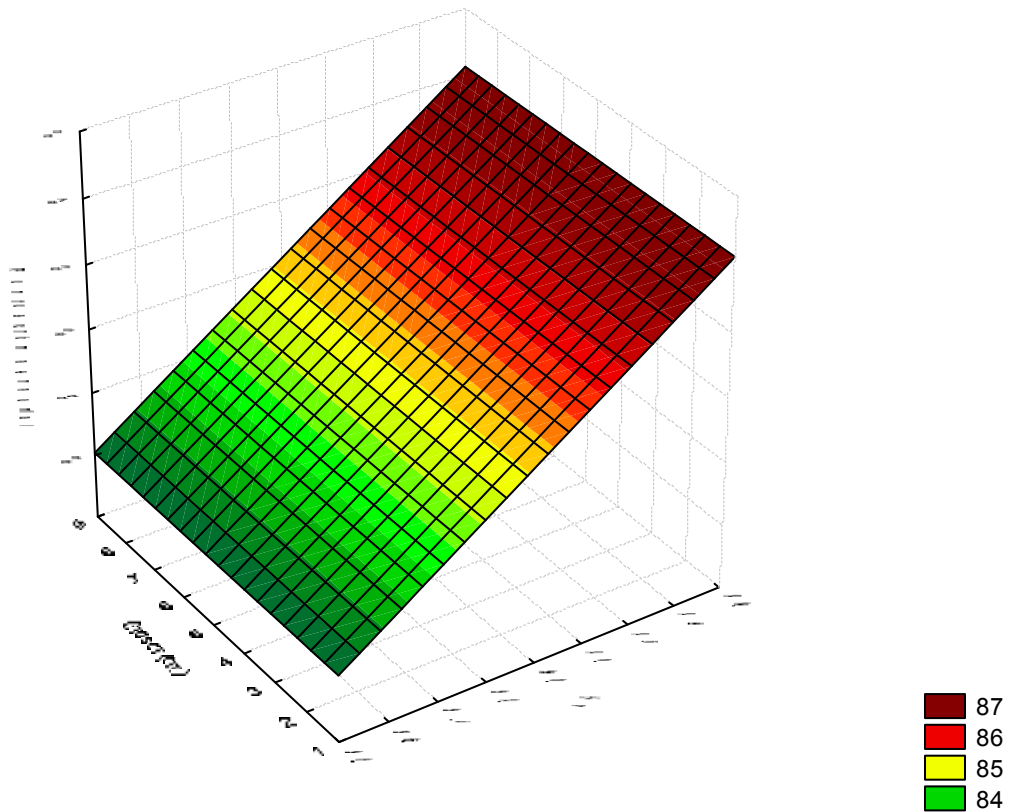


Figura 3. Gráfica superficie respuesta del efecto del pH y grosor de cama (cm) con respecto a la puntuación final de la taza.

Durante el proceso de fermentación del café, se observó una reducción de 3.5 a 2.5 en el pH, en el rango de 18 a 28 horas, lo que se consideró como un punto crítico de evaluación por la disminución acelerada de dicha variable (figura 4). Esto es debido a que las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida tropicalis* y las bacterias *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus fermentum*, presentes naturalmente en el mucílago, transforman las azúcares como la glucosa, fructosa y sacarosa en sustancias orgánicas como etanol, ácido láctico y ácido acético, induciendo la disminución del pH para favorecer la degradación del mucílago (Puerta, 2012).

Peñuela (2010) considera que la respuesta más importante es el tiempo de fermentación influenciando la calidad de la taza final de café por distintos atributos; sin embargo, al aumentar el tiempo en la fermentación de manera no controlada conlleva a una generación de compuestos metabólicos que tienden a sobresalir como atributos negativos disminuyendo la calidad de taza.

