

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**EXTRACCIÓN DE ÁCIDO CLOROGÉNICO A ESCALA LABORATORIO A
PARTIR DE PULPA DE CAFÉ PARA EVALUAR UNA ALTERNATIVA DE
APROVECHAMIENTO**

Trabajo de graduación presentado por
Diego Garzaro García
para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala,
2021

**EXTRACCIÓN DE ÁCIDO CLOROGÉNICO A ESCALA LABORATORIO A
PARTIR DE PULPA DE CAFÉ PARA EVALUAR UNA ALTERNATIVA DE
APROVECHAMIENTO**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**EXTRACCIÓN DE ÁCIDO CLOROGÉNICO A ESCALA LABORATORIO A
PARTIR DE PULPA DE CAFÉ PARA EVALUAR UNA ALTERNATIVA DE
APROVECHAMIENTO**

Trabajo de graduación presentado por
Diego Garzaro García
para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

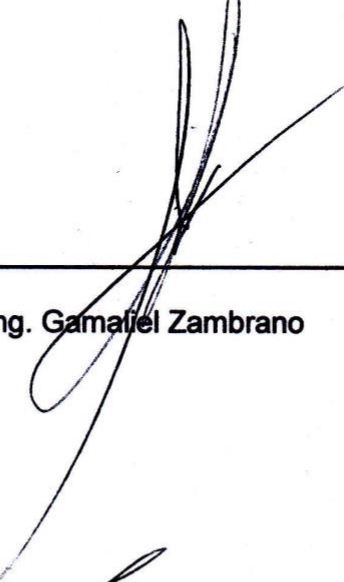
Guatemala,
2021

Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Ana Regina Cruz

Tribunal examinador:

(f) 
Ing. Ana Regina Cruz

(f) 
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) 
Ing. Luis Núñez

Fecha de aprobación: Guatemala 16 de febrero de 2021

PREFACIO

La idea del presente trabajo surgió en base a investigaciones y conferencias sobre la utilización de los subproductos del café, principalmente de la pulpa, y como en otros países investigaban sobre esta para generar productos con valor agregado. En base a esto, decidí realizar una investigación sobre el uso de la pulpa de café en Guatemala y determinar posibles usos de esta en el país. Con el deseo de generar una economía circular en el gremio cafetalero, evitar el mal manejo de los desechos sólidos de los beneficios húmedos, así como también evaluar una alternativa de aprovechamiento para la pulpa de café, decidí realizar el presente trabajo de investigación.

Según esto, quiero agradecer profundamente a todas las personas que me acompañaron en este trabajo. De manera personal, a Dios y la Virgen Santísima, por darme la fortaleza en todo momento. A mis padres, por el apoyo, sacrificio, esfuerzo y ayuda que me dan constantemente. A mi hermana y familia, por ayudarme en los análisis, en conseguir pulpa y apoyarme en lo que pudieran. A mis amigos, a los que tanto amo y que creen en mí.

Profesionalmente, quiero agradecer de primera instancia a mi asesora, Ana Regina Cruz, por la paciencia, dedicación y apoyo incondicional impartida en mi trabajo. Al departamento de ingeniería química de la UVG, principalmente a mi director de carrera (Ing. Zambrano), por hacer lo posible por apoyarnos en la realización de la tesis bajo una pandemia y restricciones. A mis catedráticos que me guiaron e impartieron el conocimiento para la elaboración de este trabajo. A la Licenciada Ana Luisa Mendizábal y al Ing. Luis Núñez, por la coordinación y apoyo en los análisis de laboratorio. Y con especial mención, a los técnicos de laboratorio (José, Chapo y Héctor) por el apoyo incondicional en la realización de la experimentación por video llamada, por la paciencia y dedicación en el trabajo.

ÍNDICE

PREFACIO.....	IV
LISTA DE CUADROS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. CAFÉ DE GUATEMALA.....	2
1. <i>Varietades de especies de café en Guatemala</i>	2
B. REACCIÓN DE ÓXIDO-REDUCCIÓN.....	13
C. ANTIOXIDANTES EN EL CAFÉ.....	14
1. <i>Cafeína</i>	14
2. <i>Ácidos clorogénicos</i>	14
3. <i>Ácido clorogénico en la industria alimenticia</i>	17
4. <i>Purificación de ácido clorogénico</i>	18
D. ALIMENTOS CON ANTIOXIDANTES.....	20
1. <i>Bebidas con antioxidantes</i>	20
2. <i>Requerimientos legales</i>	21
3. <i>Reglamento Técnico Centroamericano</i>	21
4. <i>Licencia ambiental</i>	24
5. <i>Mercado nacional e internacional</i>	24
E. LÍNEA DE EXTRACCIÓN.....	25
1. <i>Transporte mecánico</i>	26
2. <i>Silos pulmón</i>	26
3. <i>Molinos</i>	27
F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
III. JUSTIFICACIÓN.....	28
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	29
V. OBJETIVOS.....	30
A. GENERAL.....	30
B. ESPECÍFICOS.....	30
VI. METODOLOGÍA.....	31
A. LOCALIZACIÓN.....	31
B. MÉTODO.....	31
1. <i>Población y muestra</i>	31
C. MATERIALES.....	32
1. <i>Extracción y preparación de muestras de la pulpa</i>	32
2. <i>Determinación de acidez de solución</i>	32
3. <i>Concentración de sólidos solubles</i>	32
4. <i>Determinación de ácidos clorogénicos por HPLC</i>	33
5. <i>Determinación de polifenoles</i>	33

G.	PROCEDIMIENTO	33
VII.	RESULTADOS.....	36
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	60
IX.	CONCLUSIONES	81
X.	RECOMENDACIONES	83
XI.	BIBLIOGRAFÍA	84
XII.	ANEXOS	86
A.	DATOS ORIGINALES	86
B.	CÁLCULOS DE MUESTRA	92
C.	DATOS CALCULADOS	105
D.	FIGURAS.....	116

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características del café tipo arábica y robusta.....	2
Cuadro 2. Características del café por región.	3
Cuadro 3. Balance de los materiales obtenidos del procesamiento de café.	12
Cuadro 4. Compuestos presentes en la pulpa de café en porcentaje de base seca.	13
Cuadro 5. Concentración de ácido p-cumárico en frambuesas de acuerdo con distintas presentaciones.....	20
Cuadro 6. Aditivos alimentarios	22
Cuadro 7. Características de calidad para alimentos con néctares de fruta	23
Cuadro 8. Criterios microbiológicos.....	23
Cuadro 9. Nivel máximo permisible de ácido ascórbico en alimentos y bebidas.	25
Cuadro 10. Promedio de las características fisicoquímicas de los diferentes tipos pulpa de café arábico de acuerdo con la región.	36
Cuadro 11. Contenido de ácidos clorogénicos totales, cafeína y relación ac/caf en pulpa de café extraída con agua destilada.....	37
Cuadro 12. Contenido de ácidos clorogénicos totales, cafeína y relación ac/caf en pulpa de café extraída con solución de etanol al 60% v/v.	37
Cuadro 13. Concentración promedio de fenoles en extracto de pulpa.	37
Cuadro 14. Resultados de análisis granulométrico por tamizaje vibratorio de pulpa de café molido.....	38
Cuadro 15. Costo de extracción a escala laboratorio por tipo de solvente, para 500 ml de solución.....	39
Cuadro 16. Cálculo de costos de equipo.....	54
Cuadro 17. Inversión total de línea de extracción.	54
Cuadro 18. Premisas financieras.....	55
Cuadro 19. Métricas financieras y punto de equilibrio	55
Cuadro 20. Punto de equilibrio del proyecto.	55
Cuadro 21. Datos de sensibilización de precio para la extracción.....	57
Cuadro 22. Datos de placa balanza analítica digital	86
Cuadro 23. Datos de placa balanza de humedad	86
Cuadro 24. Datos de placa de estufa eléctrica	86
Cuadro 25. Cristalería utilizada para experimentación	86
Cuadro 26. Certificado de lote para análisis de fenoles marca merck.	87
Cuadro 27. Datos de cromatógrafo líquido de alta resolución utilizado.....	87

Cuadro 28. Especificaciones de reactivos utilizados en la experimentación	87
Cuadro 29. Datos de curva de calibración de ácido clorogénico	87
Cuadro 30. Preparación y resultados de extracción de ácido clorogénico para pulpa de café proveniente de santa rosa cosechada en marzo 2020, utilizando agua.	88
Cuadro 31. Preparación y resultados de extracción de cafeína para pulpa de café proveniente de santa rosa cosechada en marzo 2020, utilizando agua.	88
Cuadro 32. Preparación y resultados de extracción de ácido clorogénico para pulpa de café cosechada en octubre 2020, utilizando solución de etanol.....	89
Cuadro 33. Preparación y resultados de extracción de cafeína para pulpa de café cosechada en octubre 2020, utilizando solución de etanol.	90
Cuadro 34. Preparación y resultados de extracción de ácido clorogénico para pulpa de café cosechada en octubre 2020, utilizando agua.	90
Cuadro 35. Preparación y resultados de extracción de cafeína para pulpa de café cosechada en octubre 2020, utilizando agua.	91
Cuadro 36. Condiciones de operación y características fisicoquímicas de la pulpa de café. ..	91
Cuadro 37. Diámetro equivalente por accesorios.	102
Cuadro 38. Pesa de tamices para corrida 1 de análisis granulométrico por medio de tamiz vibratorio.	105
Cuadro 39. Pesa de tamices para corrida 2 de análisis granulométrico por medio de tamiz vibratorio.	105
Cuadro 40. Pesa de tamices para corrida 3 de análisis granulométrico por medio de tamiz vibratorio.	106
Cuadro 41. Resultados obtenidos para corrida 1 de análisis granulométrico por tamizaje vibratorio.	106
Cuadro 42. Resultados obtenidos para corrida 2 de análisis granulométrico por tamizaje vibratorio.	106
Cuadro 43. Resultados obtenidos para corrida 3 de análisis granulométrico por tamizaje vibratorio.	107
Cuadro 44. Consumo eléctrico de equipos utilizados en el laboratorio para extracción de ácido clorogénico.....	107
Cuadro 45. Costo de análisis de laboratorio.	107
Cuadro 46. Costo de materia prima para extracción.....	107
Cuadro 47. Condiciones de operación para línea de extracción	107
Cuadro 48. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico por medio de agua. .	108
Cuadro 49. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico por medio de una solución de etanol como solvente.	108
Cuadro 50. Análisis de varianza para extracción de cafeína por medio de agua.....	108

Cuadro 51. Análisis de varianza para extracción de cafeína por medio solución de etanol como solvente.....	108
Cuadro 52. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico entre agua y etanol para pulpa de santa rosa.	109
Cuadro 53. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico entre agua y etanol para chicacao.	109
Cuadro 54. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico entre agua y etanol para pulpa de san miguel dueñas.	109
Cuadro 55. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico entre agua y etanol para pulpa de san miguel dueñas.	109
Cuadro 56. Análisis de varianza para extracción de cafeína entre agua y etanol para pulpa de santa rosa.	109
Cuadro 57. Análisis de varianza para extracción de cafeína entre agua y etanol para pulpa de chicacao.	110
Cuadro 58. Análisis de varianza para extracción de cafeína entre agua y etanol para pulpa de san miguel dueñas.	110
Cuadro 59. Análisis de varianza para extracción de cafeína entre agua y etanol para pulpa de fraijanes.....	110
Cuadro 60. Prueba de tukey para extracción de ácido clorogénico por medio de agua, de pulpa de diferentes regiones.	110
Cuadro 61. Prueba de tukey para extracción de ácido clorogénico por medio de solución de etanol, de pulpa de diferentes regiones.	110
Cuadro 62. Prueba de tukey para extracción de cafeína por medio de agua, de pulpa de diferentes regiones.	111
Cuadro 63. Prueba de tukey para extracción de cafeína por medio de etanol, de pulpa de diferentes regiones.	111
Cuadro 64. Datos para considerar para costo de construcción en terreno	111
Cuadro 65. Costos de construcción	111
Cuadro 66. Jornadas laborales y salarios por hora de acuerdo con la ley de guatemala.	112
Cuadro 67. Horario de trabajo para jornada 1 de trabajo. Horario de trabajo de lunes a jueves de 6 am-18:00 horas. El total de la semana representa el costo para 4 trabajadores.	112
Cuadro 68. Horario de trabajo para jornada 2 de trabajo. Horario de trabajo de viernes a lunes de 6 am-18:00 horas. El total de la semana representa el costo para 4 trabajadores.	112
Cuadro 69. Costo total por semana de acuerdo con turno y jornada laboral.	113
Cuadro 70. Prestaciones laborales y costo total por temporada.	114
Cuadro 71. Consumo eléctrico total de equipos de línea de extracción.....	114
Cuadro 72. Costo por consumo energético por temporada.	114
Cuadro 73. Costo por consumo de agua por temporada.	114

Cuadro 74. Depreciación según decreto 26-92.....	115
Cuadro 75. Costo de producción por l.....	115
Cuadro 76. Cálculo de depreciación y valor contable al final del proyecto.....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Características organolépticas del café tipo acatenango valley.	4
Figura 2. Características organolépticas del café tipo antigua coffee.....	5
Figura 3. Características organolépticas de café tipo traditional atitlán.....	5
Figura 4. Características organolépticas café rainforest coban.	6
Figura 5. Características organolépticas de café de fraijanes plateau.	7
Figura 6. Características organolépticas de café highland huehue.	7
Figura 7. Características organolépticas café new oriente.	8
Figura 8. Características organolépticas de café volcanic san marcos.	9
Figura 9. Partes que constituyen el grano de café cerezo.	10
Figura 10. Procesamiento del grano de café y subproductos generados.....	11
Figura 11. Estructuras de los principales ácidos clorogénicos presentes en el fruto de café. .	15
Figura 12. Actividad antioxidante de ácidos fenólicos a distintas temperaturas.	19
Figura 13. Pulpa de café proveniente de un beneficiado húmedo.	31
Figura 14. Detección cualitativa de fenoles por medio de cloruro férrico en solución de pulpa.	36
Figura 15. Porcentaje que pasa de pulpa por cada tamiz para promedio de corridas en tamizador vibratorio.	38
Figura 16. Diagrama de bloques y balance de masa del proceso de extracción de ácido clorogénico.....	39
Figura 17. Diagrama de operaciones de línea de extracción de ácido clorogénico.	40
Figura 18. Diagrama en vista planta para línea de extracción.	41
Figura 19. Diagrama vista elevación de línea de extracción.....	42
Figura 20. Ficha técnica de tanque de mezclado.....	43
Figura 21. Calentadores verticales para tanque de mezclado.	44
Figura 22. Tanque de almacenamiento de solución final.	45
Figura 23. Ficha técnica para silo de almacenamiento de pulpa fresca.	46
Figura 24. Ficha técnica de tornillo sin fin para transporte de pulpa fresca.....	48
Figura 25. Ficha técnica de molino húmedo de cuchillas.....	49
Figura 26. Ficha técnica de bomba centrífuga.	50
Figura 27. Ficha técnica de filtro de canasta utilizado para la remoción de pulpa molida.....	52
Figura 28. Flujo de caja para línea de extracción.	56
Figura 29. Sensibilización de precio con respecto a tir.	57

Figura 30. Información general sobre encuesta a cafetaleros.	58
Figura 31. Datos obtenidos sobre la utilización de la pulpa en cafetaleros	58
Figura 32. Datos sobre encuesta para consumidores de productos antioxidantes.	59
Figura 33. Flujo de caja para punto de equilibrio para producción anual.	115
Figura 34. Flujo de caja para punto de equilibrio con respecto a precio de venta.	116
Figura 35. Medición de longitud y ancho de pulpa de café por vernier.....	116
Figura 36. Medición de porcentaje de humedad por medio de balanza de humedad marca ohaus.	116
Figura 37. Medición de grados brix por medio de refractómetro digital marca hanna.....	117
Figura 38. Sistema de extracción de una sola etapa para solución de etanol y agua destilada con pulpa de café.....	117
Figura 39. Concentración de ácido clorogénico y cafeína por región para extracción utilizando agua.	117
Figura 40. Concentración de ácido clorogénico y cafeína por región para extracción utilizando solución de etanol.....	118
Figura 41. Porcentaje que pasa de pulpa molida de cada corrida de acuerdo con la abertura del tamiz en el tamizador vibratorio.	118
Figura 42. Porcentaje promedio que pasa de pulpa molida de cada corrida de acuerdo con la abertura del tamiz en el tamizador vibratorio.	119
Figura 43. Curva de calibración para análisis de fenoles.....	119
Figura 44. Curva de calibración para concentración de ácido clorogénico	119
Figura 45. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de santa rosa cosechada en marzo 2020.	120
Figura 46. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de santa rosa cosechada en octubre 2020.	120
Figura 47. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de chicacao cosechada en octubre 2020.....	120
Figura 48. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de san miguel dueñas cosechada en octubre 2020.....	120
Figura 49. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de fraijanes cosechada en octubre 2020.	121
Figura 50. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de santa rosa cosechada en marzo 2020.	121
Figura 51. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de santa rosa cosechada en octubre 2020.	121
Figura 52. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de chicacao cosechada en octubre 2020.....	121

Figura 53. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de san miguel dueñas cosechada en octubre 2020.....	122
Figura 54. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de fraijanes cosechada en octubre 2020.	122
Figura 55. Resultados de análisis de fenoles realizado en laboratorio ecoquimsa para extracción con agua de pulpa de santa rosa cosechada en octubre 2020.	123
Figura 56. Resultados de análisis de fenoles realizado en laboratorio ecoquimsa para extracción con agua de pulpa de santa rosa cosechada en marzo 2020.	124
Figura 57. Resultados de análisis de fenoles realizado en laboratorio ecoquimsa para extracción con agua de pulpa de san miguel dueñas cosechada en octubre 2020.	125
Figura 58. Diagrama de operaciones de proceso de extracción de ácido clorogénico.	126
Figura 59. Espacio propuesto para la implementación de la línea de extracción de ácido clorogénico a escala planta piloto.	127
Figura 60. Espacio de acumulación de pulpa fresca en beneficio húmedo de nueva santa rosa, guatemala.	127
Figura 61. Cotización de molino húmedo.	128
Figura 62. Cotización para filtro de canasta.	129
Figura 63. Cotización bombas centrífugas.	129
Figura 64. Cotización tubería de acero inoxidable.	130
Figura 65. Cotización de válvulas de compuerta marca amanco.	130
Figura 66. Tabla de valores críticos para prueba de tukey.	131
Figura 67. Encuesta a consumidores sobre percepción de antioxidantes.	132
Figura 68. Encuesta realizada a dueños de beneficios húmedos de café.	135

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto fue extraer ácido clorogénico a escala laboratorio a partir de pulpa de café para evaluar una alternativa en el aprovechamiento. Para esto se realizó una extracción con solventes en donde se evaluaron 5 diferentes tipos de pulpa de 4 municipios de Guatemala: Nueva Santa Rosa, Santa Rosa; Chicacao, Suchitepéquez; San Miguel Dueñas, Sacatepéquez y Fraijanes, Guatemala, así como también el solvente utilizado (agua destilada y solución de etanol al 60% v/v). Según los resultados, se propuso una línea de extracción para un beneficio húmedo de café ubicado en Nueva Santa Rosa, Guatemala. Esto se debió a que el dueño del beneficio húmedo de la región se interesó en el proyecto y en la posibilidad de implementarlo. Se determinó que no existe variación significativa entre las medidas de la pulpa de café evaluada, aunque si existe variación en el pH, brix y porcentaje de humedad. Las variaciones de las características fisicoquímicas se deben principalmente a la variación de las condiciones de cultivo del café cerezo del cual se obtuvo la pulpa. La pulpa de San Miguel Dueñas presentó una mayor concentración de sólidos solubles, con un valor de 7.6 ± 0.001 , así como también de pH con un valor de 4.6 ± 0.1 . Por otra parte, se determinó que existe una diferencia significativa entre la extracción utilizando etanol con respecto al agua destilada. Se obtuvo una mayor concentración de ácido clorogénico en el extracto, para la extracción con ambos solventes, proveniente de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, siendo la concentración de 511.65 ± 9.18 ppm con agua destilada y de 789.02 ± 9.73 ppm con solución de etanol. De igual manera, se determinó que existe una diferencia significativa entre la concentración obtenida de ácido clorogénico entre Santa Rosa1 y Santa Rosa2, aunque el tiempo de refrigeración no afectó directamente la extracción de los compuestos fenólicos de la pulpa. Con respecto a la línea de extracción se propuso, con un ingreso base diario de 100 qq de café cerezo, un silo de almacenamiento de pulpa fresca de 1.66 ± 0.5 m³ de capacidad; un tornillo sin fin de 0.1524 m (6 in) de diámetro y 5 m de largo; un molino húmedo con capacidad de operación de $2,070 \pm 1.8$ kg/h; un tanque de mezclado con capacidad de 1000 Gal y sistema de mezclado y calentamiento; un filtro de mallas para la remoción de sólidos con tamaños mayores a 20 μ m y un filtro de agua para partículas menores a 20 μ m; y un tanque de almacenamiento de solución final con capacidad de 1.66 m³. Finalmente se realizó un análisis económico para determinar la rentabilidad del proyecto, por lo que se obtuvo, fijando un valor meta de TIR de 25%, un precio de venta de Q2.73 con un VAN de Q6,818,900.49, evaluándolo el proyecto a 10 años. Se concluye que la utilización de la pulpa de café, obtenida de un beneficio húmedo,

para la obtención de compuestos fenólicos es un proyecto rentable y amigable con el medio ambiente, que busca generar el mayor aprovechamiento de los desechos generados en la industria de café, y generar una economía circular y naranja en dicha industria. Finalmente, se determinó que uno de los posibles usos más directos y viables para el ácido clorogénico en el extracto son las bebidas nutracéuticas como té o bebidas naturales a base del extracto y aditivos naturales.

ABSTRACT

The main objective of this project was to extract chlorogenic acid on a laboratory scale from coffee pulp to evaluate an alternative in the use. For this, a solvent extraction was carried out where 5 different types of pulp from 4 municipalities of Guatemala were evaluated: Nueva Santa Rosa, Santa Rosa; Chicacao, Suchitepéquez; San Miguel Dueñas, Sacatepéquez and Fraijanes, Guatemala, as well as the solvent used (distilled water and 60% v/v ethanol solution). According to the results, an extraction line was proposed for a wet coffee mill located in Nueva Santa Rosa, Guatemala. This was due to the fact that the owner of the wet mill in the region became interested in the project and in the possibility of implementing it. It was determined that there is no significant variation between the measurements of the evaluated coffee pulp, although there is variation in pH, brix and percentage of humidity. The variations in the physicochemical characteristics are mainly due to the variation in the cultivation conditions of the cherry coffee from which the pulp was obtained. The pulp from San Miguel Dueñas presented a higher concentration of soluble solids, with a value of 7.6 ± 0.001 , as well as pH with a value of 4.6 ± 0.1 . On the other hand, it was determined that there is a significant difference between the extraction using ethanol with respect to distilled water. A higher concentration of chlorogenic acid was obtained in the extract, for extraction with both solvents, from San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, with a concentration of 511.65 ± 9.18 ppm with distilled water and 789.02 ± 9.73 ppm with ethanol solution. Similarly, it was determined that there is a significant difference between the concentration of chlorogenic acid obtained between Santa Rosa1 and Santa Rosa2, although the refrigeration time did not directly affect the extraction of phenolic compounds from the pulp. Regarding the extraction line, it was proposed, with a daily base income of 100 qq of cherry coffee, a fresh pulp storage silo with a capacity of 1.66 ± 0.5 m³; an endless screw 0.1524 m (6 in) in diameter and 5 m long; a wet mill with an operating capacity of $2,070 \pm 1.8$ kg / h; a mixing tank with a capacity of 1000 Gal and a mixing and heating system; a mesh filter for the removal of solids with sizes greater than 20 μ m and a water filter for particles smaller than 20 μ m; and a final solution storage tank with a capacity of 1.66 m³. Finally, an economic analysis was carried out to determine the profitability of the project, for which it was obtained, setting a target value of IRR of 25%, a sale price of Q2.73 with a NPV of Q6,818,900.49, evaluating the project at 10 years. It is concluded that the use of coffee pulp, obtained from a wet mill, to obtain phenolic compounds is a profitable and environmentally friendly project, which seeks to generate the best use of waste generated in the coffee industry,

and generate a circular and orange economy in said industry. Finally, it was determined that one of the most direct and viable possible uses for chlorogenic acid in the extract are nutraceutical beverages such as tea or natural drinks based on the extract and natural additives.

I. INTRODUCCIÓN

El café es uno de los productos agrícolas más importantes a nivel nacional. Según ANACAFÉ, el parque cafetalero guatemalteco es de 305,000 hectáreas, estando presentes en 204 de los 340 municipios del país (Guzmán, 2016). Esto representa que la caficultura guatemalteca sea una de las principales actividades agrícolas a nivel nacional, generando sostenibilidad económica, ambiental y social. Según un estudio realizado por CABI (Central American Business Intelligence) el impacto total de la actividad cafetalera constituye entre el 2.5% y el 3.5% del producto interno bruto del país. Para el año cafetalero 2018-2019, según datos del Banco de Guatemala, el café fue el segundo rubro más importante con respecto a las exportaciones de productos de las industrias agropecuarias, generando US\$679.92 millones (BANGUAT, 2018). Durante el proceso de producción de café se pueden identificar tres subproductos inherentes al fruto de café: la pulpa, el mucílago y la cascarilla o pergamino. La pulpa y el mucílago representan el 56% del fruto de café y estos son los principales subproductos que generan contaminación ambiental, por mal manejo del residuo, debido a que los componentes químicos de estos alteran los cuerpos de agua y suelo. Por otra parte, uno de los subproductos que posee un mayor potencial con respecto a la utilización de este es la pulpa de café. Esto debido a que representa el 40% del peso total de la cereza, así como también, posee alto contenido de compuestos químicos como ácidos, taninos, azúcares reductores, etc. Actualmente en Guatemala, los subproductos generados durante el procesamiento, principalmente la pulpa, se utilizan para la generación de composta, aunque genera un valor agregado al mismo. La utilización de la pulpa de café en otras actividades productivas tiene como beneficio reducir la contaminación de las tierras y aguas, así como también generar un valor adicional al producto. Este trabajo es una propuesta de la extracción de ácidos clorogénicos a partir de la pulpa de café a escala planta piloto, para evaluar una alternativa de aprovechamiento de la pulpa. Para realizar este trabajo se realizará una investigación acerca del proceso del café y sus características, el procedimiento detallado de extracción, los equipos industriales necesarios y la evaluación del costo a escala planta piloto. De igual manera, se planteará una metodología detallada del procedimiento y extracción, así como el análisis correspondiente a los resultados de la experimentación de acuerdo con el método y condiciones de operación trabajadas. Dicha investigación es una evaluación a la propuesta de utilización de los subproductos que se generan durante el procesamiento del café en un beneficio húmedo en Guatemala. Esto con el objetivo de implementar una economía circular en la industria cafetalera y convertir un subproducto de desecho en un producto de venta que pueda generar mayores utilidades para la industria del café.

II. ANTECEDENTES

A. Café de Guatemala

1. Variedades de especies de café en Guatemala

El café es uno de los productos más populares y consumidos a nivel mundial. El género *Coffea*, que pertenece a la familia *Rubiaceae*, abarca dos de las especies de plantas de café más importantes en el comercio internacional de café: *Coffea arabica* y *Coffea canephora*, conocidas como Arábica y Robusta. De las cuales el 75% de la comercialización a nivel mundial es de tipo Arábica debido al sabor y aroma que proporciona en la bebida. Las diferencias entre el tipo Arábica y Robusta radican en sus características físicas y propiedades organolépticas, como se puede observar en el Cuadro 1. (Ferrão, 2009).

Cuadro 1. Características del café tipo Arábica y Robusta.

Café Arábica	Café Robusta
La taza es de mejor calidad	Tamaño de grano más pequeño
Mayor calidad de las propiedades organolépticas	Más barato
Menor cantidad de sólidos solubles	Mayor contenido de cafeína
Más vulnerable a plagas.	Mayor rendimiento de extracción de sólidos
	Mayor resistencia a plagas

(Ferrão, 2009)

La cosecha de café en América Central empieza desde finales de agosto y termina hasta el mes de marzo, dependiendo de la altitud en la que se encuentre el cultivo. Por otra parte, el café de tierra cálida madura de manera más rápida que el de tierra fría. El fruto se cosecha cuando llega a poseer un color marrón, lo que representa que este llegó a su estado de madurez (Bressani, R.; Braham, J., 1978).

Debido a las plagas que afectan directamente el cultivo de café (como el hongo *Hemileia vastatrix* causante de la roya), se han desarrollado métodos de cruzamiento de las distintas variedades para generar cultivos resistentes al patógeno (ANACAFÉ, 2016).

a. Tipos de café por región en Guatemala

La Asociación Nacional de Café clasifica los distintos tipos de café que se cultivan en el país de acuerdo con la región. Estos clasifican el café en ocho regiones de acuerdo con ciertas características geográficas como altitud, clima, temperatura, etc. Dicha clasificación se establece para diferenciar las características físicas y organolépticas del café, generados por la diferenciación de los factores geográficos. Las regiones de café que se establecieron son: Acatenango Valley, Antigua Coffee, Traditional Atitlán, Rainforest Cobán, Fraijanes Plateau, Highland Huehue, New Oriente y Volcanic San Marcos (ANACAFÉ, 2011).

Las características generales de las ocho regiones que se clasifica el café de Guatemala se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Características del café por región.

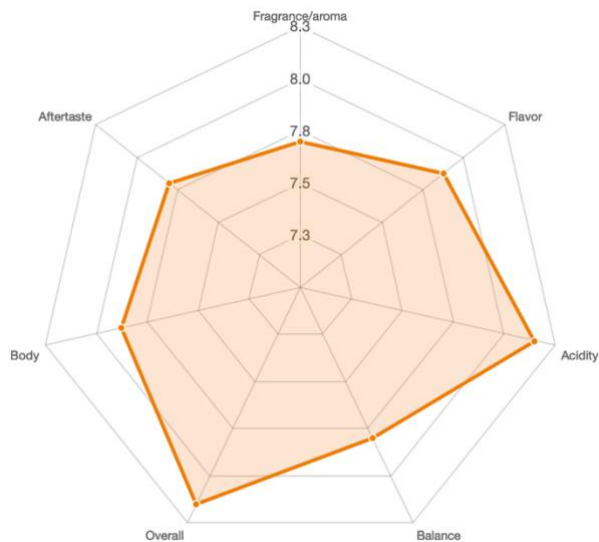
Clasificación	Época de cosecha	Altitud (m)	Suelo	Influencia principal sobre el microclima	Temperatura promedio (°C)
Acatenango Valley	Diciembre-Marzo	1300-2000	Volcánica con piedra pómez	Volcanes de Acatenango y Fuego	14-31
Antigua Coffee	Enero-Marzo	1500-1700	Volcánica con piedra pómez	Valle encerrado	18-22
Traditional Atitlán	Diciembre-Marzo	1500-1700	Volcánico	Largo grande con cráter	20-23
Rainforest Cobán	Diciembre-Marzo	1300-1500	Piedra caliza, arcilla	Océano Atlántico	15-20
Fraijanes Plateau	Diciembre-Febrero	1400-1800	Volcánica con piedra pómez	Planicies altas	12-26
Highland Huehue	Enero-Abril	1500-2000	Piedra caliza	Planicies de Tehuantepec	21-27
New Oriente	Diciembre-Marzo	1300-1700	Metamórfico y arcilloso	Océano Atlántico	18-25
Volcanic San Marcos	Diciembre-Marzo	1400-1800	Volcánico	Océano Pacífico	21-27

(ANACAFÉ, 2011)

1) Acatenango Valley

Acatenango Valley es un café que se cultiva bajo una densa sombra y una altura de 4,300-6,500 pies (1,311-2,000 metros). Debido a que es un área volcánica por los volcanes de Fuego y Acatenango, los suelos se caracterizan por ser gruesos y arenosos llenos de minerales. Las ráfagas templadas del Océano Pacífico y las estaciones marcadas permiten que el café se seque al sol. La temperatura ambiente de la región oscila entre 14-32°C con una humedad del 70-80%. Las características organolépticas del café de esta región se describen en la Figura 1. El café de esta región se caracteriza por su acidez marcada, un aroma fragante, cuerpo equilibrado y acabado limpio y persistente (ANACAFÉ, 2011).

Figura 1. Características organolépticas del café tipo Acatenango Valley.

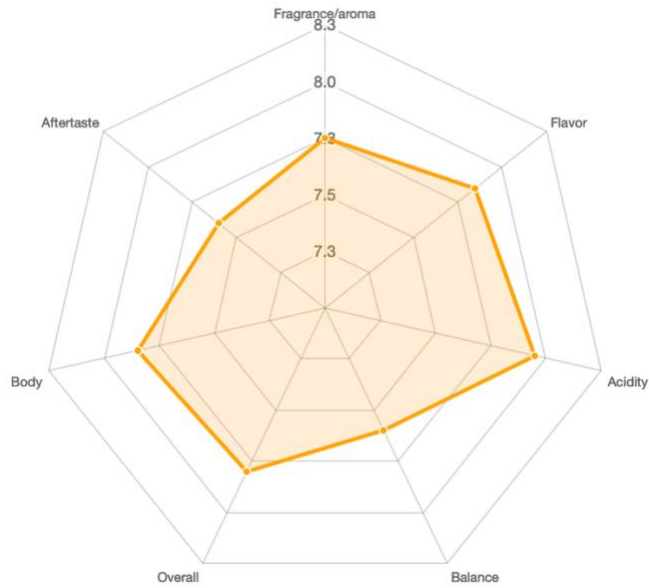


(ANACAFÉ, 2011)

2) Antigua Coffee

El café de la región de Antigua se caracteriza por ser cosechado en suelo volcánico, por lo que el mismo posee un alto contenido de minerales. Otras características de la región es que es una zona de baja humedad, siendo esta aproximadamente del 65%, así como también la altitud de la región es de 5,000-5600 pies (1,524-1,707 metros). Las características organolépticas se describen en la Figura 2. El café de esta región se caracteriza principalmente por tener un aroma balanceado con un sabor dulce (ANACAFÉ, 2011).

Figura 2. Características organolépticas del café tipo Antigua Coffee.

