

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA PARA CAFÉ ARÁBIGO (*Coffea arabica L.*) DE ALTURA, EN LA PARROQUIA DE PACTO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL

MARÍA FERNANDA CAIZA MUÑOZ
mafer.vdeg@gmail.com

DIRECTOR: ING. OSWALDO ACUÑA
oswaldo.a@hotmail.com

CODIRECTOR: ING. EDWIN VERA, Ph.D.
edwin.vera@epn.edu.ec

Quito, Noviembre 2016

© Escuela Politécnica Nacional (2016)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, María Fernanda Caiza Muñoz, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

María Fernanda Caiza Muñoz

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. María Fernanda Caiza Muñoz, bajo mi supervisión.

Ing. Oswaldo Acuña

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Edwin Vera PhD.

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios que ha sido mi refugio y fortaleza en los momentos de desasosiego, por haberme puesto en el camino correcto con las personas indicadas.

A la Escuela Politécnica Nacional, por permitirme conocer un mundo lleno de oportunidades cuando existe perseverancia. A mis profesores por las enseñanzas y experiencias profesionales compartidas en las aulas.

Al Ing. Oswaldo Acuña y al Ing. Edwin Vera Ph.D por haberme orientado en este estudio y sobre todo por brindarme su tiempo y sus conocimientos.

A la empresa “Café Galleti”, a la Dra. Ena y a sus trabajadores por prestarme sus instalaciones y por su guía profesional.

Un agradecimiento especial a la Ing. Ana Barrionuevo, al Sr. Juan Betún, a la Asociación de Caficultores del Paraíso y a todas las personas que conocí en la hermosa parroquia de Pacto, por su ayuda desinteresada y por demostrarme la bondad y la humildad como principal motor para la felicidad, eternamente agradecida con ustedes.

A todos mis amigos/as que han formado parte de mi vida, gracias por su confianza y sobre todo por las experiencias personales buenas y malas que nos han enseñado a ser mejores personas.

A toda mi familia por estar siempre presente y motivarme con sus consejos a continuar con mis metas, los quiero mucho a todos. A mi hermana Gaby y Paty por su apoyo incondicional, a mis sobrinos Gabo y Valery por las alegrías compartidas; y principalmente mi más sincera gratitud a mi madre Eva, por mostrarme que el amor verdadero son los hechos y no las palabras.

DEDICATORIA

Aunque en algún momento pensamos que no se puede tener todo en la vida, a medida que transcurre el tiempo y se plantean nuevos proyectos; les aseguro que cada logro alcanzado va opacando ese sentimiento porque con perseverancia todos los sueños se hacen realidad.

Por eso dedico este esfuerzo a la persona más importante de mi vida que me ha demostrado su constancia en cada uno de los obstáculos que hemos enfrentado, por su fe y confianza en mí, a mi madre Eva Muñoz, Te Amo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 El café en Ecuador	1
1.1.1 Generalidades	1
1.1.2 Importancia de la producción de café en Ecuador	3
1.1.3 Café arábigo	6
1.1.3.1 Origen	6
1.1.3.2 Descripción botánica	6
1.1.3.3 Variedades	7
1.1.3.4 Manejo del cultivo	8
1.1.3.5 Composición química del fruto de café	13
1.1.3.6 Cosecha	14
1.2 Proceso del beneficio por vía húmeda de café	16
1.2.1 Clasificación	16
1.2.2 Despulpado	17
1.2.3 Fermentación	18
1.2.4 Lavado	19
1.2.5 Secado	20
1.2.6 Empacado y almacenado	22
1.2.7 Proceso previo a la evaluación de la calidad física y organoléptica de café	23
1.3 Influencia del proceso de fermentación en la calidad física y organoléptica del café	26
2. PARTE EXPERIMENTAL	31
2.1 Caracterización de las operaciones del beneficio por vía húmeda de café	31
2.1.1 Clasificación	32
2.1.2 Despulpado	33
2.1.3 Fermentación	35
2.1.4 Lavado	38
2.1.5 Ecurrido	38
2.1.6 Secado	39
2.1.7 Evaluación del proceso de fermentación en la calidad física y organoléptica	39
2.1.7.1 Calidad física	40
2.1.7.2 Calidad organoléptica	40

2.2	Diseño de la línea de proceso para el beneficio por vía húmeda de café	41
2.3	Análisis económico del proyecto	42
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1	Caracterización de las operaciones del beneficio por vía húmeda de café	43
3.1.1	Clasificación	43
3.1.2	Despulpado	50
3.1.3	Fermentación	52
3.1.4	Lavado	69
3.1.5	Escurrido	70
3.1.6	Secado	71
3.2	Evaluación del proceso de fermentación en la calidad física y organoléptica del café	74
3.2.1	Calidad física	74
3.2.2	Calidad organoléptica	79
3.3	Diseño de la línea de proceso para el beneficio por vía húmeda de café	90
3.4	Análisis económico del proyecto	98
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
4.1	Conclusiones	101
4.2	Recomendaciones	102
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
	ANEXOS	119

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1.1. Clasificación taxonómica del café y especies principales del Género <i>Coffea</i>	1
Tabla 1.2. Características fenotípicas y genéticas de <i>Coffea arábica</i>	7
Tabla 1.3. Resumen de los requerimientos climáticos del café arábigo	9
Tabla 1.4. Densidades poblacionales para diferentes variedades de café arábigo	10
Tabla 1.5. Nutrientes requeridos (g/árbol) en la siembra y en los primeros tres años de vida	11
Tabla 1.6. Resumen de las principales plagas y enfermedades del café arábigo	12
Tabla 1.7. Composición química de la pulpa y el mucílago de los frutos de café maduro	14
Tabla 2.1. Nomenclatura de los tratamientos empleados en el diseño experimental	35
Tabla 3.1. Porcentaje de frutos según el estado de madurez y el lugar de procedencia	43
Tabla 3.2. Características del fruto según el estado de madurez y lugar de procedencia	45
Tabla 3.3. Investigaciones sobre las dimensiones de los frutos de café según el estado de madurez	47
Tabla 3.4. Investigaciones sobre el peso de los frutos de café según el estado de madurez	49
Tabla 3.5. Investigaciones sobre ° Brix del café según el estado de madurez	49
Tabla 3.6. Rendimientos y características del café despulpado según el lugar de procedencia	50
Tabla 3.7. Resumen de las características de café despulpado	51
Tabla 3.8. Promedios de remoción de mucílago según el lugar de procedencia y tipo de fermentación de café	54
Tabla 3.9. Temperatura ambiental durante la fermentación de café	56
Tabla 3.10. Resumen sobre variables investigadas durante la fermentación de café arábigo	68
Tabla 3.11. Promedios de valores de pH y ° Brix de las aguas de lavado de café	69

Tabla 3.12. Características del café escurrido según el tratamiento	70
Tabla 3.13. Rendimiento y características físicas de café oro de los tratamientos	77
Tabla 3.14. Investigaciones sobre rendimiento y características físicas de café oro	78
Tabla 3.15. Características del café de acuerdo al tratamiento aplicado	85
Tabla 3.16. Resumen de los atributos evaluados en la calidad organoléptica de café proveniente de diferentes localidades	87
Tabla 3.17. Factor de conversión del café en el beneficio según el lugar de procedencia	88
Tabla 3.18. Investigaciones sobre el factor de conversión en el beneficio de café	89
Tabla 3.19. Nomenclatura de los equipos para beneficio por vía húmeda de café	94
Tabla 3.20. Costos de los equipos del beneficio por vía húmeda de café	98
Tabla 3.21. Valor de los rubros para la implementación del centro de beneficio	99
Tabla 3.22. Costo de producción mensual del centro de beneficio húmedo de café	100
Tabla 3.23. Costo operacional mensual para la producción de café pergamino seco	100
Tabla AIII.1. ANOVA del diámetro ecuatorial de los frutos de café	123
Tabla AIII.2. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del diámetro ecuatorial de los frutos de café	123
Tabla AIII.3. ANOVA del diámetro polar de los frutos de café	123
Tabla AIII.4. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del diámetro polar de los frutos de café	124
Tabla AIII.5. ANOVA del peso de los frutos de café	124
Tabla AIII.6. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del peso de los frutos de café	124
Tabla AIII.7. ANOVA de ° Brix de los frutos de café	124
Tabla AIII.8. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de ° Brix de los frutos de café	125
Tabla AIII.9. ANOVA del % remoción de mucílago en la fermentación de café	125
Tabla AIII.10. ANOVA del tiempo de fermentación de café	125
Tabla AIII.11. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del tiempo de fermentación de café para el factor fermentación	125

Tabla AIII.12. ANOVA de la temperatura de la masa de café en la fermentación seca	126
Tabla AIII.13. ANOVA de la temperatura de la masa de café en la fermentación combinada	126
Tabla AIII.14. ANOVA de la temperatura de la masa de café en la fermentación sumergida	126
Tabla AIII.15. ANOVA de la temperatura de la masa de café para los diferentes tipos de fermentación	126
Tabla AIII.16. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de la temperatura de la masa de café para el factor fermentación	127
Tabla AIII.17. ANOVA de pH de la masa de café en la fermentación seca	127
Tabla AIII.18. ANOVA de pH de la masa de café en la fermentación combinada	127
Tabla AIII.19. ANOVA de pH de la masa de café en la fermentación sumergida	127
Tabla AIII.20. ANOVA del pH de la masa de café para los diferentes tipos de fermentación	128
Tabla AIII.21. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del pH de la masa de café para el factor fermentación	128
Tabla AIII.22. ANOVA de la regresión pH - Temperatura de la masa de café	128
Tabla AIII.23. ANOVA de ° Brix de la masa de café en la fermentación seca	128
Tabla AIII.24. ANOVA de ° Brix de la masa de café en la fermentación combinada	129
Tabla AIII.25. ANOVA de ° Brix de la masa de café en la fermentación sumergida	129
Tabla AIII.26. ANOVA de ° Brix de la masa de café para los diferentes tipos de fermentación	129
Tabla AIII.27. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de ° Brix de la masa de café para el factor fermentación	129
Tabla AIII.28. ANOVA de la regresión ° Brix - Temperatura de la masa de café	130
Tabla AIII.29. ANOVA del peso hectolítrico determinado en café pergamino	130
Tabla AIII.30. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del peso hectolítrico de café pergamino para el factor fermentación	130
Tabla AIII.31. ANOVA de la humedad de café pergamino	130

Tabla AIII.32. ANOVA del diámetro polar de café oro	131
Tabla AIII.33. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del diámetro polar de café oro para el factor procedencia	131
Tabla AIII.34. ANOVA del diámetro ecuatorial de café oro	131
Tabla AIII.35. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del diámetro ecuatorial de café oro para el factor procedencia	131
Tabla AIII.36. ANOVA del peso de café oro	132
Tabla AIII.37. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del peso de café oro para el factor procedencia	132
Tabla AIII.38. ANOVA del rendimiento de café pergamino a café oro	132
Tabla AIII.39. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del rendimiento de café pergamino a café oro para el factor procedencia	132
Tabla AIII.40. ANOVA de la impresión global de la bebida	133
Tabla AIII.41. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de la impresión global de la bebida para el factor fermentación	133
Tabla AIII.42. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de la impresión global para el factor procedencia	133
Tabla AIII.43. ANOVA de la regresión % granos sanos – impresión global de la bebida	133
Tabla AIII.44. ANOVA de la regresión aroma – sabor de la bebida	133
Tabla AIII.45. ANOVA de la regresión sabor – sabor residual de la bebida	134
Tabla AIII.46. ANOVA de la regresión impresión global – puntaje del catador	134
Tabla AIII.47. ANOVA de la regresión impresión global – sabor de la bebida	134
Tabla AIII.48. ANOVA de la regresión limpieza – defectos de la bebida	134
Tabla AIII.49. ANOVA de la regresión granos sanos – puntaje del catador	134
Tabla AV.1. Consideraciones para el dimensionamiento del centro de beneficio	140
Tabla AV.2. Relaciones de conversión de café durante el beneficio por vía húmeda	141

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1 Mapa de la zonificación cafetalera de Ecuador	3
Figura 1.2. Histórico del 2010 - Agosto 2015 de las exportaciones de café en grano y elaborado	4
Figura 1.3. Superficie plantada, superficie cosechada, producción y venta de café por provincia en el año 2013	5
Figura 1.4. Descripción del fruto de café	15
Figura 1.5. Precursores en la formación del aroma del café durante el tostado	25
Figura 1.6. Rueda de sabores y aromas encontrados en las cataciones de café	30
Figura 3.1. Remoción promedio de mucílago a través del tiempo según el tipo de fermentación de café	55
Figura 3.2. Registro de la temperatura de la masa de café durante la fermentación seca	57
Figura 3.3. Registro de la temperatura de la masa de café durante la fermentación combinada	58
Figura 3.4. Registro de la temperatura de la masa de café durante la fermentación sumergida	58
Figura 3.5. Registro de la temperatura ambiental y de la masa de café durante los diferentes tratamientos de fermentación	59
Figura 3.6. Registro de pH de la masa de café durante la fermentación seca	61
Figura 3.7. Registro de pH de la masa durante la fermentación combinada	61
Figura 3.8. Registro de pH de la masa de café durante la fermentación sumergida	62
Figura 3.9. Registro de pH de la masa de café durante los diferentes tratamientos de fermentación	63
Figura 3.10. Registro de ° Brix de la masa de café durante la fermentación seca	64
Figura 3.11. Registro de ° Brix de la masa de café durante la fermentación combinada	65
Figura 3.12. Registro de ° Brix de la masa de café durante la fermentación sumergida	66

Figura 3.13. Registro de ° Brix de la masa de café durante los diferentes tratamientos de fermentación	66
Figura 3.14. Temperaturas promedio dentro de la marquesina durante el secado de café	71
Figura 3.15. Curva de secado del grano de café pergamino	72
Figura 3.16. Curva de velocidad de secado del grano de café pergamino	73
Figura 3.17. Peso hectolítrico del grano de café pergamino	75
Figura 3.18. Humedad del grano de café pergamino	75
Figura 3.19. Porcentaje de defectos de café oro en los tratamientos	76
Figura 3.20. Monitoreo de temperatura durante el proceso de tostado de los tratamientos	79
Figura 3.21. Puntaje de los atributos en la evaluación de la calidad en taza de café de Paraguas para las diferentes fermentaciones	80
Figura 3.22. Puntaje de los atributos en la evaluación de la calidad en taza de café de Paraíso para las diferentes fermentaciones	81
Figura 3.23. Puntaje de los atributos en la evaluación de la calidad en taza de café de Nuevo Pacto para las diferentes fermentaciones	82
Figura 3.24. Impresión global del café de los tratamientos	83
Figura 3.25. Perfil de tazas para el café de los tratamientos con fermentación sumergida	86
Figura 3.26. Diagrama de bloques (BFD) para el beneficio por vía húmeda de café	95
Figura 3.27. Diagrama de flujos (PFD) para el beneficio por vía húmeda de café	96
Figura 3.28. LAYOUT para el centro de beneficio por vía húmeda de café	97
Figura AI.1. Fotografías del beneficio por vía húmeda de café	120
Figura AI.2. Fotografías del procesamiento para la evaluación de la calidad de café	121
Figura AIV.1. Perfil de tazas para el tratamiento T ₁ . Paraguas, Fermentación seca	135
Figura AIV.2. Perfil de tazas para el tratamiento T ₂ . Paraguas, Fermentación sumergida	135

Figura AIV.3. Perfil de tazas para el tratamiento T ₃ . Paraguas, Fermentación combinada	136
Figura AIV.4. Perfil de tazas para el tratamiento T ₄ . El Paraíso, Fermentación seca	136
Figura AIV.5. Perfil de tazas para el tratamiento T ₅ . El Paraíso, Fermentación sumergida	137
Figura AIV.6. Perfil de tazas para el tratamiento T ₆ . El Paraíso, Fermentación combinada	137
Figura AIV.7. Perfil de tazas para el tratamiento T ₇ . Nuevo Pacto, Fermentación seca	138
Figura AIV.8. Perfil de tazas para el tratamiento T ₈ . Nuevo Pacto, Fermentación sumergida	138
Figura AIV.9. Perfil de tazas para el tratamiento T ₉ . Nuevo Pacto, Fermentación combinada	139

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Fotografías del beneficio por vía húmeda y procesamiento para la evaluación de la calidad de café	120
ANEXO II Modelo matemático del diseño factorial 3k	122
ANEXO III Análisis estadísticos de los resultados obtenidos en el beneficio por vía húmeda y en el procesamiento para la evaluación de la calidad de café	123
ANEXO IV Perfil de taza de los tratamientos	135
ANEXO V Balance de masa en el beneficio por vía húmeda de café	140
ANEXO VI Hojas de especificaciones técnicas de los equipos del beneficio por vía húmeda de café	143
ANEXO VII Extracto de las cotizaciones de los equipos del beneficio por vía húmeda de café	151

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo diseñar una planta para el beneficio por vía húmeda de café arábigo (*Coffea arabica L.*). Para esto, se evaluaron las etapas del procesamiento, la disponibilidad de materia prima, la infraestructura, etc. Se empleó frutos de café variedad Caturra recolectados durante la cosecha de Junio de 2015, de tres zonas (Paraguas: 1 526 msnm, El Paraíso: 1 362 msnm y Nuevo Pacto: 1 195 msnm) pertenecientes a la Parroquia de Pacto ubicada al Noroccidente de Pichincha.

Las muestras se procesaron por separado a través del beneficio por vía húmeda, a las mismas condiciones de humedad relativa y temperatura ambiental. Se clasificó los frutos según el estado de madurez; el café maduro se despulpó y se fermentó bajo un diseño experimental factorial 3^2 , 3 lugares de procedencia (Paraguas, El Paraíso y Nuevo Pacto) y 3 tipos de fermentación (en seco: café despulpado; sumergida: café despulpado con el 30 % de agua en base al peso del grano y combinada: fermentación en seco hasta el 48 ± 2 [%] de mucílago removido y una sumergida hasta el 98 ± 2 [%]). Luego el café fermentado se lavó con agua potable, se escurrió por 6 horas y se secó en marquesinas solares hasta el 12 % en base húmeda (b.h.) Para valorar la calidad física del café pergamino de los tratamientos se trilló y clasificó los granos. La calidad de taza se evaluó mediante un análisis sensorial, para lo cual el café fue tostado y almacenado por 20 horas; posteriormente las muestras se molieron hasta un tamaño de partícula de 2 mm y se efectuó la catación, en la cual se calificó en una escala de 10 puntos los atributos aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, limpieza, dulzor y puntaje del catador.

Durante la fermentación se determinó la remoción de mucílago, temperatura, pH y grados Brix de la masa de café. No se presentaron diferencias estadísticas por el lugar de procedencia, sin embargo el tipo de fermentación influyó en las variables. El proceso finalizó con una remoción superior al 97 %, para el proceso en seco en 17,43 h, para la combinada en 22,38 h y para la sumergida en 37,26 h. En todos los tratamientos la temperatura de la masa de café incrementó y el pH disminuyó,

en cambio los grados Brix, en las fermentaciones bajo agua se incrementaron al contrario del proceso en seco donde los sólidos solubles disminuyeron. En el café de fermentación sumergida la temperatura incrementó de 21 a 24 °C, los °Brix cambió de 5,1 a 8,0; y el pH disminuyó de 5,6 a 4,4.

Con base en la evaluación de la calidad física y de taza se concluyó que el mejor tratamiento se presentó al emplear la fermentación sumergida, debido a que se presentaron atributos deseables en la bebida con una impresión global superior a los 80 puntos. La caracterización del café de cada etapa del beneficio por vía húmeda aportó con datos poco conocidos en el sector cafetalero ecuatoriano para otras próximas investigaciones.

Se diseñó el centro de beneficio con una distribución en forma de “u” modificada, para una capacidad de 1 796 kg/día de café cereza. El análisis económico realizado sobre la base del diseño de la planta, llevó a determinar una inversión para la implementación de la infraestructura y equipos de 94 495,46 USD. Se determinó que el costo de producción de 1 qq de café pergamino sería de 161,93 USD y el precio de venta al público con un margen de utilidad del 20 % se establecerá en 194,31 USD.

INTRODUCCIÓN

El café arábigo (*Coffea arabica L.*) tradicionalmente producido y exportado, es uno de los productos agrícolas más apreciados en el ámbito internacional, gracias a su alta calidad favorecida por la amplia variedad de pisos climáticos (INEC, 2011, p. 1). A pesar de este hecho, la producción de café se ha concentrado en las provincias de Manabí y Loja, aun cuando otras también son aptas para su cultivo.

El Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca impulsa desde el 2012 el “Proyecto de Reactivación de la Caficultura Ecuatoriana”, que busca promover la investigación para el mejoramiento de la calidad, la productividad e institucionalidad de la cadena de valor (MAGAP, 2012).

Existen varios factores que influyen intrínsecamente en la calidad del café como la variedad y procedencia del fruto, pero varios estudios aseguran la importancia de realizar un buen manejo post cosecha (Puerta, 2012, p. 9; Velmourougane, 2013, pp. 233 - 234; Wei, Wai, Curran, Yu y Quan, 2015, p. 183).

El correcto tratamiento post cosecha se orienta a asegurar cafés suaves de alta calidad y comprende la recolección selectiva de frutos maduros y su posterior beneficio. En el beneficio por vía húmeda se extrae la mayor parte de la pulpa (exo y mesocarpio) con la utilización de equipos mecánicos; sin embargo una parte considerable (mucílago) permanece pegada en el pergamino, estos residuos son degradados durante la fermentación; posteriormente, se lava y el café pergamino resultante se seca (Mangal, 2007, p. 157; Kleinwächter, Bytof y Selmar, 2014, p. 73; Cruz, Morais y Casal, 2015, p. 550).

La proporción de granos verdes y secos no debe sobrepasar del 2-3 % (Puerta, 2000, p. 143) a fin de no afectar la calidad final. En la etapa de fermentación se desarrollan las características evaluadas en el análisis sensorial, por cuanto es indispensable su control (Wei et al., 2015, p. 183). Durante el lavado se genera volúmenes de aguas que son vertidas sin tratamiento alguno, comprometiendo al productor a establecer una correcta eliminación. Finalmente el secado del grano

evita el crecimiento de microorganismos debido a la disminución de la humedad en los granos.

La falta de tecnología, la débil asociatividad de los productores y la deficiente calidad e inocuidad del café son las principales razones por las cuales en el presente proyecto se estableció el diseño de una planta para el beneficio por vía húmeda que favorezca a caficultores de la parroquia de Pacto ubicada al Noroccidente de Pichincha. Para efectuar el estudio se caracterizó cada etapa del beneficio con la finalidad de conocer problemas críticos y establecer operaciones efectivas. Este trabajo se orientó a evaluar la fermentación del café con la finalidad de obtener atributos deseables en la bebida.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 EL CAFÉ EN ECUADOR

1.1.1 GENERALIDADES

La palabra café se deriva del vocablo árabe *Qah'wa* proveniente del vocablo turco *Kahve*, que significaba vino u otras bebidas embriagantes (Mangal, 2007, p. 2).

El cafeto es el nombre que identifica a las plantas del género *Coffea*, que incluye alrededor de 90 especies, de las cuales solo dos tienen importancia industrial: *Coffea arábica* conocida como café arábigo y *Coffea canephora*, llamada café robusta (Farah y Ferreira, 2015, p. 6). En la Tabla 1.1 se aprecia la clasificación taxonómica del café.

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica del café y especies principales del Género *Coffea*

Reino	Vegetal
Subreino	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea
Subclase	Simpétalas
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Género	<i>Coffea</i>
Subgénero	Eucoffea
Especies	<i>arábica; canephora; eugenioides; liberica; congensis; salvatrix; racemosa; zanguebariae; pseudozanguebariae; mongensis; humilis; kapakata; betrandi; perrieri; pervilleana</i>

(Farah y Ferreira, 2015, p. 6)

Coffea arábica se originó en Etiopía, donde se cultivaba a altitudes entre 1 300 y 2 000 msnm, mientras que *Coffea canephora* fue ampliamente dispersa en África tropical en altitudes por debajo de 1 000 msnm (Hatzold, 2012, p. 5).

La Organización Internacional del Café (ICO) indica una producción Mundial representada en un 63 % por la especie *Coffea arábica* y 37 % por *Coffea canephora* (ICO, 2011). Ecuador es uno de sus 47 miembros y uno de los 17 países que producen las 2 especies (COFENAC, 2013, p. 9).

En Ecuador el café arábigo se cultiva en una diversidad de climas y suelos, desde altitudes cercanas al nivel del mar hasta los 2 000 msnm. En las zonas de Céllica, Paltas y Vilcabamba en Loja; Intag en Imbabura; Puerto Quito, Pedro Vicente Maldonado, Nanegal, Pacto en Pichincha; Quevedo y Mocache en Los Ríos; Pangua en Cotopaxi; Caluma, Echeandía y Balsapamba en Bolívar; Olón, Paján, Santa Ana, 24 de Mayo, Jipijapa, Junín, Jama, Chone y Pedernales en Manabí; Zaruma, Piñas y las Lajas, en el Oro; Pallatanga en Chimborazo; El Panguí, Zumba, Yantzatta, Centinela del Cóndor, y Palanda en Zamora Chinchipe; Gualaquiza en Morona Santiago; Shell Mera en Pastaza; Archidona en Napo y la zona de Galápagos (Amores et al., 2004, p. 2; Duicela et al., 2003, p. 14).

El café robusta se cultiva desde 1950, especialmente en las provincias de Sucumbíos, Orellana, Napo, Esmeraldas, Guayas, Los Ríos, Santo Domingo, Cotopaxi, Bolívar y Morona Santiago (Duicela, García, Corral, Farfán y Fernández, 2004, p. 1).

De acuerdo con el Consejo cafetalero nacional (COFENAC, 2013) en 2012 la situación del sector cafetalero presentó la siguiente información:

- Superficie Total: 199 215 ha
- Superficie de café arábigo: 136 385 ha
- Superficie de café robusta: 62 830 ha
- Superficie cosechada: 149 411 ha
- Rendimiento promedio del café arábigo: 5,1 quintales café oro/hectárea
- Rendimiento promedio del café robusta: 5,5 quintales café oro/hectárea
- Producción de café arábigo: 62 %
- Producción de café robusta: 38 %
- Déficit de producción: 700 000 sacos de 60 kilos

En la Figura 1.1 se presenta el mapa de la zonificación cafetalera del Ecuador. Se aprecia que existe una mayor área cultivada de café arábigo.

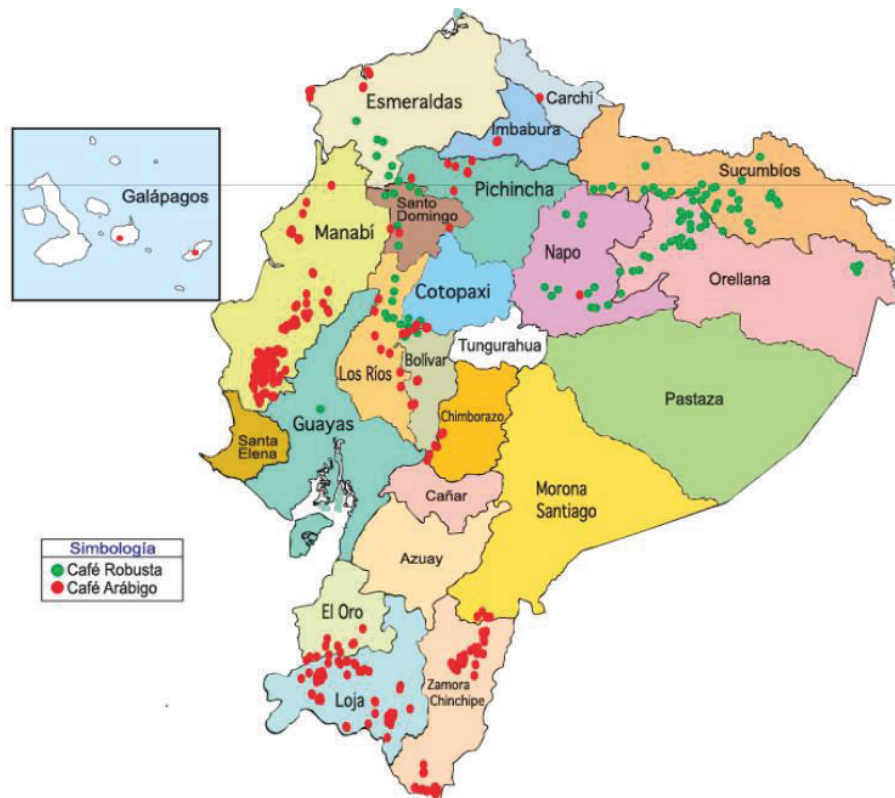


Figura 1.1 Mapa de la zonificación cafetalera de Ecuador
(COFENAC, 2009, p. 8)

1.1.2 IMPORTANCIA DE LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN ECUADOR

En el ámbito económico, el sector cafetalero contribuye con divisas al Estado y genera ingresos para industriales, comerciantes, exportadores, familias y obreros vinculados a sus procesos productivos (COFENAC, 2010, p. 5).

La Asociación Nacional de Exportadores de Café (ANECAFÉ) registra hasta Agosto de 2015 la salida de 542 007,74 sacos de 60 kg de café (en grano y elaborados), generando aproximadamente 92 672 miles de dólares FOB, reportando como principales destinos Alemania (39,1 %), Polonia (22,1 %) y

Colombia (7,8 %) (ANECAFÉ, 2015; BCE, 2015). En la Figura 1.2 se indica el histórico de ingresos por exportaciones de café en el periodo 2010 - Agosto 2015.

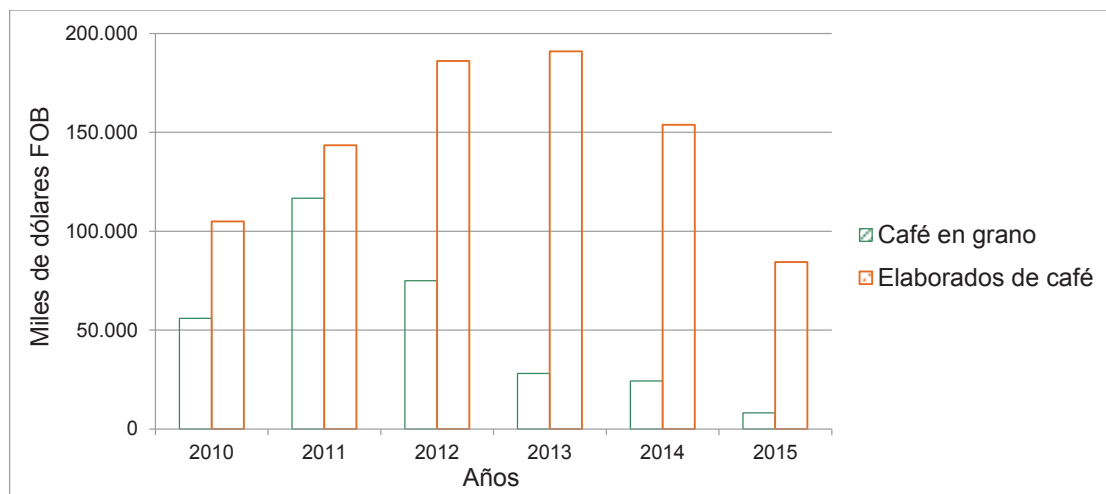


Figura 1.2. Histórico del 2010 - Agosto 2015 de las exportaciones de café en grano y elaborado
(Banco Central de Ecuador, 2015)

Se observa una disminución en las exportaciones, como consecuencia del mal manejo de la producción. Otro factor a considerar es el precio fijado para el comercio internacional; en el mes de Agosto de 2015 ANECAFÉ fijó el precio mínimo referencial de café oro arábigo en 147,68 USD FOB/quintal y el café oro robusta en 69,10 USD FOB/quintal.

En el ámbito social ha contribuido a generar empleo directo para alrededor de 120 000 familias de caficultores e indirecto para otras vinculadas a su industrialización; haciéndose necesario constituir y fortalecer gremios productores para plantear alternativas de sustentabilidad, tecnificación de cultivos, mejoramiento de la calidad del grano y comercialización asociativa (COFENAC, 2010, p. 5; Revista El Agro, 2012, p. 3).

Las principales organizaciones gremiales en Ecuador son la asociación nacional de exportadores (ANECAFE), la asociación de cafés especiales del Ecuador (ACEDE), la asociación agro artesanal de caficultores Río Intag, la federación regional de asociaciones de pequeños productores ecológicos del sur

(FAPECAFES) y la federación de asociaciones artesanales de producción cafetalera ecológica Manabí (FECAFEM) (PRO ECUADOR, 2013, p. 10).

En el ámbito ecológico, los cafetales por su capacidad de adaptarse a los distintos agro ecosistemas del país y su baja dependencia a los agroquímicos, constituyen un ente potencial para la industrialización del café (COFENAC, 2010, p. 5). El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos para el año 2013 indicó una superficie plantada de 97 684,00 ha de café con una producción de 7 759,00 t de café oro; correspondiente al 6,6 % de cultivos permanentes (INEC, 2014).

En la Figura 1.3 se presenta para el año 2013, la superficie plantada y cosechada, la producción y venta de café por provincia. Se aprecia que la mayor producción se tuvo en Manabí (44,8 %), Loja (15,8 %) y Sucumbíos (8,4 %). Sin embargo la superficie cosechada no correspondió a la plantada, debido a que se considera un 25 % de cafetales en crecimiento por el Proyecto de reactivación de la caficultura ecuatoriana impulsado por el MAGAP en 2012 (MAGAP, 2012; PRO ECUADOR, 2013, p. 6).

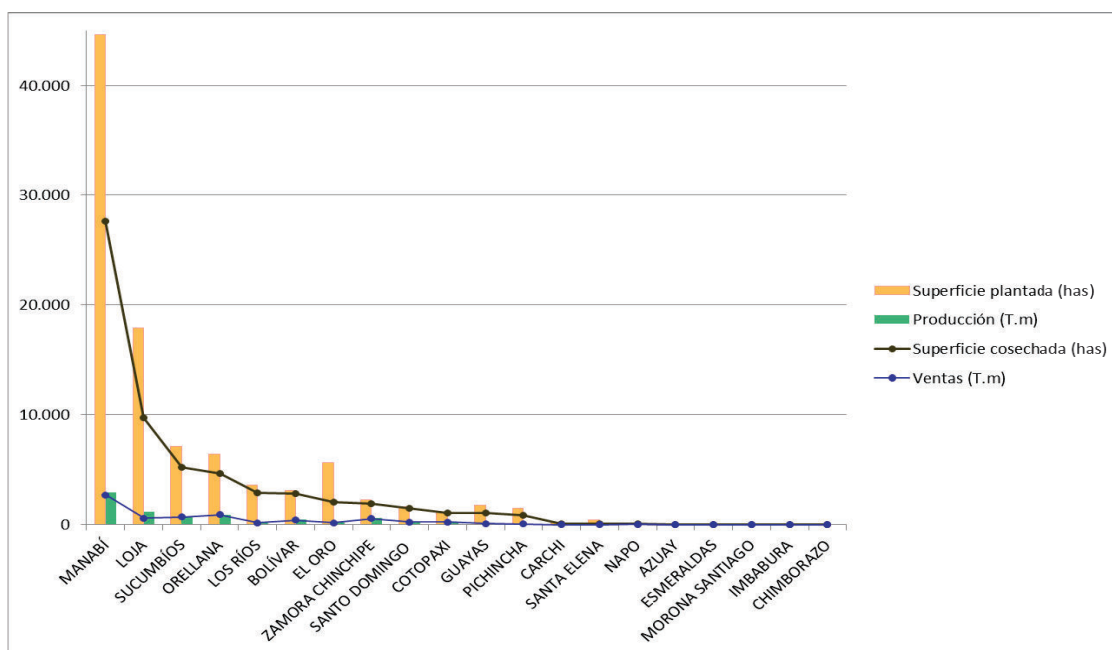


Figura 1.3. Superficie plantada, superficie cosechada, producción y venta de café por provincia en el año 2013 (INEC, 2014)

Otros programas de investigación a nivel nacional, buscan incrementar la productividad, mejorar la calidad física y de taza del café arábigo, para posesionarlo como un café especial que compita en el mercado mundial.

1.1.3 CAFÉ ARÁBIGO

La calidad del café se determina por diversos factores como: las técnicas de cultivo, los factores climáticos, las prácticas culturales, la composición química del grano, los métodos de cosecha, el beneficio y el almacenamiento; para asegurar cafés arábigos suaves al gusto del consumidor (Fischersworing y Robkamp, 2001, p. 23; Duicela et al., 2003, p. 157).

1.1.3.1 Origen

El café arábigo se introdujo en América por el año 1714, desde Amsterdam y con destino a la Guayana holandesa, las semillas de éstos cafetos se enviaron al Jardín Botánico de París y de allí a la isla Martinica en 1720, desde donde se distribuyó a Colombia, Venezuela, Centroamérica y las Antillas (MAG, 1988, p. 76).

En Ecuador existen datos con base en los registros de las exportaciones realizadas al Perú, que señalan el inicio de la actividad cafetalera a fines del siglo XVIII; en 1830 se empezó a cultivar en los recintos Las Maravillas y El Mamey en la provincia de Manabí (MAG, 1988, p. 77).

1.1.3.2 Descripción botánica

El cafeto es una planta gimnosperma, perennifolia, leñosa y de producción bianual. En la Tabla 1.2 se describe las principales características fenotípicas y genéticas de *Coffea arábica*.

Tabla 1.2. Características fenotípicas y genéticas de *Coffea arábica*

Tipo de planta	Arbusto
Copa	Piramidal abierta
Sistema radical	Raíz pivotante con raíces laterales
Tallo	Eje ortotrópico monocaule o multicaule
Ramas	Primarias, secundarias y terciarias
Hojas	Elípticas, oblongas y a veces lanceoladas
Inflorescencias	2 a 3 glomérulos hoja
Flor	Hermafrodita (cáliz, corola, estambres y pistilo)
Fruto	Drupa elipsoidal, formada por el epicarpio (cáscara), mesocarpio, endocarpio (pergamino) y endospermo (semilla)
Contenido de cafeína (en % de material seca)	0,60 – 1,80

(Duicela, 2011, p. 4)

1.1.3.3 Variedades

El café arábigo está conformado por un conjunto de variedades e híbridos que tiene características agronómicas y productivas diferenciadas. El conocimiento de éstas permite tomar decisiones apropiadas, por parte del caficultor, en la perspectiva de establecer nuevos cafetales (Duicela, 2011, p. 13).

Se describen las principales variedades que se cultivan en Ecuador:

- Típica: originaria de Etiopía e introducida al Ecuador (Manabí) en 1830; de buena calidad de taza, amplia adaptabilidad, baja producción y susceptible a la roya (*Hemileia vastatrix*) (INIAP, 2000, p. 24).
- Bourbon: originaria de las Islas Reunión; en Ecuador se empezó a cultivar en 1956. Tiene dos cultivares relacionados con el color de las cerezas maduras: Bourbon rojo y amarillo, de amplia adaptabilidad, alta producción y susceptible a la roya del cafeto (Sotomayor y Duicela, 1993, p. 43).

- Catuaí: se originó en Brasil en 1949, es una hibridación entre Mundo Novo y Caturra. Tiene dos cultivares: rojo y amarillo. Plantas medianas y de alta productividad. (Sotomayor y Duicela, 1993, p. 45).
- Caturra: es una mutación del café Bourbon encontrada en Minas Gerais; tiene dos cultivares: Caturra roja y amarilla clasificada por la coloración de los frutos en su madurez. Esta variedad es de porte bajo, alta productividad, amplia adaptabilidad y susceptible a la roya del cafeto. Se empezó a cultivar en el año de 1956 (INIAP, 2000, p. 25).
- Catimor: es un híbrido entre Caturra y el Híbrido de Timor desarrollado en el centro de investigaciones de la Roya del Café (CIFC) en Portugal. Presentan gran variabilidad genética, resistencia a la roya, alto rendimiento y adaptación limitada (Mangal, 2007, p. 7).
- Sarchimor: es otro híbrido sintetizado en el CIFC, resultante del cruzamiento de Villa Sarchi e híbrido de Timor. Presentan porte bajo, amplia adaptabilidad, excelentes características agronómicas, productivas y de resistencia a la roya (Sotomayor y Duicela, 1993, p. 46).

1.1.3.4 Manejo del cultivo

En la caficultura las labores de cultivo constituyen la definición de un agroecosistema apto, el uso de variedades adecuadas, la crianza de las plántulas en vivero, el establecimiento de cafetales, la gestión de la fertilidad, el riego, la asociación temporal y permanente de cultivos, el manejo de malezas, las podas, la rehabilitación, la regulación de sombra, el control integrado de plagas y enfermedades, la cosecha y la postcosecha (Duicela, 2011, p. 43; Malaka, Omaima, Nagwa, Shamma y Maksoud, 2013, p. 988).

La Tabla 1.3 muestra un resumen de los requerimientos climáticos del café arábigo.