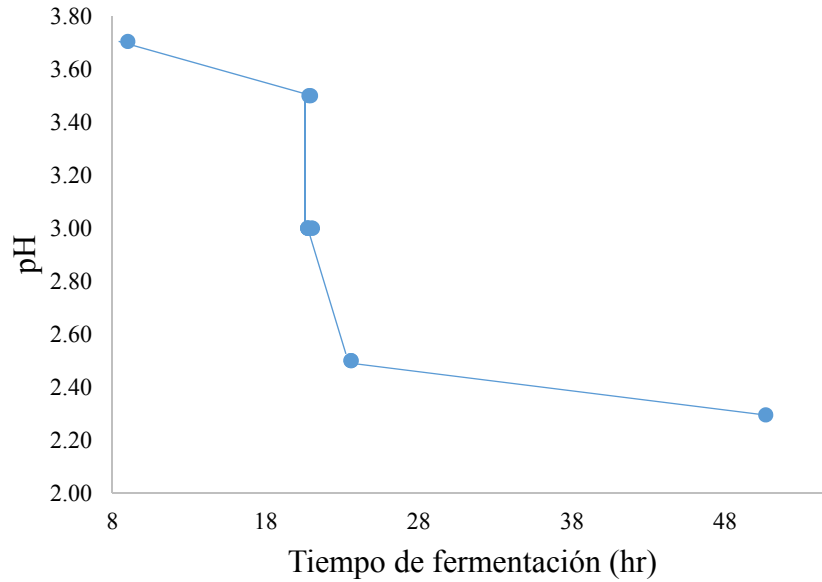


Figura 4. Comportamiento del pH en relación al tiempo de fermentación.

Con respecto al grosor de la cama de café, dicho parámetro no influencia en la puntuación final de la taza, pero si es capaz de influenciar otros factores. Se conoce que el grosor de cama puede afectar un parámetro como el tiempo de fermentación, García (2016) explica que al utilizar un grosor de cama mayor se prolonga la disminución de pH debido a la cantidad de sustrato que las bacterias tienen para fermentar, aumentando así el tiempo de fermentación.

En la presente investigación se muestra que los valores obtenidos en tiempo de fermentación de todos los tratamientos, tienen un comportamiento similar, esto es debido a que la cantidad de café utilizada en cada tratamiento fue homogéneo. Al tener la misma cantidad de sustrato presente, la descomposición del mucilago y la generación de los compuestos metabólicos como ácido láctico, ácido acético, etanol que aumentan la acidez del medio se generan en la misma cantidad. Por lo tanto, se da a conocer que para la presente investigación el grosor de cama no afecta en sí el comportamiento del tiempo en los tratamientos que tienen un pH final semejante (figura 5). En el cuadro 8 se observa que el mayor tiempo de fermentación es de 50 horas para obtener un pH final de 2.30.

Cuadro 8. Tiempos de fermentación.

Tratamiento	pH final	Tiempo
Tratamiento 1	2.50	23.56
Tratamiento 2	2.50	23.58
Tratamiento 3	3.50	20.83
Tratamiento 4	3.50	20.93
Tratamiento 5	3.00	21.06
Tratamiento 6	3.00	21
Tratamiento 7	2.30	50.65
Tratamiento 8	3.71	9.005
Tratamientos control 9,10,11 y12	3.00	20.75