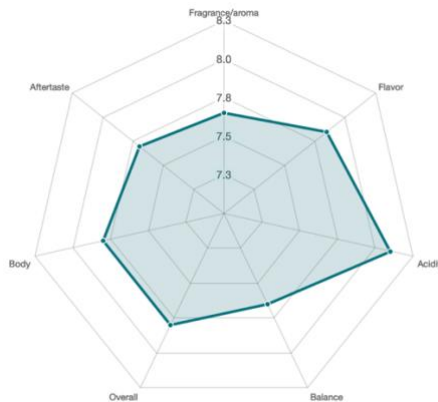


(ANACAFÉ, 2011)

3) Traditional Atitlan

El café de la región de Atitlan se caracteriza por ser cultivado en suelo con alta concentración de materia orgánica, así como también por cultivarse en suelo rico en minerales por los volcanes de la región. La temperatura de la región oscila entre 20-22°C. La altitud de la región es de 5,000-5600 pies (1,524-1,707 metros) y la humedad se encuentra entre 75-85%. Las características organolépticas de este tipo de café se describen en la Figura 3. La característica principal de este tipo de café es su aroma y sabor cítrico, al igual es un café de cuerpo completo (ANACAFÉ, 2011).

Figura 3. Características organolépticas de café tipo Traditional Atitlán.

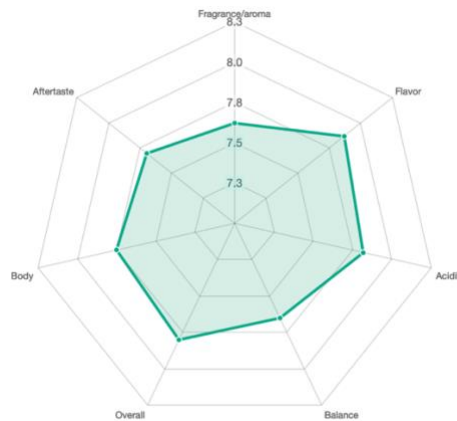


(ANACAFÉ, 2011)

4) Rainforest Cobán

El café de Rainforest Cobán se cultiva en suelo calizos y arcillosos. La región se caracteriza por estar en una altura de 4,300-5,600 pies con una humedad del 85-95%. La temperatura de la región oscila entre 15-20°C. Las características organolépticas se describen en la Figura 4. La principal característica del café de esta región es que posee notas frutales, el cuerpo es fino, equilibrado y aroma agradable.

Figura 4. Características organolépticas café Rainforest Cobán.

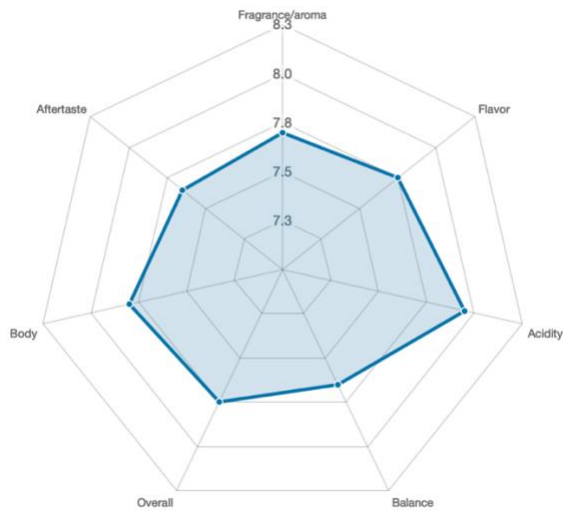


(ANACAFÉ, 2011)

5) Fraijanes Plateau

El café de la región de Fraijanes se caracteriza por ser cultivado en zona de gran altura, así como también de suelo con alta concentración de minerales debido a volcanes. La altura de esta zona está entre 4,500-6,000 pies. La humedad oscila entre 70-90% y la temperatura de la región está entre 12-26°C. Las características organolépticas se describen en la Figura 5. La característica principal de este tipo de café es su acidez persistente, con un aroma y cuerpo definido (ANACAFÉ, 2011).

Figura 5. Características organolépticas de café de Fraijanes Plateau.

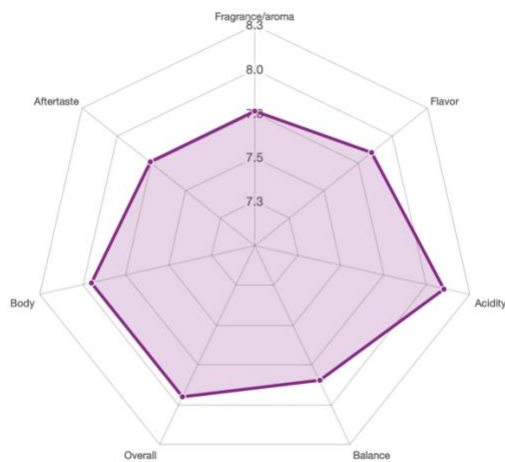


(ANACAFÉ, 2011)

6) Highland Huehue

El café Highland Huehue se caracteriza por ser cultivada a gran altitud y tierra más seca. El café se cultiva en altitud de hasta 5,500 pies con humedad entre 48-80% y temperatura que oscila entre 20-25°C. Las características organolépticas del café se describen en la Figura 6. Las características de este café es que posee alta acidez y notas frutales (ANACAFÉ, 2011).

Figura 6. Características organolépticas de café Highland Huehue.

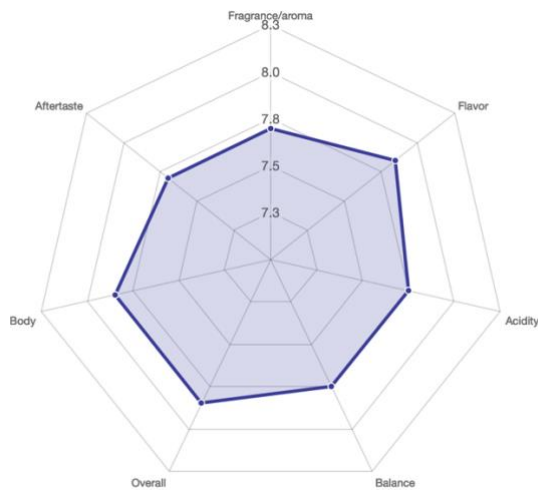


(ANACAFÉ, 2011)

7) New Oriente

New Oriente café es característico por cultivarse en suelo rico en minerales debido a región volcánica. Se cultiva en una altura de 4,300-5,600 pies con una humedad de 70-80% y temperaturas de 18-25°C. Las características organolépticas del café de New Oriente se muestran en la Figura 7. Las características del café es que posee un balance en sus características organolépticas (ANACAFÉ, 2011).

Figura 7. Características organolépticas café New Oriente.

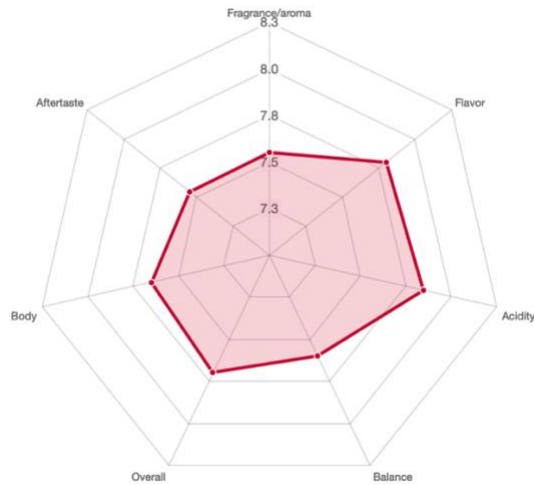


(ANACAFÉ, 2011)

8) Volcanic San Marcos

El café de Volcanic San Marcos se caracteriza por ser un café cultivado en una región caliente con temperaturas que oscilan entre 21-27. Posee los patrones de lluvia más altos de las ocho regiones, siendo éstas de 160-200 pulgadas. Por otra parte, este tipo de café se cultiva a una altitud de 4300-6000 pies. La humedad de la región es de 70-80%. Las características organolépticas del café se describen en la Figura 8. Las principales características del café es que posee aroma y notas frutales, así como también buen cuerpo y acidez pronunciada (ANACAFÉ, 2011).

Figura 8. Características organolépticas de café Volcanic San Marcos.

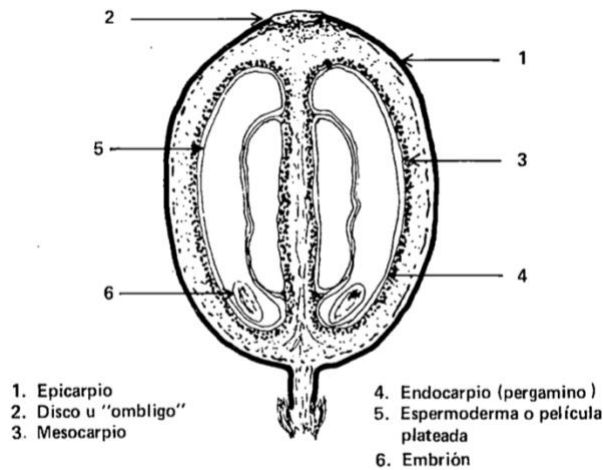


(ANACAFÉ, 2011)

b. Descripción del fruto de café

Las fracciones anatómicas del fruto de café se componen de endospermo (el grano de café propiamente), la cáscara o endocarpio, una capa mucilaginosa o mesocarpio, y la pulpa o esocarpio. La semilla del café está constituida por dos partes que presentan una superficie plana. Dichas partes se unen dentro del endocarpio por medio de una membrana conocida como pergamino o cascarilla de café. La cascarilla está cubierta por una capa de células que forman la pulpa (Bressani, R.; Braham, J., 1978). En la Figura 9 se puede observar gráficamente las partes del grano de café.

Figura 9. Partes que constituyen el grano de café cerezo.



(INCAP, 1978)

c. Procesamiento del fruto de café

El procesamiento del fruto del café consiste en la separación de la semilla del resto de componentes que conforman al fruto, garantizando un producto final de calidad. El tipo de procesamiento depende de las características finales que se deseen en el café. Y el proceso de obtención de la semilla puede realizarse por un método seco y un método húmedo (Ferrão, 2009).

En el beneficiado seco, los frutos recolectados son secados y luego mecánicamente son pelados hasta obtener la semilla. En este proceso, no se separa los frutos maduros y no maduros, por lo que esta mezcla compondrá el batch final. El secado del fruto se puede realizar en patios por medio de la radiación del sol o en secadores mecánicos. Durante el secado, los granos de café se desprenden del endocarpio y después de 3-4 semanas, dependiendo de las condiciones de secado, los frutos están listos para ser descascarados (Ferrão, 2009).

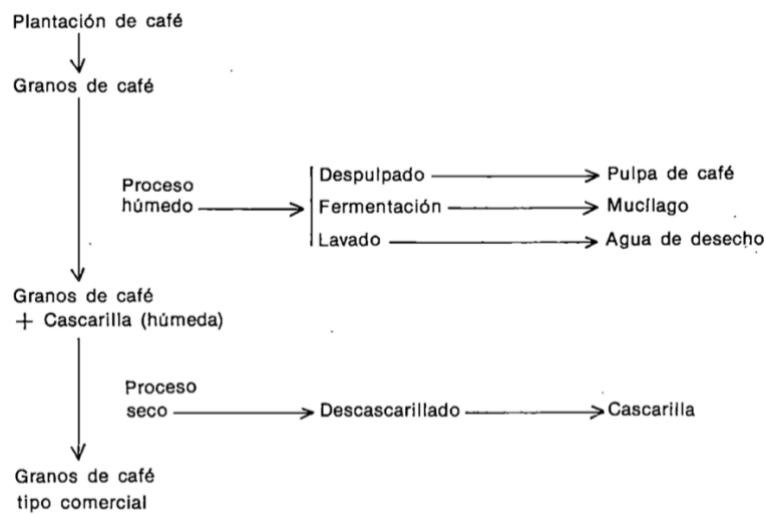
En el beneficiado húmedo, los granos de café luego de ser cosechados son llevados a los beneficios. Los granos se sumergen en un tanque con agua para remover los granos dañados, frutos no maduros y otros materiales extraños que puedan flotar, así como también sirve como un proceso de transporte. Esto debido a que los frutos muy maduros, así como también los frutos verdes poseen una densidad menor a la del agua, por lo tanto, tienden a flotar y producir la separación de los frutos. Posteriormente al remojo, para obtener los

granos comerciales de café, estos se someten a dos procesos. El primero es el remojo o procesamiento húmedo que genera como subproducto la pulpa de café, mucílago y aguas de desecho (Bressani, R.; Braham, J., 1978).

El segundo proceso es una operación en seco que se realiza para la separación de la cascarilla del grano de café. La pulpa generada es transportada junto con el agua hacia un sistema de recolección de desperdicios. Posteriormente los granos de café se transportan por agua, hacia tanques de fermentación o hacia maquinaria con el propósito de remover el mucílago presente en los granos. El mucílago está compuesto, principalmente, por pectina y para su eliminación es necesario de procesos fermentativos que involucran reacciones químicas y biológicas. En esta fase, los granos de café son almacenados para permitir el proceso enzimático que causa la degradación del mucílago. Durante el proceso, la temperatura aumenta debido a la fermentación alcohólica generada por los azúcares presentes en la pulpa, lo cual es favorable para la acción enzimática de la pectina. El tiempo ideal para la fermentación es entre 24 y 72 horas (Bressani, R.; Braham, J., 1978).

Luego de la remoción del mucílago, los granos son lavados y luego son deshidratados. Al secarse, los granos pasan al proceso de beneficiado para la separación de la cascarilla. Al finalizar el procesamiento, los subproductos que se generan durante el procesamiento del café son la pulpa, el mucílago y la cascarilla de café. En la Figura 10 se muestra el procesamiento del grano de café y los subproductos generados (Bressani, R.; Braham, J., 1978).

Figura 10. Procesamiento del grano de café y subproductos generados.



(INCAP, 1978)

Según estudios realizados por INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá) de 1000 g de frutos de café se obtienen 432 g de pulpa de café, lo que representa un 28.7%. De los 568 g de café despulpado, luego del proceso de fermentación y lavado, se obtiene una recuperación de 450 g, que significa un 55.4% con respecto al total. La diferencia de peso es el mucílago y los azúcares libres separados lo que representa un 4.9%, mientras que la cascarilla un 11.9%.

Cuadro 3. Balance de los materiales obtenidos del procesamiento de café.

Producto	Peso fresco (g)	Peso (%)	Humedad (%)	Peso seco (g)	Porcentaje
Café cereza	1000	0.0	65.5	345	-
Pulpa de café	432	43.2	77.0	99	28.7
Fruto de café (mucílago y cascarilla)	568	56.8	56.0	250	72.2
Mucílago	-	-	-	17	4.9
Fruto de café y cascarilla	450	-	50.0	225	-
Cascarilla	61	6.1	32.0	41	11.9
Fruto de café	389	38.9	51.0	191	55.4

(INCAP, 1978)

d. Composición química de la pulpa de café y otros subproductos

La pulpa de café es el principal residuo sólido que se genera durante el procesamiento húmedo del café. De 100 gramos de fruto, 40 g aproximadamente es de pulpa (Dias *et al.* 2015). Diferentes estudios se han llevado a cabo para evaluar la composición química de la pulpa y cascarilla de café. De acuerdo con las investigaciones, se ha estudiado que la cascarilla de café está compuesta (en peso seco) por proteína (8%-11%), lípidos (0.5%-3%), minerales (3%-7%), carbohidratos (58%-85%), azúcares reductores (14%). De igual manera, la cascarilla de café está compuesta por 24.5% de celulosa, 29.7% de hemicelulosa, 23.7% de lignina y 6.2% de cenizas (Esquivel & Jimenez, 2012).

Con respecto a la pulpa de café, este es el primer producto que se obtiene durante el procesamiento del café, y representa, en base seca, alrededor del 29% del peso del fruto entero. La pulpa es la que posee la mayor cantidad de compuestos fenólicos comparados con la cascarilla. El mayor compuesto fenólico presente en la pulpa es el ácido 5-cafeoilquinico, aunque también se ha identificado epicatechin, ácido 3,4-dicafeoilquinico,

ácido 3,5-dicafeolquinico, ácido ferúlico, entre otros (Clifford and Ramirez-Martinez, 1991). El ácido clorogénico es el mayor ácido fenólico presente en la pulpa de café, representando un 94%-95% de los ácidos fenólicos. La extracción y recuperación de los compuestos bioactivos, como los ácidos fenólicos y compuestos relacionados, es una de las aplicaciones más prometedoras para valorizar la pulpa y cascarilla de café (Bressani, R.; Braham, J., 1978). Otros compuestos se presentan en el cuadro 4 en porcentaje de base seca.

Cuadro 4. Compuestos presentes en la pulpa de café en porcentaje de base seca.

Compuesto	% base seca
Taninos	1.80-8.56
Sustancias pécticas totales	6.5
Azúcares reductores	12.4
Azúcares no reductores	2.0
Cafeína	1.3
Ácido clorogénico	2.6
Ácido cafeico total	1.6

(Bressani, R.; Braham, J., 1978)

B. Reacción de óxido-reducción

La reacción de óxido-reducción es una reacción química que implica el movimiento de electrones, en donde un sistema pierde electrones (oxidación), mientras el otro sistema gana electrones (reducción). La reacción de oxidación se refiere a la semirreacción que implica la pérdida de electrones; mientras que la reacción de reducción es una semirreacción que implica una ganancia de electrones. El sistema que pierde electrones se le llama agente reductor, mientras que el agente oxidante es el que gana los electrones cedidos. La magnitud de la oxidación en una reacción redox debe ser igual a la magnitud de la reducción, lo que significa que el número de electrones cedidos debe ser igual al número de electrones ganados (Chang, 2010).

C. Antioxidantes en el café

1. Cafeína

La cafeína es un alcaloide del grupo de las xantinas que se encuentra en plantas, alimentos y bebidas. Su nombre IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) es 1,3,7-Trimethylpurine-2,6-dione. Es un compuesto sin olor y en estado sólido se observa como un polvo blanco, cuya solubilidad es aproximadamente 21.6 g/L (Fujioka y Shibamoto, 2017).

El consumo de cafeína posee ciertos beneficios a la salud, así como también el exceso de este puede generar ciertas consecuencias en la salud. La cafeína actúa como estimulante del sistema nervioso central lo que genera un mayor estado de alerta, mejora la atención, mejora la memoria, entre otros beneficios. Los beneficios y efectos de la cafeína en el consumidor no se han demostrado a totalidad. Por otra parte, uno de los mayores beneficios de la cafeína es su capacidad antioxidante. La cafeína como antioxidante interviene en protección de la degradación del DNA debido a los radicales libres, protección de la oxidación del colesterol y protección contra los productos de la reacción de Fenton (Abreu et al., 2011).

2. Ácidos clorogénicos

El ácido clorogénico es el éster del ácido caféico y del ácido quínico. Los subgrupos de los ácidos clorogénicos son los ésteres de ácido quínico con el ácido caféico. El subgrupo de isómeros de los ácidos clorogénicos son los ácidos cafeoilquínicos, ácidos feruolquínicos, dicafeoilquínicos y, en menor cantidad, el ácido p-cumaroilquínico. (Farah, 2006).

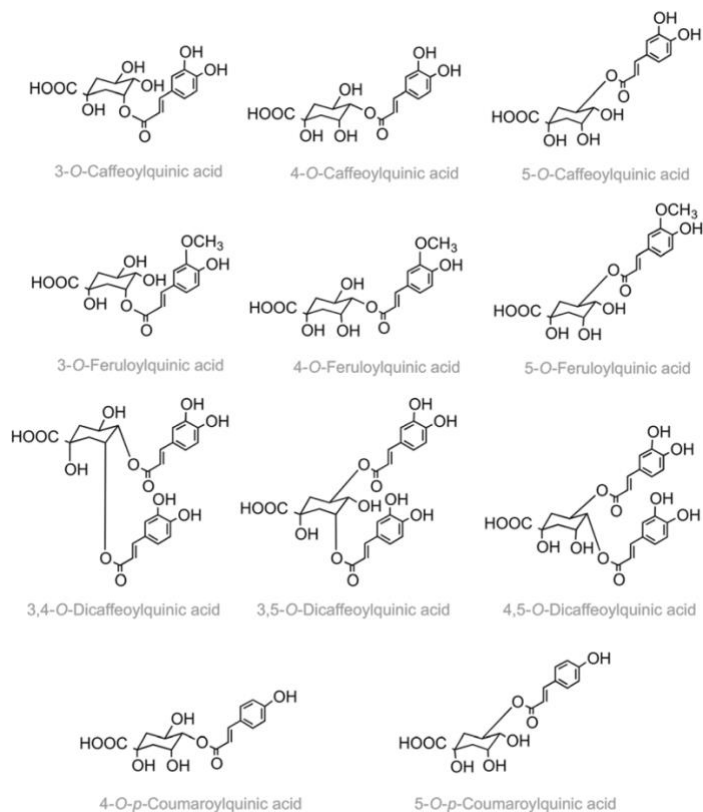
Los ácidos clorogénicos son compuestos fenólicos solubles en agua y termosensibles. Representan entre el 4%-12% de la composición de materia seca del café. Durante el tostado del café, ocurren reacciones de Maillard, lo que le da la amargura característica debido a la liberación de ácido caféico y a los productos formados como lactonas y otros fenoles responsables del sabor y aroma (Farah, 2006).

Los ácidos clorogénicos y las lactonas no solo contribuyen con las características organolépticas del café, sino que también son de interés por la actividad farmacológica que presentan estos compuestos. Distintos estudios se han realizado con respecto a los efectos de los ácidos clorogénicos en el organismo. Estos han demostrado efectos positivos en el tratamiento de enfermedades degenerativas, cardiovasculares y cáncer. Otros estudios han

demostrado un efecto positivo en el metabolismo de la glucosa y lípidos, por lo que puede presentar un potencial para el tratamiento de personas con diabetes (Cho et al., 2010); así como también los ácidos clorogénicos presentan un comportamiento antiinflamatorio. Los principales ácidos clorogénicos presentes en el café son altamente disponibles siendo absorbidos y/o metabolizados rápidamente en todo el tracto gastrointestinal (Liang & Kitts, 2016).

El fruto de café contiene una variedad de polifenoles, presentando una mayor cantidad en el café tipo Arábica que en Robusta. El contenido de ácidos clorogénicos en el café varía entre el fruto verde y maduro. El grano verde de café contiene la mayor cantidad de ácidos clorogénicos, siendo estos entre un 6%-12%, mayor porcentaje que la cafeína. El ácido clorogénico con un mayor contenido presente en el fruto del café es el ácido 5-O-Caffeoylquinico, aunque también existen otros ácidos clorogénicos presentes en el fruto de café (Crozier *et al.*, 2014). Las estructuras de otros ácidos clorogénicos presentes en la pulpa de café se pueden observar en la Figura 11.

Figura 11. Estructuras de los principales ácidos clorogénicos presentes en el fruto de café.



(Crozier *et al.*, 2014)

El ácido clorogénico se forma por la esterificación de una molécula de ácido quínico y de una a tres moléculas del ácido trans-hidroxicinámico, principalmente cafeico, ferulico y p-cumárico. Durante el procesamiento del café, los ácidos clorogénicos sufren una transformación química como isomerización, hidrolisis o degradación en moléculas de menor peso molecular; las elevadas temperaturas del tostado, de igual manera, generan la reducción de la cantidad de ácidos clorogénicos por la transformación en quinolactonas y melanoidinos. Los melanoidinos son moléculas de alto peso molecular de color café generados por la reacción de Maillard entre un grupo amino y la reducción de azúcares (Panusa *et al.*, 2013).

a. Seguridad del ácido clorogénico

Uno de los mayores compuestos fenólicos presentes en las extracciones realizadas con café es el ácido clorogénico, que representa aproximadamente el 40% de estos. Los ácidos clorogénicos son ésteres formados entre ciertos ácidos cinámicos y ácido quínico. Los ácidos clorogénicos se encuentran en diferentes alimentos como frutas y verduras. En el café la cantidad de ácido representa de un 70 a 350 mg por porción (Clifford, 1999). Según investigaciones, la ingesta de ácido clorogénico para las personas que consumen café varía entre 500 a 1000 mg, mientras que las personas no consumidoras de café ingieren un valor menor a 100 mg por día (Olthof *et al.*, 2001). De acuerdo con la bibliografía, basados en la concentración de ácido clorogénico de 40% y resultados de extracción, los consumidores de café ingieren en promedio 157 mg de ácido por persona al día (Martin *et al.*, 2019).

b. Metabolismo del ácido clorogénico

La absorción, distribución, metabolismo y excreción del ácido clorogénico ha sido estudiada tanto en animales como en personas. El estudio en animales indica que pequeñas cantidades de ingesta del ácido clorogénico se absorben sin dificultad en el estómago y en el intestino delgado, mientras que la mayor parte se transporta sin dificultad al tracto gastrointestinal inferior (Azuma *et al.*, 2000; Gonthier *et al.*, 2003; Lafay *et al.* 2006). Al llegar al colon, los ácidos clorogénicos se hidrolizan a ácido caféico y ácido quínico que luego se metabolizan a través de vías metabólicas comunes mediadas por la microflora intestinal. El ácido quínico se convierte en ácido benzoico, que puede metabolizarse aún más en el hígado por reacción de conjugación con glicina para producir ácido hipúrico (Gonthier *et al.*, 2003). Las investigaciones determinaron que aproximadamente el 60% de una dosis ingerida de ácido clorogénico se recupera como metabolitos en la orina de las ratas, siendo el ácido hipúrico el metabolito predominante que representa el 36.5% de la dosis ingerida (Gonthier *et al.*, 2003).

Investigaciones en personas indican que aproximadamente el 70% de la dosis ingerida es transportada hacia el colon sin dificultades (Olthof *et al.*, 2001). Pequeñas cantidades (menores al 2% de la dosis administrada) se recupera como ácido clorogénico en la orina luego de pasar por el proceso digestivo. La investigación indica que no se observó evidencia de saturación de las vías metabólicas a dosis de hasta 2 g/día, como lo indica la pequeña cantidad de ácido clorogénico intacto recuperado en la orina (Rechner *et al.*, 2001).

c. Toxicidad del ácido clorogénico

El ácido clorogénico es un antioxidante de baja toxicidad considerado por la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos por sus siglas en ingles). Estudios en ratas de laboratorio no se observó mortalidad ni morbilidad al administrar una dosis de 2436 mg por kilogramo de peso (Chaube y Swinyard, 1976). En un estudio a corto plazo, los efectos adversos toxicológicamente no fueron relevantes al subministrar 1000 mg por kg de peso durante 3 semanas (Eklund, 1975). De igual manera, a largo plazo, así como también estudios en ratas con gestación de 5 a 12 días no mostraron efectos toxicológicamente relevantes tanto en las madres como en las crías, administrando una dosis de 500 mg por kg de peso (Chaube y Swinyard, 1976). Dichos estudios toxicológicos demuestran y avalan que el consumo de ácido clorogénico no afecta al consumidor.

d. Beneficios del ácido clorogénico

Los antioxidantes son sustancias que a inhiben la oxidación de otra sustancia a cierta concentración, por lo que previenen el daño celular debido los radicales libres (Young, 2000). Los ácidos clorogénicos son antioxidantes naturales que poseen diversas funciones debido a su capacidad antioxidante. Estos compuestos pueden utilizarse principalmente en la industria de alimentos, así como también en la industria farmacéutica. Las investigaciones toxicológicas del ácido clorogénico mostraron que el consumo de estos no genera efectos adversos en el consumidor. Debido a esto la organización de Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA por sus siglas en ingles) cataloga la sustancia como GRAS (Generalmente Reconocido como Seguro por sus siglas en inglés) como se cita en el documento GRAS No. 868 (Martin *et al.*, 2019).

3. Ácido clorogénico en la industria alimenticia

Debido a su capacidad antioxidante, el ácido clorogénico se puede utilizar de distintas formas en la industria alimenticia. Debido a que dicha sustancia no presenta ninguna evidencia

toxicológica relevante, de acuerdo con estudios posteriores, la utilización de esta depende de las BPM (Buenas Prácticas de Manufactura) de acuerdo con la FDA (Martin *et al.*, 2019).

a. Propiedades antimicrobianas

La utilización de aditivos químicos en alimentos es de importancia debido a preservación y aumento del tiempo de vida de estos. Estudios con respecto al ácido clorogénico han demostrado que este puede ser utilizado como agente antimicrobiano, lo cual puede ser útil para la preservación de los alimentos (Muthuswamy, 2007).

De acuerdo con estudios, la actividad del ácido clorogénico posee un rango amplio de microorganismos como bacterias, hongos, levaduras, virus y amebas. La mayoría de los estudios se han realiza en microorganismos patógenos. Algunos de los microorganismos en donde el ácido clorogénico ha mostrado actividad relevante han sido *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, con una concentración inhibitoria mínima (MICs por sus siglas en inglés) con rango de 0.008 a 10 mg/mL (Bajko *et al.*, 2016).

Por otra parte, se han realizado estudios en bacterias probióticas para determinar su actividad. De acuerdo con los resultados, el ácido clorogénico no muestra una inhibición antes las bacterias *Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus crispatus*, *L. johnsonii*, *L. paracasei*, *L. plantarum*, *L. reuteri* y *L. rhamnosus* en concentraciones de hasta 10 mg/mL (Puupponen, 2001). Estos resultados representan que la resistencia de la actividad del ácido clorogénico en los probióticos puede resultar como aditivo antimicrobiano natural, dándole un valor agregado al extracto.

4. Purificación de ácido clorogénico

Existen diferentes métodos de purificación y de aislamiento del ácido clorogénico. Uno de los métodos más comunes y de beneficio para el medio ambiente es por medio del carbón activado. El carbón activado se ha utilizado como adsorbentes para separar selectivamente los compuestos fenólicos de los alimentos o subproductos. En la literatura se pueden encontrar informes sobre el uso de otro tipo de absorbentes para recuperar CGA, es decir, resina no polar probada en jugo de manzana (Kammerer *et al.*, 2007), copolímero de estireno divinilbenceno hidrofóbico usado en soluciones (Kubo *et al.*, 2002), entre otros. El método propuesto en este trabajo podría ser un procedimiento respetuoso con el medio ambiente para extraer compuestos de CGA con valor agregado de subproductos de la industria del café (Murthy y Madhava Naidu, 2012), que se consideran materiales de desecho y están ampliamente disponibles en el mundo. Investigaciones han determinado que la utilización del

carbón activado genera rendimientos considerables para la adsorción del ácido clorogénico y remoción tanto de olor como de sabores que pueden afectar el producto final (Leonor, *et al.*, 2013).

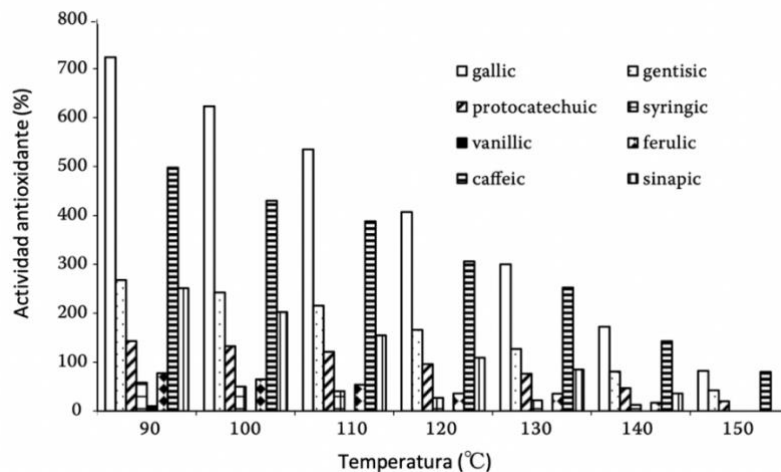
b. Actividad antioxidante

De acuerdo con investigaciones, el ácido clorogénico puede prevenir ciertos cambios químicos no deseables en alimentos, como la oxidación de lípidos. La oxidación de alimentos se debe principalmente a los radicales libres, que pueden provocar sabores no deseados, así como también compuestos tóxicos, alteración de la calidad del alimento como textura, apariencia, sabor y valor nutricional (Laguerre, 2011). En las investigaciones se observó que el ácido clorogénico inhibe la oxidación del aceite de tung con una capacidad de antioxidante mejorada hasta una longitud de cadena alquílica de 12 carbonos (Laguerre, 2011).

1). Efectos de la temperatura en antioxidantes

Las características y propiedades de los antioxidantes pueden ser afectadas por distintos factores. La temperatura es uno de los factores más importantes que afectan la actividad antioxidante. El calentamiento de compuestos antioxidantes provoca una aceleración de reacciones y una disminución de la actividad antioxidante. Estudios sobre secado de compuestos orgánicos han determinado que, a mayor temperatura de operación, la concentración de compuestos fenólicos disminuye de manera lineal (Réblová, 2012). Como se puede observar en la Figura 12, de acuerdo con la experimentación, el porcentaje de la actividad antioxidante de distintos compuestos disminuye conforme aumenta la temperatura.

Figura 12. Actividad antioxidante de ácidos fenólicos a distintas temperaturas.



(Réblová, 2012)

Por otra parte, las bajas temperaturas generan una disminución de las reacciones de oxidación y degradación en compuestos como antioxidantes. Esto genera una mayor preservación de las propiedades y características de los productos. Investigaciones en distintas presentaciones de frambuesa (frescas, congeladas y comerciales), demostraron que la desviación de la actividad antioxidante no es significativa (Mullen *et al.*, 2002).

Según esto, se puede concluir que no existió variación en la capacidad antioxidante por efectos de congelamiento en el producto, como se puede observar en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Concentración de ácido p-cumárico en frambuesas de acuerdo con distintas presentaciones.

Ácido cumárico	Fresca	Congelada	Comercial
free	0.07 ± 0.02	0.05 ± 0.01	nd
conjugated	0.28 ± 0.04	1.85 ± 0.10	0.52 ± 0.04
total	0.35 ± 0.06	1.90 ± 0.08	0.52 ± 0.04

(Mullen *et al.*, 2002)

*Los resultados son expresados en nanomoles por gramo ± desviación estándar.

D. Alimentos con antioxidantes

1. Bebidas con antioxidantes

Debido a las propiedades de los antioxidantes, la ingesta de estos es importante para la prevención de enfermedades como por ejemplo la enfermedad coronaria que se da principalmente por la oxidación de lípidos en la pared arterial. Los antioxidantes se encuentran en ciertos alimentos, como frutas y verduras; así como en bebidas como el té y el café (Gunduc, 2003).