Tabla 1.3. Resumen de los requerimientos climáticos del café arábigo

Factor climático	Requerimientos	Referencia
Altitud óptima (msnm)	300 a 1 800	Duicela et al. (2003)
	1 000 a 2 000	Waller, Bigger y Hillocks (2007)
Precipitación anual (mm/año)	1 000 a 2 000	Duicela et al. (2003)
	1 600 a 1 800, con un período seco de 2 a 3 meses que preceda a la floración	Guharay et al. (2000); Alvarado y Rojas (2007)
	1 100 y 2 000, con un periodo seco de 3 a 4 meses	Waller et al. (2007)
	< 1 000, limita el crecimiento y cosecha > 3 000, dificulta el control fitosanitario	Fischersworing y Robkamp (2001)
Temperatura media (°C)	Fluctúa de 18 a 24	Duicela et al. (2003)
	Óptimo entre 17 y 23 < 16, causa disminución del crecimiento vegetativo > 23, acelera el crecimiento vegetativo, pero limita la floración y fructificación	Guharay et al. (2000); Alvarado y Rojas (2007)
	Óptimo entre 19 y 21 > 24, acelera el crecimiento vegetativo, pero limita la floración y fructificación	Fischersworing y Robkamp (2001)
	Óptimo entre 15 y 25	Waller et al (2007)
Humedad relativa (%)	De 70 a 95	Alvarado y Rojas (2007); Duicela et al. (2003), Fischersworing y Robkamp (2001)
Heliofanía (h luz/año)	> 1 000	Duicela et al. (2003)

Para el cultivo de cafeto el suelo debe ser franco, de estructura granular para mantener el agua y los nutrimentos, con un 2,1 a 5,7 % de materia orgánica, con un valor de pH entre 5,5 a 6,5, una profundidad de 0,5 a 1,0 metro, con buen drenaje y con pendiente de hasta 45 grados (Alvarado y Rojas, 2007, p. 28).

Los suelos francos mayoritariamente se encuentran en los relieves andinos de la sierra norte: Imbabura, Pichincha y central: Bolívar, Chimborazo y Cañar, y en la

parte Nororiental de la costa; en climas húmedos presentan limitaciones químicas por lo que es necesario recurrir a la corrección de su fertilidad, en cambio en climas secos se requiere de riego (Duicela et al., 2003, p. 87)

El riego depende de la densidad poblacional, fenología del cultivo, precipitación de la zona, entre otros. En general durante la etapa de crecimiento se requiere 20 L/planta y en la etapa de producción 40 L/planta, de 1 a 2 veces a la semana, el agua de riego debe estar libre de contaminantes con valores de pH entre 6,5 a 7,5 (INIAP, 2014, p. 5).

Las densidades poblacionales recomendadas para las diferentes variedades de café arábigo se muestran en la Tabla 1.4

Tabla 1.4. Densidades poblacionales para diferentes variedades de café arábigo

Variedades	Distancia (m)		Densidad Poblacional (Cafetos/has)
	Entre hileras	Entre plantas	1 planta/sitio
Bourbón	2,00	2,00	2 500
Típica	2,00	1,50	3 333
Caturra	2,00	1,50	3 333
Catuaí	2,00	1,25	4 000
Catimor	2,00	1,00	5 000
Sarchimor	1,75	1,25	4 571

(Duicela, 2011, p.25)

La propagación de plántulas se realiza de 2 formas: asexualmente mediante estacas, injertos de yemas y cultivo de tejidos *in vitro* y en su mayoría sexualmente empleando semillas (Alvarado y Rojas, 2007, p. 15).

Las semillas germinan en arena de río cernida y desinfectada, alrededor de 1000 semillas por metro cuadrado; cuando nacen las 2 primeras hojas se trasplantan a fundas de polietileno con un sustrato 3 a 1 (3 volúmenes de tierra con 1 volumen de compost) (Kuit, Jansen y Van, 2004, p. 21).

Al iniciar la época lluviosa es el momento ideal para la siembra, las plantas deben tener de 5 a 7 pares de hojas y la tierra de la funda debe estar húmeda de manera que al cortar la funda no haya disgregación, a continuación todo el molde se planta en un hoyo de 30 x 30 x 30 cm (Kuit et al, 2004, p. 50).

La poda del cafeto consiste en eliminar partes mal formadas, improductivas o con problemas fitosanitarios en época seca. Se debe realizar después de la cosecha y antes de la floración, porque su actividad fisiológica se reduce. La herida del corte se sella aplicando una pasta preparada con cal (5 kg) y sulfato de cobre (1 kg) disueltos por separado en 4 L de agua (Duicela, 2011, p. 28).

La fertilización en los viveros de café se realiza aplicando 5 g/funda del abono químico 10-30-10, 18-46-0, 12-24-12 o 20-20-20, a partir de la séptima semana del trasplante con una frecuencia mensual. Para el suelo de siembra es relevante conocer su análisis químico de manera que se pueda establecer un programa de fertilización; sin embargo al momento de plantar los cafetos es recomendable aplicar 100 a 150 g/hoyo del abono químico 10-30-10, 18-46-0 u otro fosfatado mezclado con 1 a 2 kg de compost/hoyo (INIAP, 2014, p.15).

En la Tabla 1.5 se presenta la cantidad de nutrientes requeridos durante la siembra y los primeros tres años de vida

Tabla 1.5. Nutrientes requeridos (g/árbol) en la siembra y en los primeros tres años de vida

Año	Estiércol	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Durante la siembra	5 000	9,2	49,5	5,8
1	0	23,0	16,5	11,6
2	5 000	36,8	9,9	23,0
3	0	46,0	16,5	52,2

(Kuit et al, 2004, p. 77)

Los cultivos fertilizados adecuadamente aseguran una menor susceptibilidad a enfermedades y plagas. En la Tabla 1.6 se presenta un resumen de las principales enfermedades y plagas del café arábigo.

Tabla 1.6. Resumen de las principales plagas y enfermedades del café arábigo

Enfermedad y Agente causal	Síntomas	Transmisión	Control
Roya <i>Hemileia vastatrix</i>	Manchas pequeñas de color amarillo anaranjado en las hojas superiores, seguidas de lesiones en forma de polvo en el envés de las hojas	El viento y la lluvia transportan las esporas del hongo	Fungicidas que contienen cobre, en dosis de 5,3 kg / ha en intervalos de 4-6 semanas durante la temporada de lluvia.
Enfermedad del fruto del café (EFC) <i>Colletotrichum kahawae</i>	Manchas dentadas de color oscuro en los frutos verdes Frutos con corteza de color rosa pálido caen de la planta	Las gotas de agua transportan las esporas del hongo	Fungicidas que contienen cobre Separar las bayas enfermas
Tizón bacteriano <i>Pseudomonas syringae</i>	Manchas marrones y necróticas; las hojas se tornan de color negro y mueren pero permanecen adheridas al árbol	Por el movimiento de las plántulas infectadas Por salpicaduras de agua; las bacterias pueden entrar a través de heridas	Aplicar fungicidas con cobre antes del inicio de la temporada de lluvia
Ojo de Gallo o Mancha cercosporica <i>Cercospora coffeicola</i>	Manchas en el follaje, centro blanco/gris y un margen de color marrón En los frutos verdes son de color marrón y en los rojos tienen áreas negras hundidas	Por el viento, salpicaduras de agua y mediante el movimiento humano en los campos	Podar las áreas afectadas para la buena circulación de aire alrededor del follaje Fungicidas de cobre
Broca del café <i>Hypothenemus hampei</i>	Las frutas maduras tienen pequeños agujeros El insecto se alimenta y sus desechos son empujados hacia fuera del agujero formando un depósito de color marrón o gris en la parte superior del agujero.	El escarabajo hembra pone huevos dentro de los frutos, se producen hasta 5 generaciones por año	Podar y eliminar los frutos que caen al suelo de la plantación Aplicar insecticidas cuando el escarabajo hembra se encuentra en el túnel de entrada y no ha penetrado profundamente
Barrenador de ramas negras <i>Xylosandrus compactus</i>	Marchitamiento y amarillamiento del follaje, a menudo al final de las ramas	Los escarabajos adultos pasan el invierno en la planta	Podar las ramas y tallos infestados Fertilización, reducción de sombra y riego para acelerar la recuperación por las lesiones de poda
Minador de la hoja del café <i>Leucoptera coffeella</i>	Hojas que presentan una zona hueca que se seca y se traduce en manchas marrones	Las larvas de la polilla penetran en las hojas	Poda de eliminación, fertilización y riego adecuado

(Waller et al., 2007, pp. 231 - 238; Wintgens, 2004, p. 312)

En el Ecuador el cafeto se desarrolla y se produce mejor con sombra regulada, cultivos de ciclo corto como plátano, higuera, frutales, árboles maderables y de servicios ambientales se emplean temporalmente hasta los 18-24 meses de la siembra (FUNDESYRAM, 2010, p. 29). Las leguminosas como guaba, laurel, cedro, aguacate, chirimoya y diversos frutales con distanciamientos de 12×12 m (69 plantas/ha) o 15×15 m (56 plantas/ha) se utilizan para sombra permanente. Se debe regular periódicamente la sombra podando los árboles hasta obtener un 30-40 % de cobertura con árboles de variada edad (Waller et al., 2013 p. 315).

Para el cafeto se considera importante colocar una barrera contra el viento cada 50 m en sentido contrario a la dirección del viento (Duicela, 2011, p. 32).

El control de malezas es indispensable en los primeros años del cultivo y se realiza de forma química con el uso de herbicidas; de forma manual y mecánica con cortes a 5 cm del suelo; otra alternativa es la siembra de plantas nobles (*Centrosema sp*, *Desmodium sp*, *Floscopa sp*) poco competitivas con el café (INIAP, 2014, p.11).

El riego, aplicación de fertilizantes, control de malezas y la poda son prácticas que están estrechamente relacionadas con el rendimiento de café

1.1.3.5 Composición química del fruto de café

Durante la fase final de la maduración ocurre la degradación de la clorofila, la síntesis de pigmentos, carotenoides, antocianinas, etc., la reducción de compuestos fenólicos y consecuente disminución de la astringencia, el aumento de compuestos volátiles como ésteres, aldehídos, cetonas, alcoholes, etc., responsables del aroma de los frutos; alcanzando su punto óptimo de calidad (Ferreira, 2013, p. 398).

La composición química de la pulpa y el mucílago de los frutos de café maduro antes del proceso de fermentación se presentan en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7. Composición química de la pulpa y el mucílago de los frutos de café maduro

Componente	Pulpa	Mucílago	Grano/baya
	(% Peso en seco)		
Materia seca	29,0	5,0	81,0
Proteína	10,0	8,9	7,5
Fibra cruda	21,0	18,0	19,0
Cenizas	8,0	0,7	5,0 – 6,0
Extracto libre de Nitrógeno	44,0	35,8	1,2 – 8,0
Taninos	1,8 – 8,6	0	7,7
Pectina	6,5	35,8	0,88
Azúcares reductores	12,4	30,0	0,05 – 0,20
Azúcares no reductores	2,0	20,0	8,0
Cafeína	1,3	0	0,73
Ácido Clorogénico	2,6	–	6,0 – 7,0
Celulosa	27,7	17,0	19,4

(Ferreira, 2013, p. 401)

1.1.3.6 Cosecha

Los cafetos alcanzan su madurez fisiológica en aproximadamente 2 años, tardan unos 5 años para la primera cosecha completa y serán productivos durante unos 15 años. Se realizan recolecciones en intervalos de 7-14 días según el estado de madurez de los frutos (Nigam y Sighn, 2014, p. 489)

La producción de café dependerá de la región y la estacionalidad; generalmente el café arábigo se cosecha desde marzo a octubre con un pico de producción entre junio y julio (SINAGAP, 2014, p.6).

El fruto de café es una baya esférica carnosa, que cambia de color verde a rojo cereza durante la maduración. Dependiendo de la variedad los frutos alcanzan su madurez en un plazo aproximado de 9 meses (Kleinwächter et al., 2014, p. 74, Nigam y Sighn, 2014, p. 489).

La cereza del café normalmente contiene dos semillas planas en un lado (Bittenbender y Easton, 2008, p. 34). En la Figura 1.4 se observa la descripción del fruto de café. También se puede encontrar un solo grano en forma redonda llamado caracolillo y en casos raros, hasta tres granos en forma triangular, ambos con menos valor comercial (Bittenbender y Easton, 2008, p. 35).

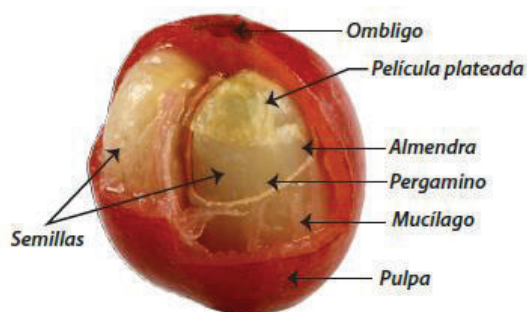


Figura 1.4. Descripción del fruto de café
(Ramos, Sanz y Oliveros, 2010, p. 317)

Debido a que los frutos de café por lo general no maduran al mismo tiempo, en la mayoría de fincas ecuatorianas, la cosecha es manual y selectiva; este método es caro por la fuerza laboral que se requiere, sin embargo tiende a producir café de mejor calidad en términos de sabor y salud.

Los frutos maduros se separan de la planta con los dedos sin destruir las yemas ubicadas en los nudos fructíferos, recolectándose en cestas de 20 a 25 libras (Bittenbender y Easton, 2008, p. 34).

Los frutos verdes o inmaduros no deben cosecharse porque en el despulpado se rompen causando granos mordidos que provocan sabores astringentes indeseables en la bebida. Los frutos secos en el árbol, provienen de la deficiencia de hidratos de carbono causada por malas prácticas agrícolas o por enfermedades; y los frutos sobremaduros que por acción de la lluvia o la cosecha caen al suelo y se tornan de color negro por una fermentación microbiana; deben recolectarse y procesarse por separado porque reducen la cantidad en peso de la producción, son fuente de enfermedades (infección por bacterias, desarrollo de

ocratoxina A) y causan sabores amargos en la bebida (Bittenbender y Easton, 2008, p. 38; Farah y Ferreira, 2015, p. 8; Kuit et al, 2004, p. 133).

1.2 PROCESO DEL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA DE CAFÉ

El beneficio por vía húmeda tiene como objetivo eliminar la pulpa y el mucílago, con una tecnología para producir café de calidad superior y de manera amistosa con el ambiente. Consiste en la transformación de café cereza maduro a café pergamino, e involucra la clasificación, el despulpado, la fermentación, el lavado y luego el secado para obtener el producto final (Mangal, 2007, p. 157).

El acopio de los frutos de café se realiza en sacos de yute, evitando el contacto con el suelo, el amontonamiento por un periodo mayor a 3 horas y la exposición al sol, debido a que genera manchas en el pergamino (INIAP, 2014, p. 8).

Se debe registrar fecha, hora y peso en kilogramos de los frutos cosechados, para procesarlos dentro de las 10 horas siguientes evitando el deterioro del grano por fermentación de los azúcares (Bittenbender y Easton, 2008, p. 36).

1.2.1 CLASIFICACIÓN

Dependiendo de la época de maduración de los frutos (temprana, media o tardía) existen diferencias significativas en el tamaño y la calidad del grano, en la acidez, aroma y cuerpo del café en la calidad de taza (Alvarado y Rojas, 2007, p.157).

La clasificación consiste en separar los frutos en diferentes grados de maduración para ser procesados individualmente y así obtener la mejor calidad para cada fracción de producto (Brando y Brando, 2013, p. 376). Los frutos maduros se separan de los inmaduros, sobremaduros y secos, además se retira granos atacados por enfermedades y/o insectos, hojas, palos, o cualquier otra materia extraña. También se busca uniformizar el tamaño de los frutos.

Se emplea equipos mecánicos que poseen zarandas clasificadoras separando los frutos maduros con o sin el uso de agua; o se utilizan sistemas por flotación en agua, como tanques estáticos, tanques sifón, canales con trampas; que se basan en la diferencia de densidad provocando que los frutos vanos y secos asciendan a la superficie (Brando y Brando, 2013, p. 376).

1.2.2 DESPULPADO

Consiste en separar el grano de café de la cáscara y parte de la pulpa, empleando máquinas despulpadoras previamente limpias y calibradas, se puede operar con poco o nada de agua (Alvarado y Rojas, 2007, p.157).

El mucílago de los frutos en estado óptimo de maduración funciona como lubricante facilitando el despulpado, por lo que no es necesario el uso de agua.

En cambio en frutos defectuosos se tiene carencia o poca cantidad de mucílago provocando daño mecánico al grano y una baja calidad de taza (Brando y Brando, 2013, p. 378).

Durante la época de cosecha, por los cambios en el tamaño de los frutos, la despulpadora debe calibrarse varias veces, para evitar defectos en el análisis de caracterización física como granos mordidos, trillados y aplastados, además de frutos parcialmente despulpados y sin despulpar que provocan sabores agrios, a fermento, mohoso y tierra (Baron y Fukunaga, 2006, p. 7).

La pulpa de café posee un alto porcentaje de materia orgánica, volviéndolo apto para su transformación en abono orgánico, mediante microorganismos; pero a su vez contiene un alto porcentaje de humedad por lo que es recomendable que pase por un proceso de degradación. Su aplicación ayuda a mejorar las condiciones físicas del suelo que a su vez se traduce en una mejor disponibilidad de nutrientes a la planta, control natural de nemátodos, regulación de la acidez del suelo, etc. (Orozco, Cantarero y Rodríguez, 2001, p. 53).

La preparación de compost toma de 3 a 4 meses, se realiza en áreas designadas protegidas de la lluvia, para acelerar el proceso puede aplicarse cal en proporciones de 1 quintal por tonelada de pulpa, realizando volteos cada 15 días. Requiere de capacitación en mano de obra para controlar generación de malos olores (Orozco et al., 2001, p. 54)

Otra manera, es la producción de humus a través de la lombricultura, se realiza en cajas de madera de 3 × 1 m, con un grosor de la capa de 35-40 cm, temperaturas de 20 a 22 °C y pH de 7,0 a 7,5. El abono obtenido tiene un contenido mayor de nutrientes y no implica instalaciones con alto grado tecnológico (Orozco et al, 2001, p. 53).

A pesar de ser un aporte a la fertilización no se considera un sustituto del abono químico, porque su producción estacional limita la cantidad de pulpa para fertilizar toda la plantación, dado que la pulpa de 5 árboles se aplica a 1 planta Bittenbender y Easton, 2008, p. 43).

1.2.3 FERMENTACIÓN

La fermentación es un proceso biológico, donde el mucílago que cubre el pergamino del grano se fluidifica de forma natural, por la acidificación provocada por las enzimas propias del fruto (pectinasa) y la acción de numerosos microorganismos como levaduras y bacterias, permitiendo su eliminación a través del lavado con agua (Bittenbender y Easton, 2008, pp. 36 - 57).

El café despulpado acelera su metabolismo por lo que debe depositarse inmediatamente en tanques de fermentación, que pueden ser de plástico, madera o cemento; para preservar la calidad del grano (INIAP, 2014, p. 9)

Dependiendo de la temperatura ambiental (recomendable entre 80 °F a 90 °F), el pH, aireación, la madurez y sanidad del café, la calidad del agua y el diseño de

los tanques, la fermentación tarda entre 6 a 72 horas (Brando y Brando, 2013, p. 378, Nigam y Sighn, 2014, p. 490).

La fermentación natural puede llevarse a cabo como un proceso en seco (sin agua) siendo más rápida, pero más difícil de controlar; o bajo el agua siendo más homogénea. Además se puede acelerar mediante la adición de ciertos tipos de enzimas o de levaduras *Saccharomyces* (Brando y Brando, 2013, p. 380).

El estado óptimo para el lavado se determina por el roce de una cantidad de granos fermentados con las manos, un sonido como de cascajo debe ser escuchado con claridad y los granos limpios deben sentirse ásperos (INIAP, 2014, p. 18). Otra manera, es introducir verticalmente un palo de madera dentro de la masa de fermentación; si al retirarlo deja huella sin desmoronarse, el proceso a finalizado; estas pruebas deben realizarse en al menos tres puntos diferentes del tanque (Brando y Brando, 2013, p. 379).

Existen otras maneras de conocer el tiempo de fermentación óptimo las cuales se basan en parámetros químicos; los cuales permiten un control adecuado durante el proceso; además es indispensable las buenas prácticas en las siguientes etapas para conservar los sabores especiales conferidos en la fermentación.

1.2.4 LAVADO

Esta etapa es una de las principales fuentes de consumo de agua y contaminación en el procesamiento húmedo, porque se elimina los residuos mucilaginosos y sustancias solubles formadas durante la fermentación, puede realizarse manualmente en el propio tanque o en canales, por bombas centrífugas o por varios tipos de máquinas específicas (Sakiyama y Gava, 2013, p. 360).

Se debe restregar los granos para limpiarlos por completo, se emplean varios enjuagues gastando hasta 10 litros de agua por cada kilo de café cereza (Enden y Calvert, 2012, p. 7). Para asegurar la calidad del producto se debe utilizar agua

limpia, debido a que el agua sucia o reciclada con gran contenido de sólidos puede dejar sabores extraños y terrosos.

Existen varias alternativas que buscan controlar durante el beneficio de café la contaminación del agua, tratamientos químicos como la aplicación de cal en piscinas estabilizantes en proporciones de 2 kg/ m³ de agua, es el método más empleado por su sencillez. Sin embargo existen tratamientos físicos que aplican técnicas de filtración y tratamientos biológicos que emplean microorganismos que degradan los componentes orgánicos; a su vez se puede combinar entre ellos para mejorar su eficiencia. Se debe tomar en cuenta las normas de descontaminación, el volumen y las características de las aguas residuales (Orozco et al, 2001, pp. 32 - 33).

1.2.5 SECADO

El secado consiste en reducir el contenido de humedad del café pergamino desde 50-55 % hasta 10-12 %, para evitar el ataque de hongos durante el almacenamiento que afecta la calidad por generar olores y sabores indeseables (Mangal, 2007, p. 237).

El grano de café en pergamino se seca al incrementar su temperatura causando la evaporación del agua contenida (Donzeles et al, 2011, p. 29). El secado lento permite que los granos de café tengan un contenido de humedad homogéneo y un color uniforme cambiando de un verde grisáceo a un ámbar oscuro (Brando y Brando, 2013, p. 386; Baron y Fukunaga, 2006, p. 11).

Durante el proceso la temperatura y la humedad del grano deben ser monitoreadas. Al sobrepasar los 40 °C, el grano puede sufrir sobrecalentamiento, causando daños como agrietamiento del pergamino, lixiviación, habas tostadas, etc., volviéndolos susceptibles al ataque de microorganismos durante el almacenamiento y a la generación de sabores amargos y a cocido afectando la calidad de la bebida. Por otro lado la falta de secado permite que los granos sean

atacados por hongos y tomen olores desagradables afectando la calidad de todo el café (Baron y Fukunaga, 2006, p. 13; Sampaio, Nogueira, Roberto y Silva, 2007, p. 35).

El secado natural, por exposición directa al sol se realiza en patios de cemento, entablillados de madera, zarandas de plástico y en marquesinas (INIAP, 2014, p. 15). El café pergamino tarda aproximadamente 15 días en secarse, sin embargo el tiempo depende directamente de las condiciones climáticas de la región (Brando y Brando, 2013, p. 387).

Para lograr una mejor calidad del café es importante la uniformidad en el grado de secado. Factores como: espesor de la capa de los granos entre 3-5 centímetros conforme al secado, control de la temperatura del grano removiendo 3-6 veces al día con un rastrillo plano y evitar que el grano se rehumedezca cubriendo con lona, contribuyen y aceleran al proceso, consiguiendo reducir la pérdida de peso del grano generada por la respiración y el metabolismo que ocurre dentro, lo que favorece a la calidad del café (Farah y Ferreira, 2015, p. 8).

Para el secado mecánico se tiene equipos en diversos tamaños y modelos que utilizan aire caliente para arrastrar la humedad del grano. Su principal beneficio al ser independiente de las condiciones climáticas, es la reducción del tiempo de secado (40 horas aproximadamente) siempre y cuando exista un control adecuado de la temperatura y de los flujos de aire para asegurar la eficiente distribución de calor (Donzeles et al, 2011, p. 30).

Al inicio, la humedad del grano de café es alta, por lo que el aire para el secado puede alcanzar los 90 °C sin riesgo de sobrecalentamiento, pues se conoce que en la mayoría de secadores el grano no se calienta más allá de 30 °C; sin embargo el control de la temperatura del aire se hace crítica hacia el final del secado, porque el café comienza a ganar temperatura rápidamente por el bajo nivel de humedad. Durante el proceso el metabolismo se interrumpe provocando la pérdida de peso global es menor que en el secado solar (Brando y Brando, 2013, p. 389; Kleinwächter et al., 2014, p. 75).

El principal impacto de las altas temperaturas es el rompimiento de las paredes celulares provocando el derrame de los aceites del grano, lo cual reduce el tiempo de almacenamiento y causa sabores a rancio. En el secado mecánico se recomienda una temperatura de 60 °C para no afectar la calidad del café (Sampaio et al., 2007, p. 35; Sfredo, Finzer y Limaverde, 2005, p. 24).

Investigaciones recomiendan que en una primera etapa el secado se realice en secadores solares, porque se conservan mejor las propiedades del café. En las épocas de cosecha alta “pico de producción” se recomienda emplear un secado combinado para disminuir el tiempo del proceso y optimizar la inversión (Abdala, Fonseca, Pantoja y Gen, 2003, p. 24).

Se generan sabores a madera atribuidos a las altas temperaturas, tiempos de secado prolongados y a rastrillos para remover sucios. Además se puede detectar defectos como el fenol provocado por un secado lento, el rehumedecimiento del café pergamino húmedo o el amontonamiento (Puerta y Echeverry, 2015, p. 5).

1.2.6 EMPACADO Y ALMACENADO

En la mayoría de fincas se procesa hasta café pergamino, porque su conservación suele ser más fácil.

Para el café pergamino seco se recomienda un doble empaque; bolsa de polietileno y saco de yute. La primera actúa como barrera contra la humedad y contaminantes, además preserva bajos niveles de oxígeno y altas concentraciones de dióxido de carbono provenientes de la respiración de los granos impidiendo la proliferación de plagas. El saco de yute facilita la comercialización y apilamiento del café (Centro de comercio internacional, 2015).

El almacenamiento es especialmente crítico, no sólo afecta al aroma y sabor de la bebida, sino también a su bioactividad, ya que pueden aparecer micotoxinas indeseables que afectan a la salud humana (Hatzold, 2012, p. 10).

La humedad del café se mantiene en 12 % cuando la temperatura es ≤ 20 °C y la humedad del aire está entre 60 a 65 %. En zonas húmedas, es habitual secar el café hasta 10 – 11 % para aumentar el tiempo de almacenamiento antes de que el café absorba la humedad del aire. La humedad por debajo de 10 - 11% aumenta el riesgo de rotura de los granos en el descascarillado, en cambio por encima del 12 % aumentan los riesgos de pérdida de calidad y peso en el almacenamiento (Wintgens, 2004, p. 231).

1.2.7 PROCESO PREVIO A LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICA Y ORGANOLÉPTICA DE CAFÉ

En el mercado para industrializar el café se elimina el pergamino mediante descascarillado obteniendo café oro, se prefiere granos de forma plano convexa con ranura cerrada lo que revela la altitud del cultivo, de tamaño mayor a 7,95 mm, con una humedad entre 10 - 12 % en base húmeda (b.h), y de color verde grisáceo o azulado (Duicela et al., 2003, p. 158).

Una vez trillado el café oro se selecciona por tamaño ya sea en forma manual o con zaranda para obtener granos de tamaño homogéneo y eliminar los atípicos y negros, lo que permite obtener un tostado parejo y evita la presencia de granos quemados o deficientemente tostados (Carvajal y Carrillo, 2001, p. 6).

Los granos seleccionados pasan al proceso de tueste, donde se somete a un proceso térmico provocando cambios físicos y químicos que desarrollan los componentes aromáticos y el sabor característico del café, así como el color marrón típico de los granos (Hatzold, 2012, p. 8). Los cambios dependen de la estructura del grano y del perfil de temperaturas.

Si el color es claro el tostado será menor y la bebida será más suave, más ácida y menos amarga, en cambio un tostado mayor provoca un sabor más fuerte, más amargo, más intenso y menos ácido (Carvajal y Carrillo, 2001, p. 8; Mangal, 2007, p. 239).

En el tostado los granos pasan por una etapa de secado debido a la evaporación que se produce a consecuencia de las altas temperaturas, este intervalo ocupa el 80 % del tiempo (Mayorga, 2010, p. 61).

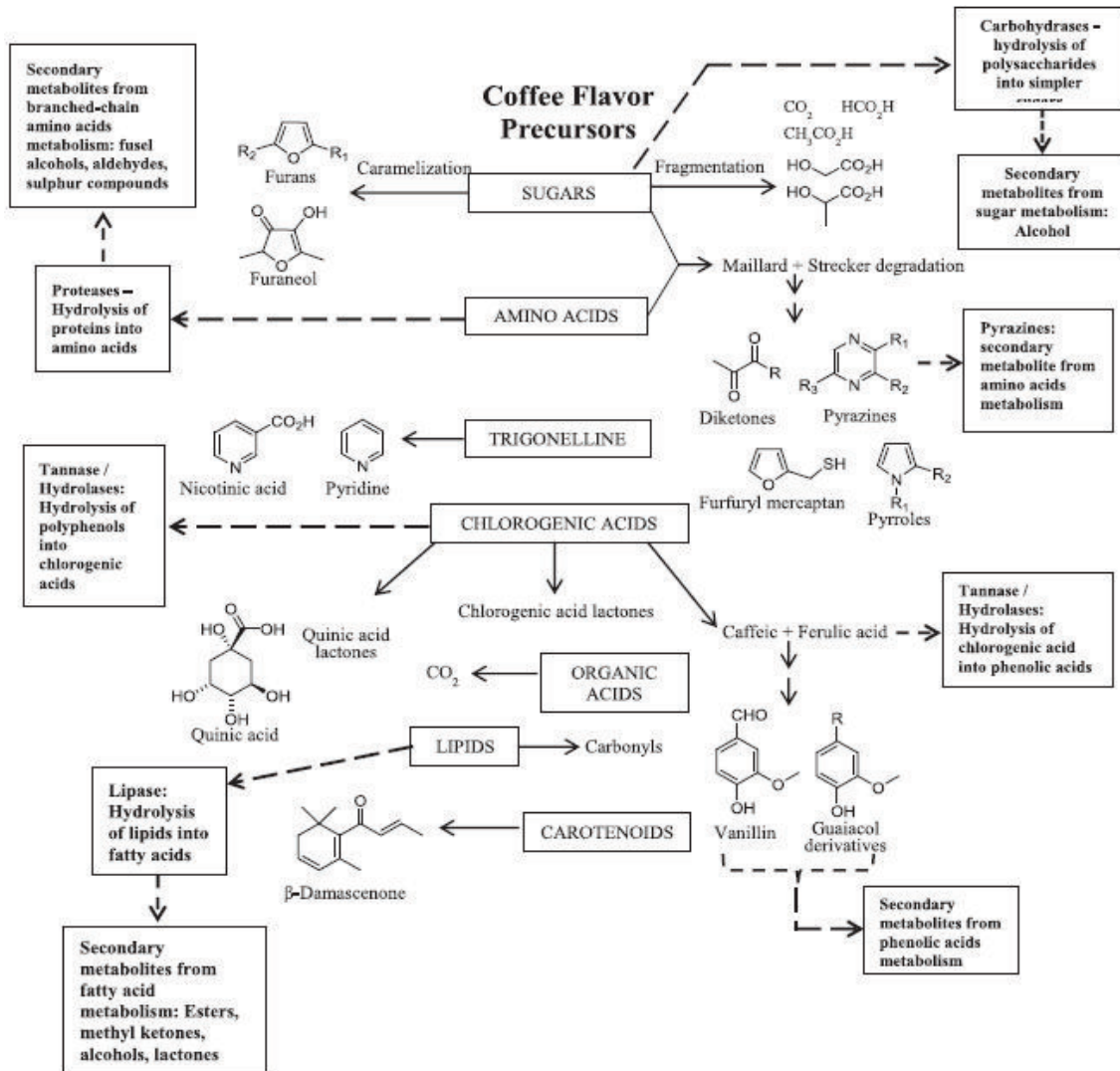
A medida que incrementa la temperatura se presenta una pirólisis causada por la alta presión interna generada por el vapor de agua y el dióxido de carbono acumulado. Esta presión induce a la expansión del volumen del grano y como consecuencia se presenta en el café una fragmentación térmica de las moléculas en ausencia de oxígeno; este agrietamiento se identifica por una crepitación conocida como el “crack de tueste” y que provoca un sonido similar al producido en la cocción del canguil. Este punto significa que el café ha alcanzado su mayor aroma, aumento de volumen, y pérdida de peso (Rao, 2014, p. 48).

Es imprescindible tener control sobre el tiempo de tueste, debido a que la temperatura no es constante y va variando, por lo que resulta ser inversamente proporcional a los tiempos de tostado (Tanokura y Wei, 2015, p. 165).

Durante esta etapa los granos de café oro se calientan entre 180 - 240 °C durante un tiempo aproximado de 10 a 15 minutos. El grano pierde peso alrededor del 5 – 8 % y su humedad se reduce hasta el 2 - 3 % b.h., esta humedad permite una adecuada molienda del grano al presentar una estructura quebradiza (Mayorga, 2010, p. 61; Rao, 2014, p. 24).

Se interrumpe el tostado al alcanzar el grado deseado y se pasa a un enfriamiento por alrededor de 15 minutos, en el cual se detiene la reacción exotérmica y se elimina los gases atrapados en el grano (Carvajal y Carrillo, 2001, p. 8).

En la Figura 1.5 se presenta una visión general de las funciones de los precursores en la formación del aroma de café durante el tostado, con la posible modificación en la composición de los precursores y la generación de metabolitos secundarios por la fermentación microbiana controlada.



Líneas de trazo representan los cambios en la fermentación

Figura 1.5. Precursores en la formación del aroma del café durante el tostado (Wei et al., 2015, p. 189)

El café tostado pasa a la molienda, donde el principal objetivo es la reducción del tamaño de partícula, en el cual el molturado del grano se distingue por su valor comercial y por la preferencia del consumidor.

La granulometría debe ser la adecuada para la extracción de los aromas y de los compuestos solubles durante la preparación de la bebida, además de ser perceptible al tacto y no tener una consistencia harinosa. Si la molienda es excesivamente gruesa, en la infusión no se extraerán todos los sabores y se requerirá un tiempo de contacto largo entre el agua y el café. En cambio sí está

muy molturado se disolverán los componentes más amargos y menos aromáticos (Mayorga, 2010, p. 94; Carvajal y Carrillo, 2001, p. 9).

Se debe tener en cuenta la temperatura del café durante la molienda; debido a que no debe superarse los 50 °C, ya que puede percibirse sabores a café quemado y además se presenta una mayor pérdida de gases y aromas. El control del tipo de molino y el sistema de refrigeración son indispensables para preservar la calidad del café (Mayorga, 2010, p. 95).

1.3 INFLUENCIA DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN LA CALIDAD FÍSICA Y ORGANOLÉPTICA DEL CAFÉ

El mucílago representa un 40-65 % del peso del fruto de café y está compuesto de agua (70-85 %), azúcares y pectina (Nigam y Sighn, 2014, p. 489).

A nivel bioquímico se elimina el mucílago por hidrólisis enzimática, debido a la degradación de la pectina y otras sustancias pécticas a ácido galacturónico; y de la transformación de los azúcares, lípidos, proteínas y ácidos en alcoholes y si se prolonga en un medio aeróbico a ácidos orgánicos. Los ésteres y cetonas cambian las características de olor, color, pH y composición del sustrato y del grano (Masoud y Jespersen, 2006, p. 293; Ferreira, 2013, p. 405).

La fermentación permite el crecimiento de microorganismos que producen enzimas, como poligalacturonasas y pectina liasas que son necesarias para despolimerizar e hidrolizar la pectina presente en el mucílago (FAO, 2014, p. 6; Masoud y Jespersen, 2006, p. 295).

Las actividades microbianas que se producen durante la fermentación pueden variar de acuerdo a las especies que están presentes, la química y propiedades físicas de la pulpa y mucílago, factores externos como temperatura y disponibilidad de oxígeno, y la bioquímica dentro de la propia baya (Avallone et al, 2001, p. 135; Schawn y Wheals, 2004, p. 441).

En la etapa inicial del proceso se encuentra una microflora significativa de levaduras, seguidos por bacterias y en menor cantidad de hongos, estas proporciones aumentan constantemente con el progreso de la fermentación. La abundancia de levaduras y bacterias se debe principalmente a la disponibilidad de azúcar (Velmourougane, 2012, p. 235; Schawn y Wheals, 2004, p. 435)

Los mecanismos por los cuales los microorganismos provocan impactos en el procesamiento del café y la calidad son la degradación de la celulosa y los materiales del mucílago; las contribuciones positivas al sabor del café y aroma; las micotoxinas que causan sabores y aromas indeseables (FAO, 2014, p. 7; Brando y Brando, 2013, p. 402)

Es fundamental para la calidad en taza detener la fermentación en el momento adecuado, ya que esto evita la sobrefermentación y la formación de sabores indeseables (Brando y Brando, 2013, p. 379). Comúnmente, el punto final del proceso de fermentación se juzga basado en observaciones que son muy subjetivas (Jackels et al, 2006, p. 323).

Si la fermentación es incompleta, el mucílago residual y los azúcares que quedan adheridos en el grano no se eliminan totalmente en el lavado, lo que impide el proceso de secado y fomenta el crecimiento de las bacterias de putrefacción y de hongos durante el almacenamiento; además se generan contribuciones negativas en el sabor y aroma por el desarrollo de ácido butírico o ácido propiónico (Brando y Brando, 2013, p. 379; Nigam y Sighn, 2014, p. 489).

Durante la fermentación natural el grano tiene una pérdida de peso causada por su metabolismo, exósmosis y respiración (Bittenbender y Easton, 2008, p. 34). Las temperaturas superiores a 40 °C aceleran el tiempo de procesamiento pudiendo causar sobrefermentación sino se tiene control sobre éste, lo que se traduce en una mayor pérdida de peso, granos descoloridos y agrios. Las pérdidas de peso asociados con la fermentación se ha encontrado que variar desde 0,5 % a 6,0 % (9,0 % en casos extremos) dependiendo de las temperaturas locales y el número de horas requerido para la fermentación; además provoca

manchas en el pergamino y mala calidad de taza por la generación de sabores picantes, avinagrados y desabridos (Brando y Brando, 2013, p. 382)

Algunos investigadores afirman que el remojo en agua limpia, por un cierto número de horas, de café pergamino después de haber sido desmucilaginado disminuye la amargura y favorece la calidad (González et al., 2007, p. 293). El efecto más beneficioso se tiene en la característica física ya que el grano presenta uniformidad en el color pudiendo ser azul o verde oscuro. El sabor en las fermentaciones que se mantienen por un tiempo bajo agua permite la concentración de sustancias bioquímicas que imparten un sabor característico (Bittenbender y Easton, 2008, p. 36).

El pH depende de la madurez, del tiempo entre la cosecha y la manipulación durante el despulpado, disminuye en mayor medida durante las 20 primeras horas, por la formación y disociación de ácidos (málico, cítrico, oxálico, fórmico, fosfórico, succínico, propiónico y butírico láctico y acético). La temperatura externa es directamente proporcional a la acidez del sustrato, es decir a mayor temperatura el pH disminuye más rápido (Nigam y Sighn, 2014, p. 489).

El procesamiento en seco se caracteriza por ser más aeróbico, dando mayor concentración de glucosa y fructosa en los frutos, en cambio la fermentación con agua se caracteriza por sabores agradables y afrutados, florales y a caramelo, antes y después de la proceso de tostado (Avallone et al, 2001, p. 138).

En el sustrato sólido el rango de variación de pH es más amplio y más heterogéneo. La acidez en sistemas sumergidos es menor aunque con el tiempo aumenta en ambos sistemas, los ácidos producidos si se prolonga el tiempo causan sabores agrios y a fermento (Puerta y Echeverry, 2015, p. 5).

En la fermentación de café los sólidos solubles contienen glucosa, fructosa, ácidos málico, láctico, acético, succínico, oxálico, fórmico, fosfórico, galacturónico, etanol y otros alcoholes, ésteres, polisacáridos, proteínas y ceniza (Brando y Brando, 2013, p. 404).

La fermentación sin agua genera un decrecimiento exponencial en los grados Brix a medida que dura el proceso, además si la temperatura del medio externo se incrementa el decrecimiento se torna más rápido. En cambio en fermentaciones sumergidos los ° Brix aumentan durante el proceso por la disolución de las sustancias en agua (Puerta, 2012, p. 8).

En fermentaciones sin agua se muestra una calidad de taza neutral. Los granos de café obtenidos por el proceso de fermentación tenían concentraciones más altas de las sustancias volátiles tales como alcoholes, ácidos, ésteres, aldehídos, y cetonas y tenían más agradables aromas de café aceptables. La presencia de los ácidos málico y cítrico (> 1 mg / ml) confiere una acidez deseable a la bebida final (Brando y Brando, 2013, p. 404)

Las contribuciones positivas al sabor y el aroma del café se da por la generación de 700 compuestos volátiles y no volátiles que han sido identificados, la actividad microbiana y el grado de la fermentación va a determinar las concentraciones de azúcares libres (glucosa, fructosa) y aminoácidos libres que rodean el grano y, posteriormente, contribuyen a la producción de compuestos y sustancias volátiles de Maillard durante el proceso de tostado (Avallone et al, 2001, p. 135).

La calidad del café es determinada por expertos llamados catadores, que emplean café tostado y molido para calificar sus características organolépticas. En la catación se puede identificar sabores como: ácido, salado, alcalino, astringente, amargo, suave, duro y vinoso (Duicela et al., 2003, p. 35)

La altura donde se produce el café es un factor determinante para la generación de aromas; a baja altura suele ser suave y menos intenso pero limpio; en cambio el café de altura es fragante, intenso, delicado y fino (Mangal, 2007, p. 243; Cruz et al., 2015, p. 554).