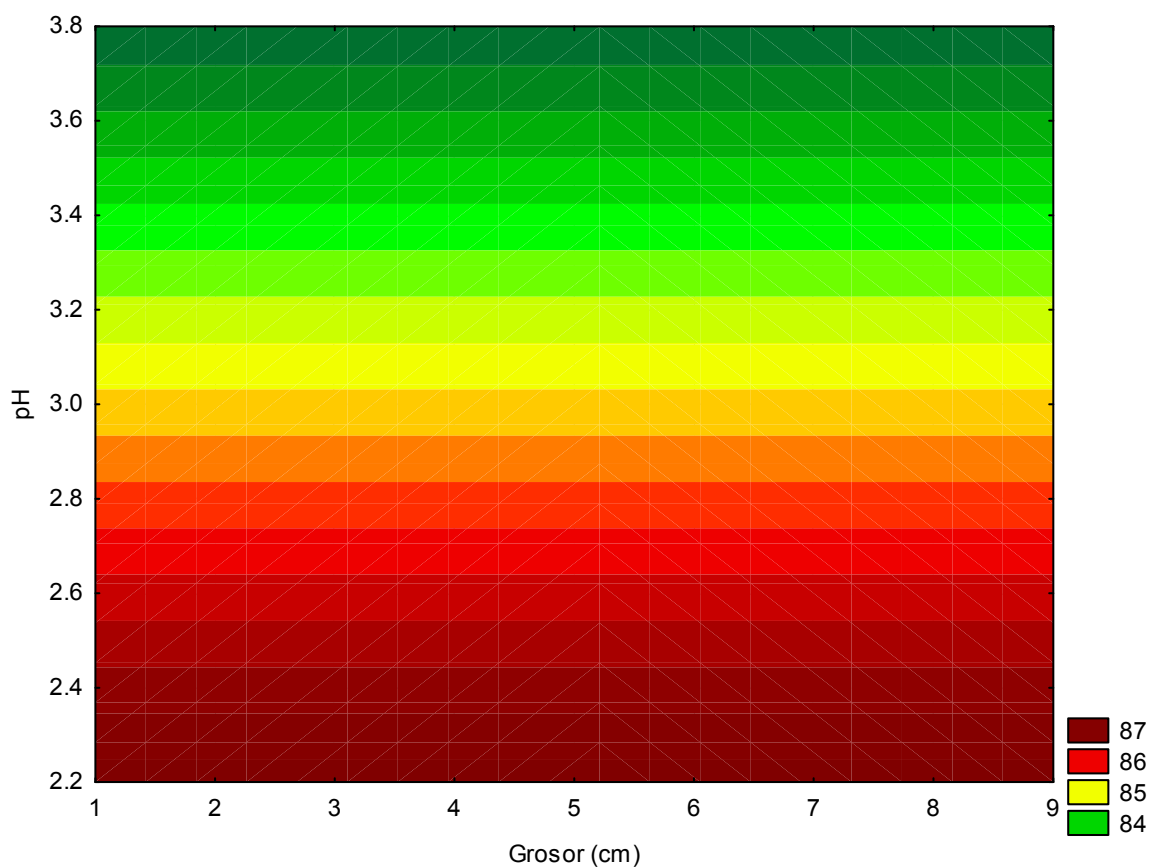


Figura 5. Gráfico de contornos del efecto del pH y grosor de cama (cm) con respecto a la puntuación final de la taza.

El efecto de la temperatura en la fermentación de acuerdo a García (2016) explica que a menor temperatura hay un incrementó de sabores especiales, con una calidad de café alta, por otra parte, Puerta (2012) estableció que cuando la temperatura de la fermentación es alta hay mayor presencia de defectos en la taza final. En esta investigación para la etapa de

fermentación el rango de temperatura que se maneja fue de 21 a 31°C con un promedio de 25°C.

La optimización de la combinación de las variables independientes se observa en la figura 6, donde se determinó los niveles óptimos para obtención de la taza de mejor calidad.

El punto óptimo en el procesamiento de del café Honey se estableció en el grosor de cama de 7.83 cm y el pH con un valor de 2.30, para la obtención de la mejor calidad representada en la taza con una puntuación de 87.61.