Según investigaciones, una de las bebidas más consumidas y que posee un alto nivel de antioxidante es el café. Dicha bebida posee una concentración total de polifenoles de 2389.15 mg/mL solución. Otra bebida que poseen un alto nivel de antioxidantes es el vino tinto el cual posee una concentración de polifenoles totales de 2017 mg/mL (Gunduc, 2003).

Por otra parte, la tendencia a consumir productos naturales ha aumentado en los últimos años. De acuerdo con un informe de Grand View Research en 2019, se proyecta que la industria de productos naturales y orgánico tendrá un valor de \$25 millones para 2025.

Actualmente no existen bebidas con alto nivel de antioxidantes en el mercado de Guatemala. Mundialmente existen algunas marcas de bebidas que ofrecen un alto nivel de antioxidantes a través de la infusión y extracción de compuestos antioxidantes naturales.

2. Requerimientos legales

Para comercializar un producto en el mercado alimenticio este debe de cumplir normas, reglamentos y requisitos que garanticen la inocuidad, calidad y seguridad del producto para el consumidor. Estos requerimientos y normas mayormente se rigen de acuerdo con el país y a distintas normas internacionales. En Guatemala, los requerimientos legales se basan en el Código de Salud, según el Decreto 90-97 del Congreso de la República, en la cual se garantiza la protección de la salud de los guatemaltecos. Según esto, el Acuerdo Gubernativo número 969-99 establece que todos los habitantes tienen derecho a consumir alimentos inocuos y de calidad aceptable. Por lo que el organismo que legisla el cumplimiento de esta es el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social y Agricultura, Ganadería y Alimentación, implementando normas y acciones de prevención y promoción.

3. Reglamento Técnico Centroamericano

El Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) es una serie de reglamentos establecidos por los Entes de Normalización de los países centroamericanos. Estos están conformados por representantes de los sectores Académico, Consumidor, Empresa Privada y Gobierno. Existen distintos tipos de normativas según los sectores industriales, de los que se incluyen la industria alimenticia. Para alimentos y bebidas existen distintos tipos de reglamentos que regulan y garantizan la seguridad e inocuidad de los productos de acuerdo con el tipo de alimento y bebidas (Ministerio de Salud, 2019).

a. RTCA 67.01.33:06

El reglamento inscrito según el código 67.01.33:06 rige la Industria de Alimentos y Bebidas Procesadas. Buenas Prácticas de Manufactura. La misma establece las disposiciones generales sobre prácticas de higiene y de operación durante la industrialización de los productos alimenticios, a fin de garantizar alimentos inocuos y de calidad. El mismo se aplica a industrias de alimentos que operen y que distribuyan productos en el territorio de los países centroamericanos.

b. RTCA 67.01.02:10

El reglamento centroamericano inscrito bajo la numeración 67.01.02:10 se basa en el etiquetado general de alimentos previamente envasado. En el mismo se describen los requisitos que se deben de cumplir en el etiquetado de alimentos para consumo, como información nutricional, fecha de caducidad, entre otras características.

c. RTCA 67.04.48:08

Dicho reglamento establece las especificaciones para alimentos y bebidas procesadas, específicamente néctares de frutas. En el mismo se aplica a néctares de una sola fruta y a la mezcla de dos o más frutas, que se producen o comercializan en la región centroamericana. En estos se incluyen parámetros como el porcentaje de pulpa, grados brix, aditivos alimenticios, entre otros.

Entre los aditivos alimentarios que se permiten para los alimentos y bebidas basados en néctares frutales se encuentran antioxidantes, regulares de acidez, edulcorantes, entre otros. El Cuadro 6 muestra los aditivos alimentarios clasificados en antioxidantes, reguladores de acidez y edulcorantes, así como también el nivel máximo permisible de acuerdo con la normativa.

Cuadro 6. Aditivos alimentarios

Nº del SIN	Aditivo alimentario o grupo de aditivos	Nivel máximo	Observaciones
ANTIOXIDANTES			
300	Ácido ascórbico	BPF	
301	Ascorbato sódico	BPF	
302	Ascorbato cálcico	BPF	
303	Ascorbato potásico	BPF	
220, 225, 227, 228, 539	Sulfitos	50 mg/kg	como SO ₂ residual
REGULADORES DE LA ACIDEZ			
296	Ácido málico, (DL-)	BPF	
330	Ácido cítrico	5.000 mg/kg	
334	Tartratos	1.600 mg/kg	como ácido tartárico
EDULCORANTES			
950	Acesulfame potásico	350 mg/kg	
951	Aspartamo	600 mg/kg	
954	Sacarina (y sus sales de sodio, potasio y calcio)	80 mg/kg	
955	Sucralosa	300 mg/kg	

(CODEX STAN 247-2005)

Con respecto a las características de calidad e inocuidad, los néctares deberán cumplir con las características sensoriales de color, olor y sabor propias de las frutas que proceden. Deberán ser elaborados en condiciones higiénicas-sanitarias, de acuerdo con el RTCA 67.01.33:06 (Buenas Prácticas de Manufactura). Los cuadros 7 y 8 describen las características de calidad y los criterios microbiológicos establecidos para dichos alimentos.

Cuadro 7. Características de calidad para alimentos con néctares de fruta

Características	Criterio	Método
pH	Máximo de 4.5	AOAC Cap. 42 981.12. Edición 17
Elementos histológicos	Característico del producto	OFSANPAN Vol. II 053-04-02J
Preservantes	Ausentes	AOAC 963.19, 994.11. Edición 17 AOAC 983.16. Edición 17
Colorantes artificiales	Ausentes	AOAC 35.001, 35.002. Edición 10

Cuadro 8. Criterios microbiológicos

Parámetro	Plan de muestreo				Límite	
	Tipo de riesgo	Clase	n	c	m	M
Recuento mohos y levaduras	C	3	5	1	10 UFC/ ml	20 UFC/ ml
Coliformes totales		2		0	-----	<3 NMP/ml

d. RTCA 67.01.30:06

La normativa corresponde al procedimiento que se debe de aplicar para otorgar la licencia sanitaria a fábricas de alimentos procesados y las bodegas de almacenamiento de estas. La misma es una adaptación de las Legislaciones de los Países Centroamericanos en materia de Licencias Sanitarias. El procedimiento para la obtención de la licencia sanitaria se basa de acuerdo con la normativa de Buenas Prácticas de Manufactura.

e. RTCA 67.04.54:10

Esta normativa aplica a los aditivos alimentarios para alimentos y bebidas procesadas. El mismo es una adaptación de la norma Codex Stan 192-1995. En la misma se establecen los límites máximos permitidos en las diferentes categorías de alimentos.

La misma normativa define los antioxidantes como aditivos alimentarios que prolongan la vida en almacén de los alimentos protegiéndolos del deterioro ocasionado por la oxidación generada por los radicales libres. Entre estos antioxidantes se encuentra el ácido ascórbico. Como se puede observar en el Cuadro 9, describe los límites máximos permisibles que se pueden utilizar en los alimentos y bebidas.

4. Licencia ambiental

La licencia ambiental es un documento extendido por la DIGARN (Dirección de Gestión Ambiental y Recursos Naturales) en donde se certifica el cumplimiento del procedimiento administrativo para la conservación y protección de los recursos naturales. Dicho documento, se rige bajo el decreto gubernamental 68-86, el cual establece la ley de protección y mejoramiento del medio ambiente. La licencia ambiental debe solicitarse por medio de un documento físico y debe de entregarse en el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (Ministerio de Ambiente, 2019).

5. Mercado nacional e internacional

Actualmente en el mercado nacional no existen productos procesados (como bebidas, cosméticos, alimentos, etc.) que posean ácido clorogénico, como su principal compuesto activo. Aunque dicho ácido está presente en alimentos como frutas, verduras, café y té (en menor proporción), no existe en Guatemala un producto específico con dicho compuesto.

A nivel mundial existen diferentes productos con ácido clorogénico como su principal componente activo, como lo son las bebidas y cosméticos. Con respecto a las bebidas nutracéuticas (bebidas benéficas para el consumidor), la tasa de crecimiento anual compuesta representa el 6.1%, con un valor de \$93.68 billones (Grand Review Research, 2018). Marcas mundiales como Bai drinks, ofrecen bebidas con ácido clorogénico y compuestos fenólicos con un contenido neto de hasta 200 mg.

Con respecto a los cosméticos, la utilización del ácido clorogénico se emplea principalmente en productos para el cuidado del cabello y piel, principalmente por su capacidad antioxidante, propiedades antimicrobianas y antiinflamatorias. Marcas como Frank Body products, utilizan el ácido clorogénico en sus productos por las propiedades mencionadas. Actualmente en Guatemala, no existen productos cosméticos (tantos industriales como artesanales) con ácido clorogénico como componte activo.

Cuadro 9. Nivel máximo permisible de ácido ascórbico en alimentos y bebidas.

ACIDO ASCORBICO INS 300			
Función: Antioxidante, agente de retención del color, regulador de la acidez			
No categoría de alimentos	Categoría de alimentos	Nivel máximo	Observaciones
02.1	Grasas y aceites prácticamente exentos de agua	200 mg/kg	
02.2.1.1	Mantequilla y mantequilla concentrada	BPM	Nota 52
04.1.1	Frutas frescas	500 mg/kg	
04.2.1	Hortalizas (incluidos hongos y setas, raíces y tubérculos, legumbres y leguminosas y áloe vera) algas marinas y nueces y semillas frescas	500 mg/kg	
04.2.2.1	Hortalizas (incluidos hongos y setas, raíces y tubérculos, legumbres y leguminosas y áloe vera) algas marinas y nueces y semillas congeladas	100 mg/kg	
04.2.2.7	Productos a base de hortalizas (incluidos hongos y setas, raíces y tubérculos, legumbres y leguminosas y áloe vera) y algas marinas fermentadas, excluidos los producto fermentados de soja de la categoría 12.10	BPM	
06.2.1	Harinas	300 mg/kg	
06.4.1	Pastas y fideos frescos y productos similares	200 mg/kg	
06.4.2	Pastas y fideos deshidratados y productos similares	200 mg/kg	
08.1	Carne fresca, incluida la de aves de corral y caza	2000 mg/kg	
09.1	Pescado y productos pesqueros frescos, incluidos moluscos, crustáceos y equinodermos	200 mg/kg	
09.2	Pescado y productos pesqueros elaborados, incluidos moluscos, crustáceos y equinodermos	BPM	
09.2.1	Pescado, filetes de pescado y productos pesqueros congelados, incluidos moluscos, crustáceos y equinodermos	400 mg/kg	
09.2.2	Pescado, filetes de pescado y productos pesqueros rebozados congelados, incluidos moluscos, crustáceos y equinodermos	BPM	
09.2.4	Pescado y productos pesqueros cocidos y/o fritos, incluidos moluscos, crustáceos y equinodermos	200 mg/kg	
12.1.2	Sucedáneos de la sal	BPM	
12.2.1	Hierbas aromáticas y especias	BPM	Nota 51
13.1.2	Preparados de continuación	50 mg/kg	
13.2	Alimentos complementarios para lactantes y niños pequeños	3000 mg/kg	
14.1.2.1	Zumos (jugos) de frutas	BPM	
14.1.2.2	Zumos (jugos) de hortalizas	BPM	
14.1.2.3	Concentrados para zumos (jugos) de frutas	BPM	Nota 127
14.1.2.4	Concentrados para zumos (jugos) de hortalizas	BPM	
14.1.3.1	Néctares de frutas	BPM	
14.1.3.2	Néctares de hortalizas	BPM	
14.1.3.3	Concentrados para néctares de frutas	BPM	Nota 127
14.1.3.4	Concentrados para néctares de hortalizas	BPM	
14.1.5	Café, sucedáneos del café, té, infusiones de hierbas y otras bebidas calientes a base de cereales y granos, excluido el cacao	500 mg/kg	
14.2.3	Vinos de uva	250 mg/kg	

E. Línea de extracción.

Existen diferentes equipos y mobiliarios que se utilizan para el procesamiento de sólidos, de los cuales se componen equipos de transporte mecánico y transporte neumático, silos de almacenamiento y procesamiento, molinos para la reducción de tamaño de partícula, tanques de procesamiento, entre otros.

1. Transporte mecánico

Los transportes mecánicos son el conjunto de equipos y dispositivos necesarios para transportar el producto de forma mecánica entre diferentes puntos de una instalación. Uno de los principales equipos para el transporte de sólidos de manera mecánica es por medio del tornillo sin fin (McCabe, 2014).

El transportador de tornillo es uno de los métodos más antiguos, versátiles y económicos de movilización de sólidos. El principio del tornillo es el movimiento mecánico de un tornillo a acoplado a un compartimiento, para la movilización continua del sólido. El transportador de tornillo tiene menos partes móviles, no tiene recorrido de retorno y puede operar en cualquier ángulo incluso vertical. Algunas de las ventajas del tornillo sin fin es que es un equipo de bajo costo y cuando se diseñan adecuadamente, requieren poco mantenimiento. El transportador de tornillo se puede sellar eficazmente para mantener el polvo y los vapores y evitar la humedad y los contaminantes. Finalmente, se prestan fácilmente a aplicaciones que requieren medición y extremo de alimentación. Este tipo de quipos es ideal para el procesamiento de sólidos en la industria alimenticia (McCabe, 2014).

2. Silos pulmón

Los silos pulmón son mobiliarios acoplados a una tolva de descarga, los cuales se utilizan cuando se necesita movimiento frecuente del sólido y un almacenaje temporal. Se utilizan en áreas donde existen dos velocidades de flujos diferentes, un silo de retención alimentado por gravedad por un equipo, o un silo de descarga rápida sobre un área para cargamento de camiones, lo que genera la facilidad de inspección. Los silos pulmón se utilizan para el funcionamiento del proceso, más no se utilizan para el almacenaje prolongado del material (Wallas, 1990).

En los silos, así como también en los silos pulmón, se deben de tomar en cuenta el acoplamiento de una tolva de descarga, la cual está diseñada de acuerdo con las características físicas del sólido almacenado. Entre estas características se incluye el ángulo de reposo, tamaño de sólido, porcentaje de humedad del sólido, entre otras. Para evitar obstrucciones del sólido en la salida de la tolva, es necesario acoplamientos mecánicos, como sistemas de vibración, tornillos sin fin o dispositivos mecánicos que faciliten y eviten la obstrucción de la salida de la tolva (Wallas, 1990).

3. Molinos

Los molinos son equipos utilizados para la reducción de sólidos de menor tamaño, para generar partículas finas. Existen diferentes tipos de molinos, de los que se incluyen los molinos húmedos. Estos molinos pueden procesar fluidos y sólidos para la reducción de tamaño. Las ventajas de la molienda húmeda incluyen:

- La fracción fina resultante se une directamente en la suspensión, de modo que se evita desde el principio la formación de polvo.
- Los sólidos para moler permanecen en el sistema, a diferencia de los sistemas secos, lo que permite una reducción significativa de las pérdidas.
- La alimentación y la dosificación del producto son más fáciles con la molienda húmeda que con un proceso seco.

(McCabe, 2014)

La molienda húmeda permite que en el proceso de molienda en húmedo ocurran simultáneamente otros procesos y permite la eliminación de los pasos posteriores del proceso. Además de ahorrar tiempo, se puede reducir significativamente el número de sistemas necesarios y el tamaño de las superficies que entran en contacto con el producto. Las máquinas en línea utilizadas para la molienda en húmedo son adecuadas para la limpieza CIP o SIP (McCabe, 2014).

F. Análisis estadístico

Un análisis de varianza evalúa la hipótesis que las medias de dos o más poblaciones son iguales. ANOVA evalúa uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente. Si el valor de p es menor que el nivel de significancia, entonces se concluye que al menos una medida de durabilidad es diferente.

III. JUSTIFICACIÓN

Uno de los mayores problemas para la industria cafetalera es el tratamiento y desecho de la pulpa del grano de café que se genera en el proceso. Para 2019, Guatemala tuvo una exportación de 136.72 millones de sacos de café de 60 kg, lo que significa un total de 8,2013.2 millones de kg de café (8.2 millones ton de café), valorado en \$679.92 millones. Esto representa que se generaron aproximadamente 5.47 millones de ton de pulpa, siendo este el 60% del fruto de café (ANACAFE, 2019). En Guatemala, no existe un tratamiento específico para los desechos sólidos del café. La mayor parte de los beneficios utilizan los residuos sólidos como materia orgánica para elaboración de composta, sin embargo, este residuo puede no recibir un tratamiento previo adecuado, por lo que al colocarse directamente sobre el suelo o desecharse en ríos generan contaminación ambiental, como por ejemplo desnitrificación en los suelos (Rozas, 2004). La utilización de la pulpa de café en otras actividades productivas tiene como beneficio reducir la contaminación de las tierras y agua, además de generarle un ingreso adicional al productor.

Según estudios, los compuestos de mayor interés en la pulpa de café por sus propiedades y posibles aplicaciones son los compuestos fenólicos, principalmente los ácidos clorogénicos. El contenido de estos en la pulpa es aproximadamente de 2.71% en base seca (Bressani, 1978). Actualmente en el mercado, el ácido clorogénico posee un valor de \$114.84/g (95% de pureza). Esto significa que, teniendo una base de 100 g de pulpa, se obtendrían idealmente 2.71 g de ácidos clorogénicos valuados aproximadamente en \$300.00.

Darle un valor agregado a la pulpa de café, con respecto a la obtención de ácidos clorogénicos, tiene el potencial de convertir un subproducto de desecho en un producto de venta que pueda generar mayores utilidades para la industria del café.

IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según la Asociación de Exportadores de Guatemala (AGEXPORT) para 2018-2019 se produjeron aproximadamente 136.172 millones de sacos de 60 kg de café, lo que equivale a 5.47 millones de ton de pulpa de café (USDA, 2019). Dicha pulpa generada no posee un tratamiento previo antes de ser desechada en vertederos por lo que genera contaminación ambiental, como por ejemplo desnitrificación en suelos, y daño en ecosistemas en fuentes hídricas por sus compuestos químicos. Por otra parte, la pulpa del café es un desecho que tiene potencial para poder ser utilizado para la obtención de antioxidantes los cuales pueden ser útiles para la producción de bebidas, medicamentos y otros productos de uso común.

V. OBJETIVOS

A. General

Extraer ácido clorogénico a escala laboratorio a partir de pulpa de café para evaluar una alternativa en el aprovechamiento.

B. Específicos

1. Caracterizar la pulpa por medio de métodos fisicoquímicos para determinar porcentaje de humedad, concentración de sólidos solubles y potencial de hidrógeno.
2. Extraer el ácido clorogénico presente en la pulpa del café por medio de solución acuosa de etanol al 60% v/v.
3. Determinar la concentración de ácido clorogénico presente en la solución de extracción utilizando el método de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) para determinar el rendimiento de extracción.
4. Proponer una línea de extracción de solución de ácido clorogénico a escala planta piloto para presentar una alternativa al aprovechamiento de la pulpa en un beneficio húmedo de café.
5. Evaluar la inversión del proceso de extracción de ácido clorogénico a escala planta piloto por medio de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

VI. METODOLOGÍA

A. Localización

Las muestras se obtuvieron de una finca de café del departamento de Santa Rosa, Guatemala; Chicacao, Suchitepéquez; San Miguel Dueñas, Sacatepéquez y Fraijanes, Guatemala. La experimentación se realizó en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, en el Laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Ingeniería Química (localización geográfica Latitud 14°36'15.41"N; 90°29'23.78" O, elevación 1515 msnm). El análisis del extracto se realizó en el Instituto de Investigaciones de la misma universidad (localización geográfica Latitud 14°36'14.54" N; 90°29'22.57" O, elevación 1517 msnm).

B. Método

1. Población y muestra

Población: cosecha de fruto de café en Guatemala.

Muestras: pulpa de café de cosecha 2019-2020, sembrado en la región de Santa Rosa, Guatemala. Pulpa de café de cosecha 2020-2021, sembrado, cosechado y despulpado en los departamentos de Guatemala, Santa Rosa, Suchitepéquez y Sacatepéquez. Las muestras fueron obtenidas por un beneficiado húmedo de la misma región. Las muestras se procedieron a congelar, a una temperatura inferior a 0 °C.

Figura 13. Pulpa de café proveniente de un beneficiado húmedo.



(Fuente: Imagen propia)

C. Materiales

1. Extracción y preparación de muestras de la pulpa

a. Materiales

- Agua destilada 400 mL
- Etanol 400 mL
- Pulpa de café 100 g

b. Equipo y cristalería

- Termómetro
- Beaker 400±10 mL
- Estufa con agitación magnética
- Pastilla para agitación
- Balanza analítica (±0.001 g)
- Probeta
- Soporte universal
- Pinza
- Probeta de 100±5 mL

2. Determinación de acidez de solución

a. Materiales

- Solución Buffer pH 7 y pH 4
- Solución de pulpa de café 20 mL
- Solución de extracto 20 mL
- Agua destilada

b. Equipo y cristalería

- Potenciómetro con electrodo selectivo de hidronios
- Beaker 100±0.05 mL
- Pipeta volumétrica de 10±0.01 mL
- Probeta 100±5 mL

3. Concentración de sólidos solubles

a. Materiales

- Agua destilada
- Solución de pulpa
- Extracto de pulpa 10 mL
- Kimwipes

b. Equipo y cristalería

- Refractómetro
- Beaker de 10 ± 0.5 mL

4. Determinación de ácidos clorogénicos por HPLC

a. Materiales

- Muestras de pulpa
- Ácido clorogénico 5-cafeoilquínico marca Sigma-Aldrich con pureza $\geq 95\%$
- Metanol marca Merck, pureza 99.9%

b. Equipo y cristalería

- HPLC marca Agilent modelo 1100 con detector de UV/VIS con arreglo de diodos con una columna Eclipse Plus C-18 y un tamaño de partícula de 5 μm .
- Jeringa con filtro marca Millex (tamaño del poro 0.22 μm)
- Balones volumétricos

5. Determinación de polifenoles

- Análisis en laboratorios Ecoquimsa.

G. Procedimiento

a. Extracción y preparación de muestras de la pulpa

Para la preparación de muestras se realizará una extracción sólido-líquido de una sola etapa por medio de un beaker con agitación magnética. La relación de solvente sólido es de 50 mL g^{-1} (de acuerdo con (Zuorro, 2013), es la relación en la que se obtiene un mayor rendimiento) Se utilizará una solución de etanol-agua en proporción 60:40 v/v, debido que según la literatura es la relación que brinda un mayor rendimiento (Zuorro & Lavecchia, 2013).

Se debe pesar 80 ± 0.0001 g de pulpa directamente en el beaker por medio de una balanza analítica. Para la preparación de la solución de etanol se debe de medir 240 ± 0.001 mL de etanol y 160 ± 0.001 mL de agua destilada, colocarlos en el beaker. Se coloca la estufa junto con el soporte universal. Colocar las pinzas en el soporte y sujetar el termómetro. Colocar el beaker directamente en la estufa y el termómetro en la solución para controlar la temperatura. Colocar una temperatura de operación de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ y una agitación media. Luego de 3 horas de agitación, retirar de la estufa y dejar enfriar en un lugar oscuro y a baja temperatura. Filtrar la solución.

b. Determinación de acidez

Calibración potenciómetro

Lavar el electrodo con agua destilada. Por medio de las soluciones buffer de pH 7 y pH 4, calibrar el potenciómetro tomando las medidas de dichas soluciones. Repetir el procedimiento 5 veces.

Determinación pH solución:

Tomar 1 alícuota de 20 ± 0.001 mL de solución de pulpa y colocarla en el beaker. Lavar el electrodo con agua destilada. Sumergir el electrodo en la solución y leer. Repetir el procedimiento 5 veces, con 5 muestras.

c. Concentración de sólidos solubles

Limpia la celda con cuidado por medio de Kimwipes. Para la calibración del refractómetro, colocar unas gotas de agua destilada en el instrumento y realizar lectura (la lectura de esta debe de ser de 1.333 o 0 se utiliza un refractómetro digital), repetir el procedimiento 5 veces. Para la lectura de la solución, se debe de limpiar la celda. Luego colocar la solución en el instrumento y realizar lectura. Repetir el procedimiento 5 veces. Repetir con solución de extracto.

d. Determinación de ácidos clorogénicos por HPLC

Estándares

Para los estándares de ácido clorogénico se debe de pesar 50.0 ± 0.0001 mg de ácido clorogénico 5-cafeoilquínico y aforar en un balón volumétrico de 50 ± 0.001 mL. Luego se deben de realizar 5 disoluciones en balones volumétricos con una concentración de 10, 20, 30, 40 y 50 ppm. Se debe de realizar una curva estándar por medio el equipo de HPLC, con una columna de 250x2.0mm C18 RP polar. Se deben de inyectar las muestras, desde la primera hasta la quinta, con tiempo entre corridas de 3 min. La longitud de onda a la cuál se debe de trabajar es de 325 nm (Mullen *et al.*, 2011).

Muestras

El análisis de las muestras se realizará en triplicado. Para las muestras se debe de filtrar 2 ± 0.05 mL de cada una de las muestras, usando una jeringa con el filtro y colocarlas en viales. Se deben de inyectar las muestras, desde la primera hasta la quinta, con tiempo

entre corridas de 3 min. Los resultados obtenidos se compararán con los resultados obtenidos de la literatura y se determinará el rendimiento de extracción (Mullen *et al.*, 2011).

e. Determinación de polifenoles

La determinación de la concentración de polifenoles se realizó en un laboratorio de calidad de la ciudad de Guatemala. Se utilizó el método Merck para la determinación de polifenoles en muestra, como se explica en la sección de anexos.

f. Técnica estadística

Para realizar estadísticamente los resultados obtenidos de la extracción, se utilizará un análisis de varianza con nivel de significancia igual a 0.05. De igual manera se utilizará la prueba de Tukey para determinar si existe diferencia significativa entre grupos, con respecto a la extracción. Para ANOVA se debe determinar que los datos de la población sigan una distribución aproximadamente normal con varianzas. Si el valor de p es menor que el nivel de significancia, entonces se concluye que al menos una medida de durabilidad es diferente. Por otra parte, se utilizó la prueba de Tukey para determinar si existe diferencia significativa entre los datos establecidos.

VII. RESULTADOS

Cuadro 10. Promedio de las características fisicoquímicas de los diferentes tipos pulpa de café arábico de acuerdo con la región.

Variables	Santa Rosa ¹	San Miguel Dueñas	Chicacao	Santa Rosa ²	Fraijanes
Diámetro polar (mm)	1.5±0.23	1.5±0.23	1.2±0.23	1.4±0.23	1.4±0.23
Diámetro ecuatorial (mm)	1.3±0.12	1.1±0.12	1.2±0.12	1.5±0.12	1.3±0.12
pH	4.3±0.1	4.6±0.1	4.1±0.1	4.2±0.1	4.7±0.1
Humedad (%base húmeda)	85.29±4.52	82.85±4.52	88.36±4.52	85.62±4.52	84.75±4.52
°Brix	6.1±0.001	7.6±0.001	5.9±0.001	6.4±0.001	6.2±0.001

Santa Rosa¹: pulpa de café tipo arábica proveniente de Santa Rosa cosechado en marzo 2020.

Santa Rosa²: pulpa de café tipo arábica proveniente de Santa Rosa cosechado en octubre 2020.

*El diámetro polar y ecuatorial se midieron utilizando un Vernier. El cuadro representa el promedio de los resultados de las características fisicoquímicas de las muestras de pulpa obtenida de los diferentes municipios. Las muestras fueron aleatorias.

Figura 14. Detección cualitativa de fenoles por medio de cloruro férrico en solución de pulpa.



(Fuente: Imagen propia)

Cuadro 11. Contenido de ácidos clorogénicos totales, cafeína y relación AC/Caf en pulpa de café extraída con agua destilada.

Región	Ácidos clorogénicos (mg/L)	AC mg/100 g pulpa	Cafeína (mg/L)	Caf. mg/100 g pulpa	AC/Caf
Santa Rosa ¹	504.42 ± 8.91	2.01 ± 0.04	196.93 ± 0.35	0.98 ± 0.18	2.04
Santa Rosa ²	432.60 ± 3.85	2.16 ± 0.02	122.80 ± 0.74	0.61 ± 0.004	3.52
Chicacao	482.86 ± 6.58	2.41 ± 0.03	138.4791 ± 0.55	0.69 ± 0.003	3.49
San Miguel Dueñas	511.65 ± 9.18	2.56 ± 0.05	189.96 ± 0.67	0.95 ± 0.003	2.69
Fraijanes	161.02 ± 5.49	0.81 ± 0.27	181.39 ± 0.58	0.91 ± 0.003	0.89

*AC=ácido clorogénico; Caf. =cafeína

*El cuadro representa el promedio de los resultados de extracción de ácido clorogénico y cafeína, así como también la relación entre estos para una extracción utilizando agua destilada como solvente. Se realizaron 5 extracciones por muestras de pulpa.

Cuadro 12. Contenido de ácidos clorogénicos totales, cafeína y relación AC/Caf en pulpa de café extraída con solución de etanol al 60% v/v.

Región	Ácidos clorogénicos (mg/L)	AC mg/100 g pulpa	Cafeína (mg/L)	Caf. mg/100 g pulpa	AC/Caf
Santa Rosa ¹	412.69 ± 32.37	2.06 ± 0.16	234.18 ± 0.59	1.17 ± 0.003	1.76
Santa Rosa ²	389.67 ± 14.61	1.95 ± 0.07	215.57 ± 1.50	1.08 ± 0.008	1.81
Chicacao	682.80 ± 71.98	3.41 ± 0.36	189.59 ± 0.61	0.95 ± 0.003	3.60
San Miguel Dueñas	789.02 ± 9.73	3.95 ± 0.05	198.63 ± 2.08	0.99 ± 0.010	3.97
Fraijanes	648.32 ± 29.31	3.24 ± 0.15	229.91 ± 2.69	1.15 ± 0.013	2.82

*El cuadro representa el promedio de los resultados de extracción de ácido clorogénico y cafeína, así como también la relación entre estos para una extracción utilizando solución de etanol como solvente. Se realizaron 5 extracciones por muestras de pulpa.

Cuadro 13. Concentración promedio de fenoles en extracto de pulpa.

Muestra	Límite de detección	Concentración (±0.02 mg/L)
Santa Rosa ¹	0.1	37.60
Santa Rosa ²	0.1	58.80
San Miguel Dueñas	0.1	25.75

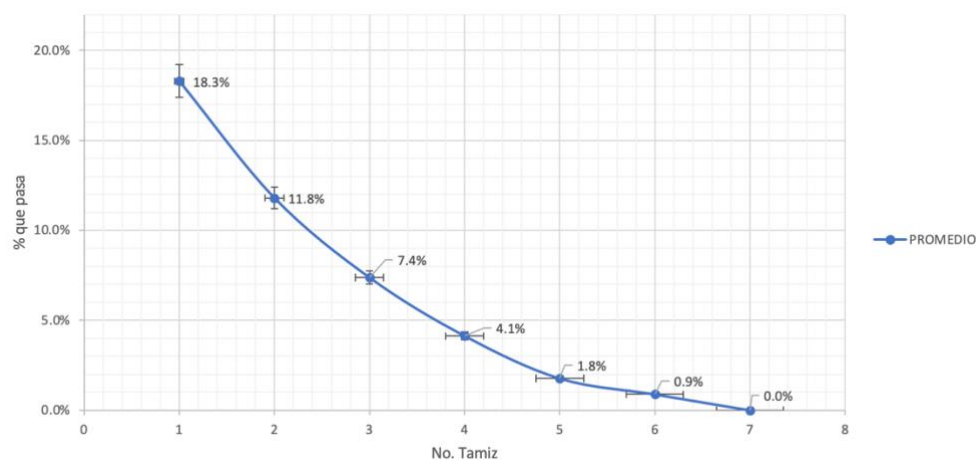
*El cuadro representa los resultados para la determinación de fenoles realizados en un laboratorio externo de calidad.

Cuadro 14. Resultados de análisis granulométrico por tamizaje vibratorio de pulpa de café molido.

Tamiz No.	Mesh	Abertura (in)	Promedio retenido (± 0.1 g)	Retenido acumulado (± 0.1 g)	% Retención parcial	% Retenido acumulado	% Pasa
20	20	0.0331	92.3	92.3	81.71%	81.7%	18.3%
30	28	0.0234	7.3	99.7	6.49%	88.2%	11.8%
45	42	0.0139	5.0	104.7	4.42%	92.6%	7.4%
60	60	0.0098	3.7	108.3	3.24%	95.9%	4.1%
80	80	0.007	2.7	111.0	2.36%	98.2%	1.8%
100	100	0.0059	1.0	112.0	0.88%	99.1%	0.9%
Finos	-	Finos	1.0	113.0	0.88%	100.0%	0.0%

*El cuadro representa el promedio de los resultados de tamizaje para la pulpa molido utilizada en la extracción. Se realizaron 3 corridas de manera aleatoria en un tamizador eléctrico.

Figura 15. Porcentaje que pasa de pulpa por cada tamiz para promedio de corridas en tamizador vibratorio.



Cuadro 15. Costo de extracción a escala laboratorio por tipo de solvente, para 500 mL de solución.

	Agua	Etanol
Costo extracción (Q) Por 500 mL de extracto	3.08	9.96
Región	Costo Q/mg AC	Costo Q/mg AC
Santa Rosa ¹	0.01	0.04
Santa Rosa ²	0.01	0.05
Chicacao	0.01	0.03
San Miguel Dueñas	0.01	0.03
Fraijanes	0.04	0.03

*AC=ácido clorogénico

*El cuadro representa el costo de extracción de ácido clorogénico y cafeína a escala laboratorio, tomando en cuenta los servicios utilizados y el resultado de ácido clorogénico y cafeína obtenidos respectivamente para cada municipio.

Figura 16. Diagrama de bloques y balance de masa del proceso de extracción de ácido clorogénico.