El aroma está dado por el contenido de aceites finos en la almendra, aspecto relacionado a un correcto beneficio de café, la temperatura durante el tostado causa que existan diferencias entre la proporción que se genera en aromas y

sabores. (Avallone et al, 2001, p. 135). El cuerpo es el resultado de varias percepciones que causan sensación de plenitud y consistencia, además considera la cantidad de partículas disueltas en la infusión (Fischersworing y Robkamp, 2001, p. 29). La acidez aumenta con la altura de la zona de procedencia, el grado de madurez, el tiempo entre la recolección y el despulpado, y el grado de tostado (Cruz et al., 2015, p. 553)

En general, en las fermentaciones sumergidas predomina una calidad de taza muy suave con notas a chocolate y caramelo; en cuanto a las fermentaciones sólidas se produce una bebida más compleja con diversidad de notas como frutales, cítricos y chocolates (Puerta, 2015, p. 5). En la Figura 1.5 se presenta la rueda de sabores encontrados en la catación de café.

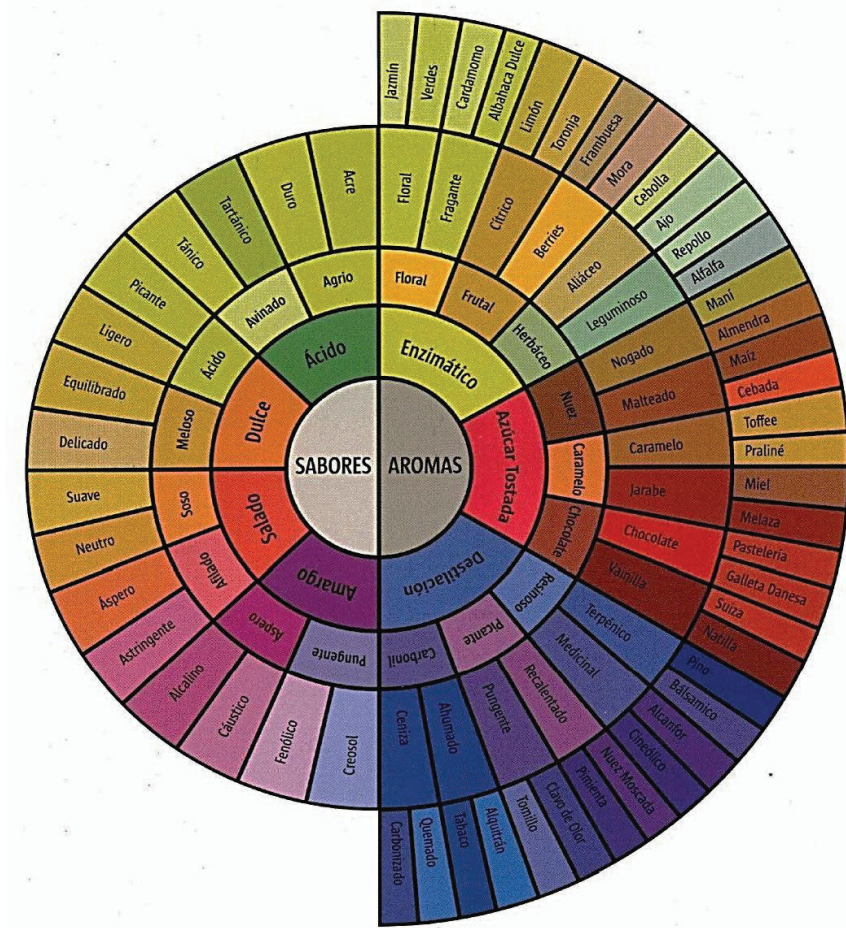


Figura 1.6. Rueda de sabores y aromas encontrados en las cataciones de café (SCAA, 2008, p. 6)

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA DE CAFÉ

La experimentación se llevó a cabo en la finca particular “Los Contreras”, ubicada en la parroquia Pacto al Noroccidente de la Provincia de Pichincha. La finca tiene condiciones de temperatura media anual de 19,6 ° C; precipitación media anual de 2 138,6 mm y una humedad relativa de 91 %.

En los acápite siguientes se explica el detalle de cada etapa del beneficio por vía húmeda de café. En el Anexo I se muestran algunas fotografías del beneficio húmedo hasta café pergamino seco y el procesamiento para la evaluación de la calidad física y organoléptica.

Los frutos de café arábigo se recolectaron durante la cosecha correspondiente a Junio 2015. Se adquirió tres muestras, cada una de 150 kg y pertenecientes a tres zonas de producción ubicadas en la parroquia Pacto. Los lugares de procedencia se describen a continuación:

-El Paraíso: (Latitud: 0° 09` 57” N; Longitud: 78° 48` 04” O) a 1 362 msnm

-Paraguas: (Latitud: 0° 10` 14” N; Longitud: 78° 46` 53” O) a 1 526 msnm

-Nuevo Pacto: (Latitud: 0° 08` 32” N; Longitud: 78° 45` 52” O) a 1 195 msnm

Las zonas de producción fueron seleccionadas por su importancia con el sector cafetalero de la parroquia. Con el apoyo de la Asociación de Caficultores “El Paraíso” se contó con la colaboración de un productor de cada lugar, tomando en cuenta que todas las fincas tengan la misma variedad y edad similar del cafeto.

Los frutos de café variedad caturra se cosecharon manualmente el mismo día y se recolectaron en sacos de yute para su traslado en camioneta hacia la finca. El tiempo de llegada fue aproximadamente 30 minutos. Se registró el lugar de

procedencia, hora y peso. El beneficiado por vía húmeda se realizó por separado, según la procedencia de las muestras: Paraíso, Paraguas y Nuevo Pacto.

2.1.1 CLASIFICACIÓN

Se retiró ramas, piedras y otras impurezas, además se separó los frutos de café de cada muestra de 150 kg según su estado de madurez en cuatro categorías: verde, maduro, sobremaduro y seco. Para ello, se empleó una zaranda de apertura 14 mm en la que se retuvo la mayor parte de los frutos maduros y una de 10 mm para el café verde. Posteriormente se realizó una selección manual basada en una inspección visual del color de la epidermis que se comparó con una carta de color PANTONE, desarrollada para determinar el grado de madurez de los frutos (Marín, Arcila, Montoya y Oliveros, 2003, p. 224).

A continuación se describen los análisis que se realizaron en los frutos de café de cada categoría: café verde, maduro, sobremaduro y seco.

Porcentaje de frutos

Cada categoría: café verde, maduro, sobremaduro y seco, se pesó en la balanza electrónica T-SCALE, modelo ELW-4050-150K, 150 kg, 0,1 kg. Finalmente se calculó el porcentaje de frutos correspondiente a cada una de las 4 categorías según la Ecuación 2.1

$$\% F_x = \frac{PF_x}{P_o} \quad [2.1]$$

Dónde:

% F_x: Porcentaje de frutos de la categoría X [%]

PF_x: Peso de los frutos de la categoría X [kg]

Po: Peso inicial de los frutos [kg]

X: categoría según el estado de madurez: verde, maduro, sobremaduro y seco

Peso de 100 frutos

Se tomaron 100 frutos de cada categoría. Este conjunto se pesó en la balanza OHAUS, modelo Scout Pro 2001, 2000 g, 0,1 g. Se realizaron 3 repeticiones. Se registró el valor medio del peso en g. (Montilla et al, 2008, p. 122).

Diámetro ecuatorial y polar

Se tomó 200 frutos y se midió el diámetro ecuatorial (ancho) y polar (largo) de cada fruto con el calibrador INSIZE, modelo 1223, 15 cm, 0,25 mm. Se presentó el valor medio en mm (Montilla et al, 2008, p. 122).

° Brix

Se contó una submuestra de 20 frutos y para cada uno se extrajo el jugo por medio de presión para determinar ° Brix en el refractómetro Atago, modelo N-1. Se reportó el valor medio de las medidas.

2.1.2 DESPULPADO

Solo los frutos maduros de los tres lugares de procedencia, se despulparon sin agua para separar la cáscara y pulpa de los granos de café con la despulpadora Jotagallo, modelo 2¾, 500 kg de café cereza/hora.

Para los granos despulpados se realizaron los análisis que se presentan a continuación.

Rendimiento

Se pesó el conjunto de granos despulpados en la balanza electrónica T-SCALE, modelo ELW-4050-150K, 150 kg, 0,1 kg. Se reportó el rendimiento del proceso en porcentaje, basado en el peso del café maduro y del café despulpado. También se registró el rendimiento de la cáscara y pulpa separada.

Peso, diámetro ecuatorial y polar

Se determinó estas características físicas en una muestra de 100 granos de café despulpado. La metodología para determinar estos parámetros se detallan en los acápites anteriores.

Densidad aparente del grano baba

Se empleó como referencia el método descrito en la norma NTE INEN-ISO 6669 (INEN, 2013, pp. 2 - 7); se tomó 1 muestra de 300 g, se colocó en un contenedor en forma de embudo hasta 2,5 mm del borde, se abrió la portilla de la parte inferior y se dejó fluir a razón constante hacia un recipiente de volumen y peso conocido, una vez lleno se retiró el exceso de granos y se pesó en la balanza electrónica OHAUS, modelo Scout Pro 2001. Se calculó con la Ecuación 2.2. Se realizaron 3 repeticiones. Se reportó el valor medio de las mediciones en g/L.

$$D = \frac{P_2 - P_1}{V} \quad [2.2]$$

Dónde:

P_1 : peso del recipiente receptor vacío [g]

P_2 : peso del recipiente receptor lleno de granos de café [g]

V : capacidad del recipiente receptor [L]

2.1.3 FERMENTACIÓN

Se estudió la fermentación del café despulpado bajo un diseño experimental factorial 3^2 , con una repetición. Los factores considerados fueron el lugar de procedencia y el tipo de fermentación. Como lugar de procedencia se seleccionó tres zonas de producción ubicadas en la Parroquia Pacto: Paraguas: 1 526 msnm, Paraíso: 1 362 msnm y Nuevo Pacto: 1 195 msnm. Los tres tipos de fermentación fueron: en seco: café despulpado en tinas; sumergida: café despulpado con adición del 30 % de agua con base al peso de los granos; y combinada: en seco hasta el 48 ± 2 [%] de mucílago removido y sumergida hasta el 98 ± 2 [%] de mucílago removido.

En el Anexo II se muestra el modelo matemático correspondiente al diseño experimental. Por el arreglo factorial se tuvo 9 tratamientos cuya codificación se muestra en la Tabla 2.1. Se realizó una repetición del diseño experimental.

Tabla 2.1. Nomenclatura de los tratamientos empleados en el diseño experimental

Nomenclatura	Lugar de Procedencia	Tipo de fermentación
T ₁	Paraguas	En seco
T ₂		Sumergida
T ₃		Combinada
T ₄	Paraíso	En seco
T ₅		Sumergida
T ₆		Combinada
T ₇	Nuevo Pacto	En seco
T ₈		Sumergida
T ₉		Combinada

Para cada tratamiento, se colocó 12 kg de café despulpado en una tina plástica de 20 litros. Para la fermentación sumergida se adicionó 3,6 litros de agua potable. El proceso se llevó a cabo bajo techo y a las condiciones ambientales del lugar. La fermentación se inició a las 17: 00 p.m. y terminó cuando se alcanzó el 98 ± 2 [%] de mucílago removido, como se describe en el siguiente acápite.

Se describen a continuación los parámetros que fueron monitoreados para cada tratamiento hasta que se fluidificó el 98 ± 2 [%] de mucílago. Los datos se tomaron al tiempo 0 y después de cada 4 horas hasta concluir la fermentación, excepto la remoción de mucílago, del cual se tomó 6 mediciones durante el proceso.

Remoción de mucílago

A 6 diferentes tiempos durante la fermentación se tomó una muestra de 100 g de café baba, se le adicionó la enzima pectinolítica Granozyme café 100 (1 cm³ disuelto en 500 cm³ para 10 kg de café), se mezcló para homogenizar la muestra y se esperó 30 minutos hasta la degradación total del mucílago, posteriormente se lavó el café y finalmente se dejó escurrir durante 20 minutos hasta que se eliminó la película de agua que cubría los granos. Se pesó con la balanza electrónica OHAUS, modelo Scout Pro 2001, 2000 g, 0,1 g. Se calculó por diferencia de peso con las Ecuaciones 2.3, 2.4 y 2.5 (Mejía, Oliveros, Sanz, Moreno y Rodríguez, 2007, p. 127). Se realizó una repetición del proceso. Se reportó el valor medio de las mediciones.

$$X_0 = \frac{P_{C_0} - P_{M_0}}{P_{M_0}} \quad [2.3]$$

Donde:

P_{C_0} : peso de la muestra de café despulpado al tiempo 0 [g]

P_{M_0} : peso de la muestra de café sin mucílago al tiempo 0 [g]

X_0 : fracción inicial de mucílago

$$P_T = X_0 \times P_{MT} \quad [2.4]$$

Donde:

P_T : peso de mucílago en el tiempo t [g]

X_0 : fracción inicial de mucílago

P_{MT} : peso de la muestra de café sin mucílago en el tiempo t [g]

$$\% Rm_T = \left(1 - \frac{P_{CT} - P_{MT}}{P_T}\right) \times 100 \% \quad [2.5]$$

Donde:

$\% Rm_T$: porcentaje de remoción de mucílago en el tiempo t [%]

P_{CT} : peso de la muestra de café fermentado en el tiempo t [g]

P_{MT} : peso de la muestra de café sin mucílago en el tiempo t [g]

P_T : peso de mucílago en el tiempo t [g]

Temperatura

Se midió la temperatura ambiental con un termohigrómetro AMPROBE, modelo TH-3, 0,1 °C y la temperatura de la masa de café fermentado a 5 cm de profundidad, con la termocupla FLUKE, modelo 52 II, 0,1 °C. Se realizaron 10 lecturas. Se informó el valor medio de las mediciones en °C.

pH de la masa de fermentación

Se tomó una muestra de 30 g de la masa de café fermentado, a 5 cm de profundidad de 3 puntos diferentes, se le esparció 50 mL de agua destilada y se agitó para obtener la suspensión acuosa del mucílago fluidificado, finalmente se retiró impurezas. Se midió el pH con el potenciómetro OAKLON, modelo 110, 0,01 pH (Jackels et al., 2006, p. 322).

Para la fermentación bajo agua este parámetro se midió directamente, por la naturaleza del proceso. Se realizaron 10 lecturas, reportándose el valor medio de las mediciones.

° Brix de la masa de fermentación

Al igual que el pH, los ° Brix se determinaron de la suspensión acuosa con el refractómetro Atago, modelo N-1. Se realizaron 10 lecturas. Se registró el valor medio de las mediciones.

2.1.4 LAVADO

El café fermentado se lavó con agua potable, se adicionó de forma intercalada el 20 y 30 % de agua respecto al peso en café cereza y se agitó para separar los residuos de mucílago. Se determinaron los valores de pH con el potenciómetro OAKLON, modelo 110, 0,01 pH y ° Brix con el refractómetro Atago, modelo N-1, de cuatro aguas de lavado. Se tomaron 4 lecturas y se reportó el valor medio (Puerta, 2012, p. 11).

2.1.5 ESCURRIDO

El café lavado de cada tratamiento se dejó escurrir en zarandas, durante 6 horas. Se tomó una muestra de 300 g, para valorar la humedad del grano (% b.h) según la norma NTE INEN-ISO 6673, aplicando el método de la estufa a 105 ± 1 °C (INEN, 2012c, p. 3 – 6). La humedad se calculó con la Ecuación 2.6. Se realizaron dos determinaciones y se informó el valor medio. Se calculó el rendimiento (%).

$$W = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \quad [2.6]$$

Donde:

P_0 : peso del plato y tapa vacío [g]

P_1 : peso del plato, tapa y muestra de café antes de secarse [g]

P_2 : peso del plato, tapa y muestra de café secos [g]

2.1.6 SECADO

Este proceso se realizó en un secador solar tipo invernadero llamado marquesina, su diseño artesanal constó de una estructura de caña guadua cubierta con plástico de polietileno. Sus dimensiones tienen una longitud de 10,6 m; ancho de 4,0 m y altura de 3,6 m; con techo de dos alas y ventanas laterales de 60 cm en la parte superior. Su orientación es en dirección este a oeste. En su interior contaba con 2 camas de lona de 10,0 m de largo; 1,6 m de ancho y 0,10 m de altura; ubicada a 0,90 m del suelo. Se colocaron los granos de cada tratamiento con una densidad de carga de 20 kg de café escurrido/m² de cama y 3 cm de espesor de la capa. Se removió los granos 4 veces al día.

Se determinó la humedad de los granos cada 2 horas con el medidor de humedad de granos GEHAKA, modelo G600i, 0,1 %, hasta que se alcanzó la humedad estipulada en la Norma NTE INEN 285; 11,0 a 12,5 % en base húmeda (INEN, 2006, p. 3). Se registraron las temperaturas y humedad relativa dentro del secador solar con el termohigrómetro AMPROBE, modelo TH-3, 0,1 °C y se reportó el valor en °C. Finalmente se reportó el rendimiento tomando el peso inicial y final del café.

El café pergamino seco de cada tratamiento se empacó en bolsas de polietileno y sacos de yute, para su transporte y almacenamiento. Se almacenó en Quito a temperatura ambiental de 17 °C, hasta llevar a cabo las pruebas de catación descritas en la sección 2.1.7.

2.1.7 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN LA CALIDAD FÍSICA Y ORGANOLÉPTICA

La calidad se evaluó para las muestras de café pergamino seco tomadas de cada tratamiento. A continuación se describe el proceso, los equipos y las condiciones que se emplearon para evaluar la calidad física y organoléptica. El proceso se llevó a cabo en el laboratorio de catación de la empresa “Café Galleti”.

2.1.7.1 Calidad física

Se pesó una muestra de 600 g de café pergamino seco en la balanza TOROREY, modelo Eq-5/10, 5 kg, 0,01 kg, se determinó el porcentaje de humedad y el peso hectolítrico en el determinador de humedad SHORE, modelo 930; 0,1 %.

Se separó el pergamino del grano de café oro con la trilladora PENAGOS. La calidad física de café se evaluó según la norma NTE INEN-ISO 4149 (INEN, 2012a, pp. 1 - 9). Se pesó 300 g de café oro y se colocaron los granos en las zarandas para que mediante vibración se separen por tamaño; el café retenido en la malla N° 16 continuó para el análisis sensorial y del restante se separó los granos defectuosos: mordidos, quebrados, caracolillos, etc. Para la calidad física se reportó la humedad (% b.h.) y el peso hectolítrico (kg/HL) del café pergamino seco, el porcentaje de granos de café por debajo de la malla N° 16 y de los granos defectuosos. Además el rendimiento en trilla (eliminación del pergamino); el diámetro ecuatorial y polar de 20 granos medidos con un calibrador, y el peso de 100 granos.

2.1.7.2 Calidad organoléptica

La determinación de la calidad organoléptica se realizó mediante el análisis sensorial de las muestras de café oro. En la norma NTE INEN-ISO 6668 (INEN, 2012b, pp. 1 - 9) se describe el proceso; se tomó 100 g de café oro retenido en la malla N° 16, los granos se tostaron a 150 °C por 10 minutos y se enfriaron hasta temperatura ambiente en las bandejas de la tostadora PROBAT, modelo PRE1 Z.

Los granos de café tostado se almacenaron en recipientes herméticos por 20 horas, posteriormente las muestras se colocaron enumeradas al azar en bandejas, se pesó 4 submuestras de 12 gramos en la balanza DIAMOND, modelo 500, 500 g, 0,1 g. A continuación se molieron las muestras por separado en el molino MAHLKONIG a escala 3,5 para obtener partículas de diámetro 0,2 mm; la

primera muestra sirvió para limpiar el equipo y las siguientes se depositaron en vasos con tapa de 100 mL para continuar con la catación.

Para la catación de café se basó en el protocolo desarrollado por Specialty Coffee Association of America (2008), a los 15 min se retiró la tapa y se determinó la fragancia/aroma del café molido. Para preparar la infusión se vertió 100 mL de agua en ebullición, para lo cual se usó el boiler KSY-30. Luego de 4 minutos, la nata que se formó en la superficie de esta mezcla se rompió con una cuchara de catación, en este punto se determinó el aroma. Después de 16 minutos al alcanzar la infusión aproximadamente 60 °C, se aspiró una muestra para evaluar sabor, sabor residual, acidez, cuerpo y balance; cuando se alcanzó una temperatura cercana a la ambiental se calificó uniformidad, limpieza y dulzor. El puntaje del catador se asigna a diferentes niveles de temperatura y es el último valor en reportarse. Los atributos fueron calificados en una escala de 1-10 puntos, siendo el límite superior asignado para las mejores características de la bebida (pp. 14 - 20). Finalmente se reportó el perfil de taza de las muestras como se observa en el Anexo IV.

Se determinó el mejor tratamiento para cada procedencia, mediante el análisis estadístico de las variables de respuesta, para lo cual se empleó el programa Statgraphics versión XVI.I para Windows.

2.2 DISEÑO DE LA LÍNEA DE PROCESO PARA EL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA DE CAFÉ

Se diseñó el área para el beneficio por vía húmeda de café sobre la base de los datos de capacidad y micro localización proporcionados por la Asociación de caficultores “El Paraíso”. Los rendimientos y las condiciones de operación para cada etapa del proceso se establecieron con base a las usadas y obtenidas en cada fase de experimentación del beneficio por vía húmeda de café, realizada en el presente estudio.

La capacidad de los equipos se determinó con base en los balances de masa y energía y con un sobredimensionamiento de 1,2. Los equipos se seleccionaron vía catálogo y para cada uno se elaboró su hoja de especificaciones técnicas.

Se realizaron los diagramas BFD (diagrama de bloque) y PFD (diagrama de flujo) y la distribución en planta (LAYOUT) en forma de “U” modificada.

Se consideraron tres operarios y un jefe de planta, para una jornada laboral de 40 horas a la semana. Para el producto terminado, se determinó comercializar 1 qq (45,36 kg) de café pergamino en doble empaque: bolsa de polipropileno (grainpro) y saco de yute.

2.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

Dentro del proyecto, al contemplar el diseño de un centro para beneficio de café por vía húmeda, se estiman los costos de implementación y los de producción. Para la producción mensual se consideró aproximadamente 20 días laborables por mes de cosecha. Los costos de implementación generados por maquinaria y equipos se establecieron por cotizaciones de catálogo, mientras que los costos por infraestructura se los estimó en 10 000,00 USD.

Los costos de producción fueron determinados por el valor en materia prima, insumos y los gastos de administración generados por mano de obra, servicios básicos, depreciación y mantenimiento de equipos e imprevistos.

En función del balance de masa y energía del beneficio de café por vía húmeda se calculó la cantidad de producto terminado (café pergamino seco) y sus requerimientos para ser procesado. Se determinó el costo de producción de un quintal de café pergamino y el precio de venta con base al 20 % de utilidad y en comparación al establecido en el mercado nacional.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

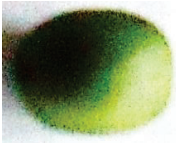







3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA DE CAFÉ

Se presentan los resultados de la caracterización de las operaciones del beneficio por vía húmeda de café, de los tres lugares de procedencia: Paraíso, Paraguas y Nuevo Pacto. Además se realiza una comparación entre sí y con las dadas por otros autores.

3.1.1 CLASIFICACIÓN

Se recibieron 150 kg de café procedente de 3 zonas de producción: Paraguas, Paraíso y Nuevo Pacto. Los frutos se clasificaron según su estado de madurez en cuatro categorías. En La Tabla 3.1 se muestra para cada procedencia el porcentaje de frutos clasificados según su estado de madurez.

Tabla 3.1. Porcentaje de frutos según el estado de madurez y el lugar de procedencia

	Porcentaje de frutos* (%)			
	Verdes	Maduros	Sobremaduros	Secos
Lugar	 	 	 	 
Paraguas	1,38	94,78	2,67	0,88
Nuevo Pacto	2,17	93,52	2,69	1,24
Paraíso	2,51	92,81	3,17	1,08

* % frutos: (Peso de los frutos según la madurez/peso total)*100

Las pérdidas fueron de 0,29; 0,38 y 0,43 % para la zona de Paraguas, Paraíso y Nuevo pacto, respectivamente; estos valores corresponden a la cantidad de impurezas como hojas, piedras y restos de pedúnculos.

De la Tabla 3.1 se puede apreciar que el porcentaje de frutos maduros es mayor en todos los casos, seguido por los sobremaduros, verdes y finalmente la menor proporción corresponde al café seco. Esto se explica porque los frutos se recolectaron en la fase intermedia, cuando las cerezas maduras se encuentran en mayor cantidad y de tamaño homogéneo, el café verde está en crecimiento, y empieza la aparición de frutos sobremaduros y en menor proporción el café seco.

La mayor proporción de frutos maduros se encontró para la zona de Paraguas, con un valor superior en 2,12 % respecto al café de Paraíso y en 1,35 % al café proveniente de Nuevo Pacto, probablemente por las prácticas de cosecha determinadas exclusivamente por el manejo en finca.

Según la federación nacional de cafeteros de Colombia una buena cosecha involucra un máximo de 2 % de frutos inmaduros, 2 % de café seco y 5 % de frutos brocados (FNC, 2004, p. 14). Los resultados de esta investigación se encuentran dentro del límite establecido, probablemente por la socialización con los caficultores que se dio previamente al desarrollo de la experimentación.

Varios autores señalan la importancia de clasificar los frutos, a fin de emplear solo café maduro y no afectar la calidad del café. Según Marín, Arcila, Montoya y Oliveros (2003b), en un estudio sobre la relación del estado de madurez con la calidad del grano durante el beneficio; los frutos maduros y sobremaduros obtuvieron los mejores factores de conversión de café cereza a café pergamino 5,04 y 5,25 a 1, respectivamente. En cuanto a la calidad de taza, la mayor impresión global con 7,17 puntos correspondió al café maduro (pp. 303 - 311).

En el estudio realizado por Puerta (2000) sobre la influencia de los granos verdes en la calidad física y organoléptica del café; se determinó que a partir del 2,5 % en proporción al peso de la mezcla con frutos maduros, el rendimiento a café

pergamino se redujo en un 7 % y la calidad de taza en un 30 %. Esto se debe a que el grano inmaduro no se despulpa completamente generando durante la fermentación defectos en el sabor, como sucio y fermento (pp. 144 - 148).

En esta investigación para diferenciar los frutos según su estado de madurez se determinó algunos parámetros como: diámetro ecuatorial (ancho) y polar (largo), peso de 100 frutos y ° Brix. Se presentan las características del fruto según el estado de madurez y lugar de procedencia en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características del fruto según el estado de madurez y lugar de procedencia

Lugar Categoría	Paraguas	Paraíso	Nuevo Pacto
	Diámetro ecuatorial (mm)		
Verde	11,26 ± 0,48 ^a	11,19 ± 0,57 ^a	11,16 ± 0,45 ^a
Maduro	14,87 ± 0,29 ^b	14,80 ± 0,32 ^b	14,74 ± 0,42 ^b
Sobremaduro	13,63 ± 0,42 ^c	13,59 ± 0,47 ^c	13,57 ± 0,38 ^c
Seco	9,74 ± 0,20 ^d	9,69 ± 0,22 ^d	9,66 ± 0,21 ^d
Diámetro Polar (mm)			
Verde	14,18 ± 0,58 ^a	14,16 ± 0,73 ^a	14,12 ± 0,65 ^a
Maduro	16,31 ± 0,33 ^b	16,23 ± 0,37 ^b	16,18 ± 0,37 ^b
Sobremaduro	15,69 ± 0,43 ^c	15,64 ± 0,36 ^c	15,60 ± 0,39 ^c
Seco	13,22 ± 0,27 ^d	13,18 ± 0,29 ^d	13,15 ± 0,31 ^d
Peso de 100 frutos *			
Verde	151,8 ± 0,4 ^a	150,9 ± 0,6 ^a	149,9 ± 0,8 ^a
Maduro	199,1 ± 0,4 ^b	198,7 ± 0,5 ^b	198,2 ± 0,4 ^b
Sobremaduro	188,2 ± 0,3 ^c	187,1 ± 0,4 ^c	186,7 ± 0,8 ^c
Seco	65,4 ± 0,1 ^d	64,9 ± 0,4 ^d	64,4 ± 0,2 ^d
° Brix **			
Maduro	16,8 ± 1,0 ^a	16,7 ± 0,9 ^a	16,5 ± 0,7 ^a
Sobremaduro	20,0 ± 0,5 ^b	19,9 ± 0,6 ^b	19,9 ± 0,5 ^b

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 200); * $\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); ** $\bar{x} \pm \sigma$, (n = 20); n: número de repeticiones. Letras distintas expresan diferencias estadísticas significativas según la prueba LSD con 95 % de confianza

De la Tabla 3.2 se aprecia que las desviaciones estándar de las características de los frutos no son representativas, por tanto los resultados son confiables. Los análisis estadísticos de los parámetros se presentan en las Tablas AIII.1 a AIII.8

Con lo expuesto en la Tabla 3.2, se presenta los mayores promedios en el ancho y largo para el café maduro, seguido por el café sobremaduro, verde y seco. En cuanto al lugar de procedencia, los diámetros ecuatorial y polar pertenecientes a los frutos maduros de la zona de Paraguas son superiores a los de Nuevo Pacto por 0,87 % y 0,78 %; y al café de Paraíso por 0,45 % y 0,47 %; respectivamente. Las diferencias probablemente se deben a las condiciones nutricionales del suelo.

Para el resto de café, las dimensiones del café de Paraguas son superiores hasta en 0,90 % en relación a Nuevo pacto y en 0,62 % para Paraíso. Se encontró que el coeficiente de variación para el diámetro ecuatorial fluctuó entre 1,95 - 5,09 % y para el diámetro polar entre 2,02 - 5,15 %, en ambos casos el límite inferior del rango corresponde al café maduro y el límite superior a los frutos verdes. Probablemente la mayor dispersión de los resultados se debe a que los frutos verdes se encuentran en crecimiento.

En la Tabla 3.2 el mayor peso pertenece al café maduro; en referencia a este valor los frutos de café verde, sobremaduro y seco presentan una disminución de 24 %, 6 % y 67 %, respectivamente. En una investigación realizada por Puerta (2012) se concluyó que el porcentaje en peso de mucílago para café verde fue de 1,3 %, café maduro 27,0 %, café sobremaduro 23,0 % y café seco no posee mucílago, siendo la razón de la diferencia en este parámetro (p. 4).

Al igual que las dimensiones, el peso de los frutos en la Tabla 3.2 se diferencia según su desarrollo, además se corrobora la correlación que existe entre ambos al observar que a mayor tamaño, mayor es el peso.

En cuanto a la época de cosecha; un estudio realizado sobre las características del café cosechado en diferentes épocas: inicial, intermedia y final, determinó que los diámetros y el peso del fruto tienden a ser mayores en la fase intermedia, además señaló que la proporción de frutos verdes, maduros, sobremaduros, secos y perforados por broca fue estadísticamente igual e independiente de la época de cosecha (Montilla et al, 2008, pp. 125 - 130). Por lo tanto para esta investigación, se puede concluir que este factor influye en el tamaño del fruto.

Los niveles de sólidos solubles se han utilizado como indicadores de la maduración, al incrementar gradualmente en los frutos maduros (Leroy et al., 2006, p. 231; De Castro y Marraccini, 2006, p. 186). Para los frutos verdes y secos no se tuvo resultados ya que no tienen o poseen muy poco mucílago, el cual contiene las sustancias a medición.

El mayor coeficiente de variación para los ° Brix de los frutos maduros es de 5,9 % y para los sobremaduros es de 3,0 %. Para el café maduro y sobremaduro de la zona de Paraguas se tiene valores superiores por 0,90 % y 0,23 % para la zona de Paraíso, y 1,88 % y 0,30 % en relación al café de Nuevo Pacto, respectivamente.

En la Tabla 3.3 se expone un resumen de las dimensiones de los frutos en diferentes estados de madurez de algunas investigaciones realizadas.

Tabla 3.3. Investigaciones sobre las dimensiones de los frutos de café según el estado de madurez

Variedad y Procedencia	Estado de madurez	Diámetro ecuatorial /ancho (mm)	Diámetro polar/largo (mm)	Referencia
Var. Colombia, Estación El Rosario, Antioquia	Verde	11,96	15,36	Carvajal, Aristizábal y Oliveros, (2012, p. 119)
	Maduro	14,84	16,53	
	Sobremaduro	14,53	15,98	
Var. Catuai, Brasil, Minas Gerais	Verde	11,09	13,34	Martínez, Marcal, Gaskin y Zandonadi (2006, p. 26)
	Maduro	14,12	15,64	
Var. Colombia, Estacion El Naranjal Caldas	Verde	11,22	15,19	Álvarez, Álvarez, Oliveros y Montoya (1999, p. 719)
	Maduro	14,22	15,93	
Var. Colombia, Estacion El Naranjal Caldas	Verde	11,98	14,64	Marín et al. (2003b, p. 313)
	Maduro	14,93	16,39	
	Sobremaduro	13,55	15,59	
	Seco	10,17	13,23	
Arabigo, Ethiopia	Maduro	14,70	16,50	Abrar y Jafer (2013, p. 72)

La mayor parte de investigaciones en la Tabla 3.3 pertenecen a las realizadas en Colombia para la variedad del mismo nombre. Esta variedad resultó del cruzamiento entre café Caturra, de excelentes características agronómicas y amplia adaptabilidad, y el híbrido de timor, resistente a la roya (Castillo y Moreno, 1988, p. 167). Razón por la cual en esta investigación es válida la comparación debido a la similitud de la planta, grano y producción.

En la Tabla 3.3 el diámetro ecuatorial del café maduro se encontró entre 14,12 - 14,93 mm y el polar se presenta entre 15,64 - 16,53 mm. En este estudio el ancho y largo del café maduro se ubican por debajo del límite superior de las referencias citadas en 0,44 % y 1,37 % para la zona de Paraguas; 0,89 % y 1,85 % para Paraíso; y 1,31 % y 2,16 % para Nuevo Pacto, respectivamente. Estos resultados reflejan que los frutos maduros de las 3 zonas de producción tienen tamaños similares a los obtenidos en otras investigaciones.

Las dimensiones del café variedad Colombia son superiores a las obtenidas en esta investigación, para los frutos verdes entre 6,36 % - 8,82 %, para los secos entre 0,05 % - 5,31 %; y para los sobremaduros entre 1,85 % y 7,05 %.

En la Tabla 3.4 se presenta un resumen del peso de los frutos en diferentes estados de madurez de algunas investigaciones realizadas.

De la Tabla 3.4 se aprecia que el peso de 100 frutos maduros se encuentra en el rango de 183,0 – 205,7 g; respecto al límite superior el café de las tres procedencias tiene un valor inferior hasta del 3,94 %. Se demuestra la similitud entre los pesos de los frutos de la variedad Colombia y la variedad Caturra, empleada en este estudio. El peso adecuado se traduce en mejores características de calidad.

La mayor diferencia respecto al límite superior de las investigaciones corresponde a los frutos sobremaduros; el café de Paraguas se ubicó por debajo en 13,18 %; el de Paraíso por 13,84 % y el de Nuevo Pacto por 14,12 %.

Tabla 3.4. Investigaciones sobre el peso de los frutos de café según el estado de madurez

Variedad y Procedencia	Estado de madurez	Peso de 100 frutos (g)	Referencia
Var. Colombia, Estación El Rosario, Antioquia	Verde	148,0	Carvajal et al. (2012, p. 119)
	Maduro	194,0	
	Sobremaduro	181,0	
Var. Catuai, Brasil, Minas Gerais	Verde	123,0	Martínez et al. (2006, p. 26)
	Maduro	198,0	
Var. Colombia, Estacion El Naranjal Caldas	Verde	134,0	Álvarez et al. (1999, p. 719)
	Maduro	183,0	
Var. Colombia, Estacion El Naranjal Caldas	Verde	162,0	Marín et al. (2003b, p. 313)
	Maduro	199,0	
	Sobremaduro	188,0	
	Seco	66,0	
Var. Colombia, Estacion El Naranjal	Verde	110,1	Puerta (2000, p.148)
	Maduro	205,7	
	Sobremaduro	212,9	
	Seco	44,9	

En la Tabla 3.5 se expone un resumen de ° Brix de los frutos en diferentes estados de madurez de algunas investigaciones.

Tabla 3.5. Investigaciones sobre ° Brix del café según el estado de madurez

Frutos maduros	Frutos sobremaduros	Variedad	Referencia
17,53	23,83	Var. Colombia, El Naranjal	Marín et al (2003, p. 224)
17,10	20,10	Var. Colombia, Caldas	Puerta (2012, p. 8)
16,00 -17,70	19,00 - 20,50	Var. Catuai y Catimor. Guatemala	Vidal (2014, p. 35)
18,57	21,05	Var. Catuai y Catucaí. Minas Gerais	Silva, Queiroz, Pinto y Santos (2014, p. 548)
19,10 – 22,90	21,80 – 24,80	Arábica. Minas Gerais	Alves (2009, p.53)

Los grados Brix reportados para los frutos maduros en la Tabla 3.5 se encuentran en el intervalo de 16,0 – 22,9, y para el café sobremaduro se exponen valores entre 19,0 – 24,8. En comparación con los obtenidos en este estudio los sólidos solubles se encuentran cercanos al límite inferior.

Estos resultados reflejan que en esta investigación los frutos de los 3 lugares de procedencia no contienen las mismas cantidades de las sustancias a medición, lo cual podría deberse a las condiciones del sitio de cultivo o a las propias de la variedad, a pesar de tener una misma línea genética.

El que los ° brix del café maduro y sobremaduro de este estudio sean menores a los reportados de otros frutos, no significa que su calidad sea menor. Los valores de grados Brix no se correlacionan con la calidad global del café, es decir el nivel alto de sólidos solubles no garantiza una mejor bebida (Alves, 2009, p. 55; Silva, Queiroz, Pinto y Santos, 2014, p. 548), sin embargo es importante por la relación existente con la evaluación del estado de madurez.

3.1.2 DESPULPADO

Los frutos maduros se despulparon sin agua, el mismo día de cosecha. En la Tabla 3.6 se presenta el rendimiento, diámetro, densidad y peso como principales características del café despulpado según el lugar de procedencia.

Tabla 3.6. Rendimientos y características del café despulpado según el lugar de procedencia

	Paraguas	Paraíso	Nuevo Pacto
Rendimiento del despulpado (%)	56,63	56,16	55,98
Rendimiento de la pulpa y cáscara (%)	43,06	43,49	43,63
Diámetro ecuatorial (mm) *	9,23 ± 0,17	9,19 ± 0,20	9,16 ± 0,21
Diámetro polar (mm) *	12,72 ± 0,21	12,67 ± 0,18	12,61 ± 0,26
Densidad aparente (g/L)**	827,33 ± 18,51	825,33 ± 17,18	823,79 ± 23,17
Peso de 100 granos (g) **	63,4 ± 1,4	62,9 ± 2,9	62,3 ± 1,6

* $\bar{x} \pm \sigma$, (n = 100); ** $\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); n:número de repeticiones

Los rendimientos del café despulpado de Paraíso y Nuevo Pacto están por debajo del de Paraguas por 0,83 % y 1,16 %, respectivamente. Con base en los valores de rendimiento existió una pérdida mínima para cada lugar de procedencia, provocada por la fricción que se aplica para separar la pulpa del grano.

Las dimensiones del grano despulpado del café de Paraguas siguen siendo superiores entre 0,39 – 0,76 % en referencia al de Paraíso y de Nuevo Pacto, en concordancia con los frutos recibidos. Los resultados reflejan la poca variabilidad, probablemente por la previa clasificación por tamaño del fruto.

El porcentaje de desviaciones estándar del peso y de los diámetros ecuatorial y polar de los granos despulados fluctuó entre 1,42 - 2,54 %. Existió un error del 4,7 % en el peso, esto podría deberse a errores durante la experimentación.

En la Tabla 3.6 las mediciones de la densidad aparente tuvieron un coeficiente de variación entre 2,08 - 2,81 %. Respecto a los granos de Paraguas los valores son mayores por 0,24 % al café de Paraíso y por 0,43 % al de Nuevo Pacto.

En la Tabla 3.7 se presenta la caracterización realizada por Montilla et al. (2008) en granos despulados de café arábigo maduro de variedad Colombia (p. 126).

Tabla 3.7. Resumen de las características de café despulpado

Rendimiento de café baba (%)	Rendimiento de cáscara (%)	Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro polar (mm)	Densidad aparente (g/L)	Peso 100 granos (g)
55,24	44,17	9,19	12,73	830,21	62

(Montilla et al., 2008, p. 126)

El rendimiento del grano en la Tabla 3.7 es inferior en comparación con los determinados en este estudio, para los tres lugares de procedencia, en cambio en correspondencia el rendimiento de la cáscara es superior; probablemente porque en esta investigación no se realizó una clasificación de frutos despulados, donde se separa los granos de los restos de cáscara adheridos a la superficie del grano pudiendo ser la razón de un mayor peso.

El diámetro ecuatorial y polar de los granos despulpados de la presente investigación reportó valores similares a los determinados para el café variedad Colombia. La mayor diferencia se presentó para el café de Nuevo Pacto, siendo superior en un 0,93 % respecto al diámetro polar. El peso de los granos es inferior por 2,26 %; 1,45 %; 0,48 % al reportado de Paraguas, Paraíso y Nuevo Pacto, respectivamente. Por lo expuesto las diferencias con otras investigaciones no son significativas.

Las densidades obtenidas en este estudio para cada lugar de procedencia resultaron por debajo de la reportada; la de Paraguas por 0,35 %, la de Paraíso por 0,59 % y la de Nuevo Pacto por 0,77 %, por lo tanto para este parámetro la variabilidad no es representativa.