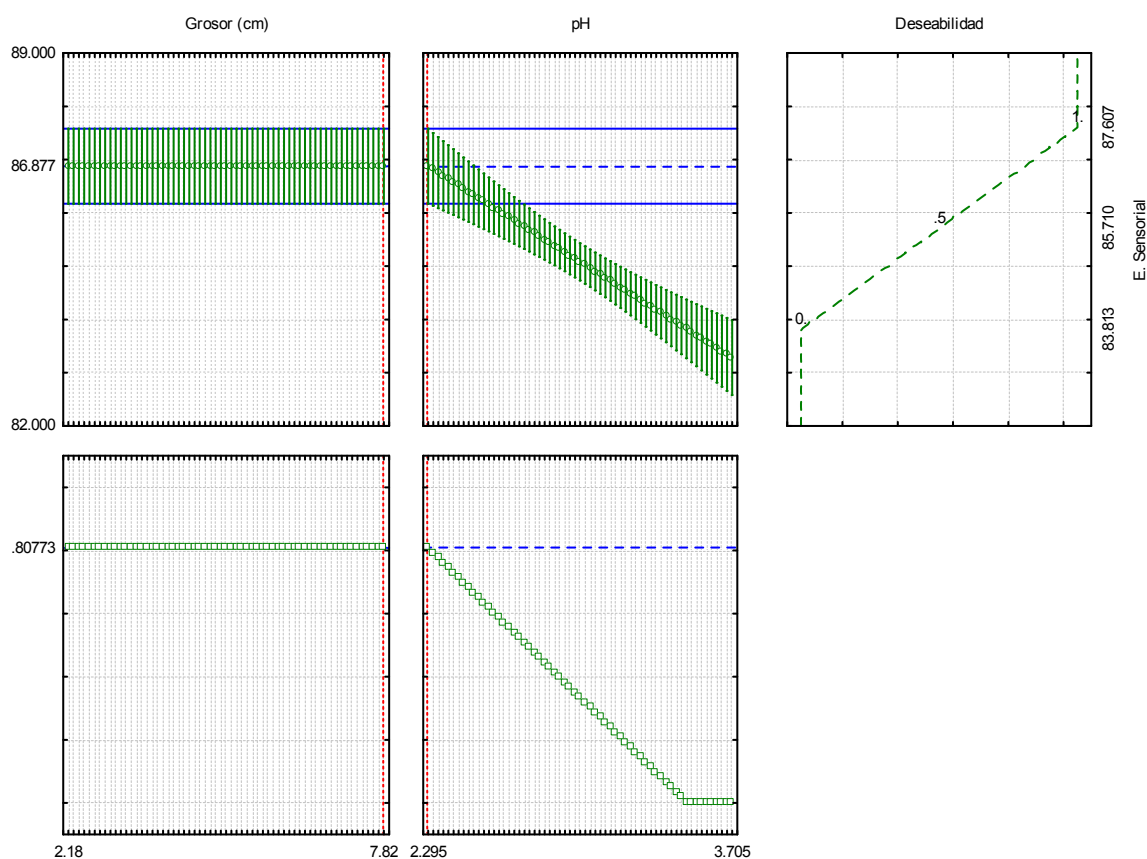


Figura 6. Función de utilidad con respecto a las variables grosor de cama (cm) y pH.

Evaluación del color y rendimiento del café.

Color del café pergamino. Con respecto a la clasificación del café, beneficiado bajo el proceso Honey, se establece en base al color del pergamino. Este puede clasificarse como honey amarillo, honey rojo y honey negro. El tiempo de secado de la muestra con mayor puntuación fue de 13 días, un valor que se encuentra dentro del rango ideal para un café clasificado como honey rojo (Poltonieri y Rossi, 2016). Con respecto a los valores de la escala L*a*b evaluados el tratamiento muestra un valor de 53.13 en promedio para la

luminosidad, un valor intermedio de la escala que inicia con valores de 0 a 100. Con respecto al valor de a* este muestra un valor de 9.23, un valor positivo por lo que el parámetro se encuentra dentro del color rojo con tendencia al color verde. No obstante, el valor de b* en promedio es de 42.65, el cual se establece dentro del color amarillo. Por consiguiente, el color del café pergamino obtenido específicamente para el tratamiento con mayor puntuación es de color rojo, acercándose a un color amarillo.

Rendimiento del café. La cantidad de café oro limpio que se obtuvo del tratamiento con mayor tiempo de fermentación representa un 86%, esto debido a que la cantidad de peaberry y sobrante es mayor con respecto a un tratamiento normal establecido por el beneficio. Los granos peaberry son alteraciones que se generan en el desarrollo de la cereza al no cumplir con la fertilización adecuada, en lugar de formar dos granos se obtiene un grano de forma ovalada. Por otra parte, el sobrante son granos que no cumplen con un tamaño adecuado y restos de pericarpio. Los defectos físicos encontrados en los granos se clasifican en primarios y secundarios. Entre los primarios se encuentran el grano totalmente negro, grano agrío, daño por hongos, materia extraña y grano brocado severo. En cuanto a los defectos secundarios se conoce: el pergamino, el grano negro parcial, grano agrío parcial, flotador, grano inmaduro y grano averanado.