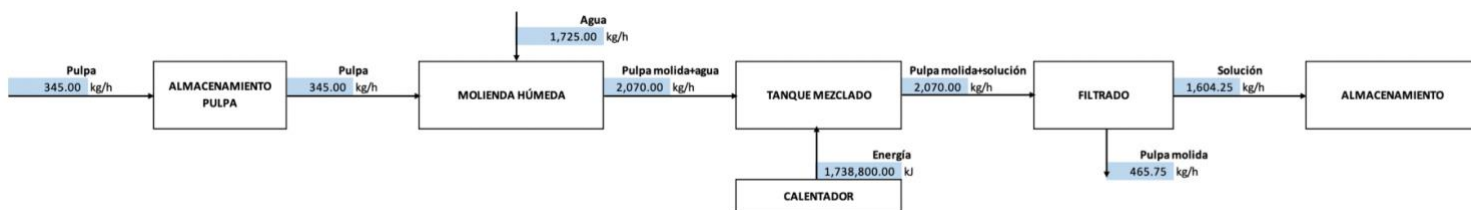
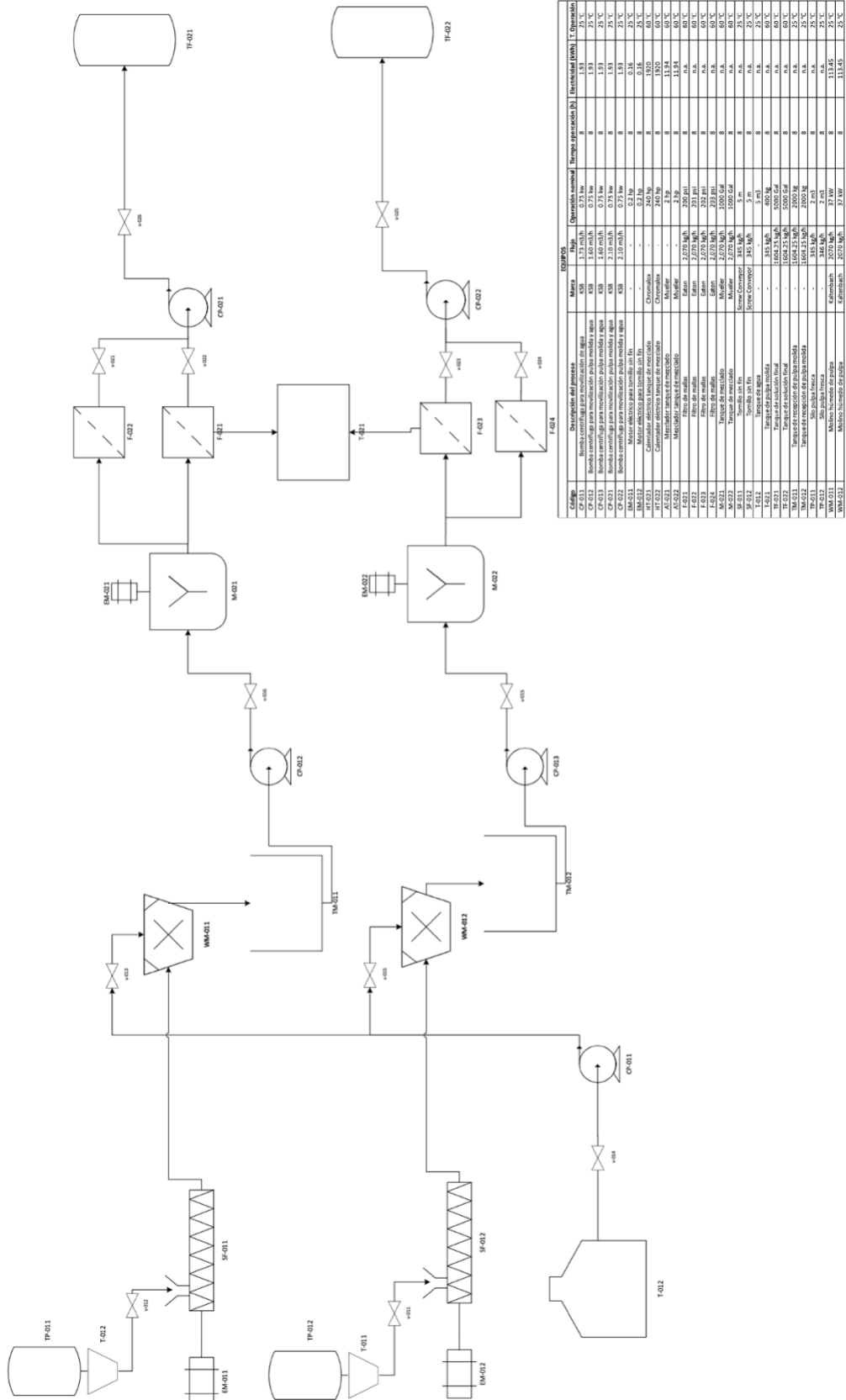
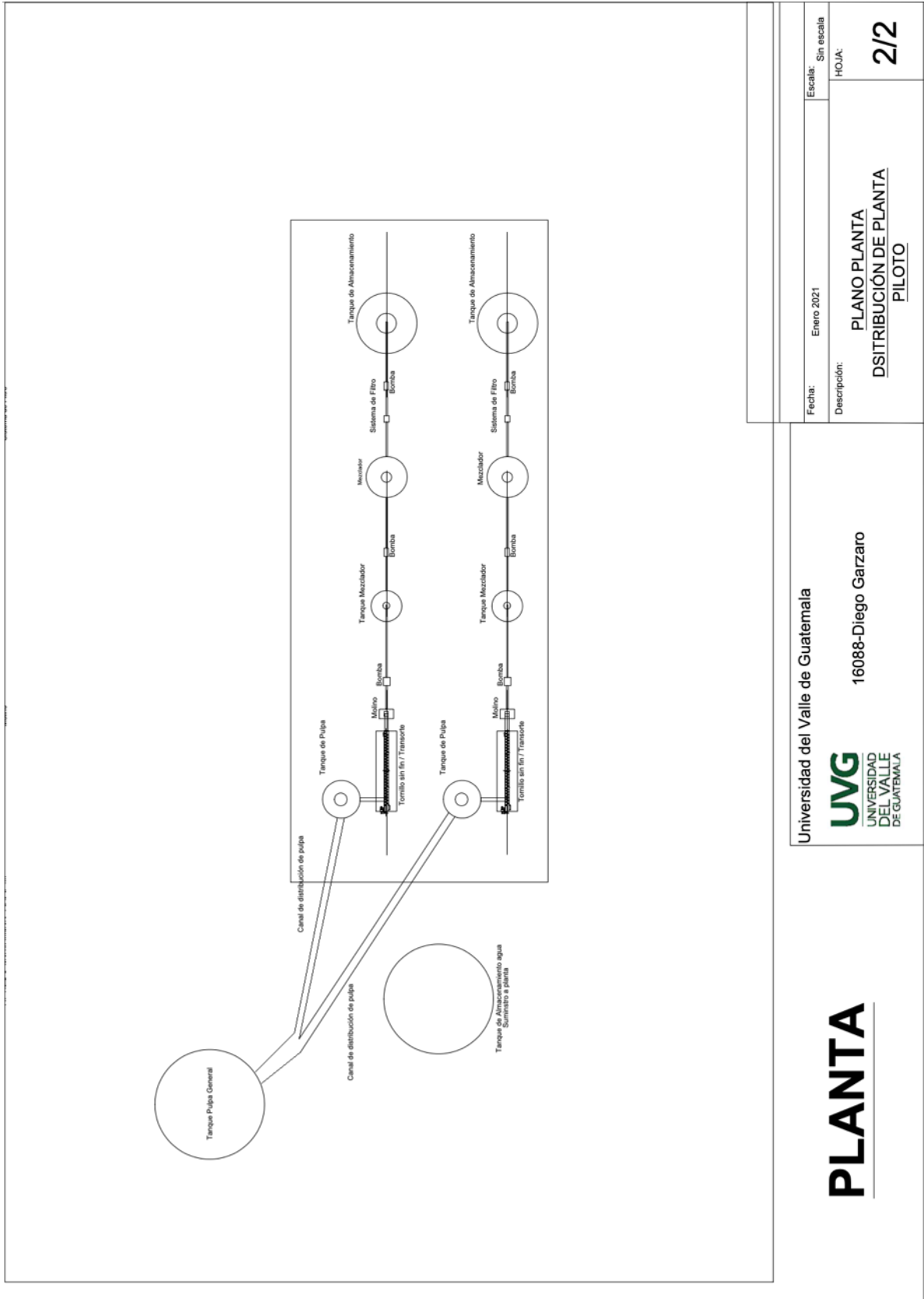


Figura 17. Diagrama de operaciones de línea de extracción de ácido clorogénico.



Código	Descripción del proceso	Marca	Modelo	Operación nominal	Tempo paración (h)	Capacidad (m³/h)	T. Operación
CP-011	Bomba centrífuga para inyección de agua	KSB	3.73 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
CP-012	Bomba centrífuga para inyección de agua	KSB	3.73 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
CP-021	Bomba centrífuga para inyección de agua	KSB	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.53	25 °C
CP-022	Bomba centrífuga para inyección de agua	KSB	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.53	25 °C
MA-011	Motocombustor para mezcla de agua	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	0.16	25 °C
MA-021	Motocombustor para mezcla de agua	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	0.16	25 °C
TM-011	Intercambiador de calor	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
TM-012	Intercambiador de calor	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
TF-011	Tanque de almacenamiento	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
TF-012	Tanque de almacenamiento	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
TP-013	Tanque de almacenamiento	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
TP-012	Tanque de almacenamiento	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
SP-011	Separador de fases	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
SP-012	Separador de fases	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
F-021	Filtro de arena	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C
F-022	Filtro de arena	Chromalox	2.10 m³/h	0.75 bar	8	1.83	25 °C

Figura 18. Diagrama en vista planta para línea de extracción.



Universidad del Valle de Guatemala



16088-Diego Garzaro

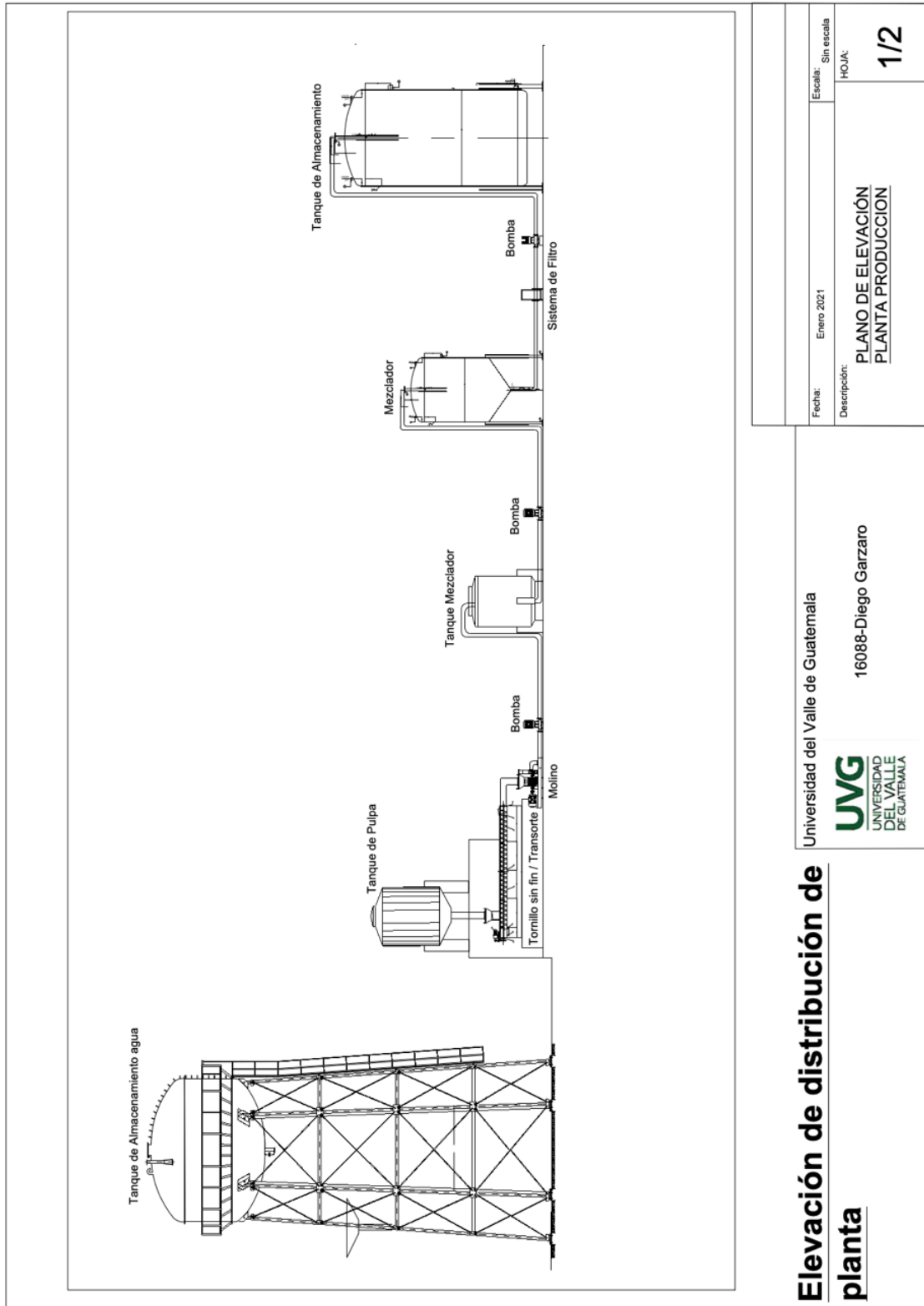
PLANTA

Fecha: Enero 2021 Escala: Sin escala

Descripción: **PLANO PLANTA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PILOTO**

HOJA: **2/2**

Figura 19. Diagrama vista elevación de línea de extracción.



Elevación de distribución de planta

Universidad del Valle de Guatemala



16088-Diego Garzaro

Fecha: Enero 2021

Escala: Sin escala

Descripción:
**PLANO DE ELEVACIÓN
PLANTA PRODUCCION**

HOUA:

1/2

Figura 20. Ficha técnica de tanque de mezclado.

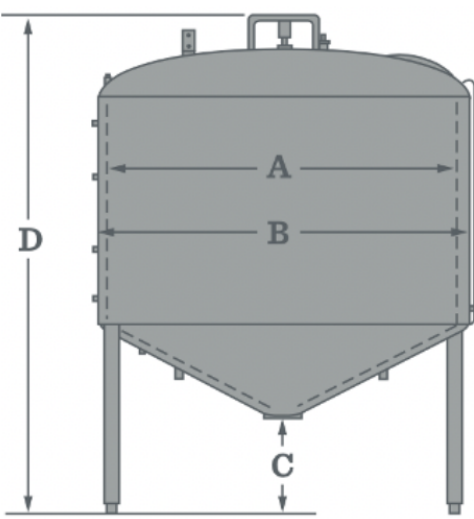
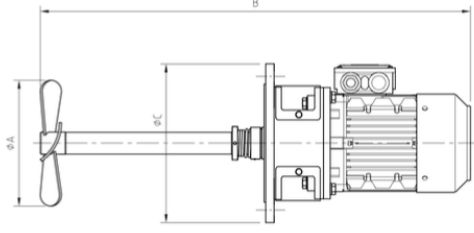
MUELLER		FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN			1/1
Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:	Actualización:	
NOMBRE:		Tanque de mezclado			
DESCRIPCIÓN GENERAL		Área de localización: Sección 1 de procesamiento Proceso: Mezcla de solución de pulpa molida y agua Material del equipo: Acero inoxidable			
MARCA	-		EQUIPO 		
MODELO	-				
CANTIDAD	2				
SÓLIDO	Mezcla pulpa y agua				
FLUJO	2.10	m3/h			
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO	1	h			
VOLUMEN SOLUCIÓN	2.10	m3			
SOBREDISEÑO	20	%			
DENSIDAD	984	kg/m3			
VISCOSIDAD	1.77	Cp			
DIMENSIONES					
A	1.98	m			
B	2.10	m			
C	0.508	m			
D	2.84	m			
D. SALIDA	0.0762	m			
GROSOR	0.1016	m			
NO. SOPORTES	2				
CAPACIDAD MÁX.	3.785	m3			
ORIENTACIÓN	Vertical				
SISTEMAS AUXILIARES					
Medidor de nivel					
Termostato					
Medidor de presión					
Mezclador					
MEZCLADOR					
CARACTERÍSTICAS		EQUIPO			
MODELO	LM1.10-4015-1-175				
VELOCIDAD	1500	RPM			
POTENCIA	1.5	kW			
PESO	46	kg			
A	175	mm			
B	775	mm			
C	285	mm			
ÁNGULO	18	grados			

Figura 21. Calentadores verticales para tanque de mezclado.

		FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN			1/1						
Preparado por: Diego Garzaro		Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:	Actualización:						
NOMBRE DEL EQUIPO:		Calentador vertical									
DESCRIPCIÓN GENERAL		Área de localización: Sección 3 de procesamiento Proceso: Calentamiento de tanque Material del equipo: acero inoxidable									
MARCA		Chromalox			FECHA DE COMPRA	NO REGISTRA					
MODELO		LTFX									
LARGO TANQUE		2.33	m								
CANTIDAD DE EQUIPOS		2	-								
CARÁCTERÍSTICAS				EQUIPO							
Tamaño de brida #150		4 a 14	in								
Carcasa		Resistente a humedad									
Potencia		4-240	kW								
Longitud de inmersión		5-25	ft								
Superficie de contacto		9-12	W/in ²								
Voltaje		480 trifásico									
Control		Automático									
Certificación		ASME									
		CSA									
ESPECIFICACIONES											
A	Caja de terminales resistente a la humedad / la intemperie (E4)										
B	Conexión de brida ANSI 150#										
C	Tubería cédula 40 de 2 in o 3 in										
D	Bobina abierta (OCE) Elementos calefactores extraíbles										
E	Termopar reemplazable tipo "J" en un termopozo para detección de temperatura excesiva										
DATOS TÉCNICOS											
Modelo	kW	Volts	Fase	Circuito	Brida ANSI	Largo (m)	No. tubos	Diámetro	Densidad Watt	Modelo control	
LTFX-8325240E4	240	480	3	4	14"	1.5	8	3"	9	443248051100	
Link: https://www.chromalox.com/-/media/files/catalog/resources/en-us/mod-ltfx.pdf											

Figura 22. Tanque de almacenamiento de solución final.


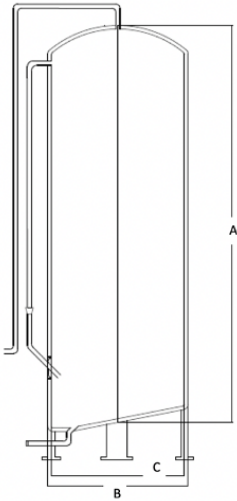

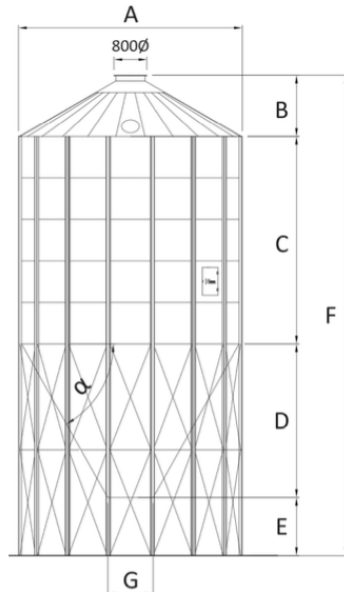
		FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN			1/1
Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:	Actualización:	
NOMBRE:		Tanque de solución final			
DESCRIPCIÓN GENERAL		Área de localización: Sección 1 de procesamiento			
		Proceso: Almacenamiento de solución final			
		Material del equipo: Acero inoxidable			
MARCA			EQUIPO 		
MODELO					
CANTIDAD	2				
SÓLIDO	Solución final				
FLUJO	1.60	m3/h			
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO	8	h			
VOLUMEN SOLUCIÓN	12.83	m3			
SOBREDISEÑO	20	%			
DENSIDAD	1000	kg/m3			
DIMENSIONES					
A	5.33	m			
B	2.13	m			
C	2.127	m			
GROSOR	0.635	cm			
NO. SOPORTES	2				
CAPACIDAD MÁX.	1.66	m3			
ORIENTACIÓN	Vertical				
SISTEMAS AUXILIARES					
Medidor de nivel					
Termostato					
Medidor de presión					

Figura 23. Ficha técnica para silo de almacenamiento de pulpa fresca.

	FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN			1/2
	Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:

NOMBRE:	Silo de pulpa fresca
----------------	----------------------

DESCRIPCIÓN GENERAL	Área de localización: Sección 1 de procesamiento	
	Proceso: Retención de pulpa fresca	
Material del equipo: Acero inoxidable		

MARCA	-		EQUIPO
MODELO	-		
CANTIDAD	2		
SÓLIDO	Pulpa fresca		
FLUJO	345	kg/h	
TIEMPO DE OPERACIÓN	1	h	
CANTIDAD DE MATERIAL	345	kg	
VOLUMEN MATERIAL	1.38	m ³	
SOBREDISEÑO	20	%	
ÁNGULO DE REPOSO	45	grados	
DENSIDAD DE BULTO	250.57	kg/m ³	
DIMENSIONES			
A	0.957	m	
B	1.69	m	
C	1.905	m	
D	0.466	m	
E	0.899	m	
F	2.861	m	
G	0.3048	m	
ÁNGULO TOLVA	55	grados	
CAPACIDAD MÁX.	1.66	m ³	
SISTEMAS AUXILIARES			
Medidor de nivel			
Sistema de movimiento mecánico			



FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN

2/2

Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:	Actualización:
---------------------------------	---------------	---------------	-----------------------	----------------


NOMBRE:	Tolva silo almacenamiento pulpa fresca
----------------	--

DESCRIPCIÓN GENERAL	Área de localización: Sección 1 de procesamiento. Proceso: Distribución de pulpa fresca a tornillo sin fin. Material del equipo: Acero inoxidable.		EQUIPO
MARCA	SCAFCO		
MODELO	6602HBT		
CANTIDAD	2		
SÓLIDO	Pulpa fresca		
FLUJO	345	kg/h	
TIEMPO DE OPERACIÓN	1	h	
ÁNGULO DE REPOSO	45	grados	
DENSIDAD DE BULTO	250.57	kg/m ³	
DIMENSIONES			
A	0.466	m	
B	0.957	m	
Ød	0.3048	m	
ÁNGULO TOLVA	55	grados	
SISTEMAS AUXILIARES			
ACTIVADOR MECÁNICO DE TORNILLO			
MATERIAL	Acero inoxidable		
TIPO DE TORNILLO	40		
RANGO DE ALIMENTACIÓN	3.63-362.9	Kg/h	
SALIDA	0.0508	m	
PARTES			
A	Eje principal		
B	Tolva de recibimiento inferior		
C	Aspas		
D	Válvula lateral		
E	Compuerta de salida		

Fuente tolva: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/9210/1---SILO-ZEPPELIN.pdf

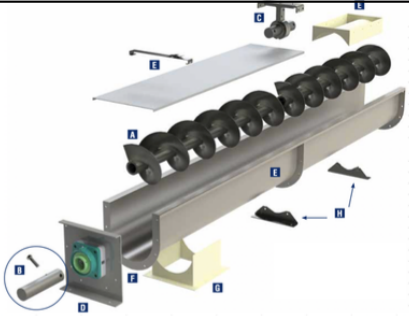
Fuente activador mecánico: <https://sodimate-inc.com/wp-content/uploads/2020/03/ZDM400-Silo-Arch-Breaker.pdf>

Figura 24. Ficha técnica de tornillo sin fin para transporte de pulpa fresca.

	FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN			1/1
	Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:

NOMBRE DEL EQUIPO:	Tornillo sin fin
---------------------------	------------------

INFORMACIÓN GENERAL	Área de localización: Sección 2 de procesamiento			
	Función: Transporte de sólido			
Material: pulpa de café fresca				
MARCA	Screw Conveyor Corporation		FECHA COMPRA	-
DENSIDAD DE BULO	250.57	Kg/m ³	CARACTERÍSTICAS MATERIAL	
TEMPERATURA MATERIAL	25	°C	TAMAÑO SÓLIDO	Irregular
CAPACIDAD	345	Kg/h	FLUIDEZ	Fluidez promedio
HUMEDAD	85	%	ABRASIVIDAD	Medio
LARGO TORNILLO	5	m	RIESGOS	N/A

ESPECIFICACIONES			EQUIPO	
Grado de carga de canal	30	%		
Diámetro de tornillo	0.1524	m		
Capacidad máxima	5.097	m ³ /h		
Código de material	16E35			
Factor D	18			
Factor HP	1.5			
Material	Acero inoxidable			
Motor	0.2	Hp		
Revoluciones max.	180	rpm		

PARTES				
A	Tornillo sin fin	E	Comederos, Cubiertas, Abrazaderas y Cubiertas	
B	Acoplamientos	F	Brida	
C	Colgadores y rodamientos	G	Área de salida	
D	Extremos del canal	H	Soportes de base	

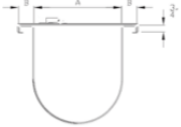

DIMENSIONES DE CANAL					
D tornillo	Código	A (in)	B (in)	Peso/ft	
0.1524 m	6BC16	7	1 1/2	2.5	
DIMENSIONES TORNILLO					
D tornillo	A	B	C	Dim.	
0.1524 m	6	2 3/8	12	in	

Figura 25. Ficha técnica de molino húmedo de cuchillas.



		FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN			1/1															
Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:	Actualización:																
NOMBRE DEL EQUIPO:		Molino húmedo																		
DESCRIPCIÓN GENERAL		Área de localización: Sección 3 de procesamiento Producto para procesar: Molienda fina pulpa de café Material del equipo: Acero Inoxidable 1.4571																		
		<table border="1"> <tr> <td>MARCA</td> <td>K-MA</td> <td>-</td> <td rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle;">FECHA DE COMPRA</td> <td rowspan="5" style="text-align: center; vertical-align: middle;">NO REGISTRADO</td> </tr> <tr> <td>MODELO</td> <td>K-MT 5P</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>FLUJO PARA PROCESAR</td> <td>400 – 900</td> <td>Kg/h</td> </tr> <tr> <td>CAPACIDAD DEL EQUIPO.</td> <td>2000</td> <td>Kg/h</td> </tr> <tr> <td>CANTIDAD DE EQUIPOS</td> <td>2</td> <td>-</td> </tr> </table>		MARCA	K-MA	-	FECHA DE COMPRA	NO REGISTRADO	MODELO	K-MT 5P	-	FLUJO PARA PROCESAR	400 – 900	Kg/h	CAPACIDAD DEL EQUIPO.	2000	Kg/h	CANTIDAD DE EQUIPOS	2	-
MARCA	K-MA	-	FECHA DE COMPRA	NO REGISTRADO																
MODELO	K-MT 5P	-																		
FLUJO PARA PROCESAR	400 – 900	Kg/h																		
CAPACIDAD DEL EQUIPO.	2000	Kg/h																		
CANTIDAD DE EQUIPOS	2	-																		
ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN			EQUIPO																	
Tamaño de partícula requerido	20	µm																		
Voltaje de operación	460	V																		
Vidrio de protección	IP 56	-																		
Capacidad del motor	37	kW																		
Velocidad del motor	2955	rpm																		
Material del motor	Acero inoxidable																			
Diámetro del sólido a moler	320	mm																		
Capacidad de la bomba	1.5	kW																		
Velocidad nominal de la bomba	58 – 220	rpm																		
ESPECIFICACIONES DEL MOLINO																				
CONSTRUCCIÓN			De doble chaqueta																	
ALOJAMIENTO DE COJINETES (COJINETES TRIPLES)			Enfriados con agua																	
AJUSTE DEL ESPACIO DE FRESADO			Volante en acero inoxidable																	
FEEDING IMPELLER			80 mm, impeller con 4 elementos																	
TOMA DE ALIMENTACIÓN			Arco de reducción 90°, DN 80 / DN 50																	
SALIDA DEL PRODUCTO			Conducto de salida abierto con tapa abatible de rejilla de seguridad.																	

Figura 26. Ficha técnica de bomba centrífuga.

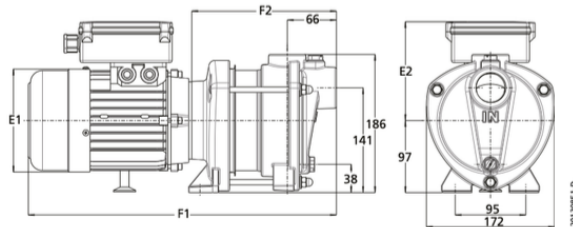
		FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN			1/2					
Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:	Actualización:						
NOMBRE DEL EQUIPO:		Bomba centrífuga								
DESCRIPCIÓN GENERAL		Área de localización: Sección 3 de procesamiento Proceso: Movilización de agua Material del equipo: Acero inoxidable								
		MARCA		KSB						
MODELO		COMEO		FECHA DE COMPRA	NO REGISTRA					
FLUJO VOLUMÉTRICO		1.73	m ³ /h							
CANTIDAD DE EQUIPOS REQUERIDOS		2	-							
ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN			EQUIPO							
Capacidad del equipo	Hasta 10.8	m ³ /h								
Cabeza máxima	79.5	m								
Temperatura del fluido	-10-60	°C								
Temperatura ambiente	-20-55	°C								
Clase de presión PN	10	bar								
Conexiones	2	in								
Voltaje de operación	230	V								
Capacidad del motor	37	kW								
Frecuencia	60	Hz								
ESPECIFICACIONES DE BOMBA										
MATERIAL DE CARCASA			Acero inoxidable							
MATERIAL IMPELER			Acero de cromo al níquel							
TIPO DE IMPELER			Radial							
SELLO MECÁNICO			Cerámica							
INSTALACIÓN			Horizontal							
MOTOR			Trifásico							
DATOS TÉCNICOS										
Tamaño	n	P _N (kW)	I _A /I _N	cos φ	η	L _p (dB)	Prensast.	Frec. Arranq.	I _N (A)	Peso (kg)
2/2	3450	0.37	4.50	0.95	74%	64	1xM18x1.5	20 h ⁻¹	2.30	13.1
Link: https://shop.ksb.com/ims_docs/00/00215A9B05B61EEAA0E83CEAFB7AB81E.pdf										



FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN

2/2

DIMENSIONES



Tamaño	P _N	E1 (mm)	E2 (mm)	F1 (mm)	F2 (mm)
2/2	0.37 kW	138.5	110.0	372.5	151.50

Curvas características:

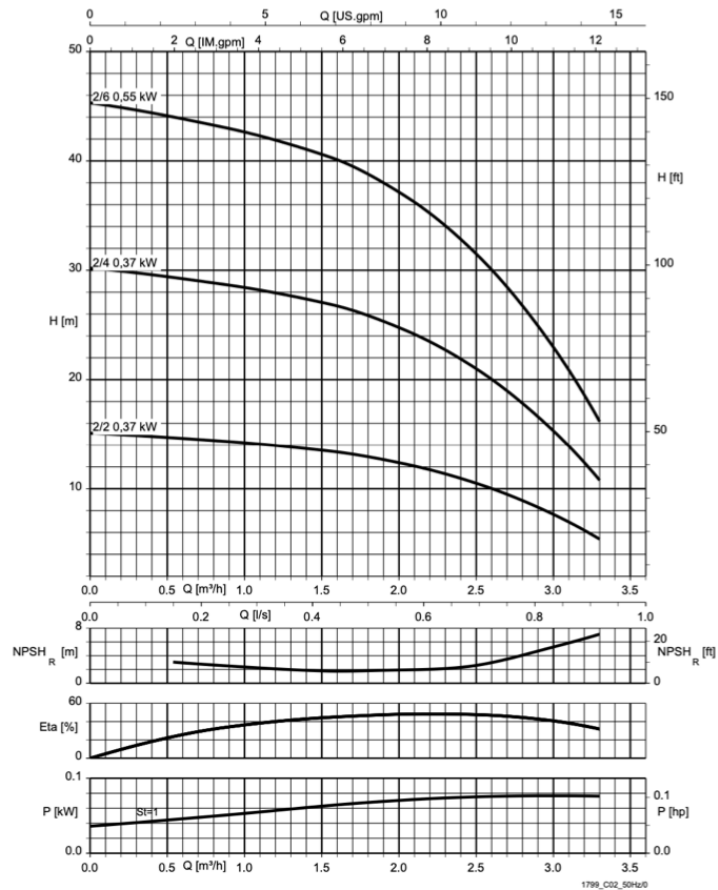


Figura 27. Ficha técnica de filtro de canasta utilizado para la remoción de pulpa molida.