3.1.3 FERMENTACIÓN

En esta sección se muestran los resultados de la variable remoción de mucílago, y como variables complementarias se reportaron la temperatura ambiental y de la masa de café, comportamiento del pH y ° Brix para cada tratamiento. Los tratamientos empleados en esta etapa se describen en la Tabla 2.1. Se empleó el programa Statgraphics para determinar diferencias estadísticas significativas, los análisis detallados se presentan en el Anexo III. Además se realiza un análisis comparativo con algunas investigaciones expuestas.

Remoción de mucílago

El contenido inicial de mucílago en los granos despulpados se calculó con la Ecuación 2.3; los resultados se reportaron dentro del intervalo de 26,58 – 28,21 % para el café de Paraguas; 27,23 - 28,87 % para Paraíso y 27,06 – 29,20 % para Nuevo pacto. El porcentaje de desviaciones estándar de los promedios del contenido inicial de mucílago es 2,98 %, la poca variabilidad es consecuencia de emplear la misma variedad.

En un estudio realizado por Peñuela (2010) sobre la remoción de mucílago a través de fermentación natural para café de la variedad Colombia, el contenido inicial de mucílago de granos despulpados fluctuó entre 26,1 - 30,6 % (p. 49). Estos resultados se ubican en un intervalo más amplio que los reportados para el café de la parroquia de Pacto.

Para todos los tratamientos al iniciar el proceso se asume que la remoción de mucílago es 0 %. El tiempo de fermentación de acuerdo con la metodología se obtuvo cuando se alcanzó el 98 ± 2 [%] de mucílago removido.

Los promedios de la variable remoción de mucílago para el café de las tres zonas de producción, durante las diferentes fermentaciones empleadas, se presentan en la Tabla 3.8.

De la Tabla 3.8 se puede apreciar que las desviaciones estándar no son representativas, en consecuencia los resultados son confiables.

Se observa que la remoción de mucílago presenta una tendencia creciente, además existen diferencias en su evolución dependiendo del tipo de fermentación. Se puede observar que el porcentaje final de remoción de mucílago en la Tabla 3.8 se ubican por encima del 97 %, lo que fijó el tiempo de proceso para la fermentación en seco en $17,43 \pm 0,23$ h, la fermentación combinada en $22,38 \pm 0,19$ h y la fermentación sumergida en $37,26 \pm 0,14$ h.

El porcentaje de desviaciones estándar de los resultados de la remoción en la fermentación en seco fluctuaron entre 6,54 – 0,46 %, fermentación combinada entre 5,23 – 0,43 %, fermentación sumergida entre 2,94 – 0,31 %; donde el límite superior corresponde a los datos reportados para las primeras horas y el límite inferior esta dado para la última hora de fermentación. Este comportamiento denota la interacción de factores químicos y biológicos que al inicio provocan un proceso heterogéneo en la fermentación, sin embargo a medida que se presenta la degradación de azúcares el comportamiento es más estable.

Tabla 3.8. Promedios de remoción de mucílago según el lugar de procedencia y tipo de fermentación de café

		Remoción de mucílago en fermentación seca (%)				
Tiempo (h) Lugar	4	8	12	16	17,4	
	Paraguas	25,18 ± 1,29	62,01 ± 1,09	81,77 ± 0,61	95,66 ± 0,46	97,84 ± 0,49
Paraíso	23,80 ± 1,56	60,95 ± 1,10	81,02 ± 0,66	95,40 ± 0,41	97,54 ± 0,45	
Pacto	23,19 ± 1,31	61,09 ± 1,19	81,19 ± 0,51	95,26 ± 0,68	97,39 ± 0,70	
		Remoción de mucílago en fermentación combinada (%)				
Tiempo (h) Lugar	4	7	12	18	22,4	
	Paraguas	24,86 ± 1,00	50,50 ± 1,08	70,78 ± 0,65	86,45 ± 0,44	97,81 ± 0,50
Paraíso	25,00 ± 1,19	51,00 ± 0,87	70,31 ± 0,48	85,93 ± 0,50	97,79 ± 0,51	
Pacto	25,00 ± 1,31	50,40 ± 1,19	68,85 ± 0,62	85,66 ± 0,55	97,52 ± 0,41	
		Remoción de mucílago en fermentación sumergida (%)				
Tiempo (h) Lugar	9	18	27	36	37,3	
	Paraguas	19,79 ± 0,49	49,56 ± 0,59	81,46 ± 0,45	97,94 ± 0,81	99,07 ± 0,27
Paraíso	19,45 ± 0,57	48,96 ± 0,79	80,86 ± 0,59	97,51 ± 0,55	98,58 ± 0,53	
Pacto	19,56 ± 0,51	48,52 ± 0,63	80,68 ± 0,60	97,48 ± 0,62	98,74 ± 0,31	

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); n: número de repeticiones

La remoción de mucílago no presentó diferencias estadísticas significativas entre fermentaciones. Sin embargo la mayor remoción de mucílago en la Tabla 3.8 se encontró en la fermentación sumergida, probablemente porque se ocupó más tiempo en relación a los otros tratamientos. En la Tabla AIII.9 se detalla el análisis de varianza obtenido de la remoción de mucílago.

En la Figura 3.1 se presenta el comportamiento de la remoción de mucílago para los tres procesos de fermentación.

El promedio de la remoción de mucílago para los tres tipos de fermentación en la Figura 3.1, indica un comportamiento a través del tiempo donde la velocidad de reacción decrece a medida que el proceso continúa, por tanto la tasa de remoción disminuye en las últimas horas debido al consumo del sustrato.

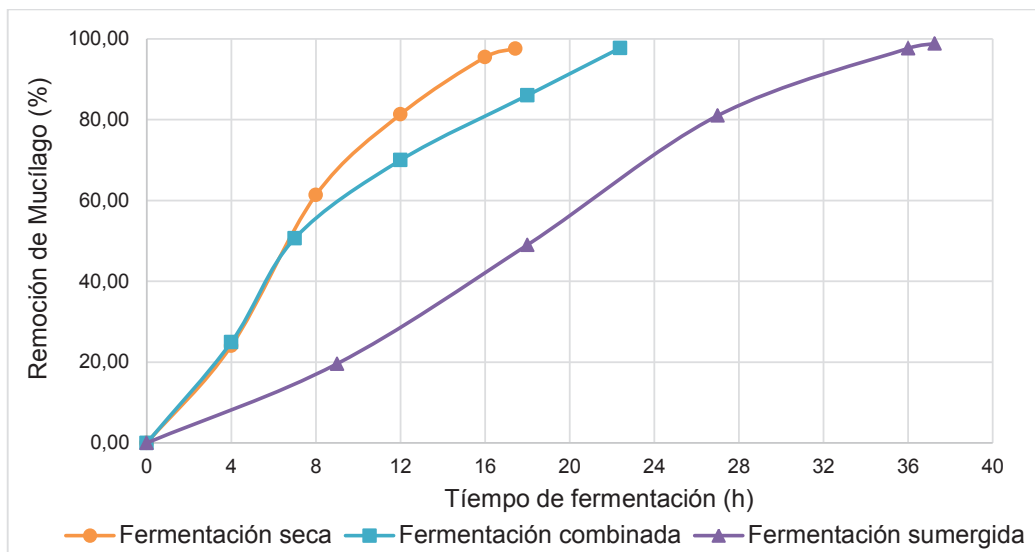


Figura 3.1. Remoción promedio de mucílago a través del tiempo según el tipo de fermentación de café

De la Figura 3.1 se puede apreciar que la fermentación combinada y sumergida son procesos homogéneos, debido a la aplicación de agua, lo que retarda la degradación del mucílago.

El tiempo mostró diferencias estadísticas significativas entre las fermentaciones, sin embargo no entre las procedencias. El tiempo de la fermentación sumergida es 2,14 veces al del proceso en seco y 1,66 al combinado. En las Tablas AIII.10 y AIII.11 se detallan los análisis estadísticos realizados para el tiempo.

Temperatura

La temperatura externa es un factor que influye en la fermentación de mucílago generando condiciones donde se acelera o retarda el proceso (Nigam y Singh, 2014, p. 491). En la Tabla 3.9 se muestra el promedio de la temperatura ambiental tomada durante los procesos de fermentación.

La desviación estándar de la temperatura del aire es ínfima, permitiendo asegurar que todos los tratamientos se realizaron a las mismas condiciones.

Tabla 3.9. Temperatura ambiental durante la fermentación de café

Tiempo de fermentación (h)	Hora del día	Temperatura (°C)
0	5:00 PM	21,1 ± 0,23
4	9:00 PM	20,4 ± 0,19
8	1:00 AM	19,6 ± 0,18
12	5:00 AM	20,4 ± 0,24
16	9:00 AM	22,6 ± 0,28
17,4	10:25 AM	23,6 ± 0,31
20	1:00 PM	25,7 ± 0,27
22,4	3:24 PM	24,3 ± 0,18
24	5:00 PM	22,1 ± 0,21
28	9:00 PM	20,8 ± 0,12
32	1:00 AM	19,8 ± 0,15
36	5:00 AM	20,5 ± 0,16
37,3	6:15 AM	21,0 ± 0,15

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 10); n:número de repeticiones

De la Tabla 3.9 se puede apreciar que el rango de temperaturas ambientales fluctuó entre 19,6 – 25,7 °C, el valor mínimo correspondió a la 1:00 a.m. y el máximo a la 1: 00 p.m. Los datos presentan concordancia con las horas del día debido a que incrementaron en las horas de la mañana y disminuyeron al llegar la noche.

La fermentación es un proceso exotérmico que libera energía por las reacciones bioquímicas producidas para la obtención de alcoholes y ácidos, causando el incremento en la temperatura de la masa de café (Velmourougane, 2013, p. 235).

En la Figura 3.2 se muestra el registro de la temperatura de la masa de café de cada lugar de procedencia durante la fermentación seca.

A medida que transcurrió la fermentación, en la Figura 3.2 se puede observar que la temperatura de los granos de café incrementó hasta 26 °C, aproximadamente. De la Figura se aprecia que existió una dispersión en los datos, obteniendo un porcentaje de desviaciones estándar entre 0,66 - 1,96 %.

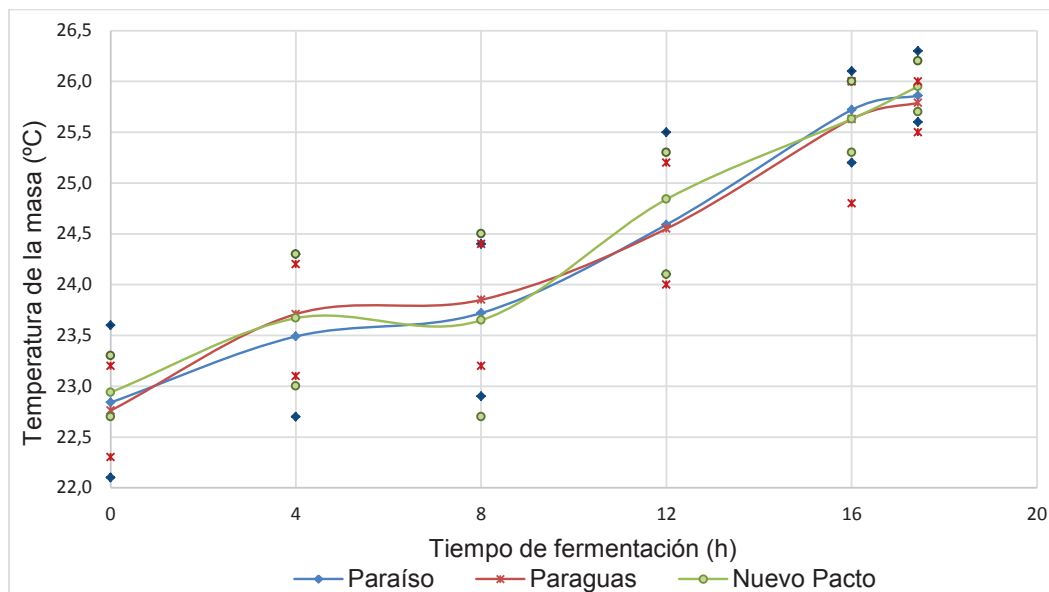


Figura 3.2. Registro de la temperatura de la masa de café durante la fermentación seca

La temperatura de la masa de café no mostró diferencias estadísticas significativas entre procedencias. Desde el inicio, el café de la zona de Nuevo Pacto se ubicó en un rango superior, probablemente por residuos de pulpa en los granos a fermentar que aportan una mayor actividad de microorganismos causando un incremento en la temperatura. En la Tabla AIII.12 se detalla el análisis estadístico realizado para la temperatura del café durante la fermentación seca.

Las mediciones de la temperatura de los granos de café de cada lugar de procedencia durante la fermentación combinada se presenta en la Figura 3.3.

En la Figura 3.3 se puede observar que la tendencia es ascendente, sin embargo a las 8 h del proceso la temperatura de la masa de café disminuyó debido a la adición de agua, al alcanzar el 50 % de mucílago removido.

La temperatura en la masa de fermentación combinada no presentó diferencias estadísticas significativas entre las procedencias. Se muestra el análisis de varianza realizado para la temperatura de los granos de café durante la fermentación combinada en las Tablas AIII.13.

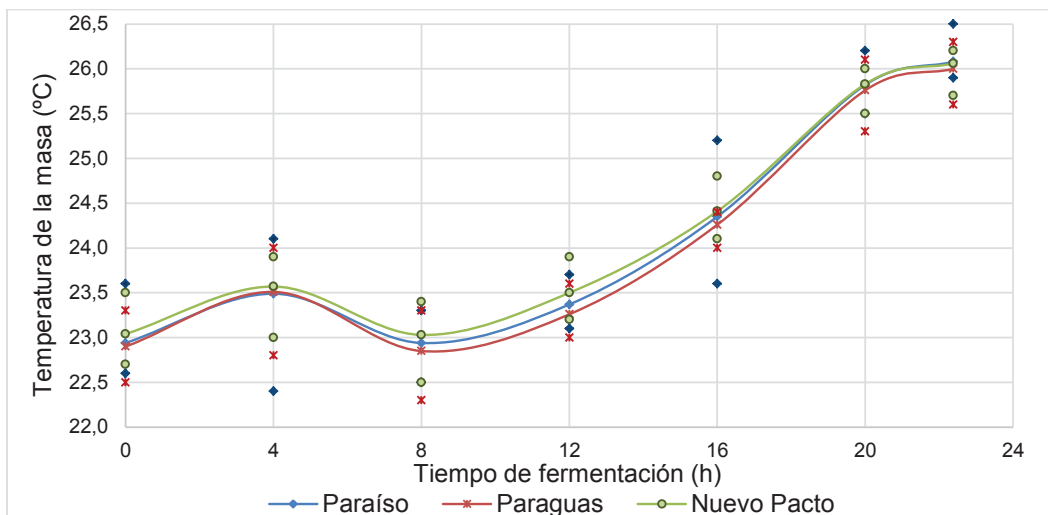


Figura 3.3. Registro de la temperatura de la masa de café durante la fermentación combinada

El coeficiente de variación se encontró entre 1,04 – 2,53 % hasta completar la fermentación seca, probablemente por la heterogeneidad en la masa. Al adicionar agua en el proceso el porcentaje de desviaciones estándar de la temperatura estuvo entre 0,58 - 1,93 %, debido a su homogeneidad.

En la Figura 3.4 se muestra el registro de la temperatura durante la fermentación sumergida de café de cada lugar de procedencia

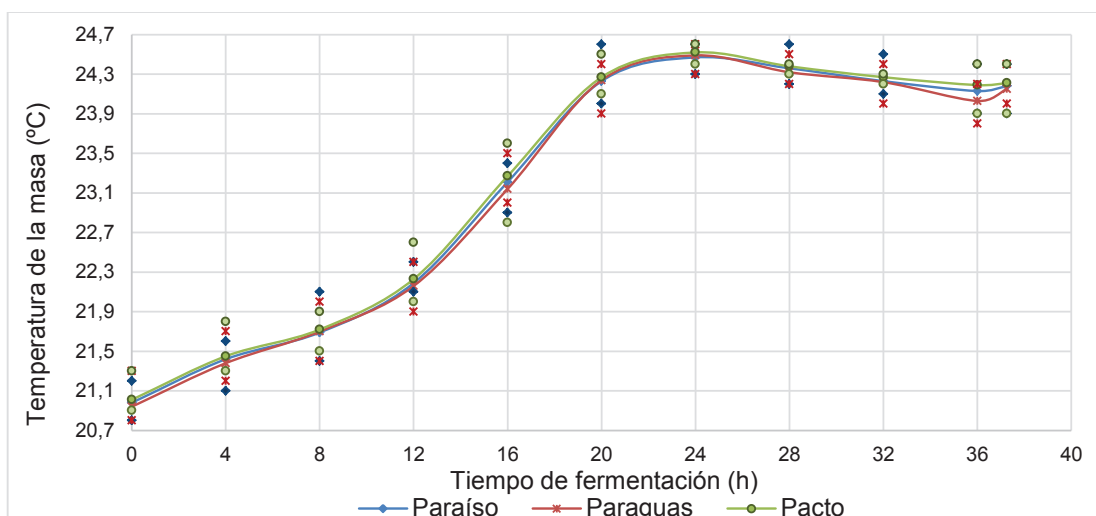


Figura 3.4. Registro de la temperatura de la masa de café durante la fermentación sumergida

De la Figura 3.4 se puede apreciar que existió un incremento en la temperatura de la masa de café hasta las 20 h de proceso, luego se presentó una disminución mínima, y un aumento en la última hora. El porcentaje de desviaciones estándar se encontró en el rango de 0,42 – 1,16 %, debido a la homogeneidad en la masa.

La temperatura no mostró diferencias estadísticas significativas entre las procedencias. En la Tabla AIII.14 se muestra el análisis estadístico para la temperatura durante la fermentación sumergida.

En la Figura 3.5 se expone el promedio de las temperaturas ambiental y de la masa de café durante los tratamientos de fermentación.

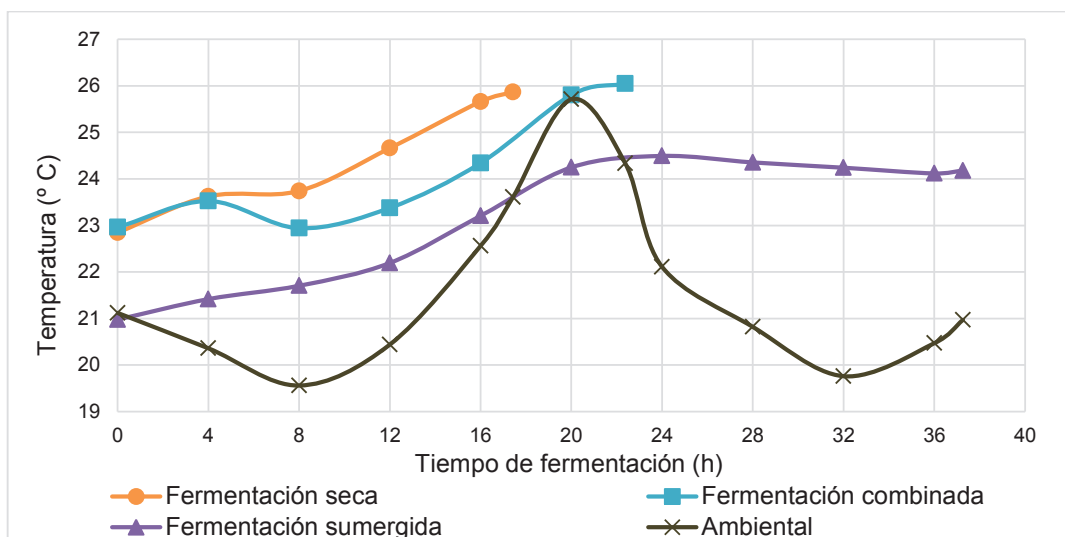


Figura 3.5. Registro de la temperatura ambiental y de la masa de café durante los diferentes tratamientos de fermentación

Durante la fermentación los granos de café presentan variaciones de temperatura provocadas por los procesos metabólicos de los microorganismos.

En la fermentación seca la temperatura promedio del café incrementó de 22,8 - 25,9 °C, con un porcentaje de desviaciones estándar entre 0,78 – 1,77 %. Las temperaturas se ubicaron por encima de la ambiental entre 1,73 – 4,22 °C, se puede explicar este comportamiento por lo señalado por Nigam y Singh (2014), debido a la falta de difusión de oxígeno al centro de la masa (p. 491)

De la Figura 3.5 se aprecia que la temperatura promedio de la masa al inicio de la fermentación combinada es similar a la del proceso en seco, sin embargo la tendencia de incremento disminuye al adicionar agua en la masa. La temperatura ascendió de 23 a 26 °C, con un coeficiente de variación entre 0,72 – 1,76 %.

En la fermentación sumergida la temperatura promedio de la masa de café al iniciar el proceso se vio afectada disminuyendo a 20,98 °C, debido a la adición de agua. A pesar de mantener una tendencia creciente, a las 20 horas la temperatura se ubicó por debajo de la ambiental en 1,46 °C. El proceso terminó en 24,18 °C. El porcentaje de desviaciones estándar se encontró entre 0,43 - 0,99 %.

Las temperaturas de la masa de café presentaron diferencias estadísticas significativas entre las fermentaciones. En la Tabla AIII.15 se detalla el análisis de varianza y en la Tabla AIII.16 la prueba de rangos múltiples LSD al 95 % de confianza para la temperatura de la masa durante la fermentación.

pH de la masa de fermentación

Por acción de los microorganismos, en la degradación del mucílago se producen componentes ácidos a partir de los azúcares, lo que involucra la acidificación de la masa de fermentación (Velmourougane, 2012, p. 235). Otra variable que permite cuantificar los cambios en la masa de fermentación es la acidez medida a través del pH.

El registro de pH de la masa de café de cada lugar de procedencia durante el proceso en seco se muestra en la Figura 3.6.

En la Figura 3.6 se aprecia un comportamiento descendente del pH durante la fermentación, indicando un aumento en la acidez de la masa de café. El pH no presentó diferencias estadísticas significativas entre procedencias. El análisis estadístico realizado para el pH de la masa de fermentación seca se muestra en las Tablas AIII.17.

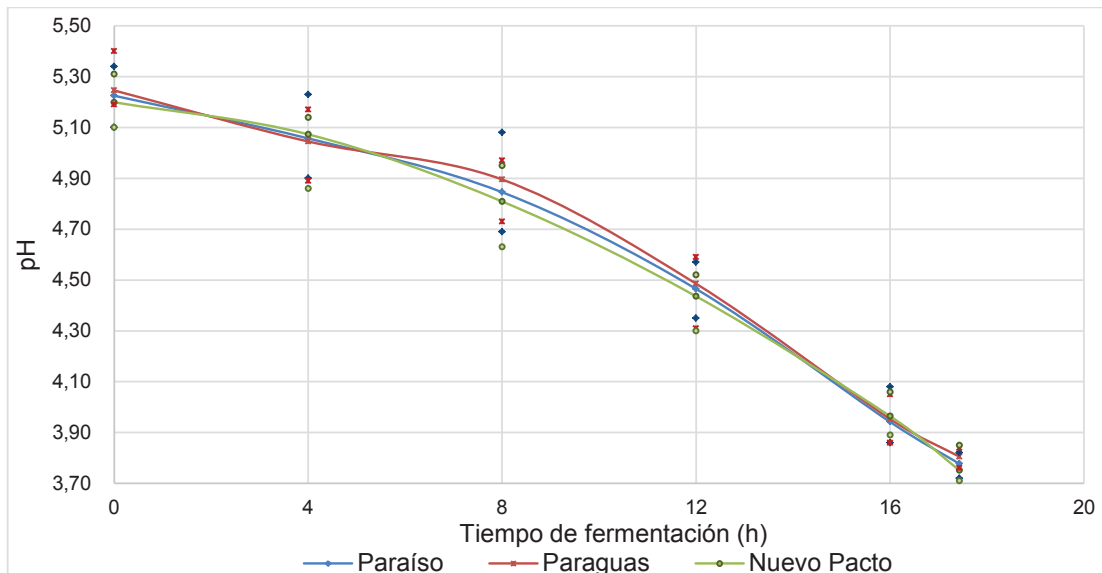


Figura 3.6. Registro de pH de la masa de café durante la fermentación seca

Sin embargo desde el inicio del proceso el pH presentó diferencias para los granos de las tres procedencias, encontrándose valores más bajos para el café de Nuevo Pacto; indicando una mayor acidez, probablemente por la calidad de los granos de café.

En la Figura 3.7 se muestra el monitoreo de pH de la masa fermentada durante el proceso combinado para cada lugar de procedencia

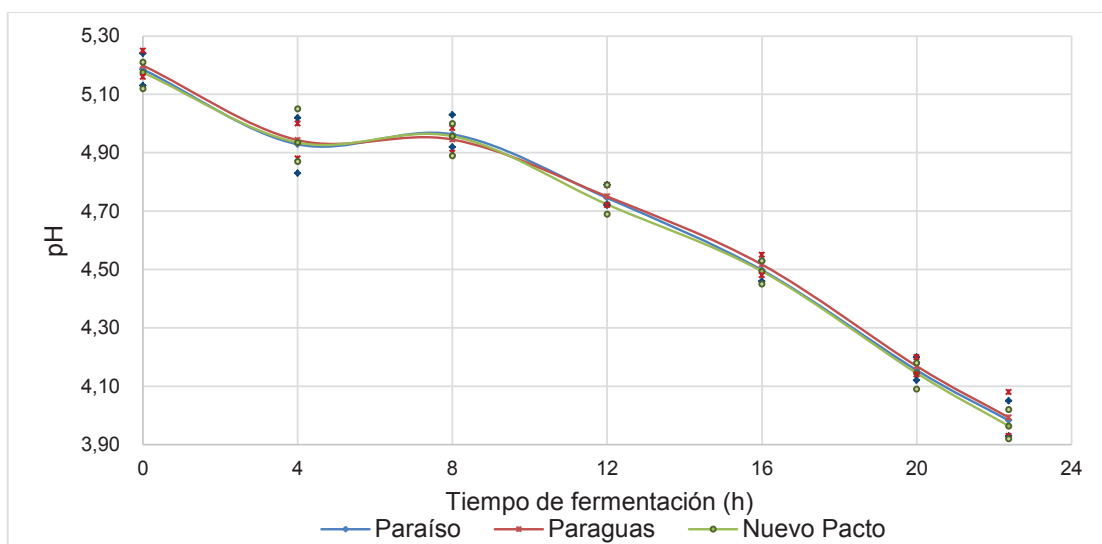


Figura 3.7. Registro de pH de la masa durante la fermentación combinada

Se aprecia en la Figura 3.7 que la adición de agua en este proceso afectó mínimamente a la tendencia decreciente del pH. El pH de la masa de café no mostró diferencias estadísticas significativas entre las procedencias. En la Tabla AIII.18 se presenta el análisis estadístico realizado para el pH de la masa durante la fermentación combinada.

En la Figura 3.8 se presenta para cada lugar de procedencia el registro de pH de la masa de café durante la fermentación sumergida.

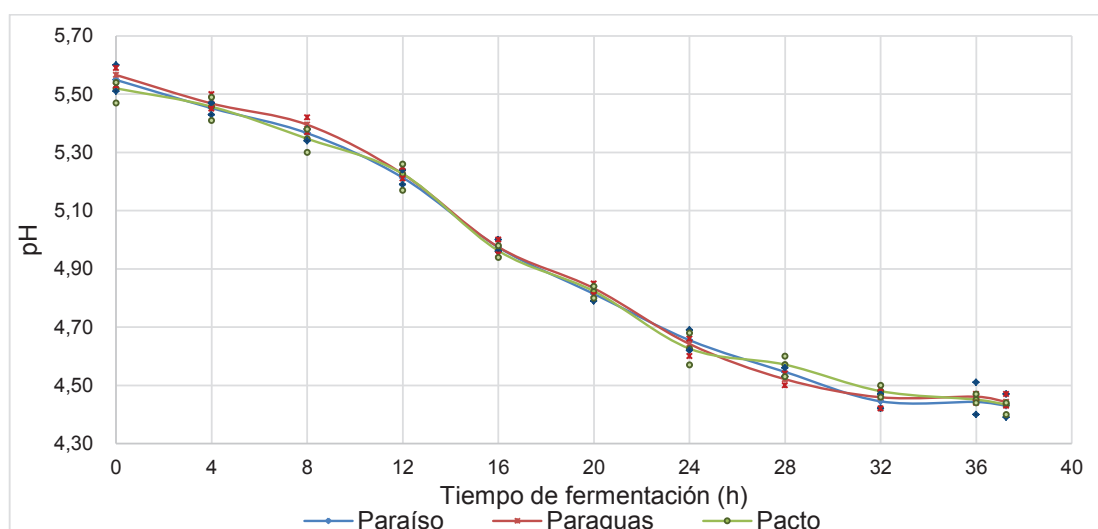


Figura 3.8. Registro de pH de la masa de café durante la fermentación sumergida

Se observa que el pH no se ve afectado por sumergir los granos de café en agua, presentando decrecimiento en sus valores a lo largo del proceso. Entre procedencias, el pH de la masa no presentó diferencias estadísticas significativas. En la Tabla AIII.19 se detalla el análisis estadístico para el pH de la masa de café durante la fermentación sumergida.

El comportamiento del pH promedio de la masa fermentada durante los tratamientos de fermentación se presenta en la Figura 3.9.

Las curvas del comportamiento de pH promedio para los tres tipos de fermentación presentan una tendencia descendente, es decir se obtuvo una acidificación de la masa.

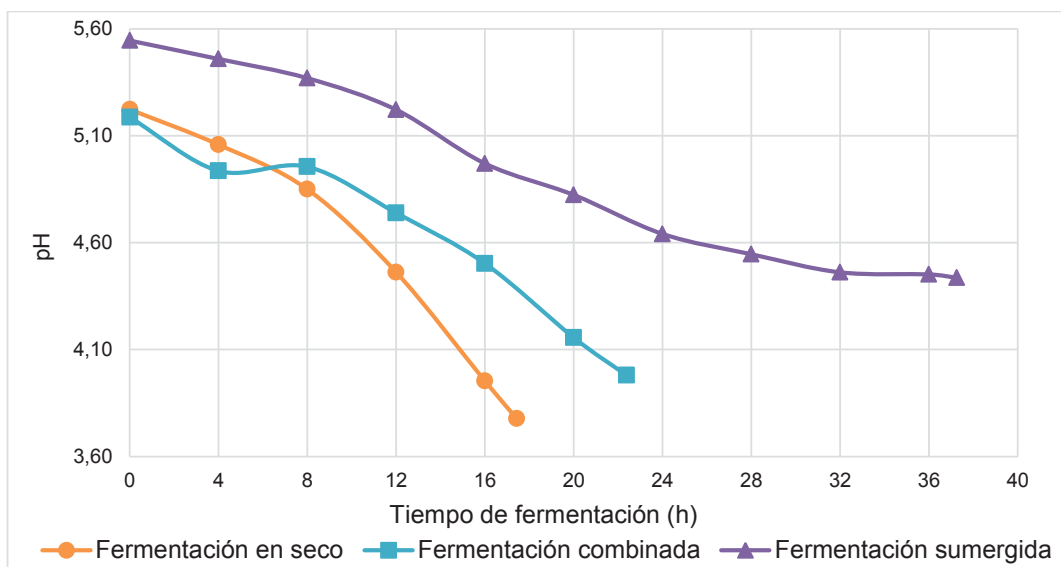


Figura 3.9. Registro de pH de la masa de café durante los diferentes tratamientos de fermentación

En la Figura 3.9 la fermentación seca expuso una rápida disminución de 5,22 a 3,78 para el pH promedio de la masa de café; a consecuencia de la acidez inicial que tiene el mucílago del café. El porcentaje de desviaciones estándar se encontró entre 1,07 – 1,81 %.

El pH promedio en la fermentación combinada descendió de 5,19 a 3,98. El rango obtenido tiene similitud con en el proceso en seco, sin embargo se ocupó un mayor tiempo (22,3 h) debido a la adición de agua que retardó el proceso. El porcentaje de desviaciones estándar fluctuó en el intervalo de 0,52 – 1,18 %

La fermentación sumergida muestra un menor decrecimiento en el pH promedio, cambiando de 5,55 – 4,44; debido a la adición de agua que retarda la acidificación de la masa. El coeficiente de variación fluctuó entre 0,30 - 0,63 %, la poca variabilidad se debe a la homogeneidad de las muestras.

El pH promedio de la masa de café mostró diferencias estadísticas significativas entre las fermentaciones. La masa fermentada en sistemas bajo agua resulta menos ácida que en el proceso en seco. En las Tablas AIII.20 y AIII.21 se presentan los análisis estadísticos realizados para el pH durante la fermentación.

El pH promedio tiene una correlación negativa estadísticamente significativa con la temperatura ambiental, es decir, a mayor temperatura externa el pH disminuye más rápido. Los resultados de la regresión se detallan en la Tabla AIII.22.

Brix de la masa de fermentación

En la Figura 3.10 se muestra el registro de ° Brix de la masa fermentada para cada lugar de procedencia durante la fermentación seca

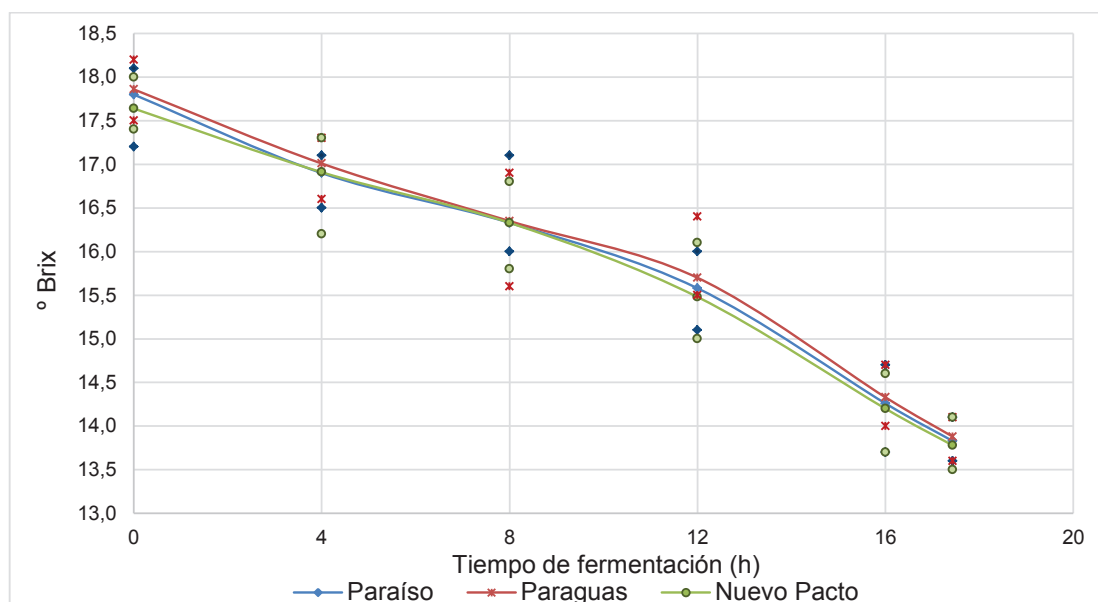


Figura 3.10. Registro de ° Brix de la masa de café durante la fermentación seca

Se aprecia una tendencia decreciente de los ° Brix en la Figura 3.10, los sólidos solubles disminuyeron hasta 13,8 aproximadamente. Las dispersiones entre los resultados corresponden a la heterogeneidad del proceso. Para los ° Brix en la fermentación del café no se obtuvieron diferencias estadísticas significativas entre procedencias. Se muestra el análisis de varianza realizado para los ° Brix durante la fermentación seca en la Tabla AIII.23.

Las mediciones de ° Brix durante la fermentación combinada de café para cada lugar de procedencia se muestra en la Figura 3.11

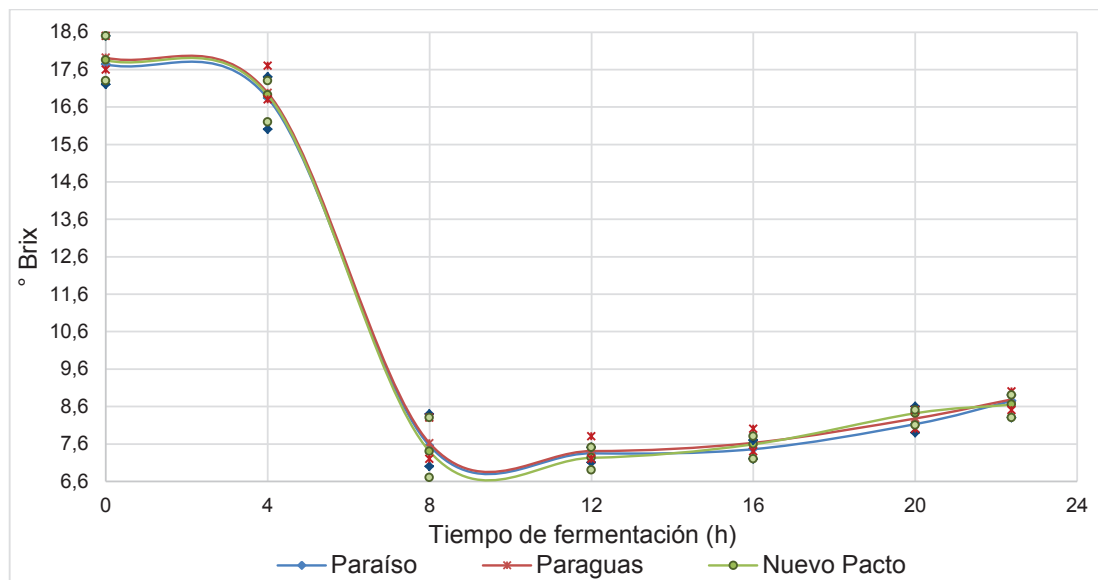


Figura 3.11. Registro de ° Brix de la masa de café durante la fermentación combinada

De la Figura 3.11 se aprecia un comportamiento de los ° Brix correspondientes con la fermentación seca, es decir existió una disminución en los sólidos solubles. Cuando se adicionó agua en la masa de café se presentó un decrecimiento brusco hasta un valor de 7,5 aproximadamente. Luego se observa un incremento hasta finalizar el proceso.

En la masa de fermentación combinada los sólidos solubles no expusieron diferencias estadísticas significativas entre las procedencias. El análisis estadístico para la medición de ° Brix de la masa de café se detalla en la Tabla AIII.24.

En la Figura 3.12 se presenta el registro de ° Brix de la masa de café de cada lugar de procedencia durante la fermentación sumergida

Las curvas del comportamiento de ° Brix en la Figura 3.12 muestran una tendencia creciente. Las fluctuaciones reflejan la homogeneidad en el proceso. Entre las procedencias, los sólidos solubles no presentaron diferencias estadísticas significativas. En la Tabla AIII.25 se presenta el análisis estadístico realizado para los ° Brix de la masa durante la fermentación sumergida.

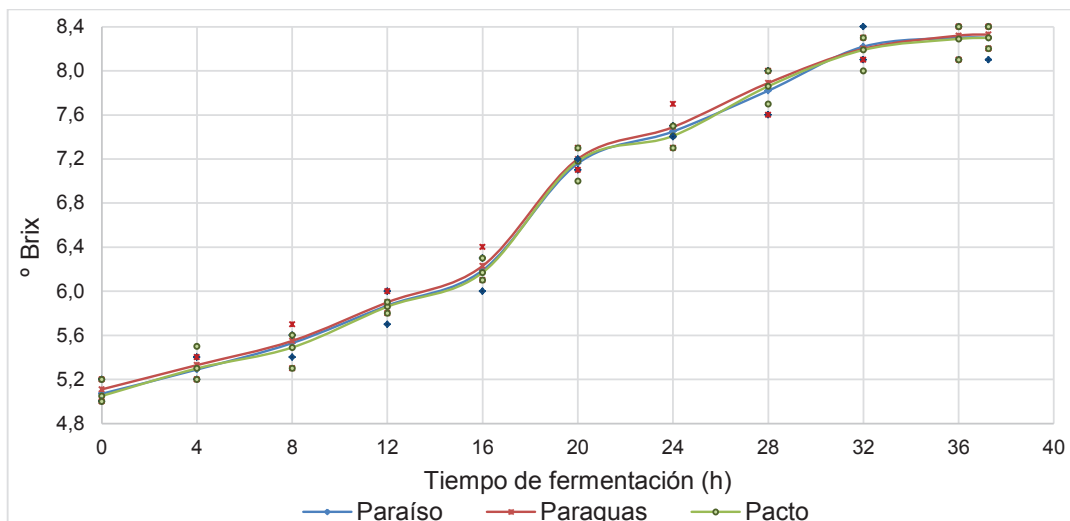


Figura 3.12. Registro de ° Brix de la masa de café durante la fermentación sumergida

Los ° Brix promedio de la masa fermentada durante los tres tratamientos de fermentación se exponen en la Figura 3.13.