Los defectos relacionados con una fermentación prolongada son el grano negro y el grano agrío. Estos pueden afectar la calidad de la taza con un solo grano presente, por lo que se debe eliminar por completo de las muestras a catar. La cantidad de defectos encontrados en el café tienen un valor del 9%. Si se compara con la cantidad de defectos presentes en un café convencional por parte del beneficio con un pH final de 3, tienen la misma cantidad de defectos. Por lo que se observa que la cantidad de defectos presentes se mantienen a pesar de aumentar la cantidad de horas de fermentación hasta obtener un valor de pH más bajo (cuadro 9).

Cuadro 9 Porcentaje de oro limpio, defectos, peaberry y sobrante.

	Oro limpio	Defectos	Peaberry	Sobrante
Tratamiento 7	0.653(Lb) 86%	0.070(Lb) 9%	0.013(Lb) 2%	0.023(Lb) 3%
Control	0.707(Lb) 88%	0.0835(Lb) 10%	0.006(Lb) 1%	0.005(Lb) 1%

3. CONCLUSIONES

- El punto óptimo para obtener la taza de mejor calidad fue con un pH de 2.3 y un grosor de cama de 7.83 expresada en cm, alcanzando puntuaciones similares a 87.61.
- El pH tiene un comportamiento inversamente proporcional al tiempo de fermentación.
- Se determinó que el color del café pergamino se ve afectado por el pH final en la etapa de fermentación, dando como resultado un honey amarillo.
- El café de oro limpio del tratamiento con pH final de 2.3 representa el 86% del peso total, mientras que los defectos representan el 9%, obteniendo valores similares con tratamientos ya establecidos por la empresa.

4. RECOMENDACIONES

- Evaluar los cambios químicos y físicos que presentan los granos de café al exponerlo a una fermentación con alta acidez.
- Elaborar un formato de registro para el control del comportamiento de pH, temperatura y grados brix.
- Efectuar pruebas con pH más bajos a 2.3, para confirmar a que nivel de acidez la taza es aceptada por los catadores.
- Considerar el aumento del tiempo en la etapa de fermentación de acuerdo a la cantidad de café.
- Evaluar los costos de producción para futuros tratamientos con pH final de 2.3 con un grosor de cama de 7.83 cm.

5. LITERATURA CITADA

Alianza de Cafés de Excelencia (2018): El Salvador 2017 - Alliance For Coffee Excellence. En colaboración con COE. Alliance For Coffee Excellence. Disponible en línea en <https://allianceforcoffeexcellence.org/el-salvador-2017/#1513038059038-106d1cd7-3c49>, Última actualización el 03/03/2018, Última comprobación el 03/03/2018.

Camarena, J., Gregori, V., Morillas, M., Almanzor, S. (2013). El concepto de métrica fuzzy a través del filtrado de imágenes digitales. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en línea en <https://polipapers.upv.es/index.php/MSEL/article/view/1976/2088>. Última comprobación el 29/05/2018.

Córdoba, N., Guerrero, J. (2016). Caracterización de los procesos tradicionales de fermentación de Café en el departamento de Nariño. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, p 75-83. [https://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)75-83](https://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)75-83)

Consejo Salvadoreño del Café (2014): Variedades. Consejo Salvadoreño del Café. El Salvador. Disponible en línea en <http://www.csc.gob.sv/variedades/>, Última comprobación el 27/02/2018.

Cuesta, C. (2011): Metodología de Superficies Respuestas. Centro de Ingeniería de la calidad. Cali Colombia.

FEWS NET (2016): El impacto de la roya de café en el sector cafetalero de América Central. Disponible en línea en <http://www.fews.net/sites/default/files/documents/reports/AMERICA%20CENTRAL%20Informe%20Especial%20-%20sector%20cafetalero%20-%202016.pdf>, Última comprobación el 27/02/2018.

Figuroa, E., Pérez, F., Montoya, L. (2015): La producción y el consumo del café. España: ECORFAN. España. ISBN: 978-607-8324-49-1.