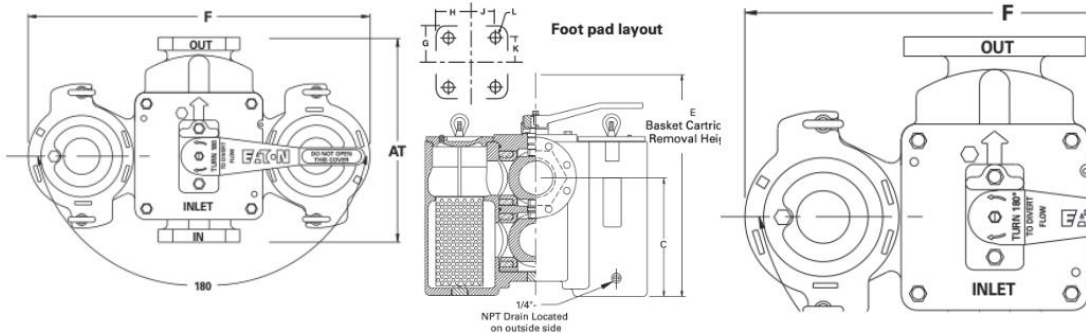
		FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN			1/2	
Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:	Actualización:		
NOMBRE DEL EQUIPO:		Filtro de mallas				
DESCRIPCIÓN GENERAL	Área de localización: Sección 4 de procesamiento Proceso: Filtración de pulpa molida Material del equipo: hierro					
	MARCA	EATON			FECHA DE COMPRA	NO REGISTRA
	MODELO	53BTX				
	CONEXIÓN	Rosca				
	CANTIDAD DE EQUIPOS	4	-			
CARÁCTERÍSTICAS			EQUIPO			
Tamaño de entrada	2	in				
Sello	TFE/Buna-N					
Desviador	Acero inoxidable					
Presión de operación	200	psi				
Caída de presión	608.42	N/m ²				
Viscosidad	50.18	SSU				
Factor Cv	42					
Tamaño de mesh	40					
Certificación	ASME					



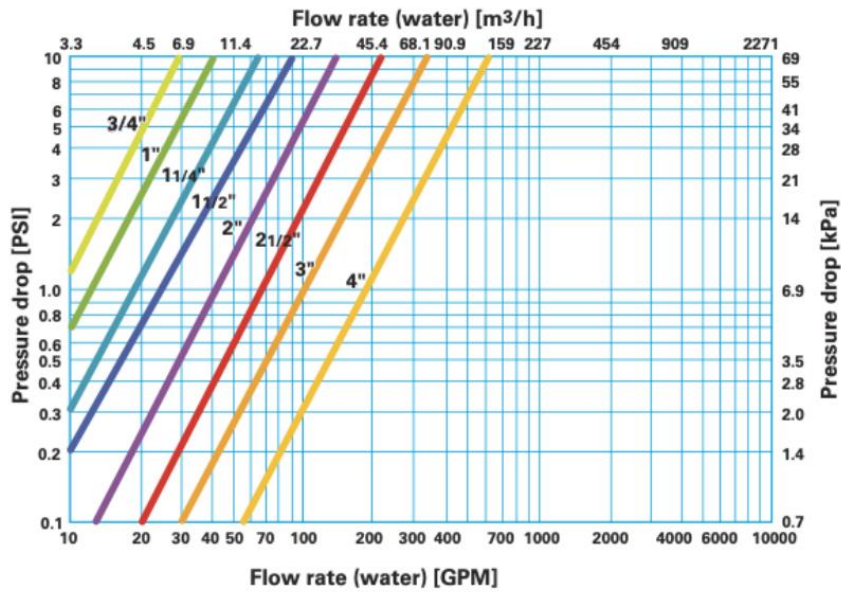
FICHA TÉCNICA LÍNEA DE EXTRACCIÓN

2/2

Preparado por: Diego Garzaro	Ajustado por:	Aprobado por:	Fecha de elaboración:	Actualización:						
DATOS TÉCNICOS (in)										
Tamaño	AF	AT	C	E	F	G	H	J	K	L
2"	10.63	10	8.38	21.75	17.38	4.69	2.50	1.81	4.0	5/8



CAÍDA DE PRESIÓN



Fuente: <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/filtration-solutions/filter-systems-and-strainers/filters-and-strainers/manual-pipeline-strainers/model-53-btx/eaton-modell-53btx-technical-datasheets-us-lowres.pdf>

Cuadro 16. Cálculo de costos de equipo

Cálculo de costos de equipos y otros						
Equipo	Capacidad	Unidad	Material	Cantidad	Costo FOB/ud.	Costo FOB
Tanque de producto final	5,000.00	gal	CS	2	\$23,999.07	\$47,998.13
Tanque almacenamiento pulpa	304.84	gal	CS	2	\$5,870.54	\$11,741.08
Tanque de mezclado	760.54	gal	CS	2	\$7,458.17	\$14,916.34
Bomba centrífuga agua	0.75	hp	CS	2	\$443.25	\$886.49
Bomba centrífuga pulpa molida	0.75	hp	CS	2	\$722.58	\$1,445.15
Bomba centrífuga solución final	0.75	hp	CS	2	\$722.58	\$1,445.15
Motor (tornillo sin fin)	0.20	hp	CS	2	\$2,121.13	\$4,242.25
Tornillo sin fin	2.48	ft x m	CS	2	\$5,000.00	\$10,000.00
Molino húmedo				2	\$73,286.10	\$146,572.20
Filtro de pulpa molida	2.00	in		4	\$3,602.99	\$14,411.96
Filtro de agua	0.02	m2	CS	2	\$331.44	\$662.89
Calentador de tanque	240.00	kW		2	\$2,648.00	\$5,296.00
Mezclador	2.00	hp		2	\$2,160.00	\$4,320.00
Válvula globo			SST304	4	\$380.55	\$1,522.19
Tubería		m	INOX	35	\$31.32	\$166.60
Codos de 90	2.00	in	INOX	7	\$2.56	\$17.92
Válvulas de bola	2.00	in	INOX	5	\$30.77	\$153.85
Iluminación				20	\$42.30	\$846.00
						\$ 267,727.66
						Q 2,088,275.75

Cuadro 17. Inversión total de línea de extracción.

Transporte, impuestos, instalación y otros		
Flete internacional	3%	\$ 8,031.83
IVA	12%	\$ 33,091.14
Arancel	5%	\$ 13,787.97
Transporte interno	1%	\$ 3,226.39
Costo total		\$ 325,864.99
Factor inversión		4.28
INVERSIÓN TOTAL EQUIPOS		\$ 1,394,702.16
		Q 10,878,676.84
INVERSIÓN TOTAL PLANTA		Q 12,909,676.84

Cuadro 18. Premisas financieras

Precio/ L solución	Q 2.73
Costo/ L solución	Q 0.55
Capital de trabajo	50%
Incremento de ventas	6.1%
Aumento de costo fijo	5%
Año de aumento de costo fijo	5
Impuestos	28%
Imprevistos	1%
Financiamiento bancario	40%
Interés bancario	9%
Riesgo	3%

Cuadro 19. Métricas financieras y punto de equilibrio

Métricas financieras	
TIR	24.98%
TMAR	12%
VAN	Q 6,837,356.33
Año recuperación cap.	6

Cuadro 20. Punto de equilibrio del proyecto.

Punto de equilibrio	
Precio de venta	Q 2.10
L Producidos temporada	1,525,830.82

Figura 28. Flujo de caja para línea de extracción.

Año	FLUJO DE CAJA										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción (L)/temporad	-	2,156,112.00	2,287,635.00	2,427,181.00	2,575,239.00	2,732,329.00	2,899,001.00	3,075,840.00	3,263,466.00	3,462,537.00	3,673,752.00
Ingresos	Q0.00	Q5,878,790.16	Q6,237,396.81	Q6,617,878.74	Q7,021,569.23	Q7,449,886.11	Q7,904,328.97	Q8,386,492.87	Q8,898,068.28	Q9,440,849.28	Q10,016,741.75
Costos Variables	Q0.00	-Q1,194,302.37	-Q1,267,154.90	-Q1,344,451.50	-Q1,426,463.02	-Q1,513,477.49	-Q1,605,799.58	-Q1,703,753.32	-Q1,807,682.14	-Q1,917,950.52	-Q2,034,945.64
Costos Fijos	Q0.00	-Q1,519,813.57	-Q1,519,813.57	-Q1,519,813.57	-Q1,519,813.57	-Q1,595,804.25	-Q1,595,804.25	-Q1,595,804.25	-Q1,595,804.25	-Q1,595,804.25	-Q1,595,804.25
Depreciación	Q0.00	-Q 1,189,417.68	-Q1,189,417.68	-Q1,189,417.68	-Q1,189,417.68	-Q1,189,417.68	-Q1,189,417.68	-Q1,189,417.68	-Q1,189,417.68	-Q1,189,417.68	-Q1,189,417.68
Venta Activos	Q0.00										
Valor libro	Q0.00										
Intereses bancarios	Q0.00	-Q464,748.37	-Q434,158.59	-Q400,815.73	-Q364,472.01	-Q324,857.36	-Q281,677.39	-Q234,611.22	-Q183,309.10	-Q127,389.79	-Q66,437.74
Utilidad antes de Imp.	Q0.00	Q1,510,508.17	Q1,826,852.07	Q2,163,380.26	Q2,521,402.95	Q2,826,329.31	Q3,231,630.06	Q3,662,906.39	Q4,121,855.10	Q4,610,287.04	Q5,130,136.44
Impuesto	Q0.00	-Q422,942.29	-Q511,518.58	-Q605,746.47	-Q705,992.83	-Q791,372.21	-Q904,856.42	-Q1,025,613.79	-Q1,154,119.43	-Q1,290,880.37	-Q1,436,438.20
Depreciación	Q0.00	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68	Q1,189,417.68
Valor libro	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Valor desecho	Q0.00										
Mequinaria	-Q10,878,676.85										
Construcción	-Q2,031,000.00										
Capital de Trabajo	-Q1,357,057.97										
Imprevistos	-Q129,096.77										
Capital Bancario	Q5,163,870.74	-Q339,886.44	-Q370,476.22	-Q403,819.08	-Q440,162.79	-Q479,777.44	-Q522,957.41	-Q570,023.58	-Q621,325.70	-Q677,245.02	-Q738,197.07
FLUJO DE CAJA	-Q9,231,960.85	Q1,900,670.86	Q2,095,626.66	Q2,302,226.64	Q2,483,162.44	Q2,698,436.30	Q2,944,257.04	Q3,204,722.29	Q3,480,693.47	Q3,773,081.78	Q6,975,793.80
VAN acumulado	-Q9,231,960.85	-Q7,534,933.29	-Q5,864,312.55	-Q4,225,633.11	-Q2,647,538.49	-Q1,116,373.26	Q375,278.99	Q1,824,932.60	Q3,230,726.31	Q4,591,337.43	Q6,837,356.34

Cuadro 21. Datos de sensibilización de precio para la extracción.

PRECIO	TIR	META TIR	TMAR
Q1.00	-23.84%	25%	12%
Q1.25	-12.31%	25%	12%
Q1.50	-3.66%	25%	12%
Q1.75	3.45%	25%	12%
Q2.00	9.66%	25%	12%
Q2.25	15.30%	25%	12%
Q2.50	20.55%	25%	12%
Q2.75	25.54%	25%	12%
Q3.00	30.34%	25%	12%
Q3.25	34.99%	25%	12%
Q3.50	39.54%	25%	12%
Q3.75	44.01%	25%	12%
Q4.00	48.41%	25%	12%
Q4.25	52.77%	25%	12%
Q4.50	57.10%	25%	12%

Figura 29. Sensibilización de precio con respecto a TIR.

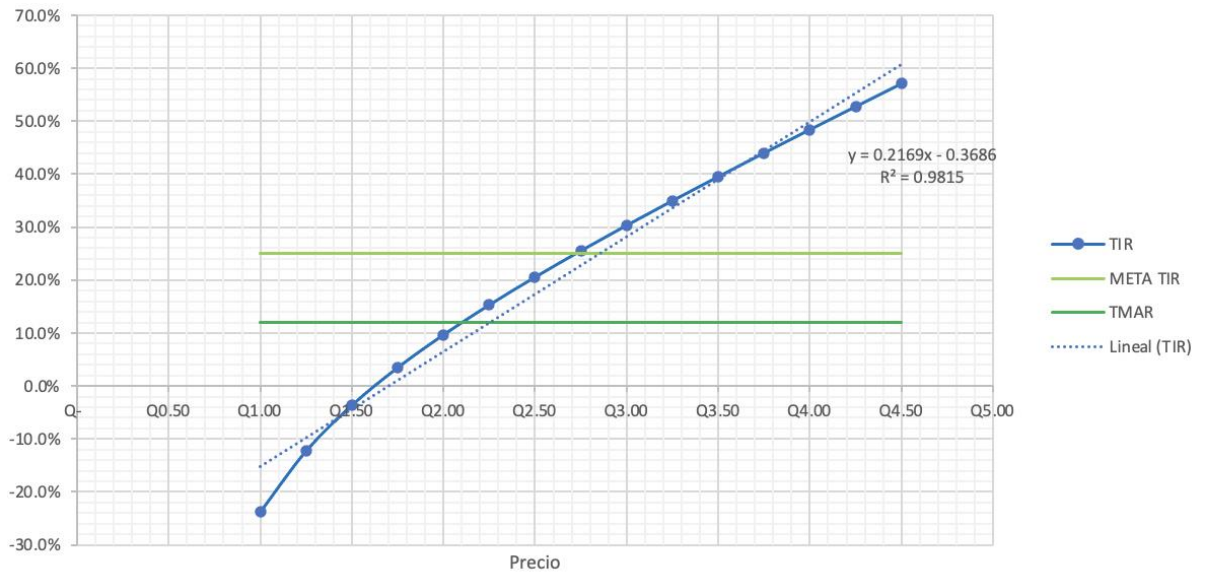
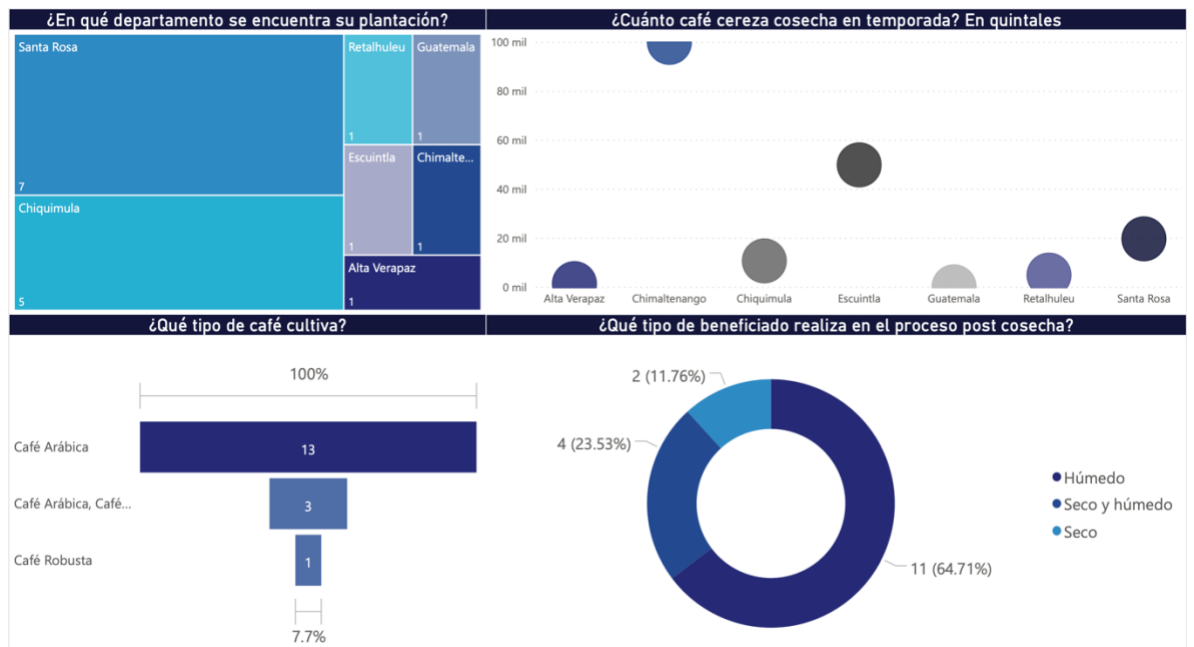
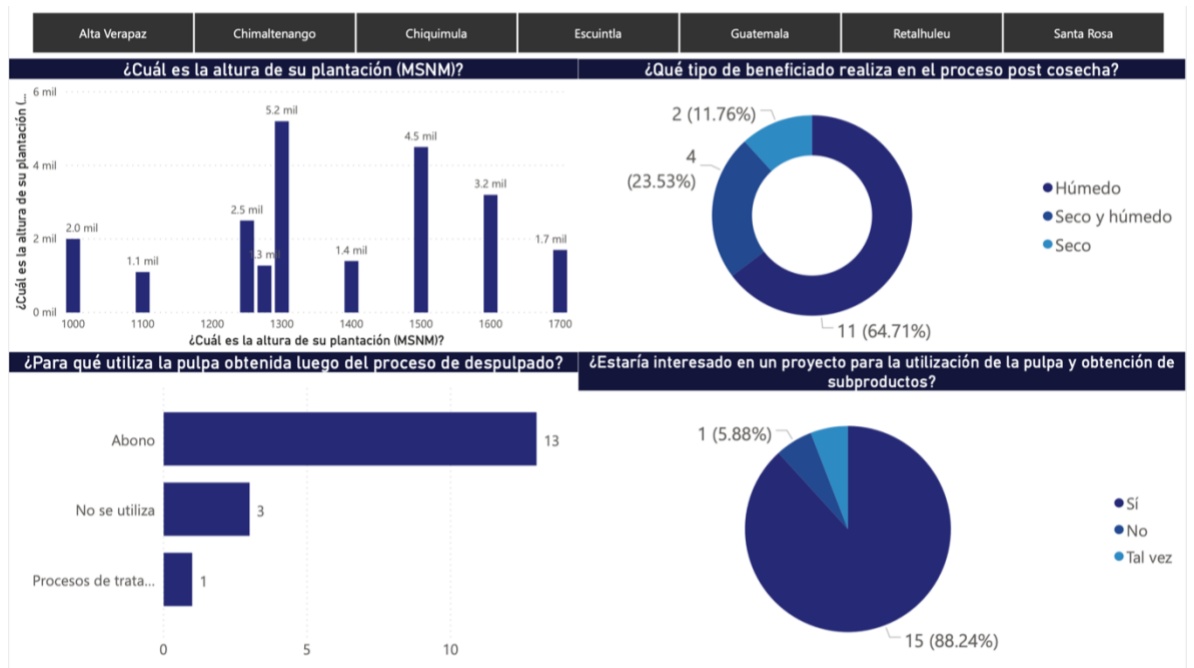


Figura 30. Información general sobre encuesta a cafetaleros.



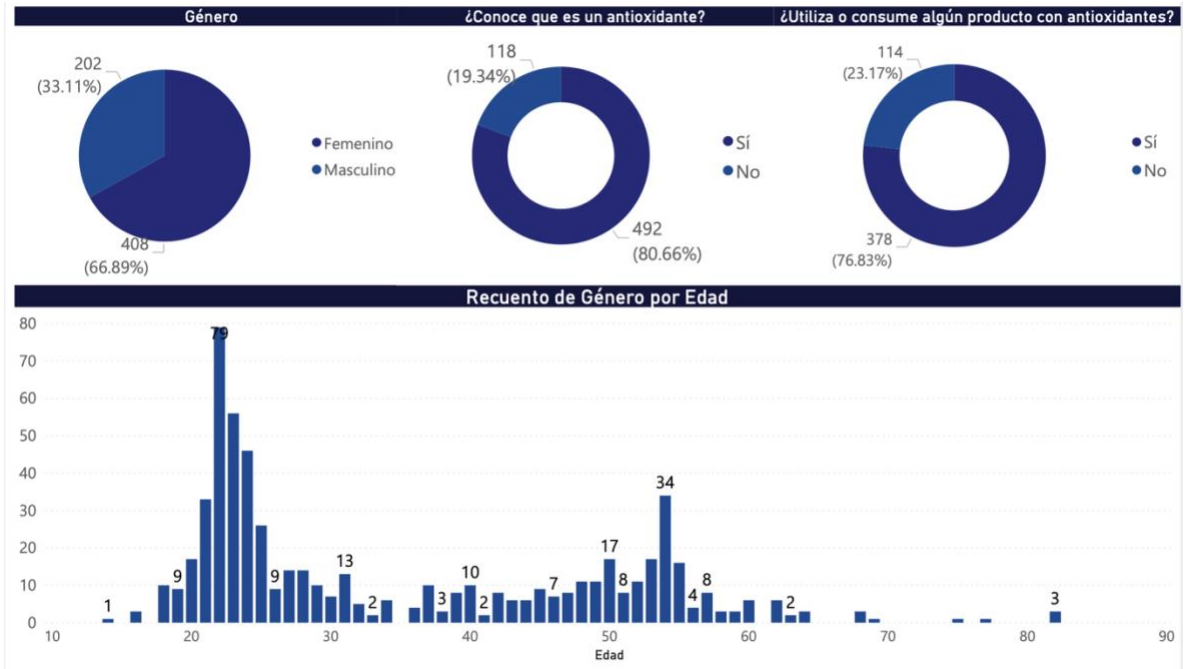
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 31. Datos obtenidos sobre la utilización de la pulpa en cafetaleros



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 32. Datos sobre encuesta para consumidores de productos antioxidantes.



(Fuente: Elaboración propia)

VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se analizó la pulpa de 4 municipios de Guatemala (Nueva Santa Rosa, Santa Rosa; Fraijanes, Guatemala; Chicacao, Suchitepéquez y San Miguel Dueñas, Sacatepéquez) obtenidas de un beneficiado húmedo de acuerdo con la región, evaluando la extracción de compuestos fenólicos de acuerdo con el solvente utilizado y analizando la concentración de ácidos clorogénicos y de cafeína obtenida. De igual manera, se comparó la extracción de la región de Santa Rosa para la cosecha de 2019-2020 y 2020-2021. Santa Rosa¹ representa la pulpa de café que pertenece a la cosecha 2019-2020 de una empresa privada localizada en el departamento de Santa Rosa, Nueva Santa Rosa, Guatemala. El café cerezo fue cosechado y despulpado en el mes de marzo del 2020. La pulpa de Santa Rosa² pertenece al mismo beneficio que Santa Rosa¹, así como el resto de pulpa de los otros departamentos, representa pulpa de la cosecha 2020-2021, cosechada y despulpada en el mes de octubre del 2020. Todas las muestras de pulpa obtenida son de la especie *Coffea arábica*. La pulpa obtenida fue congelada lo antes posible después del proceso de despulpado para evitar degradaciones y descomposiciones orgánicas de la materia que pudieran interferir en los resultados. De acuerdo con investigaciones, el congelamiento de los productos evita la descomposición orgánica y la degradación de compuestos fenólicos y antioxidantes. Esto debido a que la ausencia de calor (así como también de oxígeno), evitan un cambio estructural de los antioxidantes y compuestos fenólicos de la materia (Khattab *et al*, 2015). Por otra parte, de acuerdo con la FDA, las frambuesas (semejantes en antioxidantes a la pulpa), pueden durar hasta 2 años congeladas sin perder propiedades a una temperatura de -30°C o de 1 año a una temperatura de -18°C, lo que representa un posible tiempo máximo de almacenamiento de pulpa.

A. Caracterización de la pulpa

Los parámetros que se tomaron en cuenta para la caracterización de la pulpa fue el tamaño, humedad, concentración de sólidos solubles y pH. Se tomaron 5 muestras de manera aleatoria para medición de dichos parámetros de cada uno de los diferentes tipos de pulpa. En el Cuadro 10, se describen los resultados de la caracterización de la pulpa. Se determinó que el tamaño promedio de las muestras para la pulpa de Santa Rosa¹ fue de 1.52 ± 0.22 mm de diámetro polar y 1.3 ± 0.12 mm de diámetro ecuatorial; mientras que para la de Santa Rosa² fue de 1.4 ± 0.23 mm de diámetro polar y 1.5 ± 0.12 mm de diámetro ecuatorial. Al comparar ambos tipos de pulpa, los tamaños no representan una variación significativa, aunque representan muestras de diferentes cosechas. De acuerdo con la literatura, el tamaño promedio del fruto de tipo arábica es

de 14.37 mm para diámetro ecuatorial y 15.96 mm para diámetro polar (Montilla, et al., 2008). La diferencia entre las medidas de la pulpa y el fruto es significativa, debido a que el grano de café (ya sea en baba como sin esta) ya que esta aporta una mayor medida al fruto, representando este un tamaño promedio de 9.24 mm diámetro ecuatorial y 12.72 mm diámetro polar. Por otra parte, la muestra de Chicacao representó la pulpa con menor tamaño, siendo este de 1.2 ± 0.23 mm diámetro ecuatorial y 1.2 ± 0.12 mm diámetro polar. La altura de cosecha afecta directamente el tamaño del fruto de café, como lo describe Vaast, *et al.*, 2004. Dichos autores determinaron que el tamaño del grano aumenta con respecto a la altura. Debido que Chicacao, Suchitepéquez se encuentra a una altitud de 494 msnm, el tamaño del fruto fue menor, lo que representó un menor tamaño en la pulpa obtenida.

La pulpa de café es un subproducto orgánico ácido, debido a que posee un pH inferior a 7. Se determinó que el pH promedio de la pulpa de café de Santa Rosa¹ fue de 4.3 ± 0.1 ; mientras que para el de Santa Rosa² fue de 4.2 ± 0.1 . Aunque existe una diferencia aproximada de 8 meses en el tiempo de cosecha de ambas muestras, no existe una variación considerable de los resultados. Según Vaast, *et al.*, 2004, la altura afecta directamente la acidez, por lo que, a una mayor altura se genera una mayor acidez. De esta manera, la pulpa de San Miguel Dueñas obtuvo una mayor acidez al ser esta de 4.6 ± 0.1 debido a que esta se encuentra a una altura de 1462 msnm. Uno de los principales problemas que puede generar la acidez del subproducto es que puede provocar problemas de toxicidad por aluminio en los suelos donde acumula, por malos manejos de desechos y procesos de compostaje.

Para la pulpa de Santa Rosa¹ se obtuvo un alto contenido de humedad, pese a que estuvo en congelación aproximadamente 4 meses antes de análisis. Se obtuvo un porcentaje promedio de humedad de la pulpa fue de $85.29\pm 4.64\%$, teniendo un rango de $81.66\pm 0.3\%$ a $90.51\pm 0.3\%$. Dicho rango de humedad presenta valores normales para el contenido de humedad en frutas de acuerdo con la literatura. De igual manera, luego del tiempo de almacenamiento, el contenido de humedad no tuvo pérdida considerable debido al almacenamiento a bajas temperaturas. De igual manera, se obtuvo un porcentaje promedio de humedad de base húmeda para la pulpa de San Miguel Dueñas de $82.85\pm 4.52\%$; para la pulpa de Chicacao, Suchitepéquez de $88.36\pm 4.52\%$ y Santa Rosa² de $85.62\pm 4.52\%$, todas cosechadas en el mes de octubre del mismo año. Aunque existió variación en el contenido de humedad de acuerdo con las regiones, los valores se encuentran dentro del rango normal de contenido de humedad de frutos.

La concentración de sólidos solubles, de acuerdo con la literatura, determina el grado de madurez del grano, así como también el contenido de azúcares presentes en la misma. En la pulpa de café la mayor cantidad de azúcares reductores presentes son la glucosa y la xilosa (Pleissner *et al.*, 2016). Se determinó que la concentración promedio de sólidos solubles es de 6.1 ± 0.001 para la pulpa de café de Santa Rosa¹; mientras que se obtuvo que la muestra de San Miguel Dueñas obtuvo una mayor concentración con 7.6 ± 0.001 . De acuerdo con investigaciones, a mayor altura, se genera una mayor concentración de azúcares y cafeína Vaast, *et al.*, 2004; así como también que la maduración del fruto de café es de 17 a 20° para obtener una buena taza de café. La disminución de los grados brix del fruto cosechado hasta el despulpado, representan una reducción de azúcares lo que puede haberse generado debido a procesos fermentativos durante el proceso pos-cosecha.

B. Caracterización de extracto

El extracto se realizó en una sola etapa por medio de solventes y agitación a una temperatura de 60°C. Como solventes se utilizó agua destilada y una solución de etanol-agua a una concentración de 60% v/v. Las variables que se midieron para el extracto fueron la concentración de ácido clorogénico, concentración de cafeína y la determinación de fenoles (esta última únicamente para las soluciones de Santa Rosa cosechada en marzo, Santa Rosa cosechada en octubre 2020 y San Miguel Dueñas).

Se realizó una prueba rápida cualitativa para la detección de polifenoles en el extracto por medio de cloruro férrico. El cloruro férrico es un reactivo que genera oxidación en los fenoles, lo que provoca un cambio en la coloración a un color oscuro-verdoso o violeta de la solución. De esta manera, se obtuvo un cambio de coloración en la solución extracto de pulpa, como se puede observar en la Figura 11. Las coloraciones oscuras de la solución indican presencia de fenoles debido a la oxidación, como se explicó anteriormente.

Con respecto a la concentración de ácidos clorogénicos y cafeína para la extracción utilizando agua, estos se describen en el Cuadro 12. Se obtuvo una mayor concentración de ácidos clorogénicos para la pulpa de San Miguel Dueñas, siendo esta de 511.65 ± 9.18 mg/L, lo que generó una cantidad de ácido de 2.56 ± 0.05 mg/100 g pulpa. Mientras que la menor concentración fue de Fraijanes con una concentración de 161.02 ± 53.49 mg/L, generando una cantidad de 0.81 ± 0.27 mg de ácido clorogénico por 100 g de pulpa.

Con respecto a la concentración de cafeína, la pulpa de Santa Rosa¹ obtuvo una mayor concentración, siendo esta de 196.93 ± 35.95 mg/L; mientras que la pulpa de Santa Rosa² fue la que menor concentración generó. Por otra parte, la concentración de cafeína varió considerablemente para la región de Fraijanes, al generar una concentración de 181.39 ± 0.58 mg/L, mayor a la obtenida para el ácido clorogénico. Tanto la variación de las concentraciones del ácido clorogénico como las de la cafeína se deben a distintos factores. De acuerdo con la literatura, la altura favorece la generación de compuestos fenólicos, incluidos el ácido clorogénico. Debido a esto, San Miguel Dueñas presentó una mayor concentración de ácido clorogénico y cafeína, y siendo esta el café cerezo cosechada a mayor altura, comparada con las otras regiones. Resultados se observan en el Cuadro 12.

Mientras que para la extracción utilizando una solución de etanol, los resultados se describen en el Cuadro 13. Se obtuvo que la pulpa de San Miguel Dueñas generó una mayor concentración de ácido clorogénico, siendo este de 789.02 ± 9.73 mg/L, generando 3.95 ± 0.05 mg de ácido clorogénico por 100 g de pulpa; mientras que la que menor generó fue la región de Santa Rosa², al ser esta de 389.67 ± 14.61 mg/L, generando 1.95 ± 0.07 mg de ácido por 100 g de pulpa. La extracción en la que se utilizó una solución de etanol generó una mayor obtención de compuestos fenólicos (ácido clorogénico y cafeína) comparada con la extracción con agua. Se realizó un análisis de varianza entre cada región para determinar si existía una variación significativa entre el promedio de las muestras, de acuerdo con el solvente utilizado (dicho análisis se realizó para el ácido clorogénico y cafeína). La hipótesis nula establecida fue que no existía una variación significativa entre el promedio de los grupos de la misma región. Se obtuvo que para la región de Santa Rosa¹ y Santa Rosa² se aceptó la hipótesis nula, por lo que no existió una variación significativa en la extracción de ácido clorogénico utilizando agua y la solución de etanol. Por otra parte, se rechazó la hipótesis nula en el resto de las regiones para la extracción de ácido clorogénico, lo que significa que si existe una diferencia significativa en la extracción utilizando una solución de etanol al 60% v/v y agua. Por otra parte, para la extracción de cafeína, se aceptó la hipótesis nula únicamente para la región de Santa Rosa¹, lo que representa que si existe una diferencia significativa en la obtención de cafeína por medio de la solución de etanol. Se determinó que la utilización de la solución de etanol generó una mayor extracción de los compuestos fenólicos. Esto debido a que la polaridad de la solución de etanol es mayor a la del agua. De acuerdo con la literatura, los compuestos fenólicos poseen una mayor afinidad a sustancias mayormente polares, por lo que la

extracción con solución de etanol generó una mayor concentración de estos. Resultados se observan en el Cuadro 13.

De igual manera, se realizó un análisis de varianza para determinar si existía diferencia significativa en la extracción de acuerdo con la región utilizando el mismo tipo de solvente para la extracción, y una prueba de Tukey para determinar la diferencia significativa entre los grupos de análisis. Se planteó la hipótesis nula de que el promedio de extracción con agua entre las regiones no posee una variación significativa. Al realizar el análisis de varianza para la extracción con agua, se obtuvo un valor de F de 112.89 y un valor crítico para F de 3.48. Debido a que el valor real de F es mayor al valor crítico para F, se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alternativa. Lo que representa que si existe diferencia significativa entre las concentraciones de ácido clorogénico y cafeína por región utilizando agua como solvente. De la misma manera, se obtuvo para la extracción con etanol, que existe diferencia significativa entre las concentraciones de ácido clorogénico y cafeína por región.

Al realizar la prueba de Tukey para la extracción con agua, se comparó la concentración de compuestos fenólicos entre regiones. Al realizar la diferencia entre el promedio de las dos regiones comparadas, estas debían de ser mayor al valor de la Diferencia Honestamente Significativa (HDS) para determinar una diferencia significativa entre grupos. Se obtuvo que únicamente no existía diferencia significativa de concentración de ácido clorogénico entre las regiones de Santa Rosa¹-Chicacao, Santa Rosa²-Chicacao y San Miguel Dueñas-Chicacao. Para la concentración de cafeína, se determinó que, para la extracción con agua, únicamente no existía variación entre Chicacao-Santa Rosa², Fraijanes-Chicacao y Fraijanes-San Miguel Dueñas; mientras que para la de etanol únicamente no existió variación significativa entre Santa Rosa¹-Chicacao.

Es interesante observar que existe una diferencia significativa entre la concentración obtenida de ácido clorogénico entre Santa Rosa¹ y Santa Rosa². Aunque pertenecen a la misma región y al mismo cultivo, la diferencia de temporada de cosecha generó una diferencia en la concentración de compuestos fenólicos (ácido clorogénico y cafeína). Por otra parte, aunque la pulpa de Santa Rosa¹ se congeló durante aproximadamente 5 meses antes de usarse, presentó una mayor concentración de ácido clorogénico y cafeína, por lo que la congelación no afectó directamente los compuestos fenólicos y ayudo a prevenir la descomposición de la materia orgánica. La variación de la concentración de estos puede deberse a que las condiciones de crecimiento del fruto

variaron con respecto al tiempo de cosecha de las que se incluyen los nutrientes del suelo, las condiciones climáticas, entre otros factores externos.

La relación entre la concentración de ácidos clorogénicos y la cafeína obtenida en la extracción es un parámetro determinante para establecer si el extracto se puede utilizar en la industria de bebidas nutraceuticas (las cuales son bebidas que poseen un beneficio para la salud del consumidor). Si el extracto tiene alto contenido de ácidos clorogénicos, se considera que es una bebida antioxidante. Por otro lado, el alto contenido de cafeína en el extracto disminuye la aplicabilidad de este para ser usado como antioxidante, debido a su alto efecto negativo en el sistema nervioso central. Es por esto por lo que es necesario una alta relación AC/Caf. para su utilización. Babova *et al.*, (2016) concluyó que *C. arábica* de Kenia con una relación de ácido clorogénico/cafeína de 1.5 era una fuente ideal de antioxidantes con aplicaciones en la industria farmacéutica y nutraceutica. Se obtuvo, para la extracción con agua, que únicamente la pulpa de Fraijanes no posee una relación mayor a 1.5, siendo esta de 0.89, lo que representa una concentración mayor de cafeína que de ácido clorogénico en el extracto. Por otra parte, el extracto que obtuvo una mayor relación para dicho solvente fue Santa Rosa² con una relación de 3.52, lo que representa una mayor concentración de ácido clorogénico que de cafeína. Resultados se pueden observar en el Cuadro 12.

Para la extracción utilizando la solución de etanol, se obtuvo que todas las regiones presentaron una mayor relación AC/Caf. mayor a 1.5, aunque únicamente la región de San Miguel Dueñas, Chicacao y Fraijanes presentaron una relación mayor a 2.5. Esto debido a que, como se explicó anteriormente, al utilizar una sustancia con mayor afinidad a los compuestos fenólicos, generó una mayor extracción incluso de cafeína, disminuyendo la relación entre AC/Caf. Esto representa que la solución obtenida, ya sea por medio de la extracción con la solución de etanol o agua, representan una alternativa ideal para la producción de productos nutraceuticos, ya sea para la producción de bebidas antioxidantes, como para la generación de productos farmacéuticos.