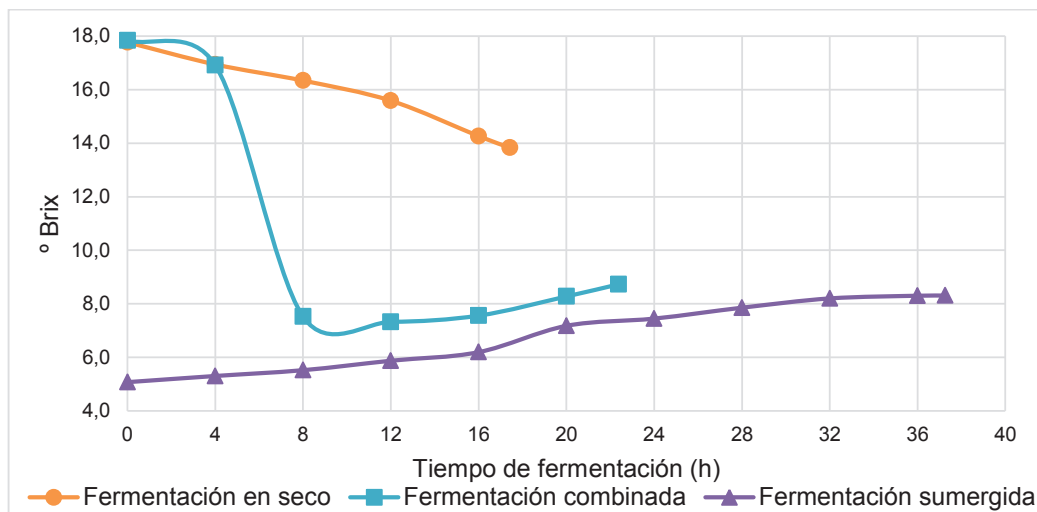


Figura 3.13. Registro de ° Brix de la masa de café durante los diferentes tratamientos de fermentación

En la Figura 3.13 se observa que existe una gran diferencia en las mediciones de ° Brix de las tres fermentaciones, debido a que no siguen una tendencia específica. En la fermentación en seco los ° Brix promedio mostraron un decrecimiento exponencial de 17,8 a 13,8 durante el transcurso del proceso. El porcentaje de desviaciones estándar se ubicó entre 1,17- 1,88 %.

Para la fermentación combinada los ° Brix promedio cambiaron de 17,8 a 16,9 en las primeras horas del proceso, luego de la adición de agua ascendieron de 7,5 a 8,7. El coeficiente de variación fluctuó entre 1,95 – 5,73 %, el límite superior corresponde a los resultados durante la fermentación seca.

Los sólidos solubles en la fermentación sumergida muestran un incremento de 5,1 a 8,3; debido a la disolución de sustancias en el agua. Los porcentajes de desviaciones estándar se encontraron entre 0,97 – 1,76 %.

Los resultados de sólidos solubles presentaron diferencias estadísticas significativas entre las fermentaciones. La masa fermentada en sistemas bajo agua tienen un porcentaje menor de ° Brix. Los análisis estadísticos realizados para ° Brix durante los procesos se detallan en las Tablas AIII.26 y AIII.27.

Los ° Brix promedio muestran una correlación con la temperatura ambiental, es decir, a menor temperatura externa el incremento o disminución es más lento. En la Tabla AIII.28 se presentan los resultados de la regresión ° Brix-Temperatura.

En la Tabla 3.10 se presenta el resumen de algunas investigaciones sobre diferentes variables medidas en la fermentación.

Para la fermentación seca se reporta un tiempo entre 14 - 20 horas; el pH inicial de 4,9 – 5,9; el pH final entre 3,7 – 4,7; la temperatura de la masa de 22,0 - 29 °C; ° Brix inicial entre 17 - 19; y ° Brix final de 12 - 14. En comparación con este estudio, el tiempo se encuentra a mitad del rango, probablemente por el método de identificación del punto de lavado, debido a que las técnicas tradicionales empleadas en otros estudios son inexactas determinando una anticipada remoción del mucílago.

El pH inicial y pH final se acerca al límite inferior del intervalo. La temperatura de la masa se ubica dentro del rango expuesto, sin embargo la máxima temperatura está por encima de la mitad del intervalo por 1,45 %. Los ° Brix inicial y final se encuentran a la mitad del intervalo.

Tabla 3.10. Resumen sobre variables investigadas durante la fermentación de café arábigo

Variables	Tipo de fermentación					
	Seca	Bajo agua	Seca	Seca	Seca	Seca
Tiempo (h)	14,0 – 18,0	18,0 – 30,0	14,0	20,0	20,0	16,3
pH inicial	5,0 - 5,3	5,3 - 5,6	5,4	5,9	6,5	4,9 - 5,6
pH final	3,7 - 3,9	3,9 - 4,2	4,7	4,0	4,1 - 4,3	3,7 - 4,1
Temperatura ambiental (°C)	18 – 26	18 - 26	17 - 26	-	13	21
Temperatura de la masa (°C)	27	27	24 - 29	-	22	28
° Brix inicial	17,0 – 19,0	4,2 - 5,8	-	-	-	-
° Brix final	12,0 – 14,0	8,0 – 9,0	-	-	-	-
Referencias	Puerta y Echeverry (2015, p. 10)		Velmourougane (2013, p. 234)	Nigam y Singh (2014, p. 491)	Avallone et al (2001, p. 255)	Peñuela, (2010, p.58)

En la Tabla 3.10 las fermentaciones realizadas bajo agua presentan un intervalo de tiempo de 20 - 30 h, en relación al determinado en esta investigación para la fermentación combinada corresponde a la mitad del rango y para la fermentación sumergida está por encima del límite superior por 2,46 %.

En cuanto a la fermentación sumergida, el pH inicial se acerca al límite superior y el pH final se ubica por encima del límite superior por 4,45 %; los ° Brix inicial y final se acercan al límite inferior del intervalo; y la temperatura de la masa es inferior a la reportada.

En cuanto a la fermentación combinada el pH inicial se acerca al límite inferior y el pH final, ° Brix final y temperatura están próximos al límite superior de los respectivos rangos. Lo que lleva a concluir que la masa de café durante el proceso en seco y combinado es más ácida que la de la fermentación sumergida.

Además en investigaciones si se presentan similares condiciones ambientales los tiempos de fermentación también lo son (Daniels, 2009, p. 41).

3.1.4 LAVADO

En esta etapa se empleó 4 litros de agua potable por kg de café despulpado para eliminar el mucílago fluidificado. En la Tabla 3.11 se expone el promedio de pH y ° Brix determinados en cuatro enjuagues del lavado.

Tabla 3.11. Promedios de valores de pH y ° Brix de las aguas de lavado de café

Enjuague	Fermentación seca		Fermentación combinada		Fermentación sumergida	
	pH	° Brix	pH	° Brix	pH	° Brix
1	3,86 ± 0,03	8,30 ± 0,14	4,23 ± 0,03	11,40 ± 0,13	4,01 ± 0,06	9,70 ± 0,08
2	4,05 ± 0,05	1,20 ± 0,15	4,51 ± 0,04	3,30 ± 0,09	4,23 ± 0,04	1,90 ± 0,18
3	4,35 ± 0,05	0,50 ± 0,09	6,07 ± 0,06	0,40 ± 0,05	5,84 ± 0,04	0,30 ± 0,04
4	4,74 ± 0,04	-	6,33 ± 0,04	-	6,22 ± 0,03	-

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 8); n: número de repeticiones

De la Tabla 3.11 se aprecia que las aguas provenientes del lavado de café tienen una acidez que va disminuyendo a medida que se elimina el mucílago. El porcentaje de desviaciones estándar del pH se encontró entre 0,60 - 1,55 %, por lo tanto la variabilidad entre las muestras no son representativas.

La medición del pH presentó un valor inferior a 5 para todos los enjuagues de la fermentación en seco. La alta acidez es consecuencia de la formación de ácidos orgánicos a partir de la fermentación de los azúcares presentes en el mucílago, que provocan aguas residuales con valores de pH entre 3,0 a 3,8 (Sornoza, 2010, p. 71; Enden y Calvert, 2012, p. 5). Al terminar el proceso con una acidez considerable, sería necesario aplicar un tratamiento previo a su eliminación.

Las aguas de lavado provenientes de fermentaciones sumergidas presentaron menor acidez, pudiendo al final superar el límite inferior permitido por la Ley de Medio Ambiente 1333, la cual sugiere un pH entre 5 a 9 para la correcta eliminación de agua apta para el consumo y sin causar alteraciones organolépticas en la calidad del café.

Los ° Brix en los primeros enjuagues presentaron valores altos, para el resto de enjuagues las mediciones reportaron valores bajos, sin obtener datos para el último, probablemente por la disociación de sólidos en agua. El porcentaje de desviaciones estándar fluctuó entre 1,14 - 12,50 %, el límite superior es representativo, probablemente por errores experimentales o a la heterogeneidad de las muestra al corresponder al lavado de café fermentado en seco.

3.1.5 ESCURRIDO

Para el café escurrido se determinó humedad y rendimiento después de dejarlo escurrir durante 6 horas, estas características se detallan en la Tabla 3.12

Tabla 3.12. Características del café escurrido según el tratamiento

Lugar de Procedencia	Tipo de fermentación	Humedad (% b.h.) *	Rendimiento (%)
Paraguas	En seco	50,69 ± 1,08	81,38
	Sumergida	50,45 ± 1,12	81,49
	Combinada	50,28 ± 1,47	81,73
Paraíso	En seco	50,09 ± 1,12	80,17
	Sumergida	50,35 ± 1,08	81,08
	Combinada	50,47 ± 1,41	81,39
Nuevo Pacto	En seco	50,23 ± 1,20	80,35
	Sumergida	50,39 ± 1,04	80,85
	Combinada	50,27 ± 1,26	80,60

* $\bar{x} \pm \sigma, (n = 6)$; n: número de repeticiones

La humedad (% b.h.) del café escurrido en la Tabla 3.12 se ubicó en el intervalo de 50,1 – 50,7 %, el promedio de los resultados obtenidos de los tratamientos fueron similares con un porcentaje de desviaciones estándar entre 2,05 - 2,92 %.

El rendimiento del proceso determina el factor de conversión entre el café lavado al escurrido, por lo que el peso final se puede conocer para anticipar el espacio necesario en las camas de secado. El intervalo fluctuó de 80,17 - 81,73 %.

El escurrido permitió eliminar el agua superficial de manera que se facilitó el secado dentro de la marquesina, al evitar la evaporación de agua que cae al suelo cuando se coloca directamente en las camas de secado.

En la investigación realizada por Montilla et al (2008) en frutos maduros de café arábigo maduro de variedad Colombia se caracterizó el café escurrido, donde la humedad se reportó entre 49,78 - 50,81 % en b.h. (p. 132). Los resultados obtenidos en esta investigación se acercan al límite superior, probablemente porque la humedad relativa de la zona es alta, alrededor del 88 %.

3.1.6 SECADO

Para el secado se empleó una marquesina tipo invernadero para aprovechar la energía solar. El proceso se realizó hasta alcanzar la humedad requerida de 11,0 a 12,5 % b.h.; esta etapa duró 19 días.

Durante el secado como variables de control se determinaron la temperatura dentro de la marquesina y la humedad del grano de café (% b.h.). En la Figura 3.14 se muestra las mediciones de temperatura dentro de la marquesina.

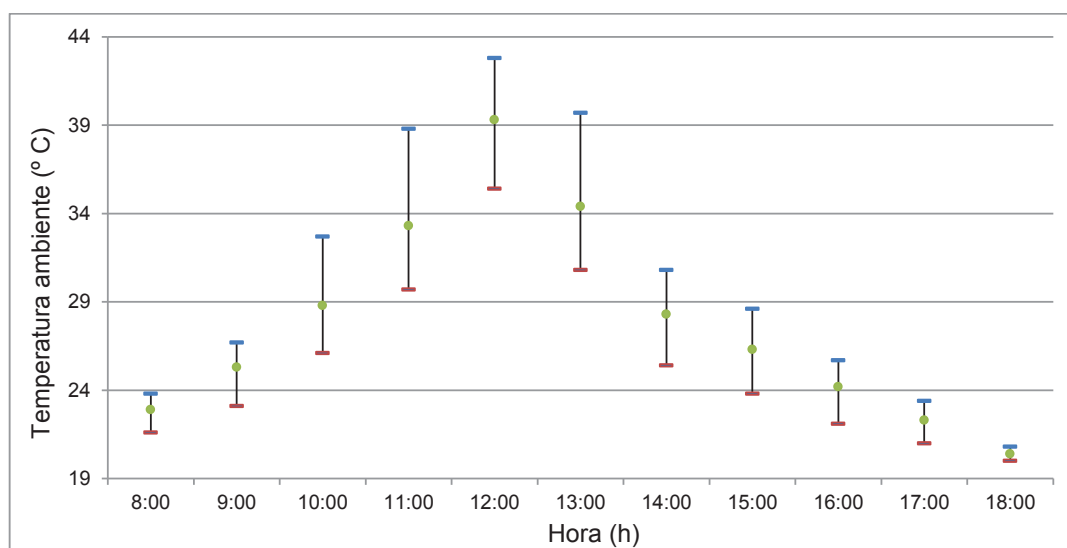


Figura 3.14. Temperaturas promedio dentro de la marquesina durante el secado de café

En la Figura 3.14 el rango de temperaturas promedio dentro de la marquesina se ubicó entre 20,4 – 39,3 °C, el valor mínimo corresponde a la última hora de medición, en cambio el máximo valor hace referencia a las horas del mediodía.

El porcentaje de desviaciones estándar en los resultados se situaron entre 2,71 - 8,35 %, el límite inferior se refiere a las mediciones obtenidas a las 8 a.m. y el límite superior corresponde a las determinadas a las 11 a.m.

La tendencia que presenta la curva es de incremento en horas de la mañana y descendente en horas de la noche. De la misma Figura 3.14 se observa que las temperaturas no alcanzan más allá de los 45 °C, lo que constituye un secado lento y se traduce en una alta calidad de los granos de café.

Los valores determinados de la humedad del grano en base seca (% b.s.) se muestran en la Figura 3.15.

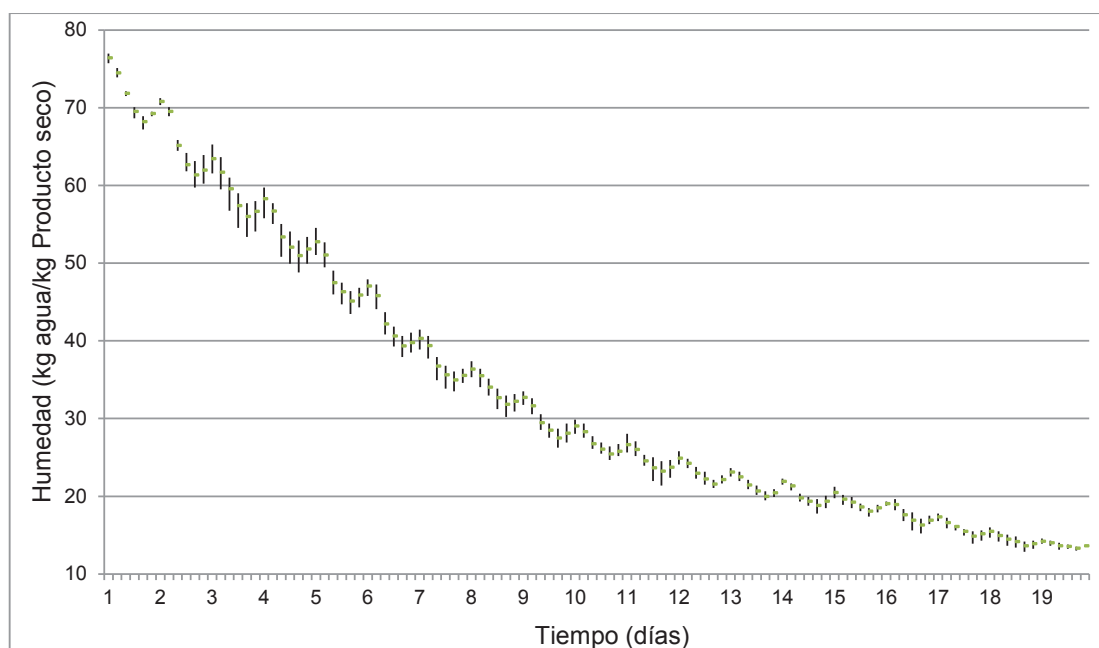


Figura 3.15. Curva de secado del grano de café pergamino

Las mediciones de la humedad del grano fueron tomadas a las 8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00 y 18:00 horas del día. En la Figura 3.15 se observa una tendencia

decreciente hasta terminar los tratamientos con una humedad entre 11,7 – 12,4 % en base húmeda, correspondiente a 13,3 – 14,2 % en base seca.

El porcentaje de desviaciones estándar de los resultados se situó entre 0,24 – 5,97 %. La poca variabilidad posiblemente es consecuencia de la densidad de carga (20 kg/cm²), el espesor de la capa de café pergamino (3 cm) y de la rotación de los granos cada 4 horas, sugeridas para el control del proceso, llevando a concluir que el proceso fue similar para todos los tratamientos independientemente del lugar de procedencia y del tipo de fermentación.

En la Figura 3.15 se puede apreciar que la humedad decrece más rápido hasta alcanzar un valor aproximado de 23,15 % b.s.; a partir de este momento el secado se torna más lento debido a la dificultad para eliminar el agua interna del grano. Al finalizar el proceso, las humedades de los tratamientos presentaron una mínima variabilidad, asegurando el secado adecuado para su conservación.

En la Figura 3.16 se expone la curva de velocidad de secado de café pergamino

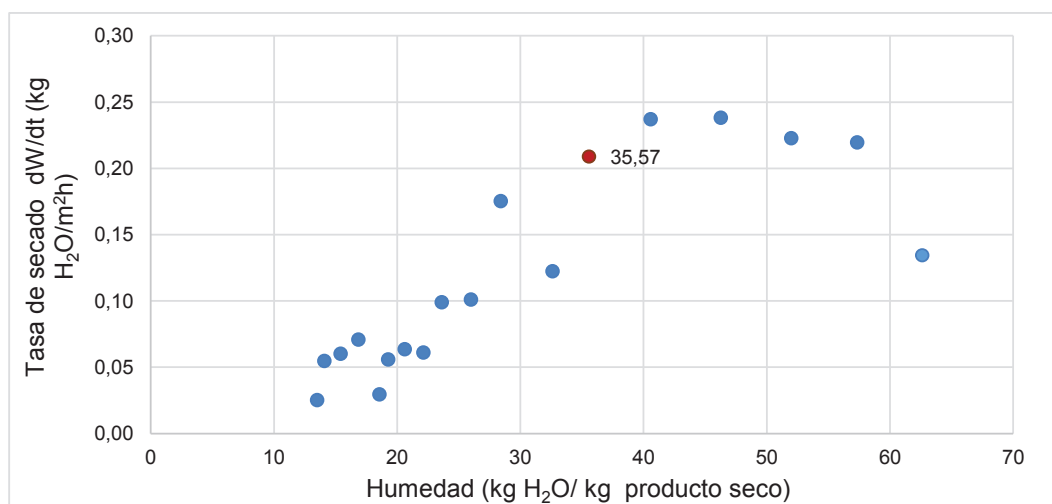


Figura 3.16. Curva de velocidad de secado del grano de café pergamino

De la Figura se aprecia un pequeño aumento en la tasa de remoción de agua del producto, seguido se puede observar que la velocidad de secado presentó un período constante y cambió su tendencia hacia la disminución a partir que se

alcanzó la humedad crítica. La tasa de secado decreciente se presenta por la difusión de la humedad hacia la superficie.

A pesar de la tendencia, se presenta fluctuaciones ya que el café es altamente higroscópico y en horas de la mañana la humedad tiende a aumentar por el rocío de la noche, en cambio en las horas más calurosas se incrementa la proporción a disminuir, lo que conlleva un mayor tiempo de secado. Además las fluctuaciones pudieron deberse a errores experimentales.

3.2 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN EN LA CALIDAD FÍSICA Y ORGANOLÉPTICA DEL CAFÉ

Se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de la calidad física y organoléptica del café de cada tratamiento. Se empleó el programa Statgraphics para determinar diferencias significativas, los análisis estadísticos se presentan en el Anexo III. Además se realiza un análisis comparativo con las características de café expuestas en otras investigaciones.

3.2.1 CALIDAD FÍSICA

Para evaluar la calidad física del café pergamino seco se determinó el peso hectolítrico y la humedad del grano.

El peso hectolítrico está relacionado con la calidad del café porque los granos más densos son menos susceptibles al ataque de insectos, lo que se traduce en una mejor conservación durante el almacenado y comercialización. En la Figura 3.17 se presenta el peso hectolítrico de los tratamientos.

El peso hectolítrico se ubicó en el rango de 72,6 - 74,8 kg/HL. Los resultados del peso hectolítrico presentaron diferencias estadísticas significativas entre las fermentaciones.

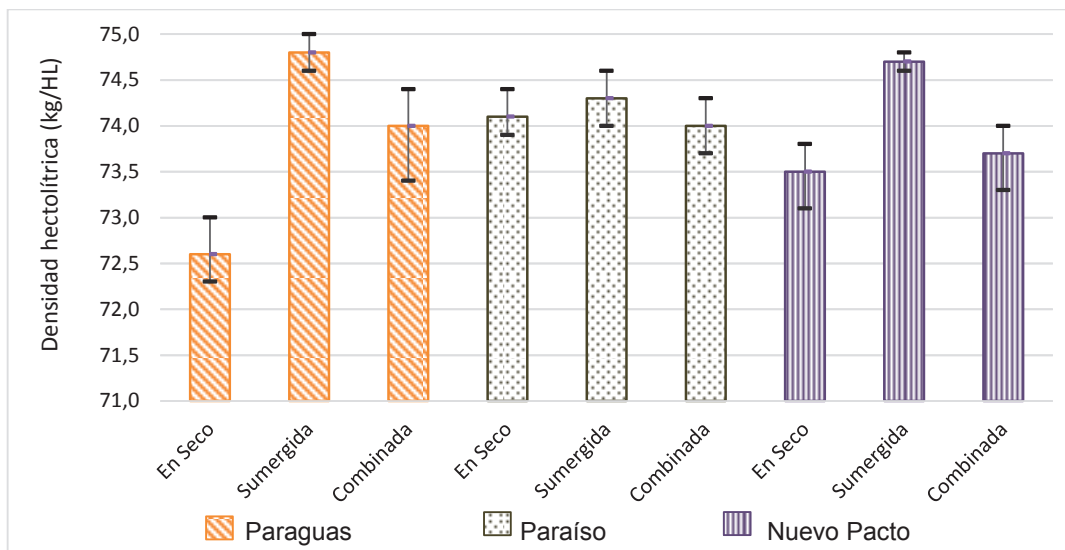


Figura 3.17. Peso hectolítrico del grano de café pergamino

Los mayores valores se obtuvieron en las fermentaciones sumergidas, seguidas por la combinada y por último la seca, probablemente por la pérdida de peso que se da durante el proceso de fermentación. Los análisis estadísticos realizados para el peso hectolítrico se detallan en las Tablas AIII.29 y AIII.30.

En la Figura 3.18 se presenta la humedad determinada para el café pergamino de los tratamientos.

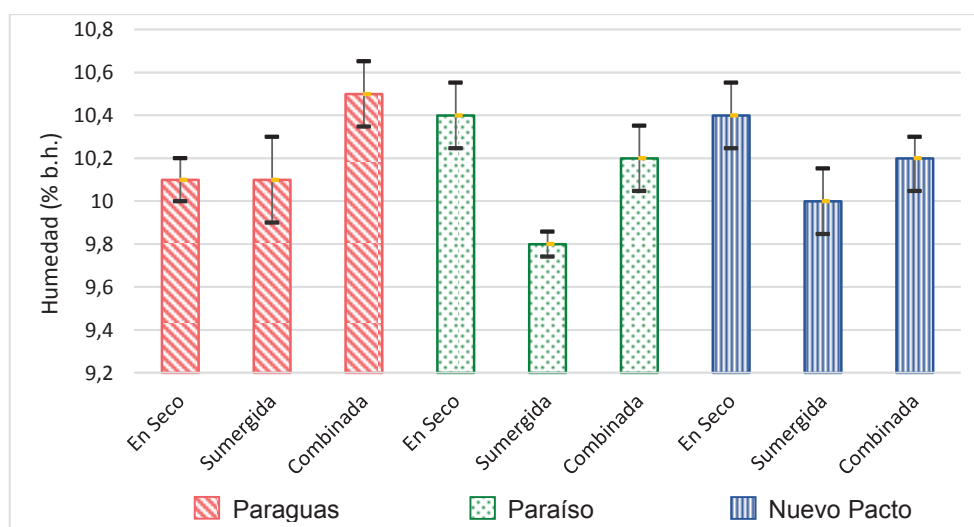


Figura 3.18. Humedad del grano de café pergamino

La humedad en el café pergamino se encontró entre 9,8 - 10,5 % b.h., lo que reflejó una disminución durante el almacenamiento previo a la catación de café, sin embargo para iniciar con el proceso de evaluación en taza la humedad mínima requerida es de 9,5 % b.h, ya que incrementa 1 % en el café oro. El porcentaje de desviaciones estándar fluctuó entre 0,99 – 1,52 %.

Los resultados de la humedad no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. En la Tabla AIII.31 se detalla el análisis de varianza obtenido para la humedad de café pergamino.

Luego de separar el pergamino de los granos, se evaluó la calidad física del café oro. En la Figura 3.19 se presenta el porcentaje de defectos encontrados en cada tratamiento.

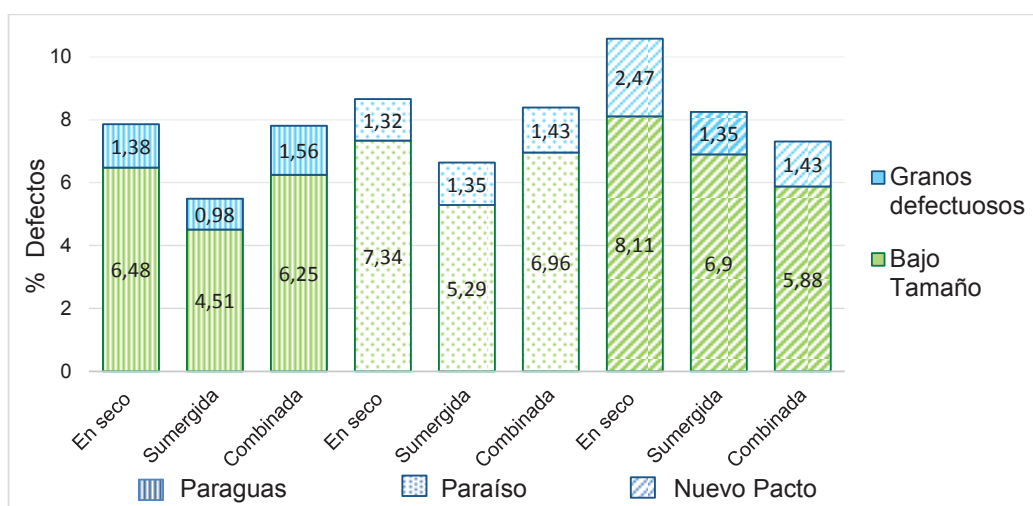


Figura 3.19. Porcentaje de defectos de café oro en los tratamientos

Al separar el pergamino del café se determinó el porcentaje de defectos bajo malla N° 16, los granos de café oro presentan diámetros pequeños que se relacionan con problemas fitosanitarios o de asimilación de nutrientes que no pueden ser determinados en el café pergamino. En esta proporción se encuentran los granos defectuosos como mordidos causados por problemas en el despulpado, quebrados por problemas durante el secado, granos caracoles y granos elefantes por problemas genéticos.

En la Figura 3.19 se observa que los granos defectuosos fueron encontrados en menor proporción que los granos con bajo tamaño. El porcentaje de defectos se situó entre 5,49 – 10,58 %, la mayor proporción corresponde al tratamiento fermentación seca - Nuevo Pacto y el límite inferior se encontró en el tratamiento fermentación sumergida – Paraguas.

Según la norma NTE INEN-ISO 4149 los defectos encontrados fueron secundarios con un factor de impacto sensorial 1/5; además el límite máximo permitido es de 15 defectos por muestra. En esta investigación el impacto sensorial fluctuó de 1,09 - 2,12 y los defectos no sobrepasaron el nivel máximo, lo que se traduce en una buena calidad de café.

Los diámetros, pesos y rendimientos de los granos de café oro de cada tratamiento se presentan en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Rendimiento y características físicas de café oro de los tratamientos

Lugar de Procedencia	Tipo de fermentación	* Diámetro polar (mm)	* Diámetro ecuatorial (mm)	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento (%)
Paraguas	En seco	9,49 ± 0,18	7,12 ± 0,13	17,91 ± 0,41	83,17 ± 1,19
	Sumergida	9,56 ± 0,14	7,15 ± 0,11	18,20 ± 0,32	83,33 ± 1,32
	Combinada	9,51 ± 0,19	7,11 ± 0,15	18,05 ± 0,34	83,12 ± 1,47
Paraíso	En seco	9,38 ± 0,12	7,03 ± 0,17	17,38 ± 0,29	82,58 ± 1,34
	Sumergida	9,43 ± 0,16	7,07 ± 0,12	17,49 ± 0,34	82,66 ± 1,11
	Combinada	9,40 ± 0,22	6,99 ± 0,16	17,45 ± 0,42	82,60 ± 1,2
Nuevo Pacto	En seco	9,29 ± 0,14	6,87 ± 0,14	17,05 ± 0,37	81,70 ± 1,52
	Sumergida	9,34 ± 0,20	6,97 ± 0,13	17,35 ± 0,33	81,82 ± 1,24
	Combinada	9,33 ± 0,17	6,92 ± 0,16	17,09 ± 0,44	81,78 ± 1,17

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 4); * $\bar{x} \pm \sigma$, (n = 20); n: número de repeticiones

En la Tabla 3.13 se aprecia que el diámetro polar del café de los tratamientos se encontró entre 9,29 - 9,56 mm. En cambio el diámetro ecuatorial para el café fluctuó entre 6,87 - 7,15 mm. El porcentaje de desviaciones estándar de las dimensiones se situó en el intervalo de 1,46 – 2,42 %; el límite inferior

corresponde al largo y el superior al ancho del grano; la variabilidad hace referencia a la diferencia en el tamaño desde los frutos.

Los resultados del peso y los diámetros polar y ecuatorial presentaron diferencias estadísticas significativas para el factor procedencia. Se presentan los análisis estadísticos realizados para estas características en las Tablas AIII.32 - AIII.37.

El rendimiento de café pergamino a café oro se encontró de 81,70 – 83,33 %, se presentó diferencias estadísticas significativas para el factor procedencia, estos resultados tienen relación con el peso de los granos. En las Tablas AIII.38 - AIII.39 se detallan los análisis estadísticos realizados para el rendimiento del trillado.

En la Tabla 3.14 se muestra un resumen de las investigaciones sobre los diámetros, peso y rendimiento de los granos de café oro.

Tabla 3.14. Investigaciones sobre rendimiento y características físicas de café oro

Diámetro ecuatorial (mm)	Diámetro Polar (mm)	Peso (g)	Rendimiento (%)	Referencia
7,11	9,69	18,00	80,0	Montilla et al. (2008, p.129)
6,63 - 6,90	9,77 - 10,03	13,67 - 16,00	81,7	Abrar y Jafer (2013, p.72)

El diámetro polar de los granos de café oro del presente estudio se ubicó en el rango de 9,29 – 9,56 mm, en relación a los obtenidos por otros investigadores, el intervalo se encuentra por debajo del intervalo establecido. El diámetro ecuatorial del café oro se ubicó de 6,87 – 7,15 mm en esta investigación, en comparación con los citados por otros autores, el rango obtenido es similar a los reportados.

El intervalo del peso en esta investigación se reportó de 17,05 – 18,20 g, los valores se acercan al límite superior del citado por otros autores. Los rendimientos de los tratamientos son superiores al de otras investigaciones, probablemente por el mayor peso de los granos, otorgando al café de la parroquia de Pacto una buena calidad física.

3.2.2 CALIDAD ORGANOLÉPTICA

En esta sección se presenta el registro de la temperatura durante el tostado de café oro, previo a la evaluación de la calidad en taza. Además se muestran los resultados de la calificación de los atributos aroma, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, balance, uniformidad, limpieza, dulzor y puntaje del catador; determinados en la catación de café.

En la Figura 3.20 se presenta el monitoreo de la temperatura en los tratamientos durante el proceso de tostado.

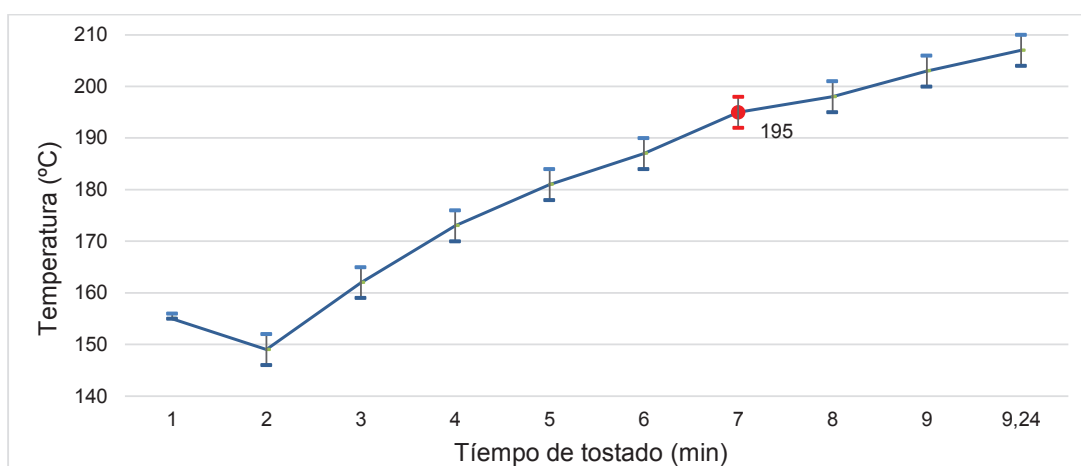


Figura 3.20. Monitoreo de temperatura durante el proceso de tostado de los tratamientos

Previo al proceso se calibró el tostador para iniciar con la misma temperatura cada tratamiento; al finalizar la temperatura alcanzó los $205,00 \pm 1,62$ ° C en un tiempo aproximado de $9,24 \pm 0,17$ minutos.

En la Figura 3.20 se observa que la temperatura durante el tostado tiene una tendencia de incremento, las desviaciones estándar entre los tratamientos fueron ínfimas por lo tanto el proceso se realizó a las mismas condiciones.

De la Figura se aprecia que a los 7 minutos, se presentó el crack de tostado de café provocado por la expansión del grano, a partir de este momento se señaló la cercanía con la etapa final y el cambió del color canela a un café oscuro -medio.

Los puntajes de la evaluación de calidad en taza de café perteneciente a la zona de Paraguas para cada tipo de fermentación se presentan en la Figura 3.21.

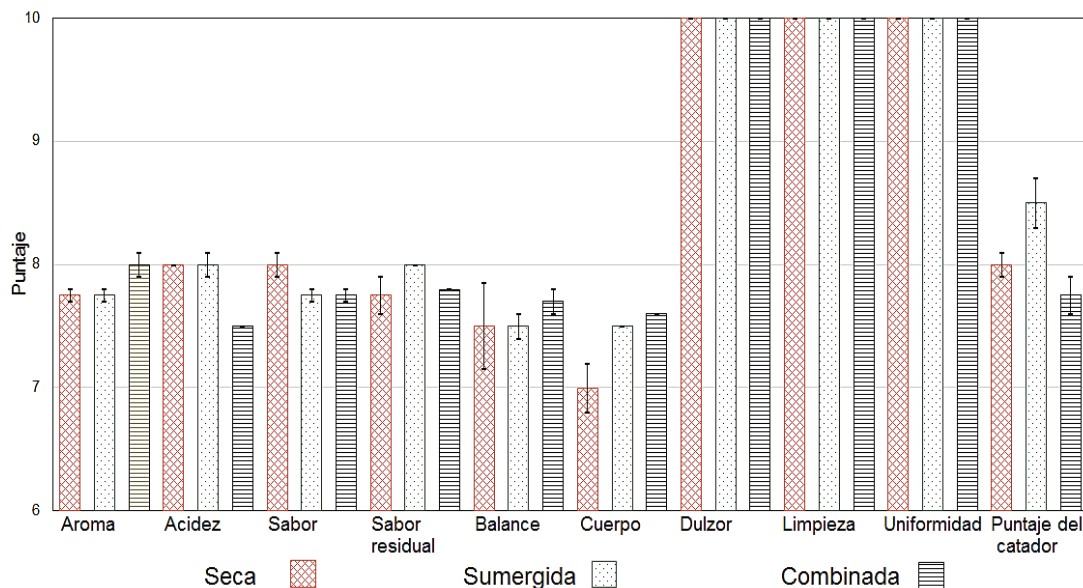


Figura 3.21. Puntaje de los atributos en la evaluación de la calidad en taza de café de Paraguas para las diferentes fermentaciones

En la Figura 3.21 los atributos aroma, sabor y sabor residual obtuvieron puntajes similares de 7,75 -8,0. En la característica acidez el mayor puntaje fue de 8,0 para la fermentación sumergida y la menor de 7,5 para el tratamiento combinado. En cuanto al balance los valores fluctuaron de 7,5 – 7,7 y para el cuerpo de 7,0 - 7,6; el límite inferior pertenece a la fermentación seca. Los atributos dulzor, limpieza y uniformidad presentaron los puntajes más altos en la escala. En relación al puntaje del catador la mayor calificación la obtuvo la fermentación sumergida con 8,5 puntos y la menor corresponde a la fermentación combinada con 7,7.

El porcentaje de desviaciones estándar en los atributos de la catación fluctuó entre 0,65 – 4,67 %, que se alcanzaron en las características de aroma y balance, respectivamente.

En la Figura 3.22 se muestran los puntajes de la evaluación de calidad en taza de café perteneciente a la zona de Paraíso para cada tipo de fermentación.

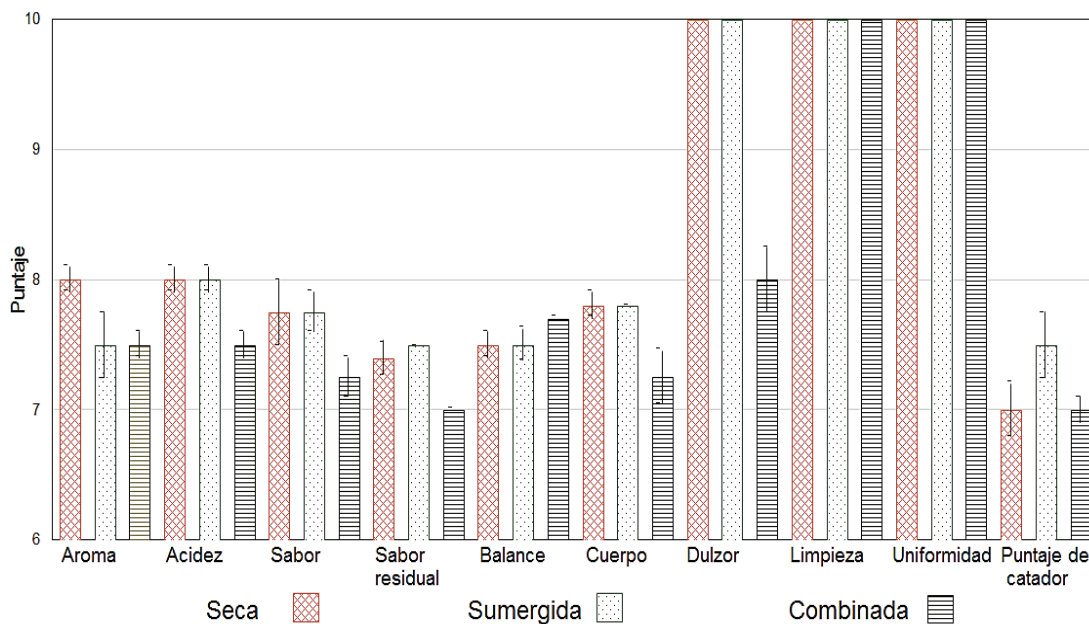


Figura 3.22. Puntaje de los atributos en la evaluación de la calidad en taza de café de Paraíso para las diferentes fermentaciones

Se aprecia que los atributos presentan diferencias por tipo de fermentación. En las características de aroma y acidez se obtuvieron puntajes de 7,5 - 8,0. Para el atributo sabor se encontró entre 7,25 - 7,75 y para el sabor residual de 7,0 - 7,5; en ambos casos el límite inferior pertenece a la fermentación seca y el superior a la fermentación sumergida. El balance en taza alcanzó valores de 7,5 - 7,7 y el cuerpo de 7,25 - 7,80. Los atributos limpieza y uniformidad presentaron puntajes de 10. En cuanto al dulzor el intervalo fluctuó de 8 -10, el menor valor pertenece al proceso combinado. El puntaje del catador para la fermentación sumergida fue de 7,5, para las restantes fue de 7,0 puntos.

El porcentaje de desviaciones estándar más alto se encontró entre 1,43 - 3,33 %, ambos pertenecientes al puntaje del catador, se explica porque el puntaje asignado depende de la experiencia del catador, de sus gustos y preferencias. Para los demás atributos el porcentaje de desviaciones estándar fluctuó entre 1,25 - 3,33 %, que se alcanzaron en las características de acidez y aroma, respectivamente. La poca variabilidad demuestra que se tuvo las mismas consideraciones durante el beneficiado de café.

En la Figura 3.23 se exponen los puntajes de la evaluación de calidad en taza para cada tipo de fermentación del café perteneciente a la zona de Nuevo Pacto.