Fórum Cultura Café (2010): La física y química en el tueste del café. Disponible en línea en http://www.forumdelcafe.com/sites/default/files/biblioteca/f-41_fisica_quimica_tueste.pdf, Última comprobación el 29/05/2018

García, A. (2016). Marco conceptual sobre la influencia de la temperatura y la humedad relativa en la fermentación sólida del grano de café arábica sobre el contenido del ácido 5-O-cafeoilquinico. Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingeniería. Disponible en línea en <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3150/Marco%20conceptual%20sobre%20la%20influencia%20de%20la%20temperatura%20y%20la%20humedad%20relativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jackels, S., Jackels, C. (2005) Characterization of the coffee mucilage fermentation process using chemical indicators: A field study in Nicaragua. *Food and Toxicology Chemistry*, 70(5), p. 321-325. Disponible en línea <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09960.x>

Jiménez, E. (2014): *Café I (G. Coffea)*. Disponible en línea en <http://eprints.ucm.es/27835/1/1757-2066-1-PB.pdf>, Última comprobación el 27/02/2018.

Peñuela, A. (2010). Estudio de la remoción del mucílago de café a través de fermentación natural (Tesis Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Universidad de Manizales, Facultad de Ingeniería, Manizales, Colombia.

Poltonieri, P., Rossi, F. (2016). Desafíos en el procesamiento de café especial y aseguramiento de la calidad. Universidad de Verona, Italia. Disponible en línea: <http://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/retos-en-el-procesamiento-y-aseguramiento-de-calidad-de-cafes-especiales>.

Puerta, G. (2012). Factores, procesos y controles en la fermentación del café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). Edición: Sandra Milena. Colombia. Disponible en línea en: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0422.pdf>

Puerta, G. (2013). Cinética química de la fermentación del mucílago de café a temperatura ambiente. *Revista Cenicafé*, p. 65-71.

Rhinehart, R. (2009): *Que es café especial*. En: Specialty Coffee Association of America. Disponible en línea en <https://www.utp.edu.co/cms-utp/data/bin/UTP/web/uploads/media/comunicaciones/documentos/Articulo-QUE-ES-UN-CAFE-ESPECIAL.pdf>, Última comprobación el 03/03/2018.

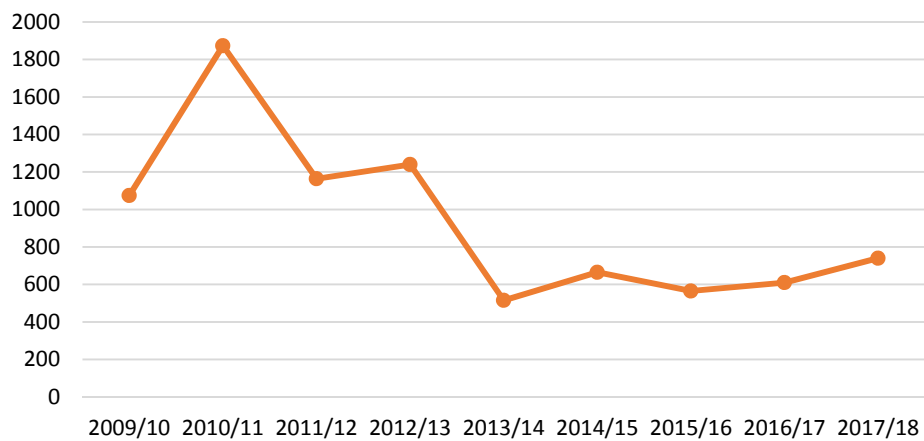
Rodriguez, M. (2015): *Experimental Design and Process Optimization*. Florida, EE.UU: Taylor & Francis Group.

Velmourougane, K. (2013). Impact of natural fermentation on physicochemical, microbiological and cup quality characteristics of Arabica and Robusta coffee. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B. Biological Sciences*, p. 233-239.

6. ANEXO

Anexo 1. Producción total de café en El Salvador.

Producción total de café en El Salvador (miles de bolsas de 60 kg)



Fuente: (ICO, 2017)