Si bien el extracto, posee un color café, así como también tiene un olor característico a pulpa fresca (lo que podría ser poco agradable para el consumidor), se recomienda realizar un análisis sensorial y microbiológico para la factibilidad de las bebidas sin procesos de tratamientos posteriores. Por otra parte, para la eliminación directa (tanto del olor, sabor y color), se recomienda realizar procesos posteriores de purificación y

aislamiento, de los que se incluyen procesos utilizando carbón activado, como se describió en el marco teórico. Estos procesos de purificación pueden ayudar principalmente para obtener un extracto únicamente de ácido clorogénico y poder utilizarlo directamente en bebidas o alimentos, sin alterar las propiedades organolépticas del producto. De igual manera, se recomienda realizar formulaciones de productos con el ácido aislado, así como también pruebas de estabilidad del antioxidante, análisis sensoriales del producto y pruebas médicas para determinar un posible beneficio de la ingesta de dicho producto.

C. Análisis de fenoles

Se realizó un análisis de fenoles para el extracto obtenido de la pulpa de Santa Rosa¹, Santa Rosa² y San Miguel Dueñas extraída con agua como solvente. El análisis de fenoles se realizó por medio de un laboratorio externo. Los resultados obtenidos se describen en el Cuadro 14.

Se obtuvo que el extracto de Santa Rosa² fue la que obtuvo una mayor concentración de polifenoles, siendo esta de 58.80 ± 0.02 mg/L, siendo este el que menor concentración de ácido clorogénico obtuvo (comparado con los otros dos); mientras que San Miguel Dueñas obtuvo la menor concentración con 25.75 ± 0.02 mg/L, siendo esta la que obtuvo una mayor concentración de ácido clorogénico. Se ha establecido que los compuestos fenólicos están presentes en frutas, principalmente en el grano verde de café, pero luego de los procesos post cosecha (como el tostado y cosecha) se pueden degradar y enlazarse a otras estructuras poliméricas dependiendo de las condiciones de este. Algunos polifenoles se pueden convertir en cafeína, ácidos clorogénicos, entre otros, aunque no se ha determinado el porcentaje de cada uno de estos.

D. Análisis granulométrico de la pulpa molida utilizada

Se realizó un análisis granulométrico por tamizaje para conocer los diferentes tamaños de los sólidos generados luego del proceso de molienda húmeda. Para esto se utilizó un tamizador vibratorio con diferentes aberturas de tamiz, según la equivalencia de Tyler (mesh). Se obtuvo una mayor retención de pulpa molida en el mesh 20, debido a que posee un porcentaje de retención parcial de 81.71%. Esto representa que la mayor cantidad de sólidos presentes en la solución son mayores a una abertura de tamiz de 0.841 mm, aunque significa que sea de ese precisamente de

ese tamaño. Así mismo, se obtuvo que el 18.3% de los sólidos pasan a través del mesh 20, generando una acumulación del 6.5% en el siguiente tamiz (mesh 28). Resultados se pueden observar en el Cuadro 15.

Los primeros tres tamices (Mesh 20, 28, 45) representan una acumulación total del 92.62% del total de pulpa. Esto representa que la mayor cantidad de pulpa posee un tamaño mayor 0.354 mm y menor a 1 mm. Dicho comportamiento se puede observar gráficamente, se puede observar en la Figura 15. El porcentaje que pasa través de los tamices disminuye conforme aumenta el número de mesh, debido a que como se había explicado anteriormente, el mayor porcentaje de retención se encuentra los tamices con mesh de 20, 28 y 42.

Aunque la molienda húmeda, realizada por medio de un molino de cuchillas generó una disminución del tamaño del sólido, el mismo no provocó un tamaño fino de la pulpa. Esto pudo afectar directamente la extracción, por lo que, para futuras investigaciones y trabajos, se recomienda realizar una molienda más fina.

E. Costo de extracción a escala laboratorio

Se determinó el costo de extracción a escala laboratorio para la obtención de ácido clorogénico, tomando en cuenta el material utilizado, los equipos y su consumo eléctrico de acuerdo con el tiempo de uso. Se excluyó el costo de los análisis realizados. Los resultados se observan en el Cuadro 16.

Se obtuvo que el costo de extracción total para 500 mL de solución utilizando agua como solvente fue de Q 3.08, mientras que para la solución de etanol fue de Q 9.96. La diferencia entre ambos costos fue de Q 6.88, debido principalmente al precio del etanol. De igual manera, al obtener el costo de extracción por mg de ácido, se obtuvo un menor costo al utilizar agua comparado con la solución de etanol. Cabe resaltar que, dependiendo del proceso posterior, depende el solvente a utilizar en la extracción. Hoy en día, la utilización de procesos verdes, donde no se involucren químicos está creciendo. La utilización del agua en el proceso de extracción hace que el proceso sea más seguro para los trabajadores, medio ambiente y finalmente a los consumidores.

De acuerdo con la experimentación, se obtuvo un mayor rendimiento de extracción utilizando etanol como solvente comparado con el agua, para todas las muestras de pulpa. Esto representa que la elección del solvente depende del proceso de purificación

y utilización del extracto. Si de acuerdo con futuras investigaciones, se realiza una bebida en base al extracto, se debería de elegir el agua como solvente, debido a que no necesitaría un proceso posterior de eliminación solvente para la fabricación de la bebida y evitar aumentar los costos de fabricación. De manera contraria, si el extracto se utilizará para procesos de purificación y obtención de un ácido clorogénico de alta pureza para la implementación de este en productos cosméticos y de cuidado personal, se debería de elegir la opción de etanol, aunque represente un mayor costo de extracción, pero genera una mayor obtención del ácido. Otra de las razones por la elección del solvente es el uso posterior que se tenga para el extracto. Existen otros solventes como metanol, que pueden generar un mayor rendimiento de extracción, pero debido a que este solvente es muy peligroso para el consumidor, las posibles trazas que pueden generar en el producto son peligroso para el consumidor.

F. Línea de extracción

Se realizó una propuesta de línea de extracción a escala planta piloto, proponiendo los equipos, tuberías y accesorios a utilizar para la extracción de ácido clorogénico y de esta manera generar un aprovechamiento de la pulpa fresca para un beneficio húmedo de café ubicado en Nueva Santa Rosa, Santa Rosa, Guatemala. Los equipos se propusieron en base a las condiciones del proceso y las especificaciones del fabricante, los cálculos de los equipos y mobiliario se encuentra en la sección de cálculos de muestra. El espacio delimitado para la línea de extracción se basó en el espacio libre del beneficio húmedo mencionado, como se puede observar en la Figura 63, contenida en la sección de anexos. contenida en la sección de anexos. Se trabajó con la información del beneficio, el cuál procesa aproximadamente 100 qq de café cerezo diarios, lo que representa 4,600 kg al día, o 575 kg/h suponiendo un horario laboral de 8 horas al día.

Se establecieron las bases del diseño del proceso, de las cuales se incluyen los tiempos necesarios de operación, la proporción de sólido y solvente, la cantidad de pulpa a procesar, operaciones necesarias y las características fisicoquímicas de la pulpa. Se estableció que el proceso de extracción es batch, debido a que el proceso de mezclado no es continuo. Esto debido a que el proceso de extracción en el tanque de mezclado es de 1 hora aproximadamente con una temperatura de operación de 60 °C, de acuerdo con la experimentación realizada basa en la literatura (Zuorro, 2013). Las principales operaciones del proceso de extracción incluyen almacenamiento de pulpa fresca, molienda húmeda, mezclado de pulpa con agua, calentamiento de tanque de

mezclado, filtrado de solución y almacenamiento de solución final. En base a estos parámetros se realizó el diagrama de bloques y el balance de masa y energía del proceso, como se observa en la figura 16, pág. 37.

Experimentalmente, se determinó que la densidad de la mezcla de pulpa molida y agua destilada, a 25 °C , es de 984 kg/m³, por lo que dicho valor se utilizó para realizar el balance. Por otra parte, de acuerdo con la literatura, la densidad de la pulpa fresca es de 298.97 kg/m³ y se estableció un porcentaje de retención de la solución final en la pulpa y el filtro de 7%, generando un flujo volumétrico de solución final de 1,604.25 L/h.

Según el diagrama de bloques, se realizó un diagrama de operaciones como se describe en la Figura 17. El diagrama de operaciones describe el proceso de extracción, de acuerdo con el balance de masa y energía, así como también describe gráficamente los equipos necesarios en el proceso.

Como se puede observar en el diagrama, para cumplir el requerimiento de producción según los 100 qq de café cerezo, es necesario la implementación de dos líneas de extracción compuestas por: tanque de almacenamiento de pulpa fresca, tornillo sin fin, molino húmedo, tanque de mezclado, filtro de mallas y tanque de solución final. La propuesta de dos líneas de extracción, de igual manera es debido a que si en alguna ocasión es necesario realizar un paro a la línea o mantenimiento a algún equipo, el proceso de extracción no se vea afectado directamente, deteniendo operaciones. Así como también, la línea de extracción está diseñada para procesar un 50% más en caso exista un mayor procesamiento de café cerezo en el beneficio húmedo.

Por otra parte, el diagrama de operaciones se puede observar en la Figura 62, contenida en la sección de anexos. Dicho diagrama denota que la operación de mezclado genera un atraso en el proceso, así como también, que la remoción de la pulpa molida de los filtros es una operación manual.

Se realizó un diagrama en vista de elevación (Figura 19), así como también un diagrama en vista planta (Figura 18) para determinar el espaciamiento entre equipos, el espacio necesario para la línea de extracción y las distancias y elevaciones de las tuberías para el cálculo de las bombas centrífugas.

a. Parámetros de operación en línea de extracción

Según la caracterización de los parámetros fisicoquímicos de la pulpa de café determinadas en la sección experimental, se proponen los equipos para la línea de extracción de ácido clorogénico y las consideraciones para una posible implementación de esta. Los parámetros que se deben de tomar en cuenta son: tamaño de pulpa, humedad, tamaño de sólido molido y sólidos disueltos.

Como se explicó anteriormente, la disminución considerable de los grados brix de la pulpa de café representa diferentes procesos fermentativos que indican el estado de degradación de un material orgánico. De esta manera, para garantizar una extracción con concentraciones considerables de ácido clorogénico, se establece un valor mínimo aceptable de 7.0 brix de acuerdo con los valores obtenidos experimentalmente.

Con respecto a los silos pulmón y tornillo sin fin, los cuales tienen un tiempo de operación de 1 hora, se deben tener las consideraciones con respecto al tamaño de pulpa, porcentaje de humedad y presencia de material sólido como resto de semillas de café, remanentes de los procesos de despulpado. Con respecto al tamaño de la pulpa, esta debe de estar en los rangos de 1.1-1.6 mm de diámetro polar y 1.1-1.6 mm de diámetro ecuatorial. Esto para evitar obstrucciones y un buen procesamiento en el mobiliario. Por otra parte, se debe de tomar en cuenta que la pulpa salida del proceso de despulpado, debe tener un porcentaje de humedad máx. del 88%. Esto representa la remoción de las mieles presentes en el proceso de despulpado, para evitar la acumulación de esta y evitar una mayor degradación orgánica de la pulpa fresca, así como también evitar fallas en los procesos posteriores. La remoción de las mieles aún presentes en la pulpa se puede generar por procesos de filtración a través de cribas en los procesos de beneficio húmedo. Por otra parte, el acumulamiento de las mieles, tanto en los tornillos sin fin como en el silo pulmón, puede generar un mayor estancamiento y poca fluidez del sólido en el tornillo sin fin, como en el silo.

De igual manera, se debe de considerar la ausencia de material ajeno a pulpa en los procesos, como semillas de café pergamino, palos y hojas que puedan estar presentes en el proceso. Esto puede generar una obstrucción para el tornillo sin fin, como también en la molienda húmeda y alteraciones en los resultados de la extracción. La presencia de sólidos de mayor dureza en el molino, pueden generar un desgaste en las aspas generando fallas en

los equipos y mayor mantenimiento. Finalmente, se debe de tomar en cuenta, una disminución mínima 20 μm de tamaño de la pulpa, requeridos para el proceso.

b. Tanques y silos.

Los tanques se clasifican en dos tipos principalmente, los tanques de almacenamiento de solución final y los tanques de mezclado. Ambos tipos de tanques se proponen para estar fabricados bajo la normativa API 620 y API 650. Para los tanques de mezclado, se tomó en cuenta que los equipos auxiliares que debe de poseer este son calentamiento y mezclado, así como también termostatos y variador de frecuencia. El volumen total de este tipo de tanques es de 1,000 Gal, tomando como referencia al fabricante. Dicho tanque es con fondo cónico, para no generar acumulación en ángulos rectos como en tanque cilíndricos, así como también este tipo de tanques permiten un agitador de fondo. Para el sistema de agitación, se propone un mezclador de fondo, con aspas para generar un mezclado homogéneo y evitar depósitos de pulpa molida en el fondo. Este tipo de mezcladores cuenta con una potencia de 2.4 HP a una revolución de 37 RPM. Estos se pueden describir en la ficha técnica, figura 20, pág. 41. Dichos tanques están acoplados a un termostato para la medición de la temperatura de operación, la cual debe de ser de 60°C.

Para el equipo de calentamiento, se propone la utilización de dos calentadores verticales por tanque, de acuerdo con requerimiento energético para calentar el volumen total a la temperatura de operación. Los calentadores verticales se acoplan directamente al tanque, y estos pueden trabajar de manera estacionaria o en continuo de acuerdo con el proceso. Por otra parte, estos calentadores son ideales debido a que requieren un menor espacio dentro del tanque. De acuerdo con las especificaciones del fabricante la potencia del calentador es de 240 kW con largo de hasta 7 m. Por otra parte, este tipo de calentadores se puede acoplar al tanque de acuerdo con las especificaciones ANSI por medio de bridas. Las especificaciones del calentador se describen en la Figura 21.

Para el tanque de solución final, se tomó en cuenta el flujo volumétrico de salida del filtro de mallas. De igual manera, para un día de operación, lo que representa 8 horas, se obtuvo un volumen final de 4,068 Gal, tomando en cuenta un volumen de sobrediseño del 20%. Dicho tanque debe de tener la capacidad de almacenar el volumen total de producción de 8 horas. Para determinar el tipo de tanque necesario, se utilizó los cuadros del Wallas como referencia. Por lo que se determinó que el tanque vertical tiene capacidad para 5,000 Gal, teniendo un diámetro de 2.13 m y altura de 2.29 m, con grosor de 0.635 cm. Las características del tanque se describen en la Figura 22.

Por otra parte, para los silos de pulpa fresca, se diseñaron en base a ciertas propiedades de sólidos como el ángulo de reposo y la densidad de bulto de la pulpa. Estos silos son silos pulmón, debido se utilizan cuando se necesita movimiento frecuente del sólido y un almacenaje temporal. De acuerdo con la literatura, los silos pulmón se utilizan para el funcionamiento del proceso, más no se utilizan para el almacenaje prolongado del material (Wallas, 1990). Por lo tanto, debido a que el tiempo de operación del silo es de 1 h, se puede considerar el mismo como silo pulmón. De acuerdo con la literatura, la densidad de bulto de la pulpa fresca es de 266.01 kg/m³ (16.61 lb/ft³), mientras que el ángulo de reposo es de 45° (Montilla, *et. al.*, 2008). Por otra parte, para el diseño del silo se determinó por medio de una regla gruesa, que la relación entre el alto y diámetro (H/D) del silo debe de ser igual a 2. Para un tiempo de operación de almacenamiento de 1 h, lo que equivale a 345 kg de pulpa fresca, se obtuvo que el volumen de almacenamiento es de 1.38 m³. De igual manera, se consideró un espaciado del (headspace) de 20%. Se obtuvo que el silo de almacenamiento debe de ser de 2.86 m de alto, tomando en cuenta la tolva de salida con diámetro de 0.30 m, y diámetro de 0.96 m. Dicha información se describe en la Figura 23.

c. Equipos

Los equipos propuestos son un tornillo sin fin, para la movilización de sólidos, y un molino húmedo para la disminución de tamaño de pulpa. Para el tornillo sin fin, se tomaron en cuenta las especificaciones del fabricante y el tipo de material para el transporte. Con respecto al tipo de material a movilizar, el fabricante proporciona ciertas características del material que describen el tipo de tornillo sin fin ideal para el proceso. Para la pulpa fresca se identifico el código del material como 16E35. Dicho código representa las características y tipo de material, el cuál 16 representa densidad de bulto de 256.3 kg/m³ (16 lb/ft³); E representa que es un material irregular fibroso; 3 representa que la fluidez del material es promedio y 5 representa que el material es medianamente abrasivo. Por medio del tipo de material, se identificó un factor F para la potencia de 1.5 (dicho factor se describe en la sección de cálculos de muestra). Debido a que el tipo de material tiene una clasificación E35, se obtuvo un diámetro del tornillo de 0.1524 m (6 in) con una capacidad máxima de 3.4 m³/h (120 ft³/h) a una velocidad de giro máxima de 180 RPM y un grado de carga del canal de transporte de 30%. Tomando en cuenta un largo del tornillo sin fin de 5 m y de acuerdo con las especificaciones del fabricante, se obtuvo una potencia necesaria para el motor de 0.2 HP. Las especificaciones del tornillo sin fin se describen en la Figura 24. El tornillo sin fin se calculó sin tomar en cuenta una inclinación. Esto debido a que el silo pulmón se encuentra por encima del tornillo, así como también, el movimiento del tornillo permite una movilidad

continua del sólido. Aunque esto podría afectar directamente en el proceso, se recomienda realizar pruebas con el sólido para verificar la utilización del tornillo sin necesidad de inclinación de este.

El tornillo sin fin alimenta directamente al molino húmedo. Se propuso un molino de cuchillas de molienda húmeda, para generar una solución de pulpa molida y de esta manera permitir una mayor extracción de los compuestos fenólicos. De acuerdo con el flujo másico de pulpa y agua, el cual es de 2,070 kg/h y un tiempo de operación de 1 h, se propuso un molino con capacidad de 800-10,000 kg/h con una potencia de 37 kW con, generando un tamaño de partícula de hasta 100 μm . Las especificaciones del molino se describen en la Figura 25.

d. Bombas y tuberías

Se decidió utilizar tubería de acero inoxidable debido a que, aunque es de mayor costo, se utiliza para procesos de producción de alimentos debido a su inocuidad y mantenimiento. De acuerdo con las condiciones del fluido y del proceso, se determinó que el tamaño de la tubería para utilizar en todo el proceso es de 0.0508 m (2 in) cédula 40.

Para las bombas, se determinó la cabeza total por medio del cálculo de la cabeza estática y la cabeza dinámica. La cabeza estática se refiere a la diferencia de presión debido a los cambios de altura y la diferencia de presión entre el lugar de origen y destino. Mientras que la cabeza dinámica es la diferencia de presión que se debe a la fricción generada por la superficie de la tubería, los accesorios de la tubería y la diferencia de presión generada por equipos intermedios en la línea de la bomba. La cabeza total, así como la cabeza dinámica y la cabeza estática, varían con respecto al largo de la tubería, a la diferencia de presión generada por equipos, a la variación entre la altura de origen y destino, la variación entre la presión de origen y destino y la cantidad de accesorios que se encuentren en la línea. Se proponen la utilización de bombas centrífugas debido a que para el proceso es necesario mayores flujos con una presión no elevada. La caída de presión debido a equipos se determinó por medio de las especificaciones del fabricante, para los casos de los filtros. Como se describió anteriormente, se realizó un diagrama en vista elevación y vista planta para determinar la elevación de los equipos y tanques, y el largo total de la tubería, los cuales son necesarios para determinar la caída de presión por Fanning y la cabeza estática por diferencia de alturas.

Para la mezcla de pulpa molida y agua, se determinó la viscosidad por medio de la ecuación de Einstein modificada por Thomas. Para la utilización de dicha ecuación, se asumió

que la mezcla era una solución con alta concentración de sólidos debido a que la misma representa una concentración de pulpa molida de 20%. Así como también se considera que la solución es un fluido no-Newtoniano y que la mezcla es homogénea. De esta manera se obtuvo una viscosidad dinámica para la solución de pulpa molida y agua de 1.77 cp. La presencia de partículas en un sistema incrementa la suspensión de la viscosidad a volares mayores del fluido que los contiene. Este valor obtenido fue considerado para el cálculo de la bomba centrífuga para la mezcla de agua y pulpa molida.

Por medio de la cabeza total y las curvas características proporcionadas por el fabricante, se obtuvo que las bombas centrífugas necesarias para el proceso poseen una potencia de 0.37 kW con una eficiencia del 74%, lo que representa una eficiencia real de 0.5 kW y una potencia de diseño de 0.75 kW. Las características de la bomba se describen en la Figura 26.

e. Filtros

Debido a que se está trabajando con pulpa molida, la utilización de filtros bolsa o filtros de cartuchos, generaría un mayor mantenimiento y acumulación del material sólidos en los filtros. Esto generaría una mayor caída de presión y la compra una bomba centrífuga con una mayor capacidad de potencia para filtrado del material. De esta manera se propone la utilización de filtros de mallas con diámetro de abertura de 100 mesh. Esto para retener principalmente los sólidos presentes en la solución. Por otra parte, debido a que la solución de fenoles pasará luego a un proceso de purificación o elaboración de productos de antioxidantes, los procesos posteriores a la extracción deberán de encargarse de generar una solución de acuerdo con los parámetros del cliente y del producto a obtener.

Con respecto a la caída de presión establecida por el tipo de filtro escogido, el mismo dependía de factores de diseño provistas por el proveedor de acuerdo con el tamaño de poro de la malla, así como también el tamaño de tubería a acoplarse. El valor de dicha caída de presión se debe de corregir si no se está trabajando con agua, multiplicándolo por un factor de acuerdo con la viscosidad de la solución. Debido a que se está trabajando con una tubería de 0.0508 m (2 in), así como también la viscosidad dinámica del medio es de 50.18 SSU, se determinó que la caída de presión para el equipo de filtración es de 901.56 N/m². Los mecanismos de filtración se rigen por la ley de Darcy, la cual establece que la pérdida de carga es proporcional a la velocidad de filtración. Las características del filtro se describen la Figura 27.

Dentro de la línea se propuso la colocación de 2 filtros en paralelo, debido a que son equipos de alto mantenimiento. La colocación de 2 filtros en paralelo permite la circulación y la operación en continuo de esta operación. Para estos filtros es necesario la remoción de los sólidos acumulados de manera manual. Los sólidos removidos serán acumulados en contenedores para tratamientos posteriores como la formación de briquetas para utilización como combustibles en calderas de biomasa, o tratamientos biológicos para la degradación y utilización de abono en plantaciones cercanas.

f. Almacenamiento de pulpa molida

Los sólidos separados de la solución de extracto se depositarán en recipientes para almacenar los mismos y utilizarlos para procesos posteriores o para su posterior tratamiento. La pulpa molida, con un tamaño aproximado de 20 μm , se puede utilizar para la formación de briquetas y utilizarlo como biocombustible en calderas de biomasa.

G. Análisis financiero

Para realizar el análisis financiero con respecto a la Tasa Interna de Retorno (TIR), se tomó en cuenta la inversión inicial de la planta, las jornadas laborales de los trabajadores, los costos fijos y variables, y la depreciación. Para la inversión inicial, se obtuvo un costo total de Q2,079,474.71, como se puede observar en el Cuadro 17. Los costos de los equipos, mobiliario y materiales se obtuvieron por medio de cotizaciones a proveedores, así como también se utilizó el índice CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) del año 2020 (593.7) con respecto al CEPCI del 2003 (402) para calcular el costo de los tanques de almacenamiento, producto final y mezclado. Dentro de los costos de los equipos se tomó en cuenta los costos por fletes internacionales, el impuesto del valor agregado, los aranceles y el transporte interno, debido a que se considero un costo FOB, como se describe en el Cuadro 18. Con respecto al terreno, debido a que se está planteando el proyecto para la implementación de este en un beneficio húmedo de Nueva Santa Rosa, únicamente se considero el costo de construcción y la depreciación de este.

Con respecto a los salarios, se consideraron dos turnos. El primero turno, con un total de cuatro trabajadores para la línea, se planteo el trabajo de lunes a jueves de 6:00 am a 5:00 pm, y el viernes de 8:00 am a 12:00 pm, para un total de 48 horas de trabajo por semana para un turno diurno, de acuerdo con lo establecido por la ley. El segundo turno, con un total de 2 trabajadores, laboran de viernes de 6:00 am a 6:00 pm de viernes a lunes. Este turno es especial acordado con los trabajadores. Para ambos turnos, las horas ordinarias

establecidas fueron de 8 horas, por lo que se estaría pagando horas extras ordinarias, y horas extras dobles para los trabajadores del domingo. El salario establecido fue 50% más al salario mínimo para un trabajador agrícola en el 2021, el cual es de Q11.27/h.

La tarifa del consumo eléctrico se estableció de acuerdo con la Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima (EEGSA), así como también el costo de consumo de agua proporcionado por Empresa Municipal de Agua de Guatemala (EMPAGUA). Con respecto a los costos fijos, el mayor costo generado es el consumo eléctrico, el cual tiene un valor por temporada de Q1,035,492.97. Esto debido a que el sistema de calentamiento eléctrico propuesto para el tanque de mezclado genera un consumo diario de Q5,760.0 debido a la potencia del equipo. Los costos fijos se estableció un incremento de 5% cada 5 años, debido a la variación del precio de facturación por los servicios de energía y agua.

Con respecto a la depreciación de los bienes, se utilizó el decreto 26-92 del ISR, en el que establece los años mínimos de depreciación según ley, así como también el porcentaje de depreciación mínimo. Por lo que se estableció que para la construcción la depreciación sería a 20 años con un porcentaje del 5%, y para la maquinaria y mobiliario sería de 10 años con un porcentaje de 20%.

Debido a que el producto que se está evaluando no se encuentra actualmente en el mercado, no existe un estudio del mercado específico, así como también es la primera parte de un proyecto de aprovechamiento de la pulpa de café, no se pudo establecer un precio de venta específico. Para esto se determinó, por medio del flujo de caja y las consideraciones mencionadas, el precio mínimo de venta para generar una TIR meta de 25%. El porcentaje meta del Tasa Interna de Retorno se estableció de acuerdo con la literatura, ya que este valor representa un resultado adecuado y aceptable, para que el proyecto sea rentable. De esta manera se obtuvo un precio de venta mínimo de la solución con ácido clorogénico de Q 2.73 por litro. Teniendo un costo de producción de Q 0.55, se obtiene una ganancia del 492%. Por otra parte, se obtuvo un tiempo de recuperación de la inversión de 6 años y un Valor Actual Neto (VAN) para el final del periodo de evaluación de Q6,818,900.49, como se puede observar en el Cuadro 19. Al establecer una TMAR (Tasa Mínima Atractiva de Retorno) del 12% y obteniendo una TIR del 25%, se concluye que el proyecto es rentable y aceptable.

Se determinó el punto de equilibrio tanto para el precio de venta como para la producción. El punto de equilibrio establece el punto en donde los gastos y las ganancias son iguales, por lo tanto, el ingreso neto es 0, por lo que no existen ganancias, pero tampoco pérdidas

en el proyecto. Con respecto al precio de venta, se obtuvo un precio mínimo de venta de Q2.10 para no generar pérdidas en el proyecto. Mientras que, para la producción, estableciendo un precio de venta de Q2.73, la mínima producción y venta necesaria es de 1,525,839.82, como se puede observar en el Cuadro 21.

Finalmente, se realizó un análisis de sensibilidad para terminar la variación de precio con respecto a la TIR, como se puede observar en el Cuadro 22. Como se puede observar en la Figura 29, se obtuvo una tendencia creciente esperada del TIR al aumentar el precio de venta, lo que representa que, a mayor precio, nuestro proyecto es rentable. Por otra parte, al establecer fijo la TMAR del 12%, indica que el precio mínimo de venta por el cual no se van a tener pérdidas es del Q 2.10, como se explicó anteriormente. Gráficamente, el rango entre la TMAR y el TIR de meta establece que existirán ganancias netas, pero no serán las esperadas con la TIR meta, aunque no existirán pérdidas para el proyecto.

Algo importante a tomar en cuenta, es que el costo de producción por L de la solución con compuestos es muy bajo, para el gran valor que tiene dicha solución. Esto representa que, para otros proyectos, se puede obtener una mayor ganancia al producir productos con valor agregado, benéficos y naturales, utilizando materia prima de alto valor a bajo costo. De igual manera, el proyecto de producción de solución de compuestos fenólicos representa una alternativa amigable con el medio ambiente, debido a que no se plantea la utilización de solventes para la extracción, y no se generan desechos durante el proceso.

Finalmente, con respecto a la utilización del extracto, de acuerdo con la experimentación y la línea planteada, se lograría obtener un aproximado de 12,834 L de solución con un contenido total de ácido clorogénico de 6.47 kg. La solución obtenida puede ser utilizada para la fabricación de bebidas nutraceuticas, pues como se mencionó anteriormente, el cociente entre el ácido y la cafeína es alta, lo que indica un gran beneficio al consumidor. Para el 2019, el mercado de las bebidas nutraceuticas estaba valorado en \$93.68 billones de dólares, con un crecimiento del CAGR (Tasa de Crecimiento Anual Compuesto, por sus siglas en inglés) del 6.1%. Esto indica que el crecimiento por este tipo de productos es cada vez mayor, así como también los consumidores buscan un mayor tipo de productos benéficos que contribuyan con su salud. Estas bebidas, de acuerdo con los productos en el mercado, posee un rango de concentración de 100-150 mg de antioxidantes por 8 fl oz de bebida. Por lo que el extracto obtenido, sin purificación posterior, tendría un contenido total ácido clorogénico de 120 ± 0.16 mg por 8 fl oz o 504.42 ± 0.16 mg por L. Aunque dicho extracto debe de analizarse con respecto a pruebas microbiológicas para asegurar su consumo directo, en países andinos, esta solución se consume popularmente. Dicha bebida

es llamada Cáscara, la cual es una infusión a base de pulpa de café. Estas bebidas son populares y poseen diferentes presentaciones, desde bebidas carbonatadas a base de pulpa hasta pulpa seca para infusiones caseras. Esto representa un amplio mercado de bebidas a base de pulpa de café que no se está considerando en la región y en el país.

Por otra parte, dicho extracto puede ser la base para la fabricación de bebidas nutracéuticas naturales, al combinar jugos naturales, adicionar saborizantes, edulcorantes, colorantes para mejorar el aspecto y el sabor, sin modificar las propiedades benéficas de dichas soluciones. Estudios realizados para el aislamiento del ácido por medio de carbón activado y agua destilada, de acuerdo con Suarez *et al.*, pueden generar una solución concentrada de ácido la cual puede utilizarse para implementarse en bebidas o productos y darle un valor agregado al producto como, por ejemplo, agua pura con antioxidantes.

H. Análisis de encuestas

1. Análisis de productores de café

Se realizó una encuesta sobre la utilización de la pulpa de café, enfocado principalmente a productores de café que utilizaran el proceso de beneficio húmedo en el proceso post cosecha. Esto con el objetivo de obtener información acerca del uso y generación de pulpa. Se utilizó el software Power BI para el modelaje de la información obtenida. Se encuestaron a 17 cafetaleros de Guatemala de los cuales 41.2% (7) fueron del departamento de Santa Rosa, 29.4% (5) fueron del departamento de Chiquimula y el resto fueron de los departamentos de Guatemala, Alta Verapaz, Chimaltenango, Escuintla y Retalhuleu. De los 17 encuestados, el 94.1% cosechan café tipo Arábica, 23.5% cosechan café tipo Robusta y 17.6% cosechan otro tipo (Maragogipe), como se puede observar en la Figura 30.

Como se puede observar en la Figura 31, de acuerdo con los encuestados, los productores de Chimaltenango son los que cosechan una mayor cantidad de café cerezo, siendo estos de 100,000 quintales, mientras que la menor cantidad cosechada es de 100 quintales. La cantidad promedio de café cerezo que cosechan los encuestados en una temporada es de 11,000 quintales. En el proceso post cosecha, 64.7% (11) utilizan beneficiado húmedo, 23.5% (4) utilizan un beneficiado seco y húmedo y solo el 11.8% (2) utilizan un proceso seco. Esto representa que la mayor cantidad de caficultores encuestados utilizan un proceso húmedo para la remoción de la pulpa y obtención del café oro para su posterior venta.

Con respecto a la utilización de la pulpa obtenida, el 64.7% de los encuestados la utilizan únicamente como abono. Realizando una investigación más específica, se entrevistó a uno de los trabajadores de uno de los beneficios ubicados en el departamento de Santa Rosa. En base a esto, indicó que la aplicación de la pulpa como medio de abono se realiza directamente en plantaciones de maíz, sin tratamiento previo. De acuerdo con la literatura, al no realizar un tratamiento adecuado de la materia orgánica, esta provoca acidificación de suelos y desnitrificación de estas. Por otra parte, el 17.6% de los encuestados no utilizan la pulpa en ningún proceso posterior, mientras que el resto lo utilizan en otros procesos como procesos de tratamiento de desechos.

Finalmente, se les preguntó a los encuestados acerca de un posible interés en algún proyecto para la utilización de la pulpa y obtención de subproductos, a lo que se obtuvo fue que el 82.4% de los encuestados está interesado en un proyecto para utilizar la pulpa en otros procesos. Mientras que solo un 5.9% no está interesado, y el 11.8% tal vez pueda estar interesado en el proyecto. Esto representa un alto interés en proyectos de utilización de la pulpa para obtención de subproductos que generen un mayor valor al café. Debido a que el 60% del fruto de café representa la pulpa, este un porcentaje considerable de pérdida que puede ser utilizado para obtener productos de valor como antioxidantes, colorantes, etc.

2. Análisis de consumidores para percepción de antioxidantes

Se realizó una encuesta sobre la percepción y uso de antioxidantes para determinar el conocimiento y consumo de estos, así como también el interés en un posible producto de valor con antioxidantes. Los datos obtenidos fueron modelados por medio del software Power BI. Se encuestó un total de 610 personas con rangos de edad de 21 a 85 años. Como se puede observar en la Figura 32, el 66.9% (408) de los encuestados fueron mujeres y el 33.1% (202) fueron hombres.