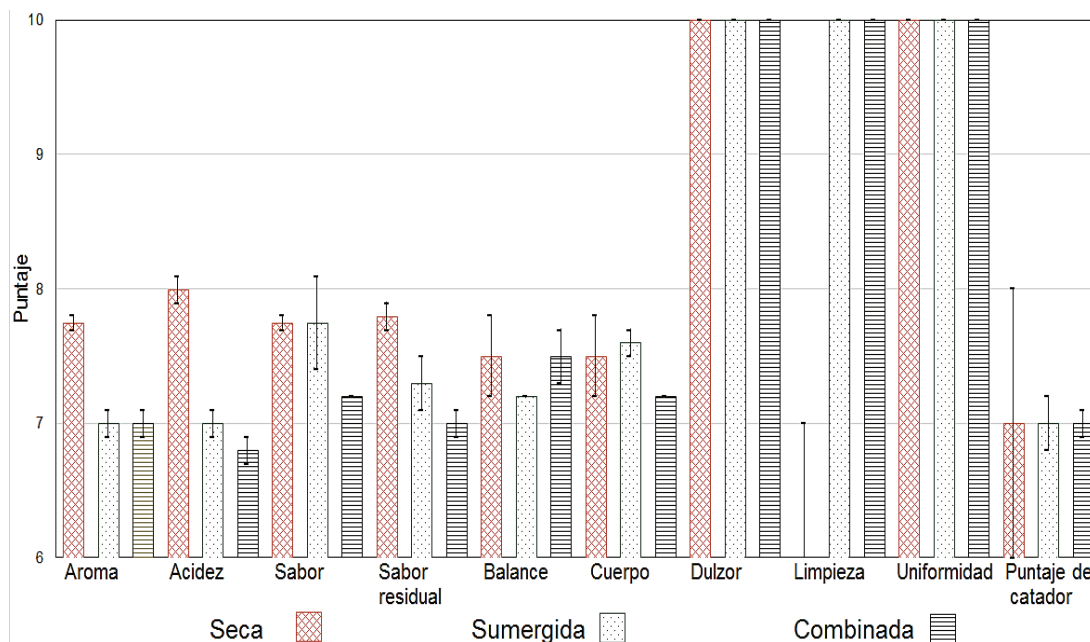


Figura 3.23. Puntaje de los atributos en la evaluación de la calidad en taza de café de Nuevo Pacto para las diferentes fermentaciones

Existió una diferencia marcada en el atributo limpieza en la fermentación seca, esto debido a que se encontró un defecto de primera clase en la evaluación afectando directamente la calidad en taza. El puntaje promedio para este atributo fue de 6 puntos en este tratamiento, sin embargo para las otras fermentaciones se obtuvo una puntuación de 10 puntos

En la catación del café de Nuevo Pacto los atributos de aroma presentaron puntajes de 7,00 - 7,75. Para las características de sabor los valores fluctuaron entre 7,20 – 7,75; correspondiendo a la fermentación combinada y sumergida, respectivamente. Las características de dulzor y uniformidad fueron calificadas con 10 puntos dentro de la escala. Para todos los tratamientos el puntaje del catador fue de 7 puntos. En cuanto al sabor residual el puntaje alcanzado es de 7,0 - 7,8. Los puntajes alcanzados en la acidez fueron de 6,8 – 8,0; el menor valor se encontró en la fermentación combinada. Para el atributo cuerpo, el mayor puntaje fue de 7,6 para la fermentación sumergida y el menor valor se presentó

para el proceso combinado. El balance se ubicó en el rango de 7,2 – 7,5; el límite superior pertenece a la fermentación seca.

El porcentaje de desviaciones estándar más alto se encontró en los atributos de limpieza con 16,67 % y puntaje del catador con 14,29 % en el café proveniente de la fermentación seca; los valores se vieron afectados en estos dos parámetros por la contaminación causada por un defeco perceptible en la bebida.

Para los atributos restantes el porcentaje de desviaciones estándar se situó entre 0,65 – 4,52 %; por lo tanto la variabilidad no fue representativa.

La calificación de todos los atributos se resume en la impresión global sobre 100 puntos. Se presenta la impresión global de los tratamientos en la Figura 3.24.

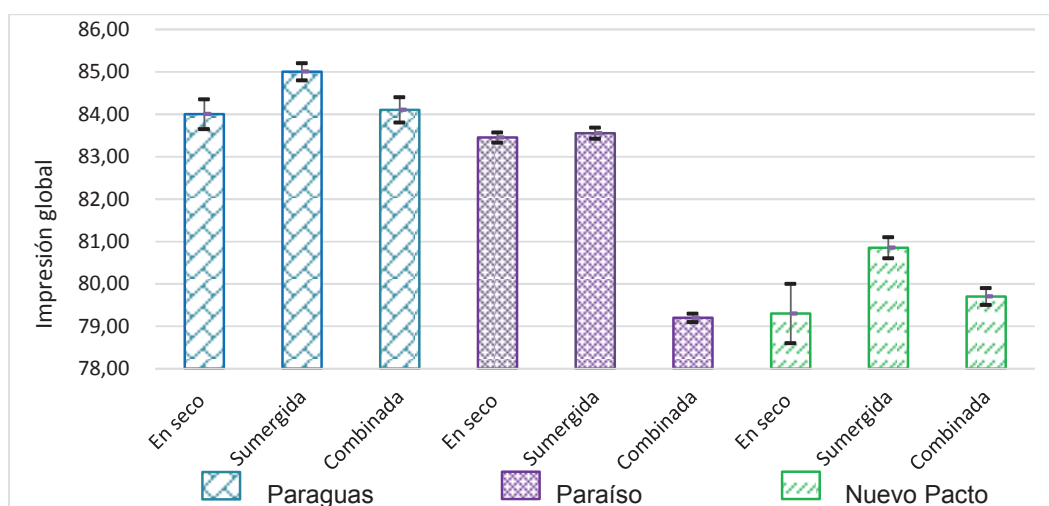


Figura 3.24. Impresión global del café de los tratamientos

Los puntajes de la impresión global se situaron entre 79,2 a 85,0 puntos. En el Anexo IV se presentan los perfiles de taza de los tratamientos.

En la Figura 3.24 se aprecia que no existen diferencias representativas entre los puntajes de las muestras y sus duplicados. El porcentaje de desviaciones estándar de la impresión global se encontró entre 0,14 – 2,14 %, el límite superior se encontró en la percepción de los atributos para el café fermentado en seco.

La impresión global de los tratamientos presentó diferencias estadísticas significativas para el factor procedencia y tipo de fermentación. En las Tablas AIII.40 - AIII.42 se presentan los análisis estadísticos realizados.

Los promedios de la impresión global según el tipo de fermentación son de 83,13; 81,00; 82,25 para el proceso sumergido, combinado y seco, respectivamente. Por lugar de procedencia el promedio para el café de Paraguas es de 84,37; de Paraíso de 82,07 y de Nuevo Pacto de 79,95. La mayor diferencia se establece para el factor lugar de procedencia; relacionado directamente con la calidad propia de los frutos de café, probablemente los resultados reflejan problemas de asimilación de nutrientes, control fitosanitario y prácticas de recolección.

Los puntajes de balance se situaron entre 7,2 – 7,7; además correspondieron a los aspectos de sabor, sabor residual, cuerpo y acidez, que interactúan juntos durante la catación. El atributo taza limpia refleja la ausencia de una impresión negativa en la bebida, para el café de Paraguas y Paraíso los puntajes alcanzaron el máximo valor; en cambio para el café de Nuevo Pacto en una de las tazas se encontró el defecto fenol, disminuyendo la calidad en taza.

Los resultados reflejaron correlaciones positivas altamente significativas entre los caracteres: aroma con sabor, sabor con sabor residual, impresión global con sabor y puntaje del catador, limpieza con granos sanos y puntaje del catador. Además se determinó una correlación negativa entre el porcentaje de defectos y taza limpia. En las Tablas AIII.43- AIII.49 se detallan los análisis de correlación entre atributos evaluados en la catación.

Los arábigos producen una bebida suave, de aroma agradable, buena acidez y mediano cuerpo (Puerta, 2000, p. 140). Los puntajes de 7-9 corresponden a notas de sabor a tostado, avellana, frutal, dulce, almendra, cítrico, moras, caramelo, vino, clavos, vainilla, herbal. (Puerta y Echeverry, 2015, p. 5).

En la Tabla 3.15 se presentan las características organolépticas del café procedente de cada tratamiento.

Tabla 3.15. Características del café de acuerdo al tratamiento aplicado

Lugar de Procedencia	Tipo de fermentación	Características	Impresión global
Paraguas	En seco	Panela, cacao, frutos secos	84,00
	Sumergida	Café especial, notas florales como jazmín, dulce y jugoso, acidez cítrica dulce como mandarina	85,00
	Combinada	Canela, chocolate, final amargo	84,10
Paraíso	En seco	Fragancia intensa, achocolatado con acidez cítrica	83,45
	Sumergida	Clavo y vainilla, notas saladas, aroma no se sostuvo en húmedo	83,55
	Combinada	Sin notas distinguidas	79,20
Nuevo Pacto	En seco	Chocolate, vainilla, dulce de leche, fenol	79,30
	Sumergida	Vainilla, muy fragante, poca acidez y dulzor	80,85
	Combinada	Sin notas distinguidas	79,70

Se aprecia que el café del tratamiento fermentación sumergida-Paraguas se caracterizó como un café especial con notas florales y acidez cítrica, y el mayor puntaje de la investigación con 85 puntos. Los demás tratamientos realizados con café de Paraguas mostraron notas de sabor agradables, lo cual se traduce en la calidad de los frutos recolectados y el control durante el procesamiento.

El tratamiento en seco y bajo agua aplicados en el café de Paraíso, presentaron sabores agradables, sin embargo se vio afectado el aroma, probablemente por la altura del cultivo. La fermentación combinada no presentó características favorables, debido a que no se encontraron notas distinguidas en el sabor.

Para el café de Nuevo Pacto, en la fermentación seca se encontró el defecto fenol, probablemente por una contaminación química en la fertilización o por un rehumedecimiento en los granos de café pergamino durante el secado. En el tratamiento sumergido se tuvo una falta de acidez, probablemente por la altura del cultivo. La fermentación combinada no presentó notas distintivas. Estos resultados se presentan probablemente por la calidad de los frutos, más que por los tratamientos en sí.

Los resultados coinciden con lo encontrado en otras evaluaciones de café.

Selección del mejor tratamiento

Con base en los resultados de la evaluación de la calidad física de los granos de café oro, la humedad de los granos en pergamino no fue determinante por tipo de fermentación, el peso hectolítrico fue mayor en los tratamientos con fermentación sumergida, el tamaño y rendimiento se vio diferenciado por el lugar de procedencia; por lo tanto estas pruebas no permitieron seleccionar el mejor tratamiento.

Sin embargo al evaluar la calidad organoléptica se obtuvo los mejores puntajes para los tratamientos con fermentación sumergida, por lo tanto al obtener las mejores características se determinó que este tipo de fermentación permite obtener café con sabores deseables. En esta sección se realiza una comparación con los resultados obtenidos en otras investigaciones.

En la Figura 3.25 se presentan los resultados de los tratamientos con fermentación sumergida, para cada lugar de procedencia.



Figura 3.25. Perfil de tazas para el café de los tratamientos con fermentación sumergida

Se puede observar la similitud que se tiene en los puntajes de aroma, sabor, sabor residual, cuerpo y balance. El atributo uniformidad obtuvo puntajes

excepcionales con 10 puntos para todos los tratamientos; revelando la consistencia del sabor en las diferentes tazas.

El puntaje del catador en los tratamientos estuvo por encima de los 7 puntos, sin embargo se presentaron diferencias atribuidas a la percepción personal determinada por la experiencia en el sabor. Las diferencias en la impresión global, se explican por la calidad de los frutos determinados por el lugar de procedencia.

En la Tabla 3.16 se expone un resumen de la investigación realizada por Quiliguango, (2013) sobre la calidad física y organoléptica de café arábigo variedad caturra proveniente de 8 pisos altitudinales, obtenidas mediante beneficio por vía húmeda (pp. 45 - 47).

Tabla 3.16. Resumen de los atributos evaluados en la calidad organoléptica de café proveniente de diferentes localidades

Atributos	Altura del cultivo (msnm)							
	1362	1495	1526	1716	764	805	1158	1195
Aroma	7,83	8,00	8,25	7,67	7,75	7,75	7,92	8,17
Sabor	7,75	7,67	8,25	7,75	7,75	7,67	7,75	7,75
Sabor residual	7,5	7,67	7,83	7,42	7,58	7,42	7,67	7,58
Acidez	7,83	7,92	8,08	8,00	7,50	7,67	7,67	8,00
Cuerpo	7,25	7,42	7,75	7,33	7,33	7,58	7,75	7,50
Balance	7,50	7,83	7,75	7,50	7,42	7,58	7,67	7,75
Uniformidad	10	10	10	10	10	10	10	10
Taza limpia	10	10	10	10	10	10	10	10
Dulzor	10	10	10	10	10	10	10	10
Puntaje del catador	7,34	7,91	8,17	8,00	7,00	7,58	7,82	7,50
Puntaje final	83,00	84,42	86,08	83,67	82,33	83,25	84,25	84,25

(Quiliguango, 2013, pp. 45 - 47)

Los puntajes de la Tabla 3.16 se encuentran en el rango de 82,33 - 86,08; donde el límite inferior pertenece al café proveniente de 764 msnm y el límite superior a 1 526 msnm. En comparación con los resultados obtenidos en esta investigación, se observa que los puntajes de la fermentación sumergida de Paraguas y

Paraíso, se acercan al límite superior; en cambio el café de Nuevo Pacto se ubica por debajo del puntaje inferior.

A pesar que los cultivos se encuentran en la misma Parroquia, presentan diferencias por el piso altitudinal de donde provienen: Paraguas: 1 526 msnm, Paraíso: 1 362 msnm y Nuevo Pacto: 1 195 msnm, pudiendo ser la razón de la variabilidad en los puntajes y en las características del café. La investigación permite determinar que la altura del cultivo es un factor influyente en la calidad de taza, siempre y cuando se tenga condiciones del suelo y climáticas adecuadas, buenas prácticas agrícolas y se mantenga la calidad de los frutos desde la recolección hasta la obtención del café pergamino. Otras investigaciones coinciden con esta conclusión (Avelino et al., 2005, p. 1875; Decazy et al., 2003, p. 2359; Malaka et al., 2013, p. 991; Cruz et al., 2015, p. 554).

Factores de conversión del beneficio por vía húmeda

Con los resultados de cada etapa se planteó factores de conversión para el café según el lugar de procedencia, un resumen de ellos se muestra en la Tabla 3.17.

Tabla 3.17. Factor de conversión del café en el beneficio según el lugar de procedencia

Relación de conversión		Lugar de Procedencia		
		Paraguas	Paraíso	Nuevo Pacto
Café cereza	Café baba	1,77 ± 0,04	1,78 ± 0,03	1,79 ± 0,05
Café baba	Café lavado	1,42 ± 0,05	1,46 ± 0,04	1,49 ± 0,08
Café lavado	Café escurrido	1,23 ± 0,02	1,24 ± 0,05	1,24 ± 0,02
Café pergamino	Café oro	1,21 ± 0,03	1,21 ± 0,06	1,22 ± 0,05
Café cereza	Café oro	5,34 ± 0,18	5,49 ± 0,15	5,58 ± 0,21

$\bar{x} \pm \sigma$, (n = 6); n: número de repeticiones

El porcentaje de desviaciones estándar de los resultados fluctuó entre 1,7 - 5,4 %, el límite superior corresponde a la conversión de café baba a café lavado, probablemente por el porcentaje de humedad (% b.h.) en las muestras.

La conversión de café cereza a café pergamino es del 23% y de café cereza a café oro es del 19 %. La mayor pérdida de masa corresponde a las etapas de despulpado y secado, donde se elimina la pulpa y parte del mucílago, y se reduce el contenido de agua; respectivamente. Para las tres procedencias se encontraron rendimientos similares entre cada operación unitaria. El café de paraguas presentó el mayor factor de conversión durante el beneficio por vía húmeda.

Datos obtenidos de algunas investigaciones sobre los factores de conversión de café se exponen en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18. Investigaciones sobre el factor de conversión en el beneficio de café

Relación de conversión		Referencia		
		Mayorga (2010, p. 7)	Uribe (1977, p. 3)	Montilla et al (2008, p. 140)
Café cereza	Café baba	1,67	1,67	1,81
Café despulpado	Café lavado	1,50	1,46	1,41
Café lavado	Café escurrido	1,23	1,26	-
Café pergamino	Café oro	1,25	1,25	1,25
Café cereza	Café oro	5,56	5,56	6,23

De la Tabla se puede apreciar que el rango de conversión de café cereza a café baba se encuentra entre 1,67 – 1,81, en referencia a los resultados obtenidos en esta investigación se acercan al límite superior. El intervalo de la conversión de café despulpado a café lavado fluctuó de 1,41 a 1,50; los resultados de este estudio se encuentran en el mismo rango. En cuanto a la conversión de café lavado a café escurrido, los obtenidos en este estudio se acercan al límite inferior.

Los factores de conversión: café pergamino-café oro y café cereza- café oro son superiores a los de otras investigaciones, lo que se traduce que el café proveniente de la Parroquia de Pacto es competitivo con otros cafés producidos comercialmente.

3.3 DISEÑO DE LA LÍNEA DE PROCESO PARA EL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA DE CAFÉ

El proyecto “Mejoramiento del Sistema de Secado para el café” contempla el mejoramiento de los procesos postcosecha de café para la zona Noroccidental de Pichincha. Dentro de los lineamientos del proyecto se tiene la adquisición y diagnóstico de los procesos postcosecha, la construcción de un secador de café y la determinación del espacio físico, energía e instalaciones auxiliares requeridas

La micro localización del centro de beneficio se designó con base a los atributos: cercanía con la materia prima, a 20 minutos de la zona Paraguas y Nuevo Pacto; disposición de fuerza laboral, donde la comunidad está relacionada y en conocimiento con la producción del sector cafetalero; transporte y vías accesibles; clima adecuado tanto para el cultivo como para el beneficiado por vía húmeda (temperaturas entre 20 y 24 °C); y considerado factor principal la tenencia de tierras, debido a que se cuenta con un área de terreno a disposición de la asociación de caficultores “El Paraíso” localizado en el Barrio del mismo nombre.

Se determinó la cantidad de café cereza que ingresaría al beneficiado en función de los datos proporcionados por la Asociación de caficultores “El Paraíso” y el rendimiento reportado en el año 2015, dando como resultado aproximadamente 215 toneladas de café cereza.

Se consideró que la producción más alta se dará durante los meses de Junio y Julio; pico de cosecha en la parroquia de Pacto, por lo que se tendría ligeras fluctuaciones en la cantidad de materia prima. Además se tendría la disponibilidad de servicios industriales como: agua, energía eléctrica, entre otros y no habría inconvenientes en la contratación de personal.

Con base en las relaciones de conversión de café para cada operación unitaria del beneficio por vía húmeda presentadas en la Tabla 3.17 para la procedencia con mayores rendimientos y asumiendo 120 días de trabajo al año (correspondiente a 24 semanas con 5 días de cosecha) y un factor de

sobredimensionamiento de 1,2 se realizó el dimensionamiento de los equipos. Se determinó un flujo semicontinuo para la producción de café pergamino seco. En el Anexo V se detalla el balance de masa realizado para el cálculo del flujo de producción en cada etapa del beneficio por vía húmeda.

Se estableció las mismas condiciones de operación empleadas en la parte experimental del beneficio por vía húmeda como parte de este proyecto, se establecerá una fase de presecado en marquesina y un secado mecánico como recomendación para reducir el tiempo de secado. Se seleccionaron los equipos con base a la capacidad requerida y a las condiciones de operación para el beneficio en catálogos. En el Anexo VI se muestran las hojas de especificación de cada uno de los equipos para el beneficio.

Se establecieron 3 operarios distribuidos de la siguiente manera: 1 en recepción – clasificación y despulpado, 1 en fermentación y lavado, y 1 en presecado y secado, además de 1 jefe de planta. La bodega de insumos y de producto terminado se delimitó para el centro de beneficio no así la de materia prima ya que los frutos de café deberán despulsarse máximo hasta 12 horas después de la cosecha.

El beneficio tiene por objetivo eliminar las envolturas del grano de café hasta obtenerlo en pergamino. A continuación se describe el proceso:

Se iniciará con una previa inspección para descartar lotes de café brocado o un exceso de café verde y seco; se tomará una muestra representativa de al menos 100 gramos de donde se identificará frutos defectuosos o se realizará la prueba de flotación colocando 100 frutos en un recipiente con agua y permitiendo una cantidad menor o igual a 8 frutos flotantes, correspondiente al 8 %.

Continuando con la recepción, se reportará la hora de llegada, fecha, nombre del dueño, zona de producción y el peso en kilogramos de café cereza cosechado al día, corriente uno (1), descontando el peso del envase o costal en el que se transporta al centro de beneficio, con el uso de una balanza BA-101.

Para la clasificación se empleará un separador mecánico de frutos SF-103, del cual los frutos maduros (2) se transportarán con un elevador de rastras E-201 a la siguiente etapa y los frutos de café verde y seco (3) se separarán para beneficiarlos por separado, generalmente por vía seca.

Luego en el despulpado se separará el grano de café baba (4) de la pulpa y cáscara (5), mediante una despulpadora mecánica DE-202. La pulpa y cáscara se enviarán a través de un transportador helicoidal TT-205 hacia el área destinada para transformarlo en abono orgánico.

La fermentación de los granos de café baba facilitará la eliminación de los restos mucilaginosos que cubren la superficie del grano, se realizará a temperatura ambiente en tanques de concreto revestidos de mampostería TF-203 y TF-204. Se adicionará el 30 % de agua en base al peso para los procesos sumergidos.

Los tanques tienen un diseño de bordes redondeados con una pendiente de 6 grados, una altura máxima de 1 m con un 75 % de llenado, además se construirá según la necesidad un canal para drenaje de aguas mieles con tubería PVC de 3 a 4 pulgadas, los canales deben tener un desnivel de 0,5 al 1,0 % para facilitar la movilidad de los residuos en la eliminación. Para esta área se debe considerar un tanque para almacenamiento de agua de una altura no mayor a 2 m.

Después de finalizada la fermentación, se lavará empleando 4 L de agua (6) por cada kg de café baba (4) hasta eliminar el mucílago e impurezas (8) provenientes del proceso. Se realizará en los mismos tanques de fermentación y se empleará un canal de correteo hasta eliminar la mayor parte de impurezas.

Se empleará una bomba centrífuga B-206 para terminar el lavado y se transportará el café pergamino lavado (7) hacia una tolva que lo enviará hacia la zaranda de escurrido Z-207, donde permanecerán de 3 a 6 horas hasta que el café alcance una humedad aproximada de $50,46 \pm 0,38$ (% b.h.).

Seguido, el café escurrido (9) se colocará en las camas internas del secador solar tipo marquesina con una densidad de carga de 20 kg/m^2 . En este secador se

reducirá la humedad del grano de café pergamino hasta el 23-30 % (10), exponiendo las semillas a temperaturas entre 20-42 °C por aproximadamente 10 días, dependiendo de las condiciones ambientales. Además se removerá el café cada 4 horas para homogenizar la temperatura interna entre granos.

Para optimizar los tiempos del proceso, el café pasará al secador tipo silo donde el producto disminuirá su humedad hasta el 11-12 %, preservando la calidad del café pergamino seco (12). El secador empleará aire a temperatura de 45-50 °C por aproximadamente 8 horas, dependiendo de la humedad de ingreso. Para medir la humedad en cada fase del proceso se usará un determinador de humedad cuando el grano esté a temperatura ambiente 20 °C.

Finalmente se empacará en bolsas grainpro y costales que permitirán la comercialización del café pergamino, conservando la humedad entre 11-12 %, con un peso de 45,36 kg determinado con una balanza BA-304. El producto se almacenará en la bodega de producto terminado con un ambiente fresco y seco.

Para el centro de beneficio, se construirá una estructura metálica con cubierta de eternit de dos aguas, de dimensiones 5 m de ancho por 10 m de largo y una altura de 4 m, que cubrirá toda el área de procesamiento húmedo. Para el área de procesamiento seco se construirá una marquesina solar de dimensiones 11,0 m de largo por 4,0 m de ancho y con 3,5 m de altura; la misma que cumplirá con la función de presecado; para completar el secado se dispondrá de un secador artificial para el cual se tendrá una estructura de paredes con ventanas de malla de 1,5 m que permitirán la ventilación y evacuación de vapores.

Se delimitará el área destinada para la producción de humus orgánico, aprovechando la funcionalidad de lombrices californianas. Finalmente se construirá una laguna estabilizadora con las mismas características que los tanques de fermentación (1,5 m de largo × 1,0 m de ancho y 1,0 m de profundidad, bordes redondeados, con mampostería y sistema de drenaje con tuberías), en la que se tratarán las aguas residuales provenientes del lavado, adicionando cal agrícola hasta disminuir la acidez a 6.

En la Tabla 3.19 se puede observar la nomenclatura de los equipos que se emplearían en el diagrama de flujo PFD y en la distribución de planta LAYOUT del centro de beneficio de café por vía húmeda.

Tabla 3.19. Nomenclatura de los equipos para beneficio por vía húmeda de café

Área	Número	Equipo	Nomenclatura
Recepción y clasificación del fruto	1	Balanza electrónica	BA-101
		Elevador de rastras	E-102
		Separadora de frutos verdes y maduros	SF-103
Área de procesamiento húmeda	2	Elevador de rastras	E-201
		Despulpadora	DE-202
		Tanques fermentadores	TF-203 y TF-204
		Transportador de tornillo	TT-205
		Bomba	B-206
		Transportador de tornillo	TT-207
		Tolva y zaranda de escurrido	Z-208
Área de procesamiento seca	3	Secador solar	S-301
		Elevador de rastras	E-302
		Secador de silos	SS-303
		Balanza electrónica	BA-304

En la Figura 3.25 se aprecia el BFD (diagrama de bloques), en la Figura 3.26 el PFD (diagrama de flujo) y en la Figura 3.27 la distribución en planta LAYOUT del centro de beneficio por vía húmeda que presenta el flujo de materia y el lugar de los operarios estableciendo un espacio de 0,6 m para su circulación.

Los equipos serían distribuidos en forma de “u” modificada, con esta distribución se aprovecha la superficie y se evita la contaminación entre café cereza recibido y café pergamino seco. El flujo de materia prima estará en concordancia con el flujo del proceso. El área para el beneficio por vía húmeda requeriría una superficie de 400 m².

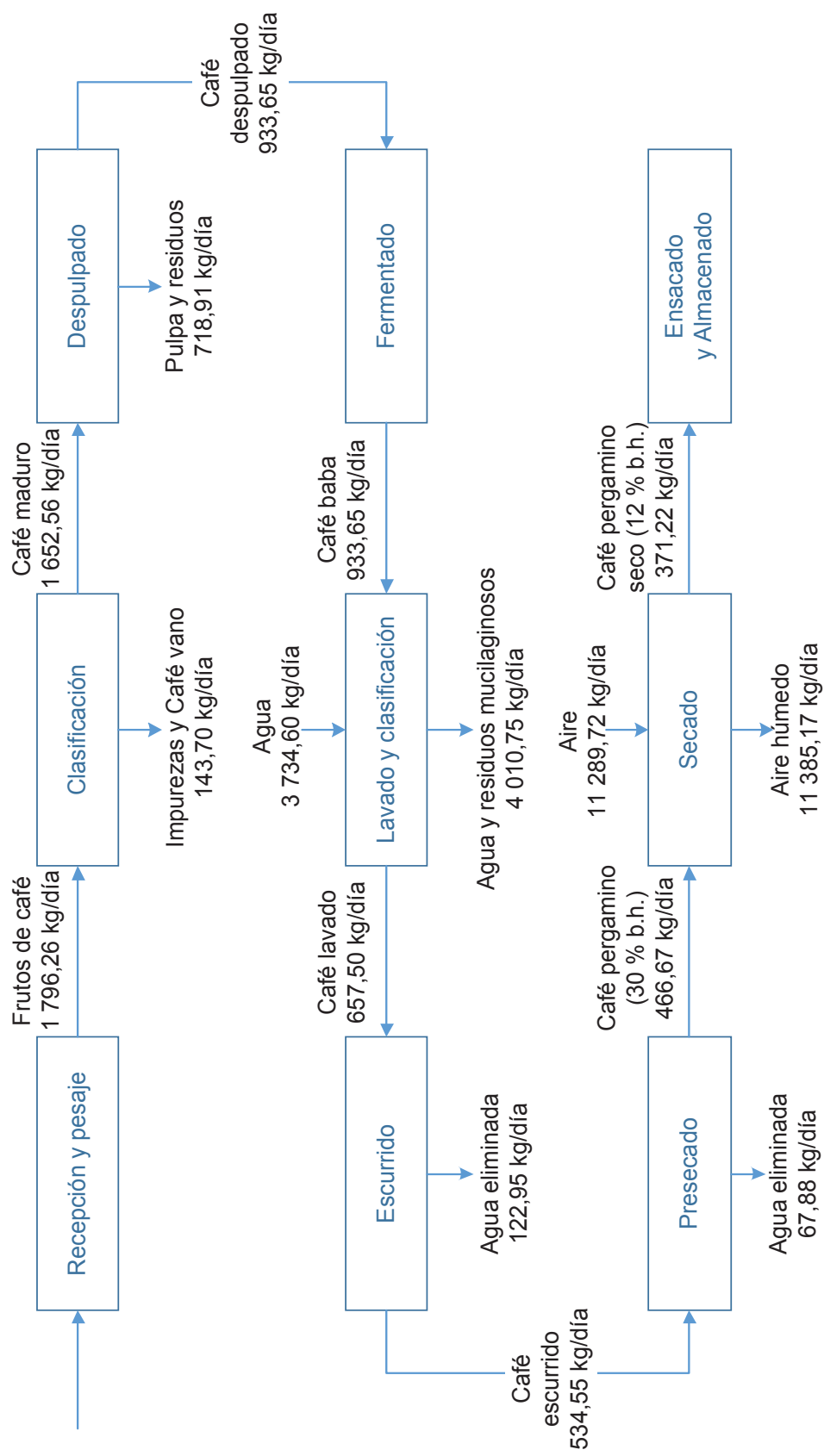


Figura 3.26. Diagrama de bloques (BFD) para el beneficio por vía húmeda de café

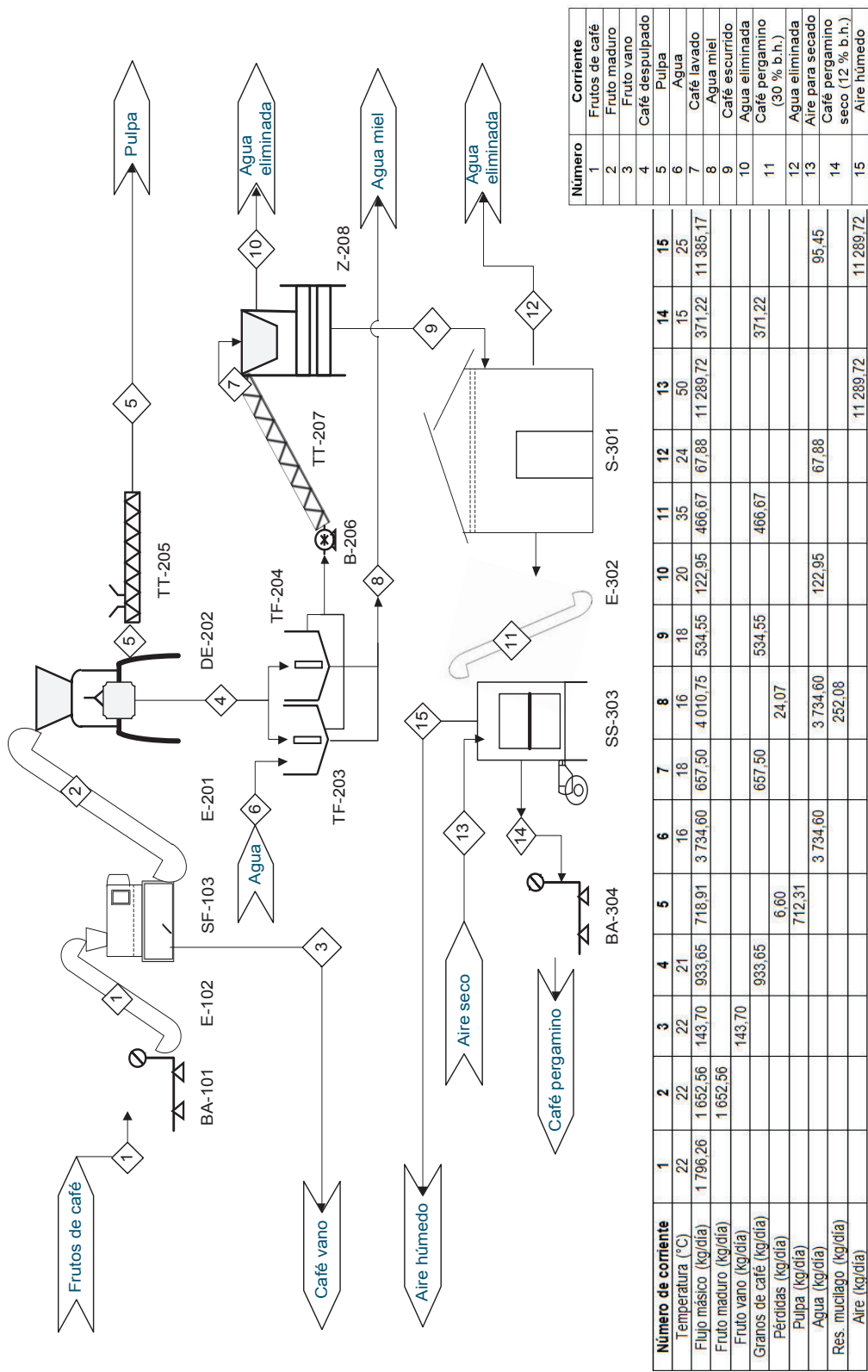


Figura 3.27. Diagrama de flujos (PFD) para el beneficio por vía húmeda de café

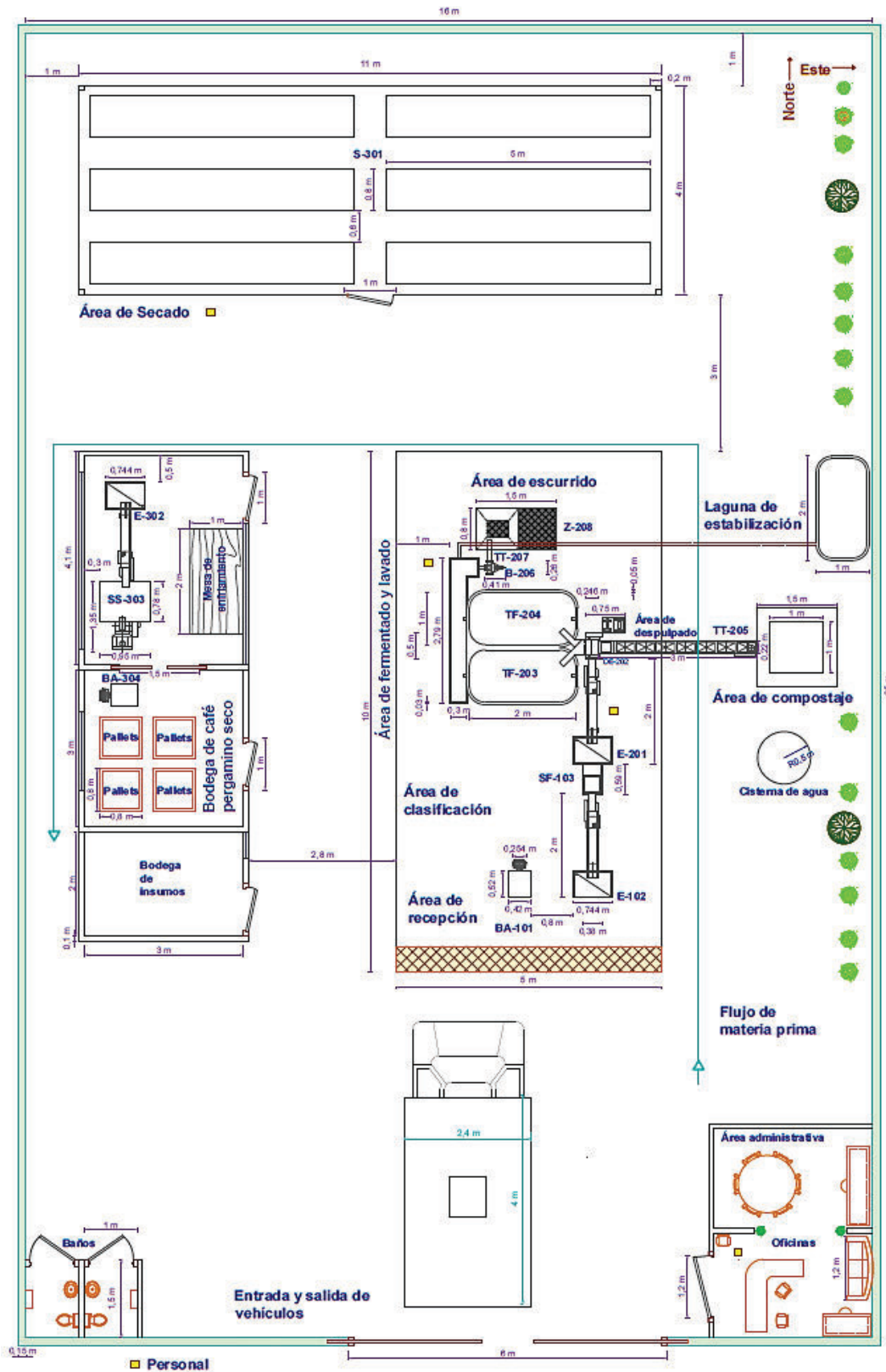


Figura 3.28. LAYOUT para el centro de beneficio por vía húmeda de café

3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

Para el centro de beneficio de café por vía húmeda se calculó un estimado del costo de implementación del diseño. Para el proyecto el Gobierno Provincial de Pichincha proporcionó el terreno donde se realizaría la infraestructura, además brindará apoyo con los equipos requeridos, la mano de obra y asesoría para la instalación y funcionamiento de los mismos.

Se estima un valor de 10 000,00 USD para la infraestructura del centro de beneficio y un valor para imprevistos del 2 % de la construcción y de los equipos. La infraestructura contempla la construcción del área administrativa, baños y fachada del área de producción. Se adicionará un costo de 1 200,00 USD por la construcción de la marquesina y de 2 tinajas de fermentación, dando un valor de 11 200,00 USD para la construcción del centro de beneficio de café. Se estableció el costo para la instalación con base al 4 % de los costos generados por la adquisición de equipos para el beneficio de café por vía húmeda.

Los costos de los equipos se determinaron mediante cotizaciones, en el Anexo VII se presentan un resumen de las mismas. En la Tabla 3.20 se muestran los costos de los equipos.

Tabla 3.20. Costos de los equipos del beneficio por vía húmeda de café

Equipos	Unidades	Costo unitario (USD)	IVA 14 %	Costo Total (USD)
Balanza electrónica	2	495,00	69,30	1 128,60
Elevador de rastras	3	5 750,00	805,00	19 665,00
Separadora de frutos	1	3 685,00	515,90	4 200,90
Despulpadora	1	5 600,00	784,00	6 384,00
Transportador de tornillo	2	9 000,00	1 260,00	20 520,00
Bomba	1	4 800,00	672,00	5 472,00
Secador de Silos	1	18 420,00	2 578,80	20 998,80
Total				78 369,30

Para la implementación del centro de beneficio por vía húmeda de café se necesitará un aproximado de 94 495,46 USD. En la Tabla 3.21 se describe el valor de los rubros para la implementación del centro de beneficio.

Tabla 3.21. Valor de los rubros para la implementación del centro de beneficio

Rubro	Valor (dólares)
Construcción y Equipos	89 569,30
Instalación de equipos (4 %)	3 134,77
Imprevistos (2 %)	1 791,39
Total	94 495,46

Los costos de producción se estimaron para un mes considerando 20 días laborables de cosecha, los rubros de materia prima e insumos se determinaron con base al balance de masa y los precios establecidos en el mercado nacional.

Dentro de los gastos administrativos y generales se consideró el pago de mano de obra, servicios básicos, mantenimiento, depreciación e imprevistos. Los salarios fueron fijados con base a los sugeridos por la Contraloría General del Estado. El costo de servicio básico se estimó con base al balance de masa y energía y el precio nacional establecido. Para el costo de mantenimiento se estableció el 1 % del costo de la construcción y de los equipos. El valor de la depreciación de equipos se estableció para un periodo de 10 años. El costo de imprevistos se estimó al 1 % de los costos de materia prima e insumos.

En la Tabla 3.22 se muestra los costos de producción mensual del centro de beneficio húmedo de café.

El costo de producción mensual se detalló en dos rubros el costo de materia prima e insumos y los gastos administrativos dando un valor alrededor de los 26 556,84 USD. Para el costo de producción unitario el valor mensual se dividió para la cantidad de café pergamino seco de un mes (164 quintales), se estableció un aproximado a 161,93 USD/quintal.