La primera pregunta que se realizó fue acerca del conocimiento de un antioxidante, por lo que el 80.7% (487) saben que es un antioxidante, mientras que el 19.3% (118) no conocen que es un antioxidante. Del 80.7% de los encuestados, el 91.1% (448) conocen los beneficios del uso y consumo de los antioxidantes, mientras que únicamente el 8.9% (44) no conocen los beneficios de estos. Por otra parte, de las personas con conocimiento de lo que es un antioxidante, el 76.8% (378) utiliza o consume productos con antioxidantes, de los cuales se destacan alimentos (83.9%), bebidas (43.6%), cosméticos (22.3%), medicamentos (22.1%).

De los encuestados totales, se preguntó acerca de las bebidas que consumen con mayor frecuencia. El 84.9% respondió que consume con mayor frecuencia agua pura, seguido por limonada (55.2%), café (53.8%), té (44.8%), jugo de naranja (43.1%) y bebidas carbonatadas (26.6%). De acuerdo con la literatura, las bebidas que mayor capacidad antioxidante poseen son el café y el té, así como también el jugo de arándanos (con un porcentaje de consumo de 13.8%) y el cacao (con un porcentaje de consumo de 10.2% con respecto a los encuestados). Dichos resultados establecen que el consumo de bebidas con antioxidantes, de acuerdo con los encuestados, está por encima de un 50%, lo que representa que el consumo de antioxidantes es considerable.

Por otra parte, los resultados sobre las bebidas que no poseen antioxidantes (como el agua pura) pueden generar cierto interés en productos innovadores. De esta manera, se planteó la pregunta acerca del interés en comprar una bebida que contribuyera con su salud, de lo que se obtuvo que el 93.4% estaría dispuesto a comprar una bebida con estas propiedades, mientras que únicamente el 6.6% no está interesado. Con respecto al precio máximo que estarían dispuestos a pagar, el 70.2% (428) estableció que el precio por el cuál comprarían el producto es de Q10-Q20, el 23% (140) estableció un precio de Q21-Q30, y únicamente el 6.8% compraría el producto por un precio menor a Q10.

Según dichos resultados, se puede decir, que el mercado de las bebidas funcionales está siendo de crecimiento, de aceptación y de importancia. La solución de antioxidantes, principalmente ácido clorogénico, obtenida en base a la pulpa de café, es una de las principales alternativas para la fabricación y formulación de bebidas nutracéuticas. Esto podría generar un beneficio directo al gremio cafetalero, principalmente a los dueños de beneficios, al generar un aprovechamiento a la pulpa para producir un producto con valor agregado. Aunque se tienen que hacer más análisis, como estudios de mercado del producto y formulación de la bebida, cabe resaltar y tomar de base, que muchos países andinos ingieren una infusión de pulpa de café, debido a que es una bebida no solo funcional para el consumidor, sino que también una bebida aceptable y pedida por el consumidor.

IX. CONCLUSIONES

1. Se determinó que no existió una variación considerable entre el tamaño de la pulpa de café obtenida de las diferentes regiones, debido al tamaño característico del fruto de café tipo *Coffea Arábica*.
2. Se obtuvo que la pulpa de Chicacao, Suchitepéquez, presentó un mayor porcentaje de humedad al ser este de $88.36 \pm 4.52\%$ base húmeda.
3. Se determinó que la pulpa de San Miguel Dueñas presentó un valor de pH más alto con 4.6 ± 0.1 , comparada con el resto, al ser esta pulpa proveniente de un fruto de cosecha más alto por encima del nivel del mar.
4. Se obtuvo una mayor concentración de sólidos solubles para la pulpa de San Miguel Dueñas, siendo esta de 7.6 ± 0.001 .
5. Se determinó, cualitativamente, la presencia de compuestos fenólicos en la solución extraída de pulpa de café por medio del cambio de coloración del medio a través de la prueba de cloruro férrico.
6. Se determinó que la solución de etanol generó un mayor rendimiento de extracción de ácido clorogénico y cafeína comparada con la extracción con agua.
7. Se obtuvo una mayor concentración de ácido clorogénico en el extracto, para la extracción con ambos solventes, proveniente de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez, siendo la concentración de 511.65 ± 9.18 ppm con agua destilada y de 789.02 ± 9.73 ppm con solución de etanol.
8. Se obtuvo una mayor concentración de cafeína para la solución de pulpa proveniente de Santa Rosa¹ utilizando tanto la solución de etanol como agua destilada, siendo la concentración 234.18 ± 0.59 ppm por medio de la solución de etanol y de 196.93 ± 35.95 ppm por medio de agua destilada.
9. Se determinó que existe una diferencia significativa entre la concentración obtenida de ácido clorogénico entre Santa Rosa¹ y Santa Rosa².
10. Se determinó que no afectó directamente la congelación de la pulpa de Santa Rosa¹ para la extracción de compuestos fenólicos.
11. Se determinó que la utilización de la pulpa para la extracción de compuestos fenólicos es útil para la producción de productos nutraceuticos, pues la relación CGAs/Caf es mayor a 1.5 para todos los extractos.
12. Se obtuvo una mayor concentración de fenoles para la extracción utilizando agua y pulpa de Santa Rosa², siendo este de 58.80 ± 0.02 ppm; mientras que la que generó una menor concentración fue la pulpa de San Miguel Dueñas, con una concentración de 25.74 ± 0.02 ppm.
13. Se determinó que el 81.71% de los sólidos presentes en la mezcla de pulpa molida y solución, tienen un tamaño mayor a 0.354 mm y menor a 1 mm.

14. Se obtuvo que el costo de extracción de ácido clorogénico a escala laboratorio utilizando agua es de Q 3.08 por 500 mL, generando un costo promedio de Q 0.016/mg AC.
15. Se obtuvo que el costo de extracción de ácido clorogénico a escala laboratorio utilizando solución de etanol es de Q 9.96 por 500 mL, generando un costo promedio de Q 0.036/mg AC.
16. Se propuso que para la línea de extracción, con un ingreso diario de 100 qq de café cerezo, es necesario un silo de almacenamiento de pulpa fresca de 1.66 m³ de capacidad; un tornillo sin fin de 6 in de diámetro y 5 m de largo; un molino húmedo con capacidad de operación de 2,070 kg/h; un tanque de mezclado con capacidad de 1000 Gal y sistema de mezclado y calentamiento; un filtro de mallas para la remoción de sólidos con tamaños mayores a 20 µm y un filtro de agua para partículas menores a 20 µm; y un tanque de almacenamiento de solución final con capacidad de 1.66 m³.
17. Se obtuvo, estableciendo una TIR objetivo de 25%, un precio de venta de la solución de Q2.73 para que el proyecto fuese rentable comparado con una TMAR de 12%, con un tiempo de recuperación de la inversión de 6 años y un VAN de Q6,818,900.49.
18. Se obtuvo un punto de equilibrio para el precio de venta de Q2.10; mientras que, para la producción de 1,525,830.82 L.
19. Se determinó que el la TIR es sensible con respecto al precio de venta, por lo que, a un mayor precio de venta, se genera una mayor TIR.
20. Se determinó que el 88.2% de los dueños de beneficiados húmedos estarían interesados en realizar un proyecto para la obtención de subproductos a base de la pulpa de café.
21. Se concluye que el proyecto es viable y factible, así como también amigable con el medio ambiente, para la producción de productos benéficos para el consumidor.
22. Se cumplieron los objetivos establecidos, al caracterizar la pulpa, extraer ácido clorogénico, proponer una línea de extracción y evaluar la inversión por medio de la TIR, para aprovechar la pulpa de café de un beneficio húmedo.
23. Se determinó que la producción de bebidas nutracéuticas a base de la pulpa de café es una alternativa viable y posible para el aprovechamiento de este subproducto, tomando en cuenta procesos de purificación posterior.

X. RECOMENDACIONES

1. Evaluar la pulpa de todas las regiones productoras de café, con beneficio húmedo, para determinar variaciones de resultados.
2. Evaluar la extracción de compuestos fenólicos de la pulpa de café proveniente de un beneficio húmedo y un beneficio seco.
3. Realizar análisis de capacidad antioxidante de los diferentes extractos para determinar su relación con la extracción de compuestos fenólicos.
4. Evaluar la extracción de compuestos fenólicos de acuerdo con el tamaño de pulpa molida obtenida.
5. Realiza un estudio de mercado más específico y detallado acerca de los productos nutraceuticos.
6. Llevar a cabo una formulación para una bebida nutraceuticas a base de la extracción de ácido clorogénico.
7. Hacer un estudio específico, nutricional y médico sobre los beneficios del extracto a base de la pulpa de café.
8. Proponer una planta de bebidas nutraceuticas, como bebidas de infusiones o bebidas naturales, a base de la solución extraída con pulpa de café.
9. Elaborar una propuesta para la utilización de la pulpa molida para su implementación como biocombustible.
10. Realizar un estudio específico sobre la extracción de ácido clorogénico a partir de pulpa de café para establecer un modelo de extracción y especificar las bases de diseño de los equipos establecidos.
11. Realizar un análisis FTIR de la pulpa para identificar los compuestos y grupos funcionales de la misma.
12. Realizar un estudio para la utilización de la pulpa molida para la formación de briquetas y utilizarlo como biocombustible.
13. Se recomienda realizar un proceso de purificación y de aislamiento del ácido clorogénico, para eliminar color, olor e impurezas y de esta manera poder utilizarlo en productos alimenticios, como bebidas.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Abreu, R.V., Silva-Oliveira, E.M., Dutra M., Pereira, G., Moraes, T., (2011). *Chronic Coffee and caffeine ingestion effects on the cognitive function and antioxidant system of rat brains*. Pharm. Biochem. Behav. 99(4), 659-664.
- [2] Azuma, K., Ippoushi, K., Nakayama, M., Ito, H., Higashio, H., Terao, J., (2000). Absorption of chlorogenic acid and caffeic acid in rats after oral administration. J Agric Food Chem 48(11):5496-5500.
- [3] Banco de Guatemala. (2018). Estudio de la Economía Nacional. https://www.banguat.gob.gt/Publica/doctos/Estudio_de_la_Economia_Nacional_2018.pdf
- [4] Bressani, R., Braham, J. (1978). *Pulpa de Café: composición, tecnología y utilización*. Guatemala: INCAP.
- [5] Chang, R. (2010). Química. México: McGraw Hill.
- [6] Chaube, S., Swinyard, C.A. (1976). Teratological and toxicological studies of alkaloidal and phenolic compounds from *Solanum tuberosum* L. Toxicol Appl Pharmacol 36(2):227-237.
- [7] Cho, A., Jeon, S., Kim, M., *et al.*, (2010). Chlorogenic acid exhibits anti-obesity property and improves lipid metabolism in high-fat diet-induced-obese mice. Food Chem. Toxicol. 48(3), 937-943.
- [8] Clifford, M.N., (1999). Chlorogenic acid and other cinnamates nature, occurrence and dietary burden. J Sci Food Agric 79(3):362-372.
- [9] Clifford, M., Ramirez, J. (1991). Phenols and caffeine in wet processed coffee beans and coffee pulp. Food Chem. 40(1), 35-42.
- [10] Dias, m., Melo, M., Schwan, R., Silva, C. (2015). A new alternative use for coffee pulp from semi-dry process to β -glucosidase production by *Bacillus subtilis*. Lett. Appl. Microbiol. 61(6), 588-595.
- [11] Esquivel, P., Jimenez, V. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. Food Res. Int. 46(2), 488-495.
- [12] Eklund, A. (1975). Effect of chlorogenic acid in a casein diet for rats. Nutritional and pathological observations. Nutr Metab 18(5& 6):258-264.
- [13] Gonthier, M.P., Verny, M.A., Besson, C., Remesy, C., Scalbert, A. (2003). Chlorogenic acid bioavailability largely depends on its metabolism by the gut microflora in rats. J Nutr 133(6): 1853-1859.
- [14] Gunduc, N. & El, S (2003). Assessing Antioxidant Activities of Phenolic Compounds of Common Turkish Food and Drinks on In Vitro Low-Density Lipoprotein Oxidation. Journal of Food Science, 68: 2591-2595.

- [15] Guzmán, V. (2016). *Diagnóstico de la cadena de café (Anexo 4)*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/9809.pdf>
- [16] Liang, N., Kitts, D. (2014). *Antioxidant Property of coffee components: assessment of methods that define mechanism of action*. *Molecules* 19, 19180-19208.
- [17] Ludwig, I., Clifford, M., Lean, M., Aihara, H., Crozier, A. (2014). Coffee: biochemistry and potential impact on health. *Royal Society of Chemistry*, 5(8), 1633-1978.
- [18] Martin, R., Thomas, J., Soni, M. (2019). Evaluation of the generally recognized as safe (GRAS) Status of Coffeeberry coffee fruit extract as a food ingredient. Extraído de: <https://www.fda.gov/food/generally-recognized-safe-gras/gras-notice-inventory>
- [19] McCabe, W.L. Smith, J.C. (2014). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. McGraw-Hill Book Company, 7ma. Edición
- [20] Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2019). Licencia Ambiental. Guatemala. Autor.
- Rébová, Z. (2012). Effect of temperature on the antioxidant activity of phenolic acid. *Czech J. Food Sci.*, 30: 171-177.
- [21] Ministerio de Salud. (2019). Reglamento Técnico Centroamericano. Guatemala. Autor.
- [22] Mullen, W., et al. (2002). *Effect on freezing and storage on the phenolics, ellagitannis, flavonoids, and antioxidant capacity of red raspberries*. *J. Agric. Food Chem.*, 59: 3754-3762.
- [23] Mullen, W., et al. (2011). *The Antioxidant and Chlorogenic Acid Profiles of Whole Coffee Fruits Are Influenced by the Extraction Procedures*. *J. Agric. Food Chem.*, 50: 5197-5201.
- [24] Olthof, M.R., Hollman, P.C.H., Katan, M.B. (2001). Chlorogenic acid and caffeic acid are absorbed in humans. *J Nutr* 131(1):66-71.
- [25] Panusa, A., Zuorro, A., Lavecchia, R., Marrosu, G., Petrucci, R. (2013). *Recovery of natural antioxidants from spent coffee grounds*. *Agricultural and Food Chemistry*, 61, 4162-4168.
- [26] Pleissner, D., Neu, A.N., Mehlmann, K., Schneider, R., Puerta-Quintero, G.I., Venus, J. (2016). *Fermentative lactic acid production from coffee pulp hydrolysate using Bacillus coagulans at laboratory and pilot scales*. *Bioresour. Technol.* 128. 167-173.
- [27] Roza, S., Echeverría H., Barbieri, P. (2004). *Desnitrificación en un suelo bajo siembra directa en función de la presencia de plantas de maíz y de la dosis de nitrógeno*. *Ciencias del suelo*, 22(1),27-35.
- [28] Wallas, S. (1988). *Chemical Process Equipment*. (2.a ed., Vol. 1). British Library Cataloguing.
- [29] Young, S. (2000). *Antioxidant in health and disease*. *Clin Pathol* 54: 176-186.

XII. ANEXOS

A. Datos originales

Cuadro 22. Datos de placa balanza analítica digital

Marca	OHAUS
Modelo	EX24001
Capacidad	24000 g
Incertidumbre	±0.1 g
Potencia	15 W

Cuadro 23. Datos de placa balanza de humedad

Marca	OHAUS
Modelo	MB120
Capacidad	120 g
Rango de temperatura	40-230°C
Rango de humedad	0.01% a 100%
Potencia	120 VAC
Incertidumbre	±0.3%

Cuadro 24. Datos de placa de estufa eléctrica

Marca	Thermo Scientific
Modelo	SP88857105
Temperatura máx.	540°C
Frecuencia	50/60 Hz
Voltaje	230 V

Cuadro 25. Cristalería utilizada para experimentación

Cristalería	Marca	Especificaciones
Beaker	Pyrex	600 ± 50 mL
Probeta	Pyrex	100 ± 5 mL
Balón aforado	Pyrex	500 ± 0.150 mL
		100 ± 0.1 mL
		2546 ± 0.04 mL
Pipeta volumétrica	Pyrex	10 ± 0.05 mL
Pipeta volumétrica	Pyrex	1 ± 0.005 mL

Cuadro 26. Certificado de lote para análisis de fenoles marca Merck.

Marca	Sepctroquant Phenol Test
Intervalo de medida	0.1-5.00 mg/L
Lote No.	HC746072
Patrón	Phenol 1.00206
Fotómetro	Fotómetro
Longitud de onda	500 nm
Cubeta	10 mm
Verificador	Hr. Müller

Cuadro 27. Datos de cromatógrafo líquido de alta resolución utilizado.

Fase móvil	Metanol:Agua (60:40)
Flujo	0.5 mL/min
Longitud de onda	325 nm
Columna	Hypersil ODS 200x2.1 mm
Volumen de inyección	20 µL

Cuadro 28. Especificaciones de reactivos utilizados en la experimentación

Reactivo	Fórmula molecular	Pureza (%)	Grado	Masa molar (g/mol)	Marca
Etanol	C ₂ H ₅ OH	<95%	Analítico	46.07	Supelco
Ácido clorogénico	C ₁₆ H ₁₈ O ₉	<95%	Analítico	354.31	Sigma-Aldrich
DPPH	C ₁₆ H ₁₂ N ₅ O ₆	<95%	Analítico	394.32	Sigma-Aldrich
Ácido ascórbico	C ₆ H ₈ O ₆	<95%	Analítico	176.12	Sigma-Aldrich
Reactivo de Folin	-	<95%	Analítico	-	Supelco
Catecol	C ₆ H ₆ O ₂	<95%	Analítico	110.11	Sigma-Aldrich
Carbonato de sodio	CNa ₂ O ₃	<95%	Analítico	105.99	Supelco

Cuadro 29. Datos de curva de calibración de ácido clorogénico

Muestra	Concentración (ppm)	Área	Amt/Área
1	20.0	2059.17725	9.7126E-03
2	40.0	4101.41357	9.7527E-03
3	60.0	6266.13428	9.5752E-03
4	80.0	8430.94922	9.4888E-03
5	100.0	10696.90000	9.3485E-03

*Se realizó un tiempo de retención de 0.919 s a una longitud de onda de 325 nm.

Cuadro 30. Preparación y resultados de extracción de ácido clorogénico para pulpa de café proveniente de Santa Rosa cosechada en marzo 2020, utilizando agua.

Preparación de muestras			Resultados HPLC
Muestra	Peso pulpa ($\pm 0.001g$)	Volumen de agua ($\pm 0.05mL$)	Concentración (ppm)
A1	100	500	183.89851
A2	100	500	178.30952
A3	101	500	145.25455
B1	100	500	312.32341
B2	101	500	313.32681
B3	100	500	421.8729
C1	101	500	512.96589
C2	102	500	505.09573
C3	100	500	495.19056
E1	100	500	374.61666
E2	100	500	367.1043
E3	102	500	366.03407
E4	100	500	374.67159
E5	100	500	379.9115

*Donde A, B, C y E representan las diferentes extracciones realizadas.

Cuadro 31. Preparación y resultados de extracción de cafeína para pulpa de café proveniente de Santa Rosa cosechada en marzo 2020, utilizando agua.

Preparación de muestras			Resultados HPLC
Muestra	Peso pulpa ($\pm 0.001g$)	Volumen de agua ($\pm 0.05mL$)	Concentración (ppm)
A1	100	500	165.5433
A2	100	500	164.77354
A3	101	500	124.54148
B1	100	500	175.35205
B2	101	500	176.55078
B3	100	500	157.28904
C1	101	500	254.63133
C2	102	500	252.32909
C3	100	500	191.25261
E1	100	500	218.66721
E2	100	500	218.95271
E3	102	500	218.80572
E4	100	500	219.03093
E5	100	500	219.25092

*Donde A, B, C y E representan las diferentes extracciones realizadas.

Cuadro 32. Preparación y resultados de extracción de ácido clorogénico para pulpa de café cosechada en octubre 2020, utilizando solución de etanol.

Preparación de muestras					Resultados HPLC
Muestra	Peso pulpa (±0.001g)	Volumen Etanol (±0.05mL)	Volumen de agua (±0.05mL)	Volumen de solución (±0.07mL)	Concentración (ppm)
AT1	100	300	200	500	348.11
AT2	100	300	200	500	391.44
AT3	101	300	200	500	429.45
BT1	100	322	177	499	599.69
BT2	101	322	177	499	724.22
BT3	100	322	177	499	724.5
CT1	101	322	177	499	782.075
CT2	102	322	177	499	784.84
CT3	100	322	177	499	800.135
FT1	100	300	200	500	644.315
FT2	101	300	200	500	621.215
FT3	100	300	200	500	679.42

*Donde AT significa pulpa de Santa Rosa; BT significa pulpa de Chicacao, Suchitepéquez; CT pulpa de San Miguel Dueñas y FT pulpa de Fraijanes. Las tres muestras obtenidas de pulpa fueron cosechadas en octubre 2020.

Cuadro 33. Preparación y resultados de extracción de cafeína para pulpa de café cosechada en octubre 2020, utilizando solución de etanol.

Preparación de muestras					Resultados HPLC
Muestra	Peso pulpa (±0.001g)	Volumen Etanol (±0.05mL)	Volumen de agua (±0.05mL)	Volumen de solución (±0.07mL)	Concentración (ppm)
AT1	100	322.58	177.42	500	233.88957
AT2	100	322.58	177.42	500	234.85949
AT3	101	322.58	177.42	500	233.80532
BT1	100	322	177	499	189.21688
BT2	101	322	177	499	190.30381
BT3	100	322	177	499	189.26243
CT1	101	322	177	499	201.02595
CT2	102	322	177	499	197.51173
CT3	100	322	177	499	197.35272
FT1	100	300	200	500	233.01564
FT2	101	300	200	500	228.50427
FT3	100	300	200	500	228.2218

*Donde AT significa pulpa de Santa Rosa; BT significa pulpa de Chicacao, Suchitepéquez; CT pulpa de San Miguel Dueñas y FT pulpa de Fraijanes. Las tres muestras obtenidas de pulpa fueron cosechadas en octubre 2020.

Cuadro 34. Preparación y resultados de extracción de ácido clorogénico para pulpa de café cosechada en octubre 2020, utilizando agua.

Preparación de muestras			Resultados HPLC
Muestra	Peso pulpa (±0.001g)	Volumen de agua (±0.05mL)	Concentración (ppm)
BA1	100	500	434.875
BA2	100	500	428.155
BA3	101	500	434.77
CA1	100	500	486.92
CA2	101	500	486.395
CA3	100	500	475.265
DA1	100	500	521.395
DA2	100	500	510.405
DA3	101	500	503.16
FA1	100	500	118.405
FA2	100	500	246.12
FA3	101	500	118.545

*Donde BA significa pulpa de Santa Rosa; CA significa pulpa de Chicacao, Suchitepéquez; DA pulpa de San Miguel Dueñas y FA pulpa de Fraijanes. Las tres muestras obtenidas de pulpa fueron cosechadas en octubre 2020.

Cuadro 35. Preparación y resultados de extracción de cafeína para pulpa de café cosechada en octubre 2020, utilizando agua.

Preparación de muestras			Resultados HPLC
Muestra	Peso pulpa ($\pm 0.001\text{g}$)	Volumen de agua ($\pm 0.05\text{mL}$)	Concentración (ppm)
BA1	100	500	123.35429
BA2	100	500	121.95852
BA3	101	500	123.07514
CA1	100	500	138.6132
CA2	101	500	137.8707
CA3	100	500	138.9534
DA1	100	500	189.3256
DA2	100	500	189.9076
DA3	101	500	190.6534
FA1	100	500	233.01564
FA2	100	500	228.50427
FA3	101	500	228.2218

*Donde BA significa pulpa de Santa Rosa; CA significa pulpa de Chicacao, Suchitepéquez; DA pulpa de San Miguel Dueñas y FA pulpa de Fraijanes. Las tres muestras obtenidas de pulpa fueron cosechadas en octubre 2020.

Cuadro 36. Condiciones de operación y características fisicoquímicas de la pulpa de café.

Horas de trabajo	8 h
1 qq	46 kg café
Ingreso de café cerezo	100 qq/día
Porcentaje de pulpa en fruto	60%
Densidad pulpa seca	600 qq/m ³
Densidad pulpa húmeda	289.97 \pm 0.57 kg/m ³
Relación sólido-líquido	0.01 m ³ /kg
Densidad pulpa molida + agua	984 \pm 0.32 kg/m ³
Horas de operación	1 h
Porcentaje de retención de solución en pulpa molida	7%

B. Cálculos de muestra

1. Balance de masa.

Se realizó una encuesta para conocer la cantidad de café cerezo que cosechan por temporada los caficultores que poseen un beneficio húmedo. Se sacó el promedio para establecer la cantidad de pulpa diaria que entra al beneficio, el cuál es de 100 qq/día.

Ecuación No. 1: Flujo másico de café cerezo.

$$\text{Flujo de café cerezo} = 100 \text{ qq/día} \times (46 \text{ kg café/1 qq})$$

$$\text{Flujo de café cerezo} = 4,600 \text{ kg/día}$$

$$\text{Flujo de café cerezo} = (4,600 \text{ kg/día}) \times (1 \text{ día/horas de trabajo})$$

$$\text{Flujo de café cerezo} = (4,600 \text{ kg/día}) \times (1 \text{ día/8 h})$$

$$\text{Flujo de café cerezo} = 575.0 \text{ kg/h}$$

Ecuación No. 2: Flujo másico de pulpa.

$$\text{Flujo de pulpa} = (\text{Flujo de café cerezo}) \times (\% \text{ pulpa en fruto})$$

$$\text{Flujo de pulpa} = (575.0 \text{ kg/h}) \times (60\%)$$

$$\text{Flujo de pulpa} = 345.0 \text{ kg/h}$$

Ecuación No. 3: Requerimiento de agua

$$\text{Flujo de agua} = (\text{flujo de pulpa}) \times (\text{relación de sólidos})$$

$$\text{Flujo de agua} = (345 \text{ kg/h}) \times (0.01 \text{ m}^3/\text{kg})$$

$$\text{Flujo de agua} = 1,725.0 \text{ kg/h}$$

Ecuación No. 4: Flujo total (pulpa molida + agua)

$$\text{Flujo total} = (\text{flujo de agua}) + (\text{flujo de pulpa})$$

$$\text{Flujo total} = 1,725 \text{ kg/h} + 345.0 \text{ kg/h}$$

$$\text{Flujo total} = 2,070.0 \text{ kg/h}$$

Ecuación No. 5: % de retención de solución en pulpa molida.

$$\% \text{ retención de solución} = (\% \text{ retención}) \times (\text{flujo de agua})$$

$$\% \text{ retención de solución} = (7\%) \times (1,725.0 \text{ kg/h})$$

$$\% \text{ retención de solución} = 120.75 \text{ kg/h}$$

Ecuación No. 6: Flujo de solución final

$$\text{Flujo solución final} = (\text{Flujo de agua}) - (\% \text{ retención de solución})$$

$$\text{Flujo solución final} = 1,725.0 \text{ kg/h} - 120.75 \text{ kg/h}$$

Flujo de solución final = 1,604.25 kg/h

2. Balance de energía

Para determinar el balance de energía del proceso se debe de tomar en cuenta el consumo energético de cada equipo. Dicho consumo se determina por medio de la potencia del equipo y el tiempo de operación de este. Se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación No. 7: Consumo energético de equipos

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{potencia (HP)} \times \frac{\text{Flujo másico de la etapa}}{\text{Velocidad de procesamiento}} \\ \times \frac{0.74566 \text{ kWh}}{1 \text{ HP h}}$$

A continuación, un ejemplo para el consumo energético del motor tornillo sin fin.

$$\text{Consumo (kWh)} = 0.2 \text{ HP} \times \frac{11.01 \text{ m}^3/\text{día}}{10.42 \text{ m}^3/\text{h}} \times \frac{0.74566 \text{ kWh}}{1 \text{ HP h}}$$

$$\text{Consumo} = 0.16 \text{ kWh/día}$$

*Se realizó el mismo procedimiento para el resto de los equipos.

3. Equipos

a. Tornillo sin fin

Para el tornillo sin fin se tomó la referencia del fabricante y las consideraciones de este. Se identificaron las características del material. Por medio de cuadros de diseño del proveedor, se determinó la capacidad y el diámetro del tornillo. Se utilizó la siguiente ecuación para determinar la potencia necesaria del motor:

Ecuación No. 8: Potencia necesaria del tornillo para operación de tornillo sin fin

$$H = \frac{L(D \times S + Q \times F)}{1,000,000}$$

Donde:

- H es la potencia requerida del tornillo
- L es el largo del tornillo en ft
- S es la velocidad de operación en RPM
- Q es la cantidad de material en lb/h
- F y D son factores de diseño

Por lo que para la potencia:

$$H = \frac{16.4 \text{ ft} \times (18 \times 180 \text{ RPM} + 760.6 \text{ lb/h} \times 1.5)}{1,000,000}$$

$$H = 0.07 \text{ HP}$$

Ecuación No. 9: Potencia de motor

$$HP = HXP(\text{Factor})$$

Donde:

P es 2 cuando H es menor a 1.

Por lo que la potencia del motor es:

$$HP = 0.07 \text{ HP} \times 2$$

$$HP = 0.14 \text{ HP}$$

Considerando un sobrediseño, se determinó que la potencia necesaria del motor es de 0.2 HP.

C. Molino húmedo

De acuerdo con los requerimientos del proceso, se obtuvo el flujo volumétrico necesario de operación para el molino húmedo.

Ecuación No. 10: Flujo volumétrico necesario en molino húmedo

Flujo volumétrico = (Flujo másico de pulpa x Densidad pulpa) + Flujo másico de agua

$$\text{Flujo volumétrico} = (345.0 \text{ kg/h} \times 298.97 \text{ kg/m}^3) + 1.725 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Flujo volumétrico} = 2.88 \text{ m}^3/\text{h}$$

Según el flujo volumétrico y los parámetros establecidos por el proveedor, se determinó el diseño del molino húmedo ideal para el proceso.

D. Filtro

Para la determinación del filtro, se tomaron en cuenta las características del proceso, así como también el diámetro nominal de la tubería para la conexión de este. El tipo de filtro utilizado es de canastas de 200 mesh. Se utilizaron las consideraciones de diseño proporcionadas por el fabricante para determinar la caída de presión, descrita como:

Ecuación No. 11: Caída de presión en filtro de canasta de 200 mesh.

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{C_v} \right)^2 \times 133.6$$

*La caída de presión obtenida se debe de multiplicar por un factor de corrección de acuerdo con la viscosidad del fluido, en caso este no sea agua.

Donde:

ΔP es la caída de presión en kPa

Q es el flujo en m³/h

Cv es un coeficiente de flujo proporcionada por el fabricante.

Por lo que para la caída de presión por filtro se obtuvo:

$$\Delta P = \left(\frac{2.12 \text{ m}^3/\text{h}}{13} \right)^2 \times 133.6$$

$$\Delta P = 3.50 \text{ kPa}$$

$$\Delta P = (3.50 \text{ kPa}) \times (2.69)$$

$$\Delta P = 9.41 \text{ kPa}$$

E. Viscosidad

Para determinar la viscosidad del medio de pulpa molida, se estableció que la mezcla de pulpa molida y agua es una solución con partículas suspendidas concentradas, siendo este un fluido non-newtoniano. Se determinó la viscosidad de la mezcla por medio de la ecuación de Newton corregida, la cual se describe como:

Ecuación No. 12: Ecuación de Newton corregida para soluciones con partículas concentradas.

$$\frac{\mu_m}{\mu_0} = 1 + 2.5\phi + 10.05\phi^2 + A\exp(B\phi)$$

Donde:

μ_m es la viscosidad de la solución

μ_0 es la viscosidad del medio de solución

ϕ es la concentración de partículas

A y B son factores, donde A es 0.00273 y B es 16.6

De esta manera se determinó que la viscosidad de la solución de pulpa molida y agua es:

$$\frac{\mu_m}{0.000469} = 1 + 2.5(0.2) + 10.05(0.2)^2 + 0.00273\exp(16.6 \times 0.2)$$

$$\mu_m = 0.000927 \text{ Ns/m}^2$$

F. Tanques

Para determinar el diseño de los tanques, se tomó en cuenta el volumen de operación en cada etapa del proceso. Por medio de las referencias de Wallas (Wallas, 1988), se determinaron las características de estos. De igual manera se tomaron en cuentas las condiciones del proveedor para determinar las características de estos.

Ecuación No. 13: diámetro de tanque cilíndrico para almacenamiento de pulpa molida.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times V}{\pi \times H}}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \times (2.10 \text{ m}^3)}{\pi \times (2 \text{ m}^3)}}$$
$$D = 1.16 \text{ m}$$

G. Silo de almacenamiento de pulpa fresca

Ecuación No. 14: Pulpa total necesaria para almacenar por horas de operación.

Pulpa total = Flujo másico de pulpa (kg/h) x Horas de operación (h)

Pulpa total = 345 kg/h x 1 h

Pulpa total = 345 kg

Ecuación No. 15: Volumen total de pulpa fresca.

Se tomó en cuenta la densidad de bulto de la pulpa de 250 kg/m³.

$$\text{Volumen pulpa} = \frac{\text{Total de pulpa (kg)}}{\text{Densidad de bulto (kg/m}^3\text{)}}$$

$$\text{Volumen pulpa} = \frac{345 \text{ kg}}{250.573 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Volumen pulpa} = 1.38 \text{ m}^3$$

Se debe de tomar en cuenta que el volumen de pulpa es el volumen necesario del cuerpo cilíndrico.

Ecuación No. 16: Radio del cuerpo cilíndrico.

$$\text{radio de cilindro} = \sqrt[3]{\frac{\text{Volumen cuerpo cil.}}{4 \times \pi}}$$

$$\text{radio de cilindro} = \sqrt[3]{\frac{1.83 \text{ m}^3}{4 \times \pi}}$$

$$\text{radio de cilindro} = 0.48 \text{ m}$$

Ecuación No. 17: Diámetro de cuerpo cilíndrico

$$\text{Diámetro} = 2 \times \text{radio de cilindro (m)}$$

$$\text{Diámetro} = 2 \times 0.48 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro} = 0.96 \text{ m}$$

Ecuación No. 18: Altura del cuerpo cilíndrico.

Se utilizó como regla gruesa que la relación H (altura del cuerpo cilíndrico) y el diámetro de este es igual a 2. Por lo que H/D=2. De esta manera:

$$H = 2 \times D \text{ (m)}$$

$$H = 2 \times 0.96 \text{ m}$$

$$H = 1.91 \text{ m}$$

Ecuación No. 19: Altura de cono de la tolva.

Tomando en cuenta que el ángulo de la tolva son 10 grados más que el ángulo de reposo de la pulpa, siendo esta de 45°. El ángulo en radianes es 0.96.