Tabla 3.22. Costo de producción mensual del centro de beneficio húmedo de café

Costos fijos y Variables	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo (USD)	Costo mensual (USD)
Materia Prima	Frutos de café	792	qq	28,00	22 176,00
Insumos	Fundas de polietileno GRAINPRO	80	Unidades	4,50	360,00
	Costales de yute	160	Unidades	0,25	40,00
	Cal agrícola	3	qq	4,75	14,25
Mano de Obra	Operarios	3	Personas	366,00	1 098,00
	Administrativo	1	Personas	800,00	800,00
Servicios básicos	Energía eléctrica	2 731,49	kWh	0,09	243,10
	Agua potable	84,69	m3	0,60	50,81
Mantenimiento	Mantenimiento de equipos	89 569,30	dólares	895,69	895,69
Depreciación	Depreciación de equipos	78 369,30	dólares	653,08	653,08
Imprevistos	Imprevistos de materia prima e Insumos	22 590,25	dólares	225,90	225,90
TOTAL COSTOS DE PRODUCCIÓN					26 556,84

Con un margen de utilidad del 20 % se estimó el precio de venta en 194,31 USD, al compararlo con el precio establecido por ANECAFE y por SINAGAP, los cuales fluctúan entre 185,00 a 250,00 USD, se determina que el precio es competitivo en el mercado nacional pudiendo disminuir un 5,0 % o mejorar un 28,6 % dependiendo de la calidad del café pergamino seco. El desglose de los rubros de los costos operacionales descritos se observan en la Tabla 3.23

Tabla 3.23. Costo operacional mensual para la producción de café pergamino seco

Rubro	Valor (USD)
Materia prima e insumos	22 590,25
Gastos de administración y generales	3 966,59
Total	26 556,84
Costo unitario por qq	161,93
Precio de venta (dólares)	194,31

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La caracterización de los frutos de café de las tres zonas de procedencia: Paraguas, Paraíso y Nuevo Pacto, reveló que existieron diferencias significativas por estado de madurez en los parámetros diámetro ecuatorial y polar, peso de 100 frutos y ° Brix. Además el factor procedencia influyó en las características físicas de los frutos del café maduro, café despulpado y café oro, sin embargo pudieron existir variaciones por efecto del manejo del cultivo que no se consideraron en el presente estudio.
- En la fermentación se obtuvo una remoción de mucílago superior al 97 % en un tiempo de 17 h, 22 h y 37 h. para la fermentación en seco, combinada y sumergida, respectivamente. A pesar de ser el proceso más lento, los tratamientos de fermentación sumergida presentaron los mayores puntajes en el peso hectolítrico del café pergamino y la impresión global de la bebida como resultado de la evaluación de la calidad de taza.
- Durante las fermentaciones en seco y bajo agua, la temperatura de la masa de café incrementó y el pH disminuyó. En cuanto a la variable ° Brix, en las fermentaciones bajo agua se incrementaron, al contrario de la fermentación en seco donde los sólidos solubles disminuyeron en el transcurso del proceso.
- En los tratamientos del diseño experimental no existieron diferencias estadísticas significativas por el factor procedencia, sin embargo el tipo de fermentación influyó en las medias de las variables temperatura, pH y ° Brix de la masa de café fermentado.
- Las aguas de lavado de los sistemas de fermentación en seco presentaron mayor acidez que las provenientes de procesos bajo agua; mientras que en todos los tratamientos los ° Brix descendieron.

- En el secado se redujo la humedad del café pergamino de todos los tratamientos hasta el $11,90 \pm 0,28$ % b.h. en 19 días a condiciones de temperatura dentro de la marquesina entre $20,4 - 39,3$ °C.
- El promedio de los puntajes de catación reflejan que por lugar de procedencia se tuvo valores superiores aseverando la influencia de la altitud del cultivo. El café de Paraguas (1 526 msnm) mostró mejores características sensoriales que el café de Paraíso (1 362 msnm) y de Nuevo Pacto (1 195 msnm).
- Para procesar 40 qq/día de café cereza se requeriría un área de 400 m^2 para el centro de beneficio, el cual tendrá un costo de implementación de aproximadamente 95 mil USD. El costo de producción de un quintal de café pergamino sería de 161,93 USD y el precio de venta con un margen de utilidad del 20 % se establecerá en 194,31 USD.

4.2 RECOMENDACIONES

- Replicar los tratamientos de fermentación en muestras de café de otras zonas de cultivo del país que tengan la misma variedad, edad y prácticas de cultivo, para establecer con mayor certeza el efecto del lugar de procedencia.
- Realizar un estudio más profundo de los cambios bioquímicos que se presentan durante la fermentación a nivel de composición en los granos de café, para determinar con mayor certeza el efecto del agua en la termodinámica de las reacciones a fin de establecer un proceso controlado.
- Realizar un estudio de la calidad del agua y plantear un tratamiento adecuado previo a la eliminación del agua de lavado
- Establecer un estudio de las condiciones de secado con la opción de aplicar un presecado solar y un secado mecánico, de tal manera que el proceso sea

homogéneo, se reduzca el tiempo de secado y se evite la contaminación de los granos.

- Investigar el efecto del tiempo y de la temperatura de tostado sobre las muestras de café obtenidas de las fermentaciones propuestas en este trabajo, para optimizar las condiciones de operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdala, J., Fonseca, S., Pantoja, J., y Gen, A. (2003). Secado de café pergamino en secadores solares multipropósito y de tambor rotatorio. *Tecnología Química*, 23(3), 68-79. Recuperado de http://www.academia.edu/4408633/SECADO_DE_CAF%C3%89_PERGAMINO_EN_SECADORES_SOLARES_MULTIPROP%C3%93SI_TO_Y_DE_TAMBOR_ROTATORIO (Octubre, 2015)
2. Abrar, S., y Jafer, D. (2013). Relationship of fruit and bean sizes and process methods on the conversion ratios of Arabica coffee cultivars. *Time Journals of agriculture and veterinary sciences*. 2(2), 70-74. Recuperado de <http://www.timejournals.org/tjavs/archive/2014/February/pdf/Sualeh%20and%20Dawid.pdf> (Febrero, 2016)
3. Alvarado, M., y Rojas, G. (2007). *Cultivo y Beneficiado del café*. Costa Rica. Recuperado de: https://books.google.com.ec/books?id=15qrSG-51l4C&pg=PR10&lpg=PR10&dq=alvarado+y+rojas%2Bcaf%C3%A9&source=bl&ots=Oe_8v6Nb8l&sig=dQVVUWgNysl85RJRScyn0cp3R34&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjU6fvUoYzNAhVIJx4KHxU1DXAQ6AEIGzAA#v=onepage&q=alvarado%20y%20rojas%2Bcaf%C3%A9&f=false (Diciembre, 2015)
4. Álvarez, E., Álvarez, F., Oliveros, C., y Montoya, E. (1999). Propiedades físico-mecánicas del fruto y del sistema fruto-pedúnculo del café variedad Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 52(2), 701-720. Colombia. Recuperado de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/23916/24581> (Enero, 2016)

5. Alves, E. (2009). *Variabilidade espacial e temporal da qualidade do café cerejeira produzido na região das Serras de Minas*. (Tesis presentada como parte de los requisitos del programa de postgrado en Ingeniería Agrícola, para obtener el título de Doctor). Universidad Federal Vicosa, Minas gerais, Brasil.
6. Amores, F., Duicela, L., Corral, R., Guerrero, H., Vasco, A., Motato, N., Solórzano, G., Zambrano, L., Aveiga, T., y Guedes, R. (2004). *Variedades Mejoradas de café arábigo: Una contribución para el desarrollo de la caficultura en el Ecuador*. Quevedo, Ecuador. Recuperado de <file:///D:/Documents/Downloads/Bolet%C3%ADn%20t%C3%A9cnico%20N%C2%BA%20113.PDF> (Octubre, 2015)
7. ANECAFE. (2015). *Estadísticas Nacionales*. Recuperado de <http://www.anecafe.org.ec/cafe-ecuador/estadisticas> (Septiembre, 2015)
8. Avallone, S., Guiraud, J., Guyot, B., Olguin, E., y Brillouet, J. (2001). Fate of mucilage cell wall polysaccharides during coffee fermentation. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 49(11), 5556–5559. doi: 10.1021/jf010510s
9. Avelino, J., Barboza, B., Araya, J., Fonseca, C., Davrieux, F., Guyot, B., y Cilas, C. (2005). Effects of slope exposure, altitude and yield on coffee quality in two altitude terraces of Costa Rica, Orosi and Santa María de Dota. *Journal of the science of food and agriculture*, 85(1), 1869-1876. doi: 10.1002/jsfa.2188
10. BCE. (2015). *Información Estadística Mensual No.1963 Septiembre 2015*. Recuperado de <http://contenido.bce.fin.ec/home1/estadisticas/bolmensual/IEMensual.jsp> (Septiembre, 2015)

11. Baron, G., y Fukunaga, E. (2006). *Harvesting and procesing for top quality coffee*. Recuperado de <http://hl-128-171-57-22.library.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/31054/1/coffeeharvesting.pdf> (Noviembre, 2015)
12. Bittenbender, S., y Easton, V. (2008). *Growing coffee in Hawai*. Recuperado de <http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/coffee08.pdf> (Octubre, 2015)
13. Brando, C., y Brando, M. (2013). Methods of coffee fermentation and drying. Schawn, R., y Fleet, G. (Ed.). *Cocoa and Coffee fermentations*, (pp. 367-397). New York, Estados Unidos. Recuperado de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=DD158CC0D357F78E018329948DFF915C> (Diciembre, 2015)
14. Carvajal, T., y Carrillo, R. (2001). *Producción de café tostado y molido: una alternativa micro empresarial*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=z3kzAQAAMAAJ&pg=PA1&dq=tostado+y+molienda+de+cafe&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwji9sbEgpfNAhUJySYKHYYomBNIQ6AEIJTAA#v=onepage&q=tostado%20y%20molienda%20de%20cafe&f=true> (Noviembre, 2015)
15. Carvajal, J., Aristizábal, I., y Oliveros, C. (2012). Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (*Coffea Arabica* L. var. Colombia) durante su desarrollo y maduración. *Revista Dyna*. 79(173), 116-124. Colombia. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49623206015> (Enero, 2016)
16. Castillo, J., y Moreno, R. (1988). *La variedad Colombia: selección de un cultivar compuesto resistente a la roya del cafeto*. Colombia.

- Recuperado de http://www.academia.edu/486880/La_variedad_Colombia_selecci%C3%B3n_de_un_cultivar_compuesto_resistente_a_la_roya_del_cafeto (Febrero, 2016)
17. Centro de comercio internacional. (2015). *Logística y seguros-café ensacado en contenedores: llenado y embalaje*. Recuperado de <http://www.intracen.org/guia-del-cafe/logistica-y-seguros/Cafe-ensacado-en-contenedores-llenado-y-embalaje/> (Diciembre, 2015)
 18. COFENAC. (2009). *Informe técnico 2009*. Portoviejo, Ecuador. Recuperado de <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/11/6-Informe-DT2009-COFENAC.pdf> (Octubre, 2015)
 19. COFENAC. (2010). *El sector cafetalero ecuatoriano*. Manabí, Ecuador. Recuperado de <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/11/5-Diagnostico-Sector.pdf> (Octubre, 2015)
 20. COFENAC. (2013). *Situación del sector cafetalero ecuatoriano. Diagnóstico*. Portoviejo, Ecuador. Recuperado de <http://www.cofenac.org/wp-content/uploads/2010/09/situacion-sector-cafe-ecu-2013.pdf> (Octubre, 2015)
 21. Cruz, R., Morais, S., y Casal, S. (2015). Mineral composition variability of coffees: A result of processing and production. Preedy, V. (Ed.). *Processing and impact on active components in food*, (pp. 549-558). New York, Estados Unidos: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-404699-3.00066-4
 22. Daniels, N. (2009). *Variations in coffee processing and their impact on quality and consistency*. (Submitted in partial fulfillment of the

requirements for the degree of Master of science in forestry).
Michigan Technological University, Houghton, United States

23. Decazy, F., Avelino, J., Guyot, B., Perrior, J., Pineda, C., y Cilas, C. (2003). Quality of Different Honduran Coffees in Relation to Several Environments. *Journal of food science*, 68(7), 2356-2361. doi: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb05772.x

24. De Castro, R., y Marraccini, P. (2006). Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 175-199. doi: 10.1590/S1677-04202006000100013

25. Donzeles, M., Sousa, L., Silva, J., Martin, S., Zanatta, F., y Paiva, E. (2011). Avaliação de um secado mecânico para cafeicultura familiar. *Revista Brasileira de Armazenamento*, 36(1), 28–38. Recuperado de http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio6/416.pdf

26. Duicela, L., Corral, R., Farfán, D., Cedeño, L., Palma, R., Sánchez, J., y Villacís, J. (2003). *Caracterización física y organoléptica de cafés arábigos en los principales agro ecosistemas del Ecuador* (1 era. ed.). Manta, Ecuador: Impregcol. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=S4QzAQAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true (Octubre, 2015)

27. Duicela, L., García, J., Corral, R., Farfán, D., y Fernández, F. (2004). *Calidad física y organoléptica de los cafés robustas Ecuatorianos*. Manabí, Ecuador. Recuperado de <http://cofenac.org/documentos/Estudio-Calidad-Cafes-Robustas.pdf> (Septiembre, 2015)

28. Duicela, L. (2011). *Manejo sostenible de fincas cafetaleras: Buenas prácticas en la producción de café arábigo y gestión de la calidad en las organizaciones de productores* (1 era. ed.). Portoviejo, Ecuador: CGRAF
29. Enden, J., y Calvert, K. (2012). *Review of coffee waste water characteristics and approaches to treatment*. Vietnam <http://www.coffee.20m.com/CoffeeProcessing/CoffeeWasteWater.pdf> (Diciembre, 2015)
30. FAO. (2014). *Fermentation of coffee-control of operation*. Recuperado de http://www.ico.org/projects/Good-Hygiene-Practices/cnt/cnt_en/sec_3/docs_3.3/fermentation.pdf (Enero, 2016)
31. Farah, A., y Ferreira, T. (2015). The coffee plant and beans: an introduction. Preedy, V. (Ed.). *Coffee in health and disease prevention*, (pp. 5-10). New York, Estados Unidos: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-409517-5.00001-2
32. FNC. (2004). *Aprenda a vender su café*. Bogota. Recuperado de http://www.federaciondecafeteros.org/static/files/CAFE_PAISA_OCT_NOV.pdf (Noviembre, 2015)
33. Ferreira, C. (2013). Microbial Activity during coffee fermentation. Schawn, R., y Fleet, G. (Ed.). *Cocoa and Coffee fermentations* (pp. 397-430). New York, Estados Unidos. Recuperado de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=DD158CC0D357F78E018329948DFF915C> (Diciembre, 2015)
34. Fischersworing, B., y Robkamp, R. (2001). *Guía para la caficultura Ecológica: condiciones para una caficultura ecológica* (3 era. ed.). Bogotá, Colombia: Editorial López

35. FUNDESYRAM. (2010). *Guía para la innovación de la caficultura*. El salvador. Recuperado de: <https://www.yumpu.com/es/document/view/21073424/guia-para-la-innovacion-de-la-caficultura-fundesyram> (Septiembre, 2015)
36. González, O., Suarez, M., Boulanger, R., Barel, M., Guyot, B., Pierre, J., y Schorr, S. (2007). Impact of “ecological” post-harvest processing on the volatile fraction of coffee beans. *Journal of food composition and analysis*. 20(2), 289-296. doi: 10.1016/j.jfca.2006.0.009
37. Guharay, F., Monterrey, J., Monterroso, D., y Staver, C. (2000). *Manejo integrado de plagas en el cultivo del café Managua*. Recuperado de <https://www.catie.ac.cr/publicaciones-catie/2970/manejo-integrado-de-plagas-en-el-cultivo-del-cafe.html> (Octubre, 2015)
38. Gutiérrez, H., y De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (2 ed). México, México: Mc Graw Hill.
39. Hatzold, T. (2012). The coffee: introduction. Yi-Fang, C. (Ed.). *Coffee: emerging health effects and disease prevention*, (pp. 1-20). Iowa, Estados Unidos: Blackwell. Recuperado de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=670dd7b3bb423fc08599c817865610c3> (Septiembre, 2015)
40. INEN. (2006). *NTE INEN 285 Café verde en grano. Clasificación y requisitos*. Quito, Ecuador.
41. INEN. (2012a). *NTE INEN-ISO 4149 Café verde - examen olfativo y visual y determinación de materia extraña y defectos (IDT)*. Quito, Ecuador.
42. INEN. (2012b). *NTE INEN-ISO 6668 Preparación de muestras para análisis sensorial (IDT)*. Quito, Ecuador.

43. INEN. (2012c). *NTE INEN-ISO 6673 Café verde. Determinación de la pérdida de masa a 105 °C (IDT)*. Quito, Ecuador.
44. INEN. (2013). *NTE INEN-ISO 6669 Café verde y tostado. Determinación de la densidad aparente (a granel) de los granos enteros por el método de caída libre. Prueba de rutina (IDT)*. Quito, Ecuador.
45. INEC. (2011). *Boletín agropecuario mensual N° 16*. Quito, Ecuador. Recuperado de http://www.inec.gob.ec/estadisticas/?option=com_content&view=article&id=316 (Agosto, 2015)
46. INEC. (2014). *Procesador de estadísticas agropecuarias*. Recuperado de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/procesador-de-estadisticas-agropecuarias-3/> (Octubre, 2015)
47. INIAP. (2000). *Café arábigo*. Recuperado de <http://www.tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcafec/rcafea> (Octubre, 2015)
48. INIAP. (2014). *Metodología de Evaluación de las variedades de café en Ecuador*. Recuperado de http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Metodologia_evaluacion_variedades_Caf%C3%A9.pdf (Octubre, 2015)
49. ICO. (2011). *Aspectos botánicos*. Recuperado de http://www.ico.org/es/botanical_c.asp?section=Acerca_del_caf%E9 (Septiembre, 2015)
50. Jackels, S., Jackels, C., Vallejos, C., Kleven, S., Rivas, R., y Fraser, S. (2006). *Control of the coffee fermentation process and quality of resulting roasted coffee: Studies in the field laboratory and on small farms in Nicaragua during the 2005-06 Harvest*. Recuperado de

<http://faculty.washington.edu/jackels/research/ASICPaperFinalV2.8.pdf> (Enero, 2016)

51. Kleinwächter, M., Bytof, G., y Selmar, D. (2014). Coffee Beans and Processing. Preedy, V. (Ed.). *Coffee in health and disease prevention*, (pp. 73-82). New York, Estados Unidos: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-409517-5.00009-7

52. Kuit, M., Jansen, D., y Van, N. (2004). *Manual for Arabica cultivation. Project "Improvement of coffee quality and sustainability of coffee production in Vietnam"*. Recuperado de <https://bootcoffee.com/wp-content/uploads/2015/04/manual-for-arabica-cultivation-vs.pdf> (Diciembre, 2015)

53. Leroy, T., Ribeyre, F., Bertrand, B., Charmetant, P., Dufour, M., Montagnon, C., Marraccini, P., y Pot, D. (2006). Genetics of coffee quality. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 229–242. doi:10.1590/S1677-04202006000100016

54. Malaka, A., Omaima, M., Nagwa, S., Shamma, E., y Maksoud, A. (2013). Performance of Arabica Coffee Grown in Two Locations in Egypt. *World Applied Sciences Journal*, 25(7), 988-992. doi: 10.5829/idosi.wasj.2013.25.07.13386

55. Mangal, S. (2007). *Coffee: Planting, production and processing* (1 era. ed.). New Delhi, India. Recuperado de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=70a23f9837f0628d9421269a75483f7e> (Septiembre, 2015)

56. Marín, S., Arcila, J., Montoya, E., y Oliveros, C. (2003). Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café. *Revista Cenicafé*, 54(3), 208-225. Recuperado de

[http://www.cenicafe.org/es/publications/arc054\(03\)208-225.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc054(03)208-225.pdf)
(Septiembre, 2015)

57. Marín, S., Arcila, J., Montoya, E., y Oliveros, C. (2003b). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Revista Cenicafé*, 54(4), 297-315. Recuperado de [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc054\(04\)297-315.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc054(04)297-315.pdf) (Noviembre, 2015)
58. Masoud, W., y Jespersen, L. (2006). Pectin degrading enzymes in yeasts involved in fermentation of *Coffea arabica* in East Africa. *International Journal of food microbiology*. 110(1), 291-296. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.030
59. Martínez, A., Marcal, D., Gaskin, B., y Zandonadi, R. (2006). Determinación de propiedades físico-mecánicas de los frutos de café (*Coffea Arabica* variedad Catuai) relacionadas con la cosecha mecanizada. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 15(3), 22-27. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215305> (Enero, 2016)
60. Mayorga, I. (2010). *Aspectos del café para la industria torrefactora nacional*. Recuperado de http://www.iue.edu.co/porta1/images/negocios_internacionales/cafe/LACALIDADENLAINDUSTRIADELCAFE.pdf (Diciembre, 2015)
61. Mejía, C., Oliveros, C., Sanz, J., Moreno, E., y Rodríguez, L. (2007). Evaluación del desempeño técnico y ambiental de un desmucilagador de café con rotor de varillas. *Revista Cenicafé*, 58(2), 122-133. Recuperado de [http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/193/1/arc058\(02\)122-133.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/193/1/arc058(02)122-133.pdf)

62. MAG. (1988). *Programa Nacional del café: Zonificación del cultivo del café* (1 era. ed.). Portoviejo, Ecuador: MAG.
63. MAGAP. (2012). *Proyecto de reactivación de la caficultura ecuatoriana*. Recuperado de <http://www.agricultura.gob.ec/magap-ejecuta-proyecto-de-reactivacion-de-la-caficultura-ecuadoriana/> (septiembre, 2015).
64. Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E., Puerta, G., Oliveros, C., y Cadena, G. (2008). Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café durante el proceso de beneficio húmedo tradicional. *Revista Cenicafé*, 59(2), 120-142. Recuperado de <http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059%2802%29120-142.pdf>
65. Nigam, P., y Singh, A. (2014). Cocoa and Coffee Fermentations. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 6(1), 485-492. doi 10.1016/B978-0-12-384730-0.00074-4
66. Orozco, C., Cantarero, V., y Rodríguez, J. (2001). Tratamiento Anaeróbico de las aguas mieles de café. *Seminario-taller: Tratamiento anaeróbico de los residuos del café: una alternativa energética para la disminución del impacto ambiental del sector*, (52-59) Matagalpa, Nicaragua: PROMECAFÉ. Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A8615e/A8615e.pdf> (Diciembre, 2015)
67. Parra, A., Roa, G., y Oliveros, C. (2008). SECAFÉ Parte II: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 12(4), 428-434. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n4/v12n04a14.pdf> (Marzo, 2016)

68. Peñuela, A. (2010). *Estudio de la remoción del mucílago de café a través de fermentación natural*. (Tesis de grado para optar por el título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente). Universidad de Manizales, Caldas, Colombia.
69. Puerta, G. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Revista Cenicafé*. 51(2), 136-150. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/65> (Octubre, 2015)
70. Puerta, G. (2012). Factores, Procesos y controles en la fermentación del café. *Revista Cenicafé*. Avance técnico 422. Recuperado de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0422.pdf> (Agosto, 2015)
71. Puerta, G., y Echeverry, J. (2015). *Fermentación controlada del café: Tecnología para agregar valor a la calidad*. Avance técnico 454. Recuperado de <http://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/558> (Diciembre, 2015)
72. PRO ECUADOR. (2013). *Análisis sectorial de café*. Quito, Ecuador: MRECI. Recuperado de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/PROEC_AS2013_CAFE.pdf (Octubre, 2015)
73. Quiliguango, R. (2013). *Influencia de cuatro métodos de beneficio sobre la calidad física y organoléptica del café arábigo (Coffea arabica L.) en dos pisos altitudinales del Noroccidente de Pichincha*. (Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma no publicado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
74. Ramos, P., Sanz, J., y Oliveros, C. (2010). Identificación y clasificación de frutos de café en tiempo real a través de la medición de color. *Revista Cenicafé*. 61(4), 315-326. Recuperado de

[http://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(04\)315-326.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(04)315-326.pdf)
(Septiembre, 2015)

75. Rao, S. (2014). *The coffee roaster's companion* (1 era. ed.). New York. Estados Unidos. Recuperado de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=2379681ff78c85fcf80312e07d97a2aa> (Marzo, 2016)

76. Revista El Agro. (2012). *Buenas perspectivas para el café ecuatoriano*. Quito, Ecuador: Uminasa. Recuperado de <http://www.revistaelagro.com/2012/10/04/buenas-perspectivas-para-el-cafe-ecuatoriano/> (Septiembre, 2015)

77. Schawn, R., y Wheals, A. (2004). Mixed microbial fermentations of chocolate and coffee. *Critical reviews in food science and nutrition*, 44(4), 429-449. doi: 10.1533/9781845698485.429

78. Sakiyama, N., y Gava, A. (2013). Botany and Production of coffee. Schawn, R., y Fleet, G. (Ed.). *Cocoa and Coffee fermentations* (pp. 341-396). New York, Estados Unidos. <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=DD158CC0D357F78E018329948DFF915C>

79. Sampaio, C., Nogueira, R., Roberto, C., y Silva, J. (2007). Development of a dryer with airflow reversal and a pneumatic system for grain movement. *Biosystems engineering*, 98(1), 33-38. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.02.014

80. Sfredo, M., Finzer, J., y Limaverde, J. (2005). Heat and mass transfer in coffee fruits drying. *Journal of food engineering*, 70(1), 15-25. doi 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.008

81. Silva, S., Queiroz, D., Pinto, F., y Santos, N. (2014). Coffee quality and its relationship with Brix degree and colorimetric information of coffee cherries. *Precision agriculture*, 15(1), 543-554. doi: 10.1007/s11119-014-9352-y
82. SINAGAP. (2014). *Boletín Situacional del café*. Recuperado de <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/BoletinesCultivos/2015/eBoletin%20situacional%20de%20cafe%202014%20actualizado.pdf> (Septiembre, 2015)
83. Somoza, P. (2010). *Tratamiento de las aguas residuales del café mediante la implementación de filtros verdes en dos centros de acopio y beneficio*. (Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo no publicada). Universidad Técnica de Manabí, Manabí, Ecuador.
84. Sotomayor, I., y Duicela, L. (1993). Principales variedades. Sotomayor, I. (Ed.). *Manual del cultivo de café*, (pp. 43,48). Quevedo, Ecuador: INIAP. Recuperado de <file:///D:/Documents/Downloads/Manual%20del%20cultivo%20de%20cafe.pdf> (Octubre, 2015).
85. Specialty Coffee Association of America. (2008). *Protocolos de catación*. Recuperado de <http://www.scaa.org/>. (Agosto, 2015).
86. Tanokura, M., y Wei, F. (2015). Chemical changes in the components of coffee beans during roasting. Preedy, V. (Ed.). *Coffee in health and disease prevention*, (pp. 83-92). New York, Estados Unidos: Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-409517-5.00010-3
87. Uribe, H. (1977). *Constantes físicas y factores de conversión en café*. Avances técnicos Cenicafé N ° 65. Recuperado de <http://www.cenicafe.org/es/index.php/servicios/biblioteca> (Diciembre, 2015).

88. 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*, 83(2), 233-239. doi: 10.1007/s40011-012-0130-1
89. Vidal, M. (2014). *Rango ideal de concentración de sólidos solubles durante la maduración del café y su influencia sobre la calidad de taza en dos variedades y tres niveles altitudinales*. (Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo con énfasis en gerencia agrícola en el grado académico de licenciado no publicada). Universidad Rafael Landívar, Asuncion, Guatemala.
90. Waller, J., Bigger, M., y Hillocks, R. (2007) *Coffee Pests, Diseases, and Their Management*. Doi: 10.1079/9781845931292.0000.
91. Wei, L., Wai, M., Curran, P., Yu, B., y Quan, S. (2015). Coffee fermentation and flavor-an intricate and delicate relationship. *Food chemistry* 185(1), 182-191, doi:10.1016/j.foodchem.2015.03.
92. Wintgens, J. (2004). *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production* (2nd ed.). Weinheim: Wiley-VCH, Recuperado de <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=61FD0EAC4093C40B3B88DC37246754BE> (Diciembre, 2015)

ANEXOS

ANEXO I

FOTOGRAFÍAS DEL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA Y
 PROCESAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE
 CAFÉ



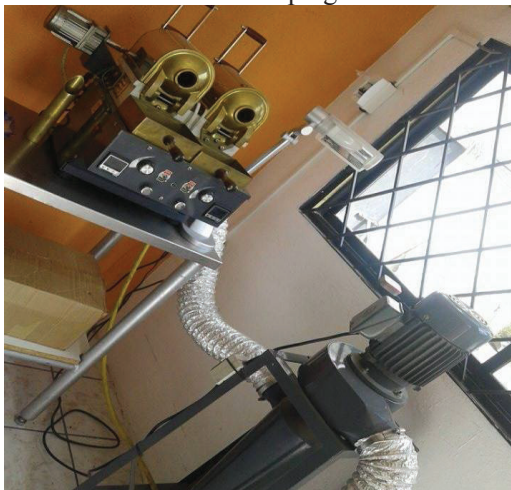
Figura AI.1. Fotografías del beneficio por vía húmeda de café



Trillado de café pergamino



Evaluación física de café oro



Tostado de café



Preparación de las muestras



Molido de café



Utensilios para la catación de café

Figura AI.2. Fotografías del procesamiento para la evaluación de la calidad de café

ANEXO II

MODELO MATEMÁTICO DEL DISEÑO FACTORIAL 3K

El modelo matemático está dado por la ecuación All.1 (Gutiérrez y De la Vara, 2008, p. 240)

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \delta_j + (\gamma\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad [\text{All.1}]$$

Donde:

Y_{ijk} : Observaciones o datos

μ : Promedio global

γ_i : Efecto del nivel i-ésimo del factor A

δ_j : Efecto del nivel j-ésimo del factor B

$(\gamma\delta)_{ij}$: Efecto de la interacción entre γ_i y δ_j

ε_{ijk} : Error aleatorio

i: niveles del factor A

j: niveles del factor B

k: número de repeticiones

ANEXO III

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA Y EN EL PROCESAMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE CAFÉ

Tabla AIII.1. ANOVA del diámetro ecuatorial de los frutos de café

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0361	2	0,0180	18,74	0,0002
B:Categoría	95,5308	3	31,8436	33084,28	0,0000
Interacciones AB	0,0033	6	0,0005	0,57	0,7472
Residuos	0,0116	12	0,0010		
TOTAL (Corregido)	95,5818	23			

Tabla AIII.2. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del diámetro ecuatorial de los frutos de café

Categoría	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Seco	6	9,695	0,0127	X
Verde	6	11,203	0,0127	X
Sobremaduro	6	13,595	0,0127	X
Maduro	6	14,802	0,0127	X

Tabla AIII.3. ANOVA del diámetro polar de los frutos de café

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0307	2	0,0153	19,12	0,0002
B:Categoría	34,9120	3	11,6373	14471,31	0,0000
Interacciones AB	0,0031	6	0,0005	0,65	0,6895
Residuos	0,0096	12	0,0008		
TOTAL (Corregido)	34,9556	23			

Tabla AIII.4. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del diámetro polar de los frutos de café

Categoría	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Seco	6	13,183	0,0116	X
Verde	6	14,152	0,0116	X
Sobremaduro	6	15,643	0,0116	X
Maduro	6	16,240	0,0116	X

Tabla AIII.5 ANOVA del peso de los frutos de café

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	7,03	2	3,52	15,09	0,0005
B:Categoría	65998,70	3	21999,60	94452,57	0,0000
Interacciones AB	0,78	6	0,13	0,56	0,7573
Residuos	2,79	12	0,232		
TOTAL (Corregido)	66009,30	23			

Tabla AIII.6. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del peso de los frutos de café

Categoría	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Seco	6	64,90	0,1970	X
Verde	6	150,90	0,1970	X
Sobremaduro	6	187,32	0,1970	X
Maduro	6	198,63	0,1970	X

Tabla AIII.7. ANOVA de ° Brix de los frutos de café

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,04	2	0,017	2,49	0,1243
B:Categoría	2041,10	3	680,366	96448,86	0,0000
Interacciones AB	0,06	6	0,011	1,54	0,2452
Residuos	0,08	12	0,007		
TOTAL (Corregido)	2041,28	23			

Tabla AIII.8. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de ° Brix de los frutos de café

Categoría	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Verde	6	0,00	0,0343	X
Seco	6	0,00	0,0343	X
Maduro	6	16,66	0,0343	X
Sobremaduro	6	19,94	0,0343	X

Tabla AIII.9. ANOVA del % remoción de mucílago en la fermentación de café

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	2,8462	2	1,4231	3,43	0,0781
B:Fermentación	2,1137	2	1,0568	2,55	0,1328
Interacciones AB	1,5616	4	0,3904	0,94	0,4830
Residuos	3,7338	9	0,4148		
TOTAL (Corregido)	10,2553	17			

Tabla AIII.10. ANOVA del tiempo de fermentación de café

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,359	2	0,179	9,78	0,06
B:Fermentación	1279,150	2	639,575	34885,94	0,00
Interacciones AB	0,074	4	0,019	1,01	0,45
Residuos	0,165	9	0,018		
TOTAL (Corregido)	1279,750	17			

Tabla AIII.11. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del tiempo de fermentación de café para el factor fermentación

Fermentación	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Seca	6	17,417	0,055	X
Combinada	6	22,380	0,055	X
Sumergida	6	37,257	0,055	X

Tabla AIII.12. ANOVA de la temperatura de la masa de café en la fermentación seca

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0409	2	0,0205	0,81	0,4586
B:Tiempo	43,5478	5	8,7095	346,38	0,0000
Interacciones AB	0,2230	10	0,0223	0,89	0,5620
Residuos	0,4526	18	0,0251		
TOTAL (Corregido)	44,2644	35			

Tabla AIII.13. ANOVA de la temperatura de la masa de café en la fermentación combinada

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,1157	2	0,0579	3,01	0,0711
B:Tiempo	61,4244	6	10,2374	531,88	0,0000
Interacciones AB	0,0376	12	0,0031	0,16	0,9988
Residuos	0,4042	21	0,0192		
TOTAL (Corregido)	61,9819	41			

Tabla AIII.14. ANOVA de la temperatura de la masa de café en la fermentación sumergida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0395	2	0,0197	3,09	0,0588
B:Tiempo	109,8750	10	10,9875	1720,46	0,0000
Interacciones AB	0,0228	20	0,0011	0,18	0,9999
Residuos	0,2107	33	0,0064		
TOTAL (Corregido)	110,1480	65			

Tabla AIII.15. ANOVA de la temperatura de la masa de café para los diferentes tipos de fermentación

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0200	2	0,0100	1,10	0,3729
B:Fermentación	12,7471	5	6,3735	702,53	0,0000
Interacciones AB	0,0157	4	0,0039	0,43	0,7823
Residuos	0,0817	9	0,0091		
TOTAL (Corregido)	12,8644	17			

Tabla AIII.16. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de la temperatura de la masa de café para el factor fermentación

Fermentación	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Sumergida	6	24,1783	0,0389	X
Seca	6	25,8667	0,0389	X
Combinada	6	26,0467	0,0389	X

Tabla AIII.17. ANOVA de pH de la masa de café en la fermentación seca

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0069	2	0,0034	3,37	0,0569
B:Tiempo	10,5754	5	2,1151	2097,60	0,0000
Interacciones AB	0,0105	10	0,0010	1,04	0,4506
Residuos	0,0182	18	0,0010		
TOTAL (Corregido)	10,6108	35			

Tabla AIII.18. ANOVA de pH de la masa de café en la fermentación combinada

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0016	2	0,000959524	2,80	0,0837
B:Tiempo	6,6625	6	1,18365	3452,50	0,0000
Interacciones AB	0,0034	12	0,000253968	0,74	0,6991
Residuos	0,0072	21	0,000342857		
TOTAL (Corregido)	7,1141	41			

Tabla AIII.19. ANOVA de pH de la masa de café en la fermentación sumergida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0008	2	0,0004	2,94	0,067
B:Tiempo	11,1755	10	1,1176	7764,06	0,000
Interacciones AB	0,0100	20	0,0005	3,48	0,070
Residuos	0,0047	33	0,0001		
TOTAL (Corregido)	11,1912	65			

Tabla AIII.20. ANOVA del pH de la masa de café para los diferentes tipos de fermentación

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0029	2	0,0014	3,65	0,0691
B:Fermentación	1,4260	2	0,7130	1807,62	0,0000
Interacciones AB	0,0015	4	0,0004	0,92	0,4918
Residuos	0,0036	9	0,0004		
TOTAL (Corregido)	1,4339	17			

Tabla AIII.21. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del pH de la masa de café para el factor fermentación

Fermentación	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Seca	6	3,777	0,0081	X
Combinada	6	3,985	0,0081	X
Sumergida	6	4,450	0,0081	X

Tabla AIII.22. ANOVA de la regresión pH - Temperatura de la masa de café

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	10,223	1	10,223	675,960	0,000
Residual	0,968	64	0,015		
Total (Corr.)	11,191	65			

Tabla AIII.23. ANOVA de ° Brix de la masa de café en la fermentación seca

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,104	2	0,052	3,49	0,052
B:Tiempo	70,453	5	14,091	944,27	0,000
Interacciones AB	0,038	10	0,004	0,26	0,984
Residuos	0,269	18	0,015		
TOTAL (Corregido)	70,864	35			

Tabla AIII.24. ANOVA de ° Brix de la masa de café en la fermentación combinada

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,115	2	0,058	3,43	0,051
B:Tiempo	795,937	6	132,656	7904,04	0,000
Interacciones AB	0,449	12	0,037	2,23	0,052
Residuos	0,352	21	0,017		
TOTAL (Corregido)	796,853	41			

Tabla AIII.25. ANOVA de ° Brix de la masa de café en la fermentación sumergida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,0142	2	0,0071	3,03	0,0617
B:Tiempo	97,2156	10	9,7216	4155,59	0,0000
Interacciones AB	0,0150	20	0,0007	0,32	0,9952
Residuos	0,0772	33	0,0023		
TOTAL (Corregido)	97,3221	65			

Tabla AIII.26. ANOVA de ° Brix de la masa de café para los diferentes tipos de fermentación

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,023	2	0,011	1,32	0,315
B:Fermentación	113,393	2	56,696	6575,62	0,000
Interacciones AB	0,009	4	0,002	0,25	0,903
Residuos	0,078	9	0,009		
TOTAL (Corregido)	113,502	17			

Tabla AIII.27. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de ° Brix de la masa de café para el factor fermentación

Fermentación	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Sumergida	6	8,307	0,038	X
Combinada	6	8,730	0,038	X
Seca	6	13,830	0,038	X

Tabla AIII.28. ANOVA de la regresión ° Brix - Temperatura de la masa de café

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	84,281	1	84,281	413,61	0,000
Residual	13,041	64	0,204		
Total (Corr.)	97,322	65			

Tabla AIII.29. ANOVA del peso hectolítrico determinado en café pergamino

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Fermentación	4,259	2	2,129	14,94	0,001
B:Procedencia	0,502	2	0,251	1,76	0,226
Interacciones AB	2,288	4	0,572	4,01	0,039
Residuos	1,283	9	0,143		
TOTAL (Corregido)	8,331	17			

Tabla AIII.30. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del peso hectolítrico de café pergamino para el factor fermentación

Fermentación	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Seca	6	73,342	0,154	X
Combinada	6	73,758	0,154	X
Sumergida	6	74,517	0,154	X

Tabla AIII.31. ANOVA de la humedad de café pergamino

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,241	2	0,121	3,09	0,095
B:Fermentación	0,054	2	0,027	0,69	0,528
Interacciones AB	0,273	4	0,068	1,75	0,223
Residuos	0,351	9	0,039		
TOTAL (Corregido)	0,919	17			

Tabla AIII.32. ANOVA del diámetro polar de café oro

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,1232	2	0,0616	19,60	0,0005
B:Fermentación	0,0097	2	0,0049	1,55	0,2644
Interacciones AB	0,0007	4	0,0001	0,06	0,9926
Residuos	0,0283	9	0,0031		
TOTAL (Corregido)	0,1620	17			

Tabla AIII.33. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del diámetro polar de café oro para el factor procedencia

Procedencia	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Nuevo Pacto	6	9,118	0,023	X
Paraíso	6	9,202	0,023	X
Paraguas	6	9,320	0,023	X

Tabla AIII.34. ANOVA del diámetro ecuatorial de café oro

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	0,126	2	0,063	14,68	0,002
B:Fermentación	0,014	2	0,007	1,59	0,257
Interacciones AB	0,005	4	0,001	0,27	0,888
Residuos	0,039	9	0,004		
TOTAL (Corregido)	0,183	17			

Tabla AIII.35. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del diámetro ecuatorial de café oro para el factor procedencia

Procedencia	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Nuevo Pacto	6	6,920	0,027	X
Paraíso	6	7,028	0,027	X
Paraguas	6	7,125	0,027	X

Tabla AIII.36. ANOVA del peso de café oro

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	2,502	2	1,251	14,09	0,002
B:Fermentación	0,172	2	0,086	0,97	0,415
Interacciones AB	0,037	4	0,009	0,10	0,978
Residuos	0,799	9	0,089		
TOTAL (Corregido)	3,511	17			

Tabla AIII.37. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del peso de café oro para el factor procedencia

Procedencia	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Nuevo Pacto	6	17,160	0,122	X
Paraíso	6	17,435	0,122	X
Paraguas	6	18,052	0,122	X

Tabla AIII.38. ANOVA del rendimiento de café pergamino a café oro

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	6,166	2	3,083	10,71	0,004
B:Fermentación	0,056	2	0,028	0,10	0,908
Interacciones AB	0,034	4	0,008	0,03	0,998
Residuos	2,589	9	0,288		
TOTAL (Corregido)	8,845	17			

Tabla AIII.39. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) del rendimiento de café pergamino a café oro para el factor procedencia

Procedencia	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Nuevo Pacto	6	81,765	0,219	X
Paraíso	6	82,613	0,219	X
Paraguas	6	83,190	0,219	X

Tabla AIII.40. ANOVA de la impresión global de la bebida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A:Procedencia	56,5544	2	29,2772	148,65	0,0000
B:Fermentación	13,7878	2	6,8939	35,00	0,0001
Interacciones AB	14,6789	4	3,6697	18,63	0,0002
Residuos	1,7726	9	0,1969		
TOTAL (Corregido)	86,7937	17			

Tabla AIII.41. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de la impresión global de la bebida para el factor fermentación

Fermentación	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Combinada	6	79,950	0,181	X
Seca	6	82,067	0,181	X
Sumergida	6	84,367	0,181	X

Tabla AIII.42. Prueba de rangos múltiples LSD (95 %) de la impresión global para el factor procedencia

Procedencia	Repeticiones	LS Media	LS Sigma	Grupos Homogéneos
Pacto	6	79,825	0,098	X
Paraíso	6	81,950	0,098	X
Paraguas	6	84,167	0,098	X

Tabla AIII.43. ANOVA de la regresión % granos sanos – impresión global de la bebida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	5,876	1	5,876	4,11	0,082
Residual	9,998	7	1,428		
Total (Corr.)	15,875	8			

Tabla AIII.44. ANOVA de la regresión aroma – sabor de la bebida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,699	1	0,699	7,87	0,026
Residual	0,621	7	0,089		
Total (Corr.)	1,320	8			

Tabla AIII.45. ANOVA de la regresión sabor – sabor residual de la bebida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,6050	1	0,6050	16,89	0,0045
Residual	0,2507	7	0,0358		
Total (Corr.)	0,8557	8			

Tabla AIII.46. ANOVA de la regresión impresión global – puntaje del catador

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	32,466	1	32,466	11,62	0,011
Residual	19,564	7	2,795		
Total (Corr.)	52,030	8			

Tabla AIII.47. ANOVA de la regresión impresión global – sabor de la bebida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	27,482	1	27,482	7,84	0,027
Residual	24,549	7	3,507		
Total (Corr.)	52,030	8			

Tabla AIII.48. ANOVA de la regresión limpieza – defectos de la bebida

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	8,154	1	8,154	7,39	0,029
Residual	7,721	7	1,103		
Total (Corr.)	15,875	8			

Tabla AIII.49. ANOVA de la regresión granos sanos – puntaje del catador

Efectos	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	7,419	1	7,419	6,14	0,042
Residual	8,456	7	1,208		
Total (Corr.)	15,875	8			

ANEXO IV

PERFIL DE TAZA DE LOS TRATAMIENTOS

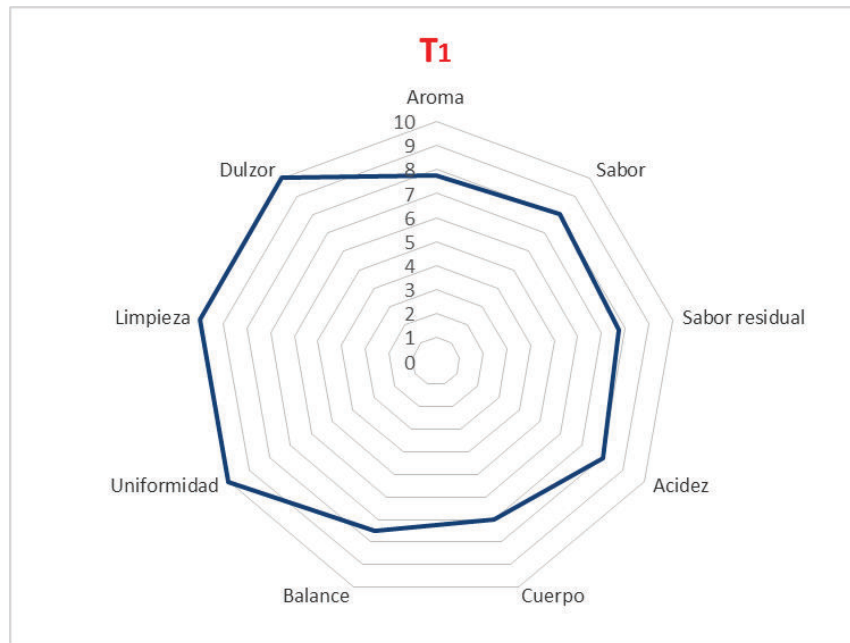


Figura AIV.1. Perfil de tazas para el tratamiento T₁. Paraguas, Fermentación seca

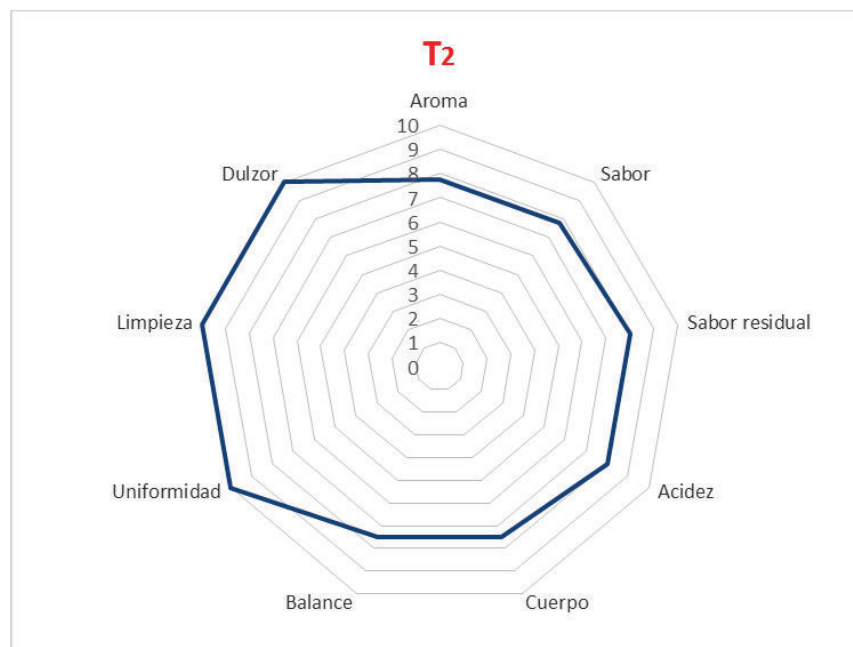


Figura AIV.2. Perfil de tazas para el tratamiento T₂. Paraguas, Fermentación sumergida

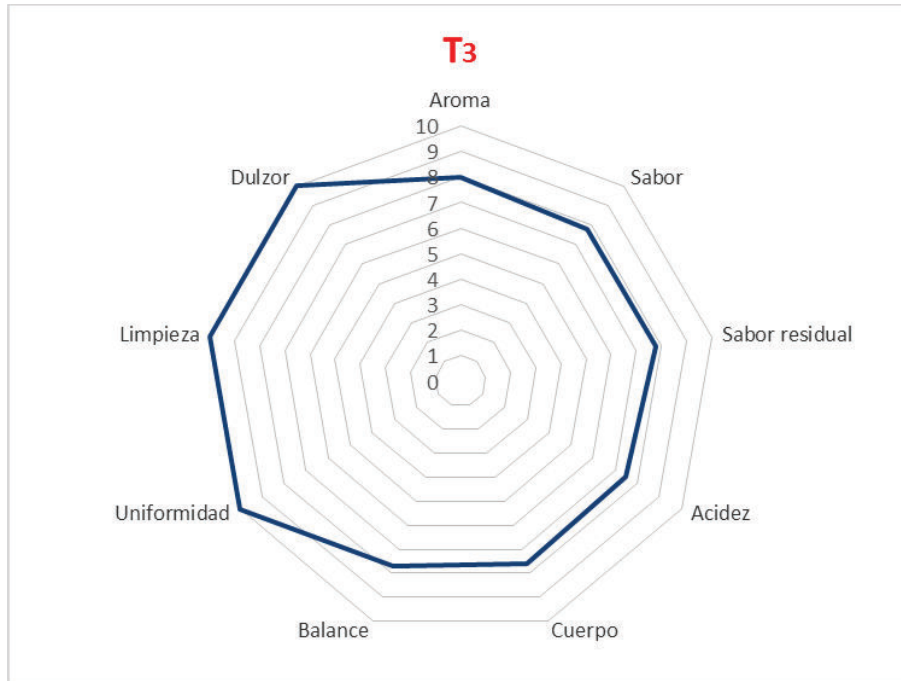


Figura AIV.3. Perfil de tazas para el tratamiento T₃. Paraguas, Fermentación combinada

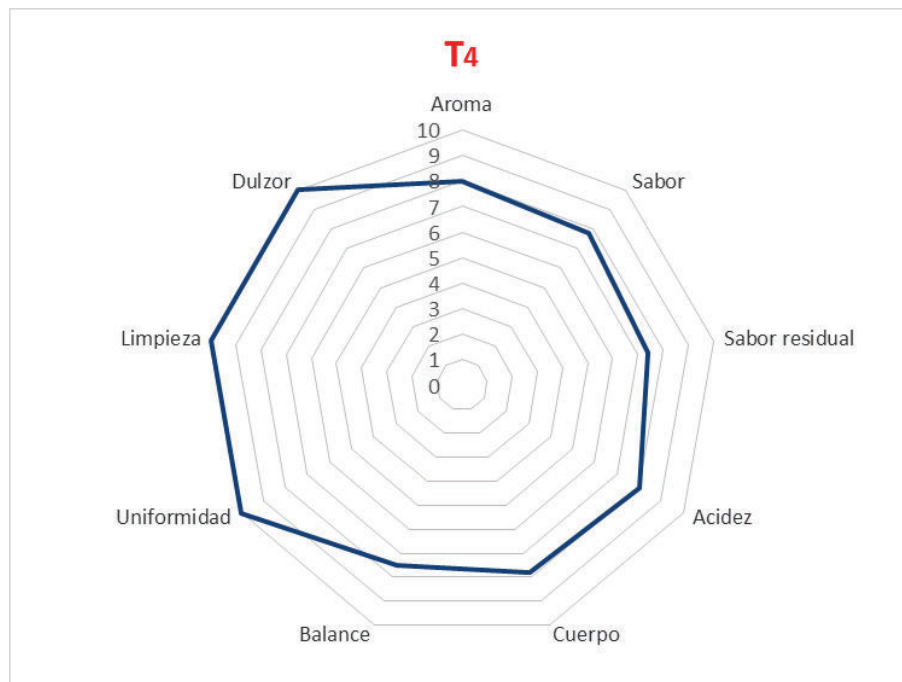


Figura AIV.4. Perfil de tazas para el tratamiento T₄. El Paraíso, Fermentación seca

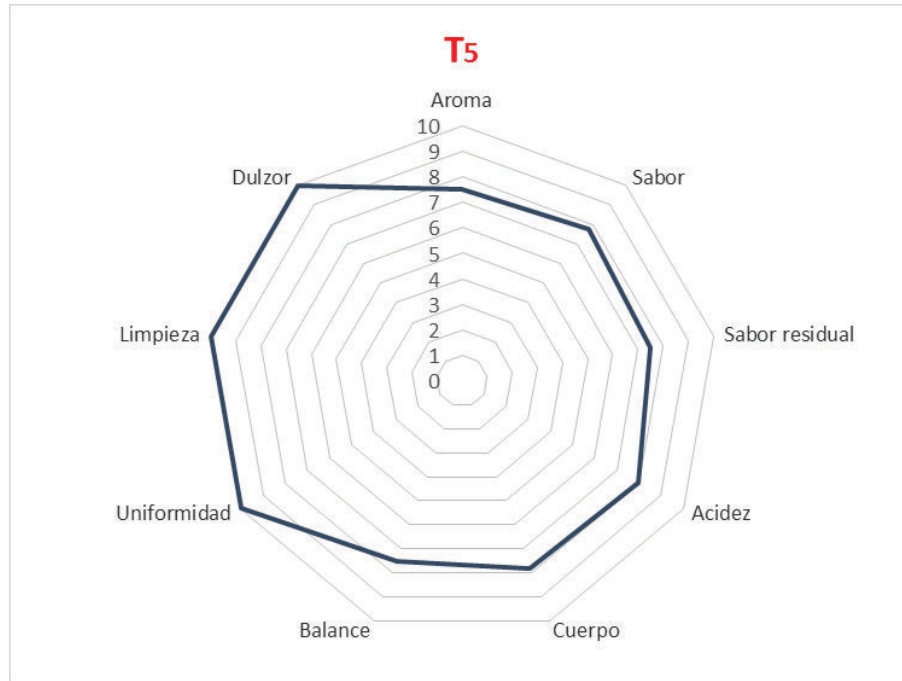


Figura AIV.5. Perfil de tazas para el tratamiento T₅. El Paraíso, Fermentación sumergida

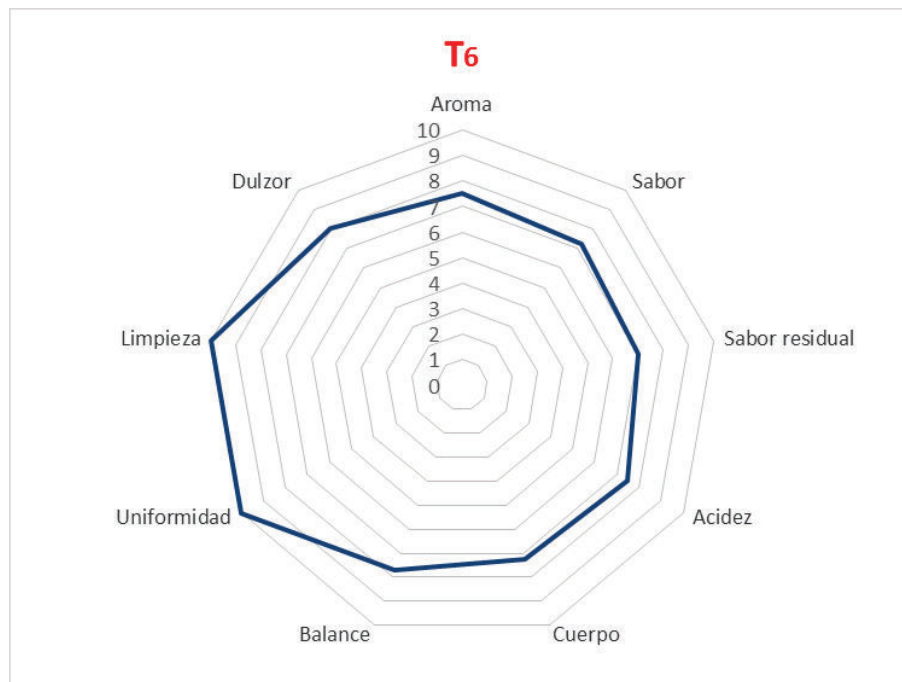


Figura AIV.6. Perfil de tazas para el tratamiento T₆. El Paraíso, Fermentación combinada

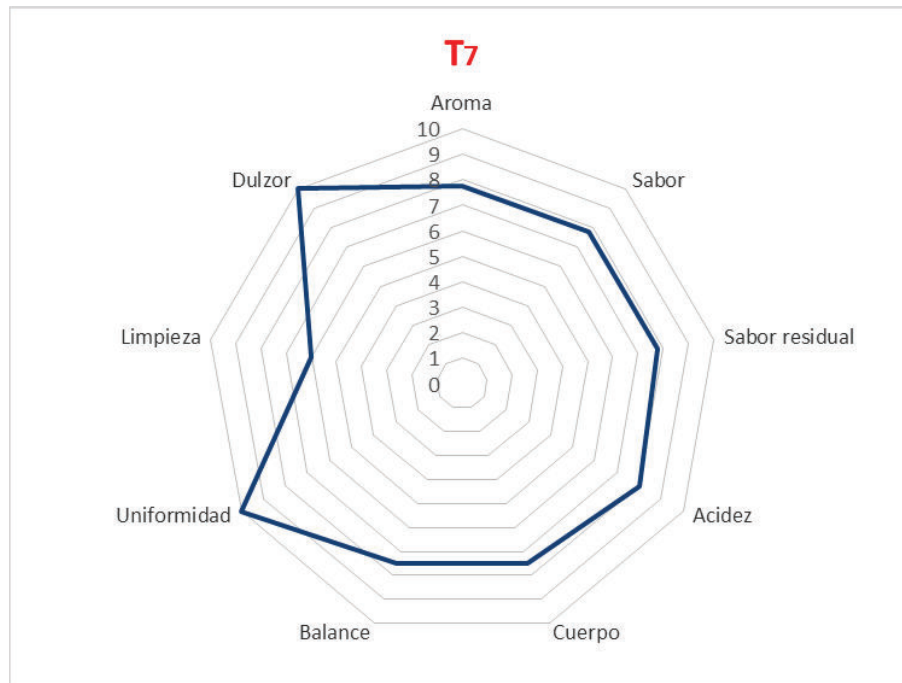


Figura AIV.7. Perfil de tazas para el tratamiento T₇. Nuevo Pacto, Fermentación seca

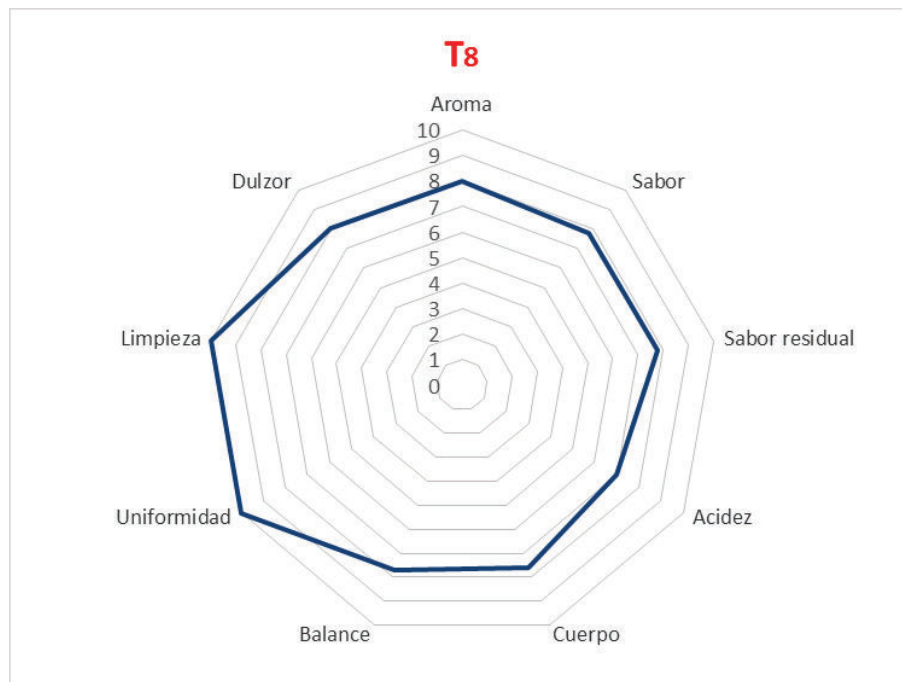


Figura AIV.8. Perfil de tazas para el tratamiento T₈. Nuevo Pacto, Fermentación sumergida

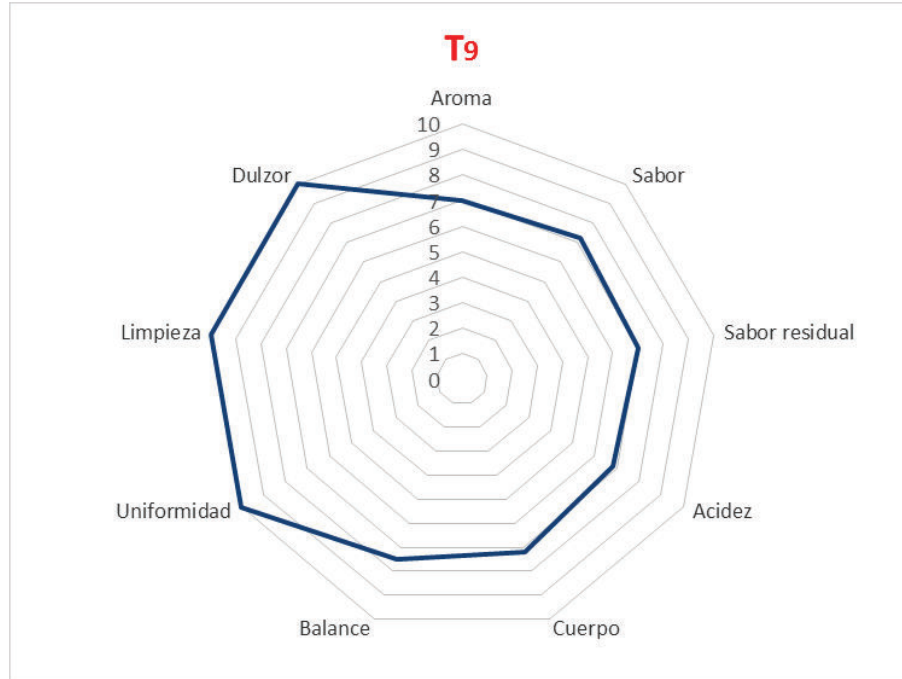


Figura AIV.9. Perfil de tazas para el tratamiento T₉. Nuevo Pacto, Fermentación combinada

ANEXO V

BALANCE DE MASA EN EL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA DE CAFÉ

Se calculó la materia prima que se procesará en el centro de beneficio por vía húmeda mediante datos proporcionados por la Asociación de caficultores “El Paraíso”. En la actualidad la asociación cuenta con 22 socios con un promedio de 3 hectáreas por socio, con un rendimiento de 60 quintales por hectárea de café cereza al año, en función de estos valores se obtiene la producción anual de 3 960 quintales por año.

La recepción de café cereza se realizará en horarios de 12 p.m. hasta las 16 p.m. para evitar los defectos provocados por la fermentación de los frutos en los sacos. El horario de trabajo será de lunes a viernes con 40 horas semanales.

En la Tabla AV.1 se exponen las consideraciones tomadas para el dimensionamiento en el diseño del centro de beneficio.

Tabla AV.1. Consideraciones para el dimensionamiento del centro de beneficio

Consideraciones	Cantidad
Semanas anuales	52
Semanas de descanso	28 (7 meses)
Semanas efectivas de trabajo anuales	24
Días efectivos de trabajo anuales	120
Factor de sobredimensionamiento	1,2

Producción anual = Rendimiento \times # socios \times # hectarias

$$\text{Producción anual} = 60 \frac{qq}{\text{ha. año}} \times 22 \times 3 \text{ ha} = 3\,960 \frac{qq}{\text{año}}$$

$$\text{Producción diaria} = 3\,960 \frac{qq}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{120 \text{ días}} = 33 \frac{qq}{\text{día}}$$

Como la maduración del fruto no es homogénea y se tiene fluctuaciones en la recolección, provocando días de descanso durante los meses de cosecha, se toma un factor de sobredimensionamiento de 1,2 para los cálculos del pico de producción.

Café cereza = $1,2 \times$ producción diaria

Café cereza = $1,2 \times 33$ qq/día = 39,6 qq/día

Se estableció que las relaciones de conversión obtenidas en cada etapa del beneficio por vía húmeda de café, se emplearan para los cálculos del diseño, los datos se muestran en la Tabla AV.2.

Tabla AV.2. Relaciones de conversión de café durante el beneficio por vía húmeda

Relación de conversión		
Café cereza	Café baba	1,77
Café baba	Café lavado	1,42
Café lavado	Café escurrido	1,23
Café escurrido	Café pergamino	1,44

La capacidad será para 39,6 qq/día, equivalente a 1 796,26 kg/día. Se considera una pérdida del 8 % por la clasificación de los frutos de café.

Café cereza maduro = 1 652,56 kg/día

Café baba = café cereza / factor de conversión

Café baba = 933,65 kg/día

Café lavado = café baba / factor de conversión

Café lavado = 657,49 kg/día

Café escurrido = café lavado / factor de conversión

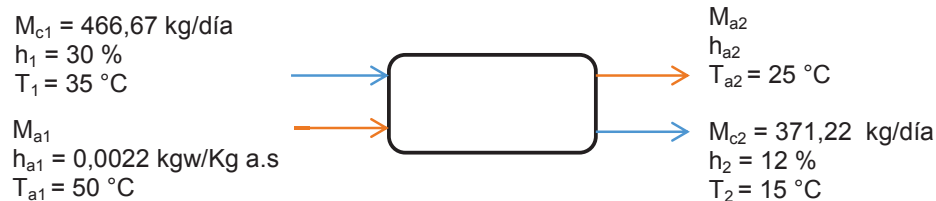
Café escurrido = 534,55 kg/día

Café pergamino seco = café escurrido / factor de conversión

Café pergamino seco = 371, 22 kg/día

Cálculo para la cantidad de aire requerido

Con base en las recomendaciones se planteó un caudal del aire de secado de 66 m³/min/t de café pergamino seco (cps) (Parra, Roa y Oliveros, 2008, p. 429)



Caudal de aire inicial = $Q_{a1} = 66 \text{ m}^3/\text{min/t cps}$
 Masa de café a la entrada = M_{c1}
 Masa de aire a la entrada = M_{a1}
 Masa de agua en el aire de entrada = M_{w1}
 Humedad del café en % b.h. = h
 Humedad del aire en % b.s = h_a
 Agua retirada del café = M_{cw}

Densidad del aire = $0,96 \text{ kg/m}^3$
 Masa de café a la salida = M_{c2}
 Masa de aire a la salida = M_{a1}
 Masa de aire seco = M_{as}

$$Q_{a1} = \frac{66 \text{ m}^3}{\text{t cps.min}} \times \frac{0,96 \text{ kg a}}{\text{m}^3} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ t cps}}{1000 \text{ kg cps}} = 3,80 \frac{\text{kg a}}{\text{kg cps.h}}$$

$$M_{a1} = 371,22 \text{ kg cps} \times \frac{8 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{3,80 \text{ kg a}}{\text{kg cps.h}} = 11289,72 \frac{\text{kg a}}{\text{día}}$$

$$M_{a1} = M_{as} + M_{w1} \quad ; \quad M_{w1} = M_{as} \times h_{a1}$$

$$M_{a1} = M_{as} \times (1 + h_{a1})$$

$$M_{as} = \frac{M_{a1}}{(1 + h_{a1})}$$

$$M_{as} = \frac{11285,08}{(1 + 0,0022)} = 11264,50 \frac{\text{kg as}}{\text{día}}$$

$$M_{w1} = 11260,30 \frac{\text{kg as}}{\text{día}} \times 0,0022 \frac{\text{kg w}}{\text{kg as}} = 25,22 \frac{\text{kg w}}{\text{día}}$$

$$M_{c1} = M_{c2} - M_{cw} \quad ; \quad M_{cw} = M_{c1} - M_{c2}$$

$$M_{cw} = 466,67 - 371,22 = 95,45 \text{ kg w}$$

$$M_{a2} = M_{a1} + M_{cw}$$

$$M_{a2} = 11289,72 + 95,45 = 11385,17 \text{ kg a}$$

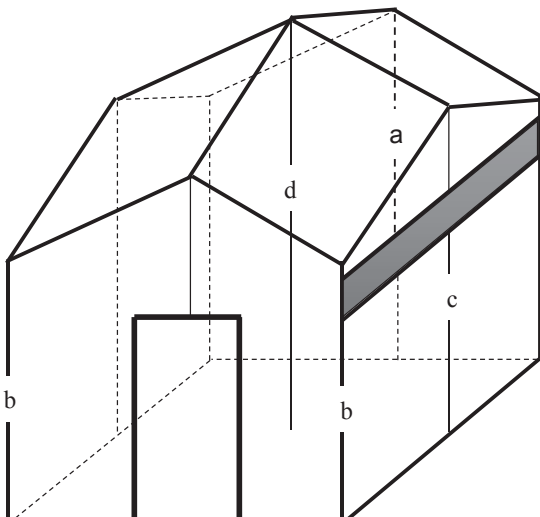
ANEXO VI

HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DEL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA DE CAFÉ

Hoja de especificación N° 1		
SEPARADORA DE FRUTOS VERDES Y MADUROS		
Fabricante: Bendig Maquinaria S.A.	Modelo: SV-10E	Material de construcción: Acero laminado Número requerido en planta: 1
Dimensiones: Largo = 590 mm Ancho = 380 mm Altura = 1 160 mm	Datos del diseño: Capacidad de carga: 2 000 kg/h Potencia: 5HP	
Función: Separar flotantes de frutos maduros Operación: Continua		
<p>Principio de operación: los frutos se alimentan en seco a la tolva de entrada, caen a un sistema de rejillas cilíndricas de acero inoxidable formadas en un molde especial que garantiza uniformidad en la abertura. El café maduro pasa a la salida hacia la despulpadora por la parte inferior del equipo. Los flotantes (frutos inmaduros, secos, hojas, ramas) salen a una altura de 0,61m.</p> <p>La construcción es de acero laminado, con compuertas a ambos lados que facilitan el mantenimiento, cuenta con cepillos ubicados estratégicamente para la limpieza de las rejillas. EL equipo funciona a una velocidad angular de 500 a 700 rpm y una potencia de 6,5 kW.</p>		
<p>Esquema del equipo</p>		

Hoja de especificación N° 2		
DESPULPADORA		
Fabricante: Jotagallos	Modelo: Jotagallos REF.4½	Material de construcción: Acero inoxidable Número requerido en planta: 1
Dimensiones: Largo = 500 mm Ancho = 750 mm Altura = 720 mm	Datos del diseño: Capacidad de carga: 1 200 kg/h Potencia: 1 HP	
Función: Despulsar frutos maduros		
Operación: Continua		
<p>Principio de operación: los frutos se alimentan a la tolva, la separación entre la cáscara (pulpa) y el grano de café se da por presión y fricción entre el cilindro horizontal centrifugado y el perchero de hule (superficie fija). Para la salida del fruto despulpado se tiene 4 chorros.</p> <p>El cilindro está fabricado en aluminio y gira a una velocidad angular de 1800 rpm, el eje central de cilindro es de acero 1045 y la camisa es de acero inoxidable. Su diseño permite adaptar zaranda para la clasificación de granos. Puede ser accionada desde el motor con banda plana o mediante operación manual.</p>		
<p>Esquema del equipo</p> <p>The diagram illustrates the machine's structure with the following dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> 260 mm: Width of the hopper at the top. 720 mm: Total height of the machine. 750 mm: Total width of the machine. 500 mm: Width of the main processing body. 		

Hoja de especificación N° 3		
BOMBA		
Fabricante: Bendig Maquinaria S.A.	Modelo: B-3	Material de construcción: Acero inoxidable y acero A-36 HN
		Número requerido en planta: 1
Dimensiones: Largo = 410 mm Ancho = 260 mm Altura = 310 mm	Datos del diseño: Capacidad: 350 L/min Diámetro Nominal: 3 pulgadas Potencia: 5 HP	
Función: Lavado y transporte de café pergamino		
Operación: Continua		
<p>Principio de operación: para lavar el café después de la fermentación se usa una bomba centrífuga de aspas abiertas, además también se puede transportar el café lavado hacia las zarandas escurridoras ubicadas a cierta altura empleando una proporción de 60 % de agua y 40 % de café.</p> <p>Se pueden acoplar al caño de concreto o diseñar una estructura para movilizar el café. Las aguas residuales de lavado también servirán para transportar el café.</p> <p>La velocidad de la bomba es proporcional a la potencia y caudal requerido, generalmente entre 750 a 1 100 rpm.</p>		
Esquema del equipo		

Hoja de especificación N° 4	
SECADOR SOLAR (MARQUESINA)	
Fabricante: Elaboración artesanal propia	Material de construcción: Polietileno de baja densidad Número requerido en planta: 1
Dimensiones: Largo = 11 000 mm Ancho = 4 000 mm Altura = 3 600 mm	Datos del diseño: Capacidad de carga: 50 qq/día de café cereza
Función: Secar café pergamino húmedo Operación: Batch	
<p>Principio de operación: sistema de secado solar para granos de café pergamino húmedo, que aprovecha los rayos solares y las corrientes de aire.</p> <p>La marquesina artesanal con piso de concreto, estructura de guadua tipo túnel cubierta de plástico tipo invernadero resistente a los rayos ultravioleta y con compuertas enrollables permite la circulación de aire caliente en las horas de mayor exposición al sol. La orientación de la construcción es de este a oeste por la dirección del viento dominante en la zona.</p> <p>La marquesina consta de 6 camas de 0,8 m de ancho × 5 m de largo, con una capacidad de carga de 20 kg de café húmedo /m² en una capa de 3 cm. La ubicación de las camas a 0,9 m del piso, separación entre camas de 0,6 m y la de cama-pared de 0,2 m. El material para las camas es malla de zaran de polietileno de alta densidad.</p>	
Esquema del equipo	
	Dimensiones de la estructura vertical a = 2 800 mm b = 2 100 mm c = 2 400 mm d = 3 600 mm

Hoja de especificación N° 5		
SECADOR DE SILOS		
Fabricante: Penagos Hermanos & Cía. SAS.	Modelo: SC-15	Material de construcción: Acero inoxidable con pintura electroestática
		Número requerido en planta: 1
Dimensiones: Largo = 1 350 mm Ancho = 950 mm Altura = 1 650 mm	Datos del diseño: Capacidad en cada malla: 3 a 3,5 qq/día # pisos: 3 Potencia: 0,75 HP	
Función: Secado de café pergamino húmedo		
Operación: Continua		
<p>Principio de operación: El secador está diseñado para 15 arrobas de café pergamino en cada piso, cuenta con 3 mallas o pisos con compuertas inferiores para la descarga del café de un piso a otro. El café pergamino húmedo ingresa a cada piso, los 2 primeros también cumplen la función de presecado; el producto se distribuye uniformemente para disminuir su humedad hasta el 11-12 %, empleando aire caliente a 50°C.</p> <p>Se tiene un consumo de gas de 2 Lb/arroba de café pergamino seco, cuenta con un intercambiador de calor, ventilador, tablero eléctrico para facilitar la operación y chimenea para salida de gases de combustión.</p>		
Esquema del equipo		

Hoja de especificación N° 6		
BALANZA ELECTRÓNICA		
Fabricante: T-Scale	Modelo: ELW-4050- 150K	Material de construcción: Acero inoxidable AISI 304
		Número requerido en planta: 2
Dimensiones: Largo = 420 mm Ancho = 520 mm Altura = 600 mm	Datos del diseño: Capacidad de carga: 150 kg Peso balanza: 18,3 kg Temperatura de operación: -10 a 40 °C Energía: 110 V, batería recargable que proporciona 40 horas de uso continuo	
Función: Pesaje de café		
Operación: Batch		
Principio de operación: equipo para el pesaje de café cereza y café pergamino seco, la balanza cuenta con una plataforma rectangular con respuesta $\leq 1/10$ de segundo, display digital y puede comunicarse con un PC a través del interface RS-232 incorporado.		
Esquema del equipo		
<p>The technical drawing illustrates the scale from three perspectives. The front view shows a total height of 600 mm. The side view shows a height of 902,5 mm, with a platform width of 177 mm and a vertical offset of 106,5 mm. The top view shows a rectangular platform with a length of 420 mm and a width of 520 mm, and a depth of 254 mm for the main body.</p>		

Hoja de especificación N° 7		
ELEVADOR INCLINADO TIPO RASTRAS		
Fabricante: Maquinaria Jersa	Modelo: ER	Material de construcción: Acero inoxidable AISI 304
		Número requerido en planta: 3
Dimensiones: Ancho = 2 000 mm Espesor = 744 mm Altura de descarga = 2 000 mm	Datos del diseño: Capacidad de carga: 1 m ³ /h Energía: 220 V y 0,8 kW Peso: 180 kg	
Función: Transporte de frutos de café, fruto maduro y café pergamino seco		
Operación: Batch		
Principio de operación: equipo para el transporte de los productos intermedios entre cada etapa, tiene una pequeña tolva de alimentación para recolectar el producto y conducirlo a través de mallas plásticas o rastras hasta el siguiente proceso elevándolo para descargarlo por la parte superior.		
Esquema del equipo		

Hoja de especificación N° 8		
TRANSPORTADOR DE TORNILLO		
Fabricante: Hidrometálica	Modelo: TRSF-150	Material de construcción: Acero inoxidable AISI 304
		Número requerido en planta: 2
Dimensiones: Largo = 3 000 mm Ancho = 220 mm Altura = 230 mm	Datos del diseño: Diámetro del tornillo: 150 mm Espesor del tornillo = 10 mm Capacidad: 3 m ³ /h -5 m ³ /h Energía: 1.5 kW	
Función: transporte de la pulpa para elaboración de compost y del café lavado		
Operación: continuo		
<p>Principio de operación el producto se receipta en la tolva de alimentación, donde pasa al tornillo sin eje intermedio, el cual basa su funcionamiento en el impulso que le proporciona el motor para realizar un movimiento helicoidal, efecto que se produce gracias a la estructura del tornillo, haciendo que se desplace el producto a través de los pasos del tornillo.</p> <p>El canal de transporte tiene un espesor de 2 mm y en la parte inferior se reviste con polietileno de alta densidad.</p>		
<p>Esquema del equipo</p> <p>El diagrama ilustra el funcionamiento del transportador de tornillo. En la parte superior, se muestra una vista lateral del equipo. Un motor de 3 m de longitud está conectado a un eje que impulsa un tornillo de 0,2 m de diámetro. El tornillo transporta el material a través de una tolva de alimentación y una tolva de descarga. La longitud total del transportador es de 3 m. En la parte inferior, se muestra una vista superior del motor y el tornillo. El motor tiene un ancho de 0,2 m y una altura de 0,23 m. El tornillo tiene un ancho de 0,22 m.</p>		

ANEXO VII

EXTRACTO DE LAS COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS DEL BENEFICIO POR VÍA HÚMEDA DE CAFÉ

Cotización de un transportador helicoidal

1. 1 TRANSPORTADOR TIPO HELICOIDAL, SEGÚN DIBUJO, PROPORCIONADO POR USTEDES, DE:

DIMENSIONES:

- DIÁMETRO DE ARTESA: 20 cm
- LONGITUD: 3.00 m.

ESPECIFICACIONES:

- CONSTRUCCIÓN EN AC. INOX. T-304
- ARTESA Y HÉLICE EN LÁMINA CALIBRE 12 CON EJE EN TUBO DE 2 1/2" Ø C-40.
- PRENSA ESTOPAS EN MATERIAL DE BRONCE EN AMBOS EXTREMOS DEL EJE.
- TOLVA DE CARGA DE 0.47 X 0.72 M. LONG.
- BOQUILLA DE DESCARGA CUADRADA DE 10" BRIDADA.
- TRANSMISIÓN DE 1.0 H.P. 3 F. 4 P., 220/440 V., 60 HZ. DE VELOCIDAD FIJA A PRUEBA DE CHORRO DE AGUA.

\$ 8000,00 + 12 % de IVA



Ing. Paola Martinez

Asesor de Soluciones

Tel.: (52)55-5889-0020 Ext. 116

Cel: 55 37191312

pmartinez@jersa.com.mx

www.jersa.com.mx

Antes de imprimir, piensa en el MEDIO AMBIENTE

Cotización de un despulpador y secador de café



DE PILADORAS ... SABEMOS MAS!

COTIZACION

Por medio de la presente nos permitimos cotizar una despulpador y una Secadora para GRANOS, SEMILLAS Y OTROS:

DESPULPADOR ELECTRICO CON TRANSMISION ESPECIAL PARA MOTOR



Modelo: DPM- 04X
 Marca: **PINHALENSE**
 Procedencia: **BRASIL**
 Capacidad: **600 KILOS DE CEREZA/HORA**
 Motor Eléctrico: **0.50 HP**
Cantidad: 1 unidad

PRECIO DE VENTA:.....USUSD5,600.00

NO INCLUYE:

- ❖ Instalación ni montaje de los equipos antes descritos.
- ❖ Materiales ni ejecución de obras civiles, electrónicas ni mecánicas no descritas.
- ❖ Estructuras metálicas, cubiertas o techo para los equipo.
- ❖ Materiales de montaje: tuberías, canalones, tolvas, chutes, frenos, elementos de fijación, cables, pernos elementos de interconexión; etc.
- ❖ Elementos no descritos en la presente.
- ❖ 14 % IVA de acuerdo al registro oficial vigente hasta la presente fecha; pero en caso de cambios arancelarios estos correrán por cuenta del comprador; solamente el equipo está exento.
- ❖ Traslado.

Garantía: Casa de Comercio Poveda Cía. Ltda. Garantiza el equipo entregado por el lapso de un (1) año, contado a partir de la fecha de entrega de la máquina,

contra defectos de fabricación o mal funcionamiento, no así daños por mal manejo o negligencia del operador.

SECADORA TIPO HORIZONTAL

Cantidad	Descripción
1 und.	<p>Secadora portátil completa tipo horizontal, semi – automática.</p> <p>Marca: Suncue - Taiwan</p> <p>Modelo: SKS – 480G</p> <p>Para secar: Arroz maíz, café, cacao, fréjol, soya, girasol, ajo, sorgo, frutas, mariscos, nuez, ají, plátano, trigo, semillas, hierbas, tamarindo y otros .</p> <p>Capacidad de secado: 1.000 a 1.300 Kg./parada (1 a 1,3 Ton. X parada)</p> <p>Para Cacao: 700kg/parada. $700 \times 2.2046/100=15.43\text{qq}-20\text{qq}$</p> <p>Temperatura Máxima: 80º a 90º C, pureza del aire: 98%</p> <p>Tiempo Secado: 6 a 8 horas/parada.</p>

ESTA MAQUINA INCLUYE:

- Ventilador axial con motor eléctrico de 1HP, 220V 60HZ monofásico.
- Quemador de Diesel tipo directo para alta temperatura.
- Sistema para control de temperatura, parada automática.
- Bandeja metálica para secar productos, piso de lamina perforada, acople a ventilador.

Precio de Venta:.....USUSD18,420.00

ESTOS PRECIOS ESTAN SUJETOS A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO

Accesorios para Instalar Secadora SKS-480G

- Breaker de 5 a 10 amperios
- Cable Concéntrico
- Cubierta
- Contra piso nivelado
- Corriente 220 voltios, monofásico

RECOMENDACIONES:

- Utilizar Diesel doblemente filtrado.
- Limpieza del tanque de la Secadora una vez al mes mínimo.

- Cambiar periódicamente cada 20 días el filtro de Diesel del tanque, dependiendo de las horas de trabajo.

Forma de Pago: 70% Para la confirmación del pedido.
30% Contra aviso fecha de embarque
10% Contra entrega de la mercadería.

Tiempo de Entrega: 90 Días contados a partir de recibido el pago y la orden de pedido.

Validez: 30 Días

Esperando que esta sea de su total agrado, se suscribe.

Atentamente,

Jackeline Poveda R.

Jefe de Ventas

042513580-0980034029