Por razones trigonométricas, $\text{Tan (A)} = \text{Opuesto/Adyacente}$

$$\text{Altura de tolva} = \text{Radio cuerpo cil. (m)} \times \text{Tan(ángulo (rad.))}$$

$$\text{Altura de tolva} = 0.48 \text{ m} \times \text{Tan}(0.96)$$

$$\text{Altura de tolva} = 0.68 \text{ m}$$

Ecuación No. 20: Volumen de cono de tolva.

El radio de la tolva es igual al radio del cuerpo cilíndrico.

$$\text{Volumen cono de tolva (m}^3\text{)} = \frac{\pi}{3} \times (\text{radio tolva}^2 \times \text{altura tolva})$$

$$\text{Volumen cono de tolva (m}^3\text{)} = \frac{\pi}{3} \times (0.48 \text{ m}^2 \times 1.91 \text{ m})$$

$$\text{Volumen cono de tolva (m}^3\text{)} = 0.16 \text{ m}^3$$

Ecuación No. 21: Altura cono de tolva a remover.

Tomando en cuenta un diámetro de salida de la tolva es 0.3 m.

$$\text{ltura cono (m)} = \frac{D \text{ salida (m)}}{2} \times \tan(\text{ángulo tolva (rad)})$$

$$\text{Altura cono (m)} = \frac{0.3 \text{ m}}{2} \times \tan(0.96)$$

$$\text{Altura cono (m)} = 0.22 \text{ m}$$

Ecuación No. 22: Volumen de cono a remover.

$$\text{Volumen de cono (m}^3\text{)}$$

$$= \frac{\pi}{3} \times \left(\frac{\text{Diámetro salida (m)}}{2} \right)^2 \times \text{altura de cono a remover}$$

$$\text{Volumen de cono (m}^3\text{)} = \frac{\pi}{3} \times \left(\frac{0.3 \text{ m}}{2} \right)^2 \times 0.22 \text{ m}$$

$$\text{Volumen de cono} = 0.01 \text{ m}^3$$

Ecuación No. 23: Volumen real de tolva.

$$\text{Volumen de tolva} = \text{Volumen cono tolva} - \text{volumen a remover}$$

$$\text{Volumen de tolva} = 0.16 \text{ m}^3 - 0.01 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de tolva} = 0.15 \text{ m}^3$$

Ecuación No. 24: Altura real tolva

$$\text{Altura real de tolva} = \text{altura de cono tolva} - \text{altura de cono a retirar}$$

$$\text{Altura real de tolva} = 0.68 \text{ m} - 0.22 \text{ m}$$

$$\text{Altura real de tolva} = 0.47 \text{ m}$$

Ecuación No. 25: Altura de material.

$$\text{Altura de material} = \frac{1.22 \text{ m}^3}{\pi \times \text{radio tolva}^2}$$

$$\text{Altura de material} = \frac{1.22 \text{ m}^3}{\pi \times (0.48 \text{ m})^2}$$

$$\text{Altura de material} = 1.69 \text{ m}$$

Ecuación No. 26: Volumen de cono material.

$$\text{Volumen material} = \frac{\pi}{3} \times \text{radio cilindro}^2 \times \text{Altura cono material}$$

$$\text{Volumen material} = \frac{\pi}{3} \times (0.48 \text{ m})^2 \times 0.48 \text{ m}$$

$$\text{Volumen material} = 0.11 \text{ m}^3$$

Tomando en cuenta que el volumen del cono de material es igual al volumen del techo de cono.

Ecuación No. 27: Volumen real cuerpo cilíndrico.

$$\text{Volumen real cuerpo cilíndrico} = \text{volumen cuerpo cil.} - \text{volumen techo cono}$$

$$\text{Volumen real cuerpo cilíndrico} = 1.22 \text{ m}^3 - 0.11 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen real cuerpo cilíndrico} = 1.10 \text{ m}^3$$

Ecuación No. 28: Altura real de material.

$$\text{Altura real material} = \frac{\text{Volumen real cuerpo cil.}}{\pi \times \text{radio cuerpo cil.}^2}$$

$$\text{Altura real material} = \frac{1.10 \text{ m}^3}{\pi \times (0.48 \text{ m})^2}$$

$$\text{Altura real material} = 1.53 \text{ m}$$

Ecuación No. 29: Volumen vacío necesario (headspace).

$$\text{Volumen vacío} = \text{Volumen cuerpo cil.} \times 20\%$$

$$\text{Volumen vacío} = (1.38 \text{ m}^3) \times 20\%$$

$$\text{Volumen vacío} = 0.28 \text{ m}^3$$

Ecuación No. 31: Altura de volumen vacío.

$$\text{Altura volumen vacío} = \frac{\text{Volumen vacío necesario}}{\pi \times \text{radio cuerpo cil.}^2}$$

$$\text{Altura volumen vacío} = \frac{0.28 \text{ m}^3}{\pi \times (0.48 \text{ m})^2}$$

$$\text{Altura volumen vacío} = 0.38 \text{ m}$$

Ecuación No. 32: Volumen real cuerpo cilíndrico.

$$\text{Volumen real cuerpo cil.}$$

$$= \text{Volumen vacío necesario} + \text{volumen real cuerpo cil.}$$

$$\text{Volumen real cuerpo cil.} = 0.28 \text{ m}^3 + 1.10 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen real cuerpo cil.} = 1.38 \text{ m}^3$$

Ecuación No. 33: Altura real cilindro.

$$\text{Altura real cilindro} = \text{Altura volumen vacío (m)} + \text{Altura real material (m)}$$

$$\text{Altura real cilindro} = 1.53 \text{ m} + 0.38 \text{ m}$$

$$\text{Altura real cilindro} = 1.92 \text{ m}$$

Ecuación No. 34: Altura total de silo

$$\text{Altura total de silo}$$

$$= \text{altura real de cilindro} + \text{altura cono material}$$

$$+ \text{altura tolva}$$

$$\text{Altura total de silo} = 0.47 \text{ m} + 0.48 \text{ m} + 1.92 \text{ m}$$

$$\text{Altura total de silo} = 2.86 \text{ m}$$

H. Calentador de tanque

Para determinar la cantidad de energía necesaria para calentar la solución de pulpa molida y agua de 25°C a 60°C, se tomó el tiempo necesario para que llegara a esta temperatura. Con la potencia del equipo utilizado, se determinó la cantidad de energía necesaria, por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación No. 35: Energía necesaria para calentar a la solución de pulpa molida y agua.

$$W_{in} = p \times t$$
$$W_{in} = (600 \text{ w}) \times (840 \text{ s})$$
$$W_{in} = 504,000.00 \text{ J}$$

Ecuación No. 36: Energía por kilogramo de mezcla.

$$W_{in}/kg = \frac{W_{in}}{kg \text{ mezcla}}$$
$$W_{in}/kg = \frac{504,000.0 \text{ J}}{0.6 \text{ kg}}$$
$$\frac{W_{in}}{kg} = 840,000 \text{ J/kg}$$

Ecuación No. 37: Energía necesaria para calentamiento de tanque mezclador.

$$W_{in} = \text{cantidad de mezcla} \times \text{energía por kg}$$
$$W_{in} = 2,070 \text{ kg} \times 840,000.0 \text{ J/kg}$$
$$W_{in} = 1,738,800,000.0 \text{ J}$$

Ecuación No. 38: Potencia necesaria para tanque mezclador.

$$P = \text{Energía de calentador} / \text{tiempo de operación}$$
$$P = \frac{1,738,800,000 \text{ J}}{3,600 \text{ s}}$$
$$P = 483,000 \text{ W} = 483 \text{ kW}$$

Ecuación No. 39: Densidad watt.

$$\text{Densidad Watt} = \frac{W}{\pi \times D \times HL}$$

Donde W es la potencia requerida, D es el diámetro del calentador y HL el largo del calentador. De esta manera la densidad watt para el tanque es:

$$\text{Densidad Watt} = \frac{241,500 \text{ W}}{\pi \times 24 \text{ in} \times 90 \text{ in}}$$
$$\text{Densidad Watt} = 35.59 \text{ W/in}^2$$

Por medio de del requerimiento energético y los parámetros del proveedor, se estableció el equipo y la cantidad necesaria. Se determinó que son necesarios 2 calentadores por tanque de mezclado.

I. Tubería

Ecuación No. 40: Área de tubería necesaria para el proceso de transporte de agua.

Se utilizó el flujo volumétrico de agua necesario para el proceso y se asumió que la velocidad lineal del agua es 1 m/s. Por lo que por medio de la ecuación:

$$\text{Área de tubería} = \frac{\text{Flujo volumétrico (m}^3/\text{s)}}{\text{Velocidad lineal (m/s)}}$$

$$\text{Área de tubería} = \frac{1.73 \text{ m}^3/\text{s}}{1 \text{ m/s}}$$

$$\text{Área de tubería} = 0.0005 \text{ m}^2$$

Ecuación No. 41: Diámetro de la tubería necesaria.

$$D = \sqrt{\frac{2 \times \text{área de tubería}}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{2 \times 0.0005 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 0.0175 \text{ m} = 0.687 \text{ in}$$

Por medio del diámetro necesario, se determinó que el diámetro de tubería de cédula 40 necesaria para el proceso es de 1.049 in.

*Se realizó el mismo procedimiento para las tuberías de solución final y solución de pulpa molida y agua.

J. Bomba centrífuga

Ecuación No. 42: Número de Reynolds

$$N_{Re} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu}$$

Donde:

D es el diámetro de tubería, V es la velocidad lineal, ρ es la densidad y μ es la viscosidad de la solución (descrita en la sección de viscosidad para la viscosidad de la pulpa molida y agua).

$$N_{Re} = \frac{0.0266 \text{ m} \times 0.8559 \text{ m/s} \times 1000 \text{ kg/m}^3}{0.000891 \text{ kg/ms}}$$
$$N_{Re} = 2.57 \times 10^4$$

Ecuación No. 43: factor de fricción de Fanning.

Para el flujo turbulento, para tubería lisa (como lo es la tubería de acero inoxidable) se puede utilizar la ecuación:

$$f = 0.046 \times Re^{-0.2}$$
$$f = 0.046 \times (2.57 \times 10^4)^{-0.2}$$
$$f = 0.0060$$

Ecuación No. 44: Largo por accesorios.

Se utilizó el Cuadro 33. Para determinar el diámetro equivalente total por accesorios.

Cuadro 37. Diámetro equivalente por accesorios.

Tipo de accesorio	Diámetro eq.	Cantidad	Total
Codo estándar 90	35.00	2.00	70.00
Salida de tanque	25.00	1.00	25.00
Completamente abierta	300.00	1.00	300.00

$$\text{Largo por accesorios} = (\text{Diámetro equivalente total}) \times \text{Diámetro rea}$$

$$\text{Largo por accesorios} = (395) \times 0.0266 \text{ m}$$

$$\text{Largo por accesorios} = 10.52 \text{ m}$$

Ecuación No. 45: Largo total

$$\text{Largo total} = \text{largo de tubería} + \text{largo por accesorios}$$

$$\text{Largo total} = 10.52 \text{ m} + 21 \text{ m}$$

$$\text{Largo total} = 31.52 \text{ m}$$

Ecuación No. 46: Caída de presión por Fanning.

$$\Delta Pf = 4 \times C_f \times \left(\frac{L}{d_i}\right) \times \frac{\rho u^2}{2}$$
$$\Delta Pf = 4 \times (0.0060 * 2) \times \left(\frac{31.52 \text{ m}}{0.0266 \text{ m}}\right) \times \frac{(1000 \text{ kg/m}^3) \times (0.86 \text{ m/s})^2}{2}$$
$$\Delta Pf = 21,097.60 \text{ N/m}^2$$

Ecuación No. 47: Cabeza dinámica total.

$$\text{Cabeza dinámica} = \frac{(\Delta Pf + \text{caída de presión por equipos})}{(g \times \rho)}$$

Donde ΔPf es la caída de presión por Fanning, g es la gravedad y ρ es la densidad del fluido. La caída de presión por equipos es debido al filtro utilizado, y este dato lo da el fabricante. Por lo que, para el fluido, la cabeza dinámica es:

$$\text{Cabeza dinámica} = \frac{(278,404.73 \text{ N/m}^2 + 13,058.43 \text{ N/m}^2)}{(9.8 \text{ m/s}^2 \times 1000 \text{ kg/m}^3)}$$
$$\text{Cabeza dinámica} = 29.71 \text{ m}$$

Ecuación No. 48: Diferencia de elevación

$$\text{Diferencia de elevación} = \text{altura de destino} - \text{altura de origen}$$

$$\text{Diferencia de elevación} = 0 \text{ m} - 5 \text{ m}$$

$$\text{Diferencia de elevación} = -5 \text{ m}$$

Ecuación No. 49: Cabeza estática total.

$$\text{Cabeza estática} = \text{diferencia de presión} + \text{diferencia de elevación}$$

$$\text{Cabeza estática} = (0 \text{ m}) + (-5 \text{ m})$$

$$\text{Cabeza estática} = -5 \text{ m}$$

Ecuación No. 50: Cabeza total.

$$\text{Cabeza total} = \text{cabeza estática} + \text{cabeza dinámica}$$

$$\text{Cabeza total} = (29.71 \text{ m}) + (-5 \text{ m})$$

$$\text{Cabeza total} = 24.71 \text{ m}$$

*Con la cabeza total, el caudal del proceso y las curvas características del proveedor, se determinó la potencia necesaria, la eficiencia de operación de la bomba y el diámetro del impeler. Se realizó el mismo procedimiento para calcular las bombas de solución final y solución de pulpa molida y agua.

H. Análisis económico

1. Inversión inicial

Se realizó el cálculo del costo de los equipos por medio índice de costos utilizando el cuadro de equipos de Manual del Ingeniero Químico de Perry, tomando un Marshal & Swift como referencia de 1000 y del 2020 de 1956.01.

Ecuación No. 51: Estimación de costo por medio del índice de costo para tanque de almacenamiento de solución.

$$\begin{aligned} \text{Valor presente} &= \text{Costo original} \times \frac{\text{índice del año presente}}{\text{índice de referencia}} \\ \text{Valor presente} &= \$2,310.66 \times \frac{1956.01}{1000} \\ \text{Valor presente} &= \$4,519.67 \end{aligned}$$

Ecuación No. 52: Costo de equipo de acuerdo con capacidad para tanque de almacenamiento de solución.

$$\text{Costo de equipo } b = (\text{Costo de equipo } a) \times \left(\frac{\text{Capacidad equipo } b}{\text{capacidad equipo } a} \right)^{\text{exp.}}$$

Donde el exponente depende del equipo.

$$\begin{aligned} \text{Costo de equipo} &= (\$3,300) \times \left(\frac{304.8}{1000} \right)^{0.3} \\ \text{Costo de equipo} &= \$2,310.66 \end{aligned}$$

*Se realizó el mismo procedimiento para el resto de los equipos y tanques utilizados.

I. Análisis estadístico

1. Propagación de error

Ecuación No. 53: Propagación de error de suma y resta

Ecuación No. 54: Propagación de error de multiplicación y división

2. Promedio

Ecuación No. 55: Promedio de valores de muestra

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Donde x_i el valor de cada muestra y n es el total de muestras a analizar.

Como ejemplo: promedio de acumulado en tamiz con mesh 20.

$$\bar{X} = \frac{(95 \text{ g} + 90 \text{ g} + 92 \text{ g})}{3}$$

$\bar{X} = 92.3 \text{ g}$ promedio de pulpa molida en mesh 20.

B. Análisis de varianza

Para realizar el análisis de varianza se utilizó el software Microsoft Excel con 95% de confiabilidad. Dichos resultados se pueden observar en la sección de datos calculados.

C. Prueba de Tukey

Ecuación No. 54: Diferencia Honestamente Significativa (HDS)

$$HDS = \text{multiplicador} \times \sqrt{\frac{Mse}{n}}$$

Donde:

Multiplicador es un factor de obtenido de la tabla de valores críticos para la prueba de Tukey, Mse es el cuadrador del error medio y n es el número de muestra

D. Datos calculados

Cuadro 38. Pesa de tamices para corrida 1 de análisis granulométrico por medio de tamiz vibratorio.

Tamiz No.	Tara (±0.001g)	Pesaje tamiz (±0.001g)	Retenidos parcial (±0.001g)	Retenido acumulado (±0.001g)
20	590	685	95	95
30	370	377	7	102
45	330	334	4	106
60	330	333	3	109
80	333	335	2	111
100	323	324	1	112
Finos	465	466	1	113

Cuadro 39. Pesa de tamices para corrida 2 de análisis granulométrico por medio de tamiz vibratorio.

Tamiz No.	Tara (±0.001g)	Pesaje tamiz (±0.001g)	Retenidos parcial (±0.001g)	Retenido acumulado (±0.001g)
20	590	680	90	90
30	370	378	8	98
45	330	336	6	104
60	330	334	4	108

Tamiz No.	Tara (±0.001g)	Pesaje tamiz (±0.001g)	Retenidos parcial (±0.001g)	Retenido acumulado (±0.001g)
80	333	336	3	111
100	323	324	1	112
Finos	465	466	1	113

Cuadro 40. Pesa de tamices para corrida 3 de análisis granulométrico por medio de tamiz vibratorio.

Tamiz No.	Tara (±0.001g)	Pesaje tamiz (±0.001g)	Retenidos parcial (±0.001g)	Retenido acumulado (±0.001g)
20	590	682	92	92
30	370	377	7	99
45	330	335	5	104
60	330	334	4	108
80	333	336	3	111
100	323	324	1	112
Finos	465	466	1	113

Cuadro 41. Resultados obtenidos para corrida 1 de análisis granulométrico por tamizaje vibratorio.

Tamiz No.	% retención parcial	% retenido acumulado	% pasa
20	84.07%	84.1%	15.9%
30	6.19%	90.3%	9.7%
45	3.54%	93.8%	6.2%
60	2.65%	96.5%	3.5%
80	1.77%	98.2%	1.8%
100	0.88%	99.1%	0.9%
Finos	0.88%	100.0%	0.0%

Cuadro 42. Resultados obtenidos para corrida 2 de análisis granulométrico por tamizaje vibratorio.

Tamiz No.	% retención parcial	% retenido acumulado	% pasa
20	79.65%	79.6%	20.4%
30	7.08%	86.7%	13.3%
45	5.31%	92.0%	8.0%
60	3.54%	95.6%	4.4%
80	2.65%	98.2%	1.8%
100	0.88%	99.1%	0.9%
Finos	0.88%	100.0%	0.0%

Cuadro 43. Resultados obtenidos para corrida 3 de análisis granulométrico por tamizaje vibratorio.

Tamiz No.	% retención parcial	% retenido acumulado	% pasa
20	81.42%	81.4%	18.6%
30	6.19%	87.6%	12.4%
45	4.42%	92.0%	8.0%
60	3.54%	95.6%	4.4%
80	2.65%	98.2%	1.8%
100	0.88%	99.1%	0.9%
Finos	0.88%	100.0%	0.0%

Cuadro 44. Consumo eléctrico de equipos utilizados en el laboratorio para extracción de ácido clorogénico.

Equipo	Potencia (W)	Tiempo (s)	Energía (Ws)	Energía (kWh)	Costo
Licuadaora	50.00	300.00	15,000.00	0.0042	Q 0.01
Estufa	300.00	3,600.00	1,080,000.00	0.3000	Q 0.36
Pesa	15.00	15.00	225.00	0.0001	Q 0.0001
Balanza de humedad	450.00	2,060.40	927,180.00	0.2576	Q 0.31
				TOTAL	Q 0.68

Cuadro 45. Costo de análisis de laboratorio.

Análisis	Cantidad	Costo	Total
Fenoles	1	Q 150.00	Q 150.00
HPLC	1	Q 250.00	Q 250.00
pH	1	Q 173.00	Q 173.00
Brix	1	Q 143.00	Q 143.00
		TOTAL	Q 716.00

Cuadro 46. Costo de materia prima para extracción.

Materia	Cantidad	Costo
Ácido clorogénico (mg)	25.00	Q 31.02
Agua (mL)	500.00	Q 2.41
Etanol (mL)	300.00	Q 8.32
Agua (mL)	200.00	Q 0.96

Cuadro 47. Condiciones de operación para línea de extracción

Ingreso de café cerezo	575 kg/h
Flujo de pulpa	345 kg/h

Flujo de agua	1.73 m ³ /h
Flujo total pulpa molida + agua	2,070 kg/h
Volumen total solución final	760.54 Gal
% retención de solución en pulpa	120.75 kg/h
Flujo solución final	1,604.25 kg/h
Energía calentador tanque	1,738,800 kJ

Cuadro 48. Análisis de Varianza para extracción de ácido clorogénico por medio de agua.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	278434.57	4	69608.64	112.89	2.82E-08	3.48
Dentro de los grupos	6165.65	10	616.56			
Total	284600.22	14				

Cuadro 49. Análisis de Varianza para extracción de ácido clorogénico por medio de una solución de etanol como solvente.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	307313.1	4	76828.27	51.9	1.17822E-06	3.48
Dentro de los grupos	14791.09	10	1479.11			
Total	322104.19	14				

Cuadro 50. Análisis de varianza para extracción de cafeína por medio de agua.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	22916.22	4	5729.05	22.14	5.90E-05	3.48
Dentro de los grupos	2587.43	10	258.74			
Total	25503.65	14				

Cuadro 51. Análisis de varianza para extracción de cafeína por medio solución de etanol como solvente.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	4482.33	4	1120.58	386.05	6.58E-11	3.48
Dentro de los grupos	29.03	10	2.90			
Total	4511.35	14				

Cuadro 52. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico entre agua y etanol para pulpa de Santa Rosa.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1112.28	1	1112.28	1.03	0.37	7.71
Dentro de los grupos	4323.77	4	1080.94			
Total	5436.05	5				

Cuadro 53. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico entre agua y etanol para Chicacao.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	59,966.00	1.00	59,966.00	22.96	0.00870	7.71
Dentro de los grupos	10,448.44	4.00	2,612.11			
Total	70,414.45	5.00				

Cuadro 54. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico entre agua y etanol para pulpa de San Miguel Dueñas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	115,395.63	1.00	115,395.63	1,289.90	0.0000036	7.71
Dentro de los grupos	357.84	4.00	89.46			
Total	115,753.47	5.00				

Cuadro 55. Análisis de varianza para extracción de ácido clorogénico entre agua y etanol para pulpa de San Miguel Dueñas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	356,182.19	1.00	356,182.19	113.25	0.000441	7.71
Dentro de los grupos	12,580.10	4.00	3,145.03			
Total	368,762.29	5.00				

Cuadro 56. Análisis de varianza para extracción de cafeína entre agua y etanol para pulpa de Santa Rosa.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	12,909.62	1.00	12,909.62	9,251.55	0.0000001	7.71
Dentro de los grupos	5.58	4.00	1.40			
Total	12,915.20	5.00				

Cuadro 57. Análisis de varianza para extracción de cafeína entre agua y etanol para pulpa de Chicacao.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3,919.16	1.00	3,919.16	11,450.47	0.00000005	7.71
Dentro de los grupos	1.37	4.00	0.34			
Total	3,920.53	5.00				

Cuadro 58. Análisis de varianza para extracción de cafeína entre agua y etanol para pulpa de San Miguel Dueñas.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	112.70	1.00	112.70	47.41	0.002332	7.71
Dentro de los grupos	9.51	4.00	2.38			
Total	122.21	5.00				

Cuadro 59. Análisis de varianza para extracción de cafeína entre agua y etanol para pulpa de Fraijanes.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3,532.45	1.00	3,532.45	932.83	0.000007	7.71
Dentro de los grupos	15.15	4.00	3.79			
Total	3,547.60	5.00				

Cuadro 60. Prueba de Tukey para extracción de ácido clorogénico por medio de agua, de pulpa de diferentes regiones.

	Santa Rosa	Santa Rosa Nueva	Suchitepéquez	San Miguel Dueñas	Fraijanes
Santa Rosa		71.82	21.56	71.82	355.06
Santa Rosa Nueva			50.26	79.05	283.24
Suchitepéquez				28.79	333.50
San Miguel Dueñas					362.30
Fraijanes					

*Donde HDS (Diferencia honestamente significativa) es 66.7

Cuadro 61. Prueba de Tukey para extracción de ácido clorogénico por medio de solución de etanol, de pulpa de diferentes regiones.

	Santa Rosa	Santa Rosa Nueva	Suchitepéquez	San Miguel Dueñas	Fraijanes
Santa Rosa		64.19	217.28	64.19	182.80
Santa Rosa Nueva			281.47	387.68	246.98

Suchitepéquez				106.21	34.49
San Miguel Dueñas					140.70
Fraijanes					

*Donde HDS es 103.3

Cuadro 62. Prueba de Tukey para extracción de cafeína por medio de agua, de pulpa de diferentes regiones.

	Santa Rosa	Santa Rosa Nueva	Suchitepéquez	San Miguel Dueñas	Fraijanes
Santa Rosa		109.94	94.26	109.94	51.35
Santa Rosa Nueva			15.68	67.17	58.59
Suchitepéquez				51.48	42.91
San Miguel Dueñas					8.58
Fraijanes					

*Donde HDS es 43.2

Cuadro 63. Prueba de Tukey para extracción de cafeína por medio de etanol, de pulpa de diferentes regiones.

	Santa Rosa	Santa Rosa Nueva	Suchitepéquez	San Miguel Dueñas	Fraijanes
Santa Rosa		18.62	44.59	18.62	4.27
Santa Rosa Nueva			25.97	16.94	14.35
Suchitepéquez				9.04	40.32
San Miguel Dueñas					31.28
Fraijanes					

Donde HDS es 4.6

Cuadro 64. Datos para considerar para costo de construcción en terreno

Construcción industrial (Q/m2)	Pared perimentral (Q/m)
Q 4,500.00	Q 1,500.00

Cuadro 65. Costos de construcción

Elemento	Magnitud	Unidad	Costo
Ancho planta	12	m	Q36,000.00
Largo planta	35	m	Q 105,000.00
Construcción industrial	420	m2	Q1,890,000.00
			Q 2,031,000.00

Cuadro 66. Jornadas laborales y salarios por hora de acuerdo con la ley de Guatemala.

Jornadas laborales		
Jornada	Horas ordinarias/semana	Pago salario mínimo (/h)
Diurna	44	Q 11.27
Mixta	40	Q 13.52
Nocturna	36	Q 15.03

Cuadro 67. Horario de trabajo para jornada 1 de trabajo. Horario de trabajo de lunes a jueves de 6 am-18:00 horas. El total de la semana representa el costo para 4 trabajadores.

	L	M	M	J	V	S	D	Total semana	Costo
Total horas (sin comidas)	10	10	10	10	4	0	0		
Horas ordinarias	8	8	8	8	4	0	0	36	Q 405.72
Horas extraordinarias	2	2	2	2	0	0	0	8	Q 35.24
Horas extraordinarias dobl.	0	0	0	0	0	0	0	0	Q -
								Subt. sin séptimo	Q 540.96
								Séptimo	Q 90.16
								TOTAL	Q 631.12
								TOTAL SEMANA	Q 3,786.72

Cuadro 68. Horario de trabajo para jornada 2 de trabajo. Horario de trabajo de viernes a lunes de 6 am-18:00 horas. El total de la semana representa el costo para 4 trabajadores.

	L	M	M	J	V	S	D	Total semana	Costo
Total horas(-comidas)	12				12	12	12		
Horas ordinarias	8				8	8	8	32	Q 360.64
Horas extraordinarias	4	0	0	0	4	4	0	12	Q 202.86
Horas extraordinarias dobl.	0	0	0	0	0	0	4	4	Q 90.16
								Subt. sin séptimo	Q 653.66
								Séptimo	Q 108.94
								TOTAL	Q 762.60
								TOTAL SEMANA	Q 2,278.81

Cuadro 69. Costo total por semana de acuerdo con turno y jornada laboral.

Línea de extracción	TURNO	JORNADA 1	JORNADA 2
Semana 1	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 2	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 3	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 4	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 5	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 6	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 7	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 8	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 9	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 10	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 11	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 12	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 13	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 14	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 15	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 16	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 17	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 18	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 19	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 20	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 21	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 22	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 23	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
Semana 24	Diurno	Q3,471.16	Q2,287.81
TOTAL	SUB TOTAL	Q83,307.84	Q54,907.44
24	Promedio mes	Q16,661.57	Q10,981.49

Cuadro 70. Prestaciones laborales y costo total por temporada.

IGSS	10.67%	Q15,555.66
IRTRA	1.00%	Q1,457.89
INTECAP	1.00%	Q1,457.89
Bono 14	8.33%	Q12,149.06
Otros	8.33%	Q12,149.06
Aguinaldo	8.33%	Q12,149.06
Pasivo laboral	8.33%	Q12,149.06
Bono	Q 250.00	
TOTAL SIN PRESTACIONES	Q145,788.72	
TOTAL TEMPORADA	Q213,106.39	

Cuadro 71. Consumo eléctrico total de equipos de línea de extracción.

Equipo	Cantidad	Potencia (hp)	Potencia (kW)	Flujo	Velocidad procesamiento	Horas de operación	Consumo kWh	Costo por día
Bomba Centrífuga	6.00	0.75	0.56	13.84	4.00	-	1.93	Q17.41
Calentador	2.00	-	240.00	-	-	8.00	1,920.00	Q5,760.00
Motor tornillo sin fin	2.00	0.20	0.15	11.01	10.42	-	0.16	Q0.47
Agitador	2.00	2.00	1.49			8.00	11.94	Q35.81
Molino Húmedo	2.00	49.6	37.0	16,560.00	5,400.00	-	113.45	Q340.35

Cuadro 72. Costo por consumo energético por temporada.

Consumo ee	
Costo diario	Q 6,163.65
Total de días	168
Costo total	Q 1,035,492.97

Cuadro 73. Costo por consumo de agua por temporada.

Consumo de agua	
Costo diario	Q 77.50
Total de días	168
Costo total	Q 13,020.67

Cuadro 74. Depreciación según decreto 26-92.

Activo	Depreciación máx. según ley	Mín. años depreciación según ley
Construcciones	5%	20
Maquinaria y mobiliario	20%	5
Otros	10%	10

Cuadro 75. Costo de producción por L

Producción diaria		
Producción	1,604.25	L/h
	12,834.00	L
Costo diario		
Costo energético	Q6,163.65	
Costo agua	Q 77.50	
Personal	Q 495.88	
Costo por L	Q 0.52	

Cuadro 76. Cálculo de depreciación y valor contable al final del proyecto.

Activo	Adquisición	Años a depreciar	Vida útil	Depreciación anual	Antigüedad al final	Depreciación acumulada	Valor contable
Construcción	Q2,031,000.00	20	20	Q101,550.00	10	Q 1,015,500.00	Q1,015,500.00
Maquinaria	Q9,638,747.54	10	10	Q963,874.75	0	Q -	Q 9,638,747.54
							Q 10,654,247.54

Figura 33. Flujo de caja para punto de equilibrio para producción anual.

Año	FLUJODECAJA										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción (L)/temporada	-	1,525,830.82	1,618,906.00	1,717,659.00	1,822,436.00	1,933,605.00	2,051,555.00	2,176,700.00	2,309,479.00	2,450,357.00	2,599,829.00
Ingresos	Q0.00	Q4,152,290.96	Q4,405,579.35	Q4,674,318.97	Q4,959,451.88	Q5,261,979.55	Q5,582,960.56	Q5,923,521.55	Q6,284,857.18	Q6,668,232.87	Q7,074,995.68
Costos Variables	Q0.00	-Q845,180.29	-Q896,736.01	-Q951,436.76	-Q1,009,474.29	-Q1,071,052.44	-Q1,136,386.70	-Q1,205,706.36	-Q1,279,254.62	-Q1,357,289.03	-Q1,440,083.78
Costos Fijos	Q0.00	-Q1,518,896.61	-Q1,518,896.61	-Q1,518,896.61	-Q1,518,896.61	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44
Depreciación	Q0.00	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86
Venta Activos	Q0.00										
Valor libro	Q0.00										
Intereses bancarios	Q0.00	-Q463,097.83	-Q432,616.69	-Q399,392.25	-Q363,177.60	-Q323,703.64	-Q280,677.02	-Q233,778.01	-Q182,658.08	-Q126,937.37	-Q66,201.78
Utilidad antes de imp.	Q0.00	Q140,283.38	Q372,497.19	Q619,760.50	Q883,070.52	Q1,087,549.16	Q1,386,222.54	Q1,704,362.87	Q2,043,270.18	Q2,404,332.17	Q2,789,035.81
Impuesto	Q0.00	-Q39,279.35	-Q104,299.21	-Q173,532.94	-Q247,259.75	-Q304,513.77	-Q388,142.31	-Q477,221.60	-Q572,115.65	-Q673,213.01	-Q780,930.03
Depreciación	Q0.00	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86
Valor libro	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Valor desecho	Q0.00										Q 1,015,500.00
Maquinaria	-Q10,832,828.59										
Construcción	-Q2,031,000.00										
Capital de Trabajo	-Q1,182,038.45	-Q25,777.86	-Q27,350.37	-Q29,018.77	-Q68,761.49	-Q32,667.13	-Q34,659.83	-Q36,774.13	-Q39,017.21	-Q41,397.38	Q1,517,462.61
Imprevistos	-Q128,638.29										
Capital Bancario	Q5,145,531.44	-Q338,679.34	-Q369,160.48	-Q402,384.93	-Q438,599.57	-Q478,073.53	-Q521,100.15	-Q567,999.16	-Q619,119.09	-Q674,839.80	-Q735,575.39
FLUJO DE CAJA	-Q9,028,973.89	Q921,379.69	Q1,056,519.98	Q1,199,656.73	Q1,313,282.57	Q1,457,127.60	Q1,627,153.11	Q1,807,200.84	Q1,997,851.09	Q2,199,714.84	Q4,990,325.87
VAN acumulado	-Q9,028,973.89	-Q8,206,313.45	-Q7,364,062.19	-Q6,510,170.23	-Q5,675,555.41	-Q4,848,742.08	-Q4,024,375.68	-Q3,206,889.80	-Q2,399,991.25	-Q1,606,752.02	-Q0.65

Figura 34. Flujo de caja para punto de equilibrio con respecto a precio de venta.

Año	FLUJO DE CAJA										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción (L)/temporada	-	2,156,112.00	2,287,635.00	2,427,181.00	2,575,239.00	2,732,329.00	2,899,001.00	3,075,840.00	3,263,466.00	3,462,537.00	3,673,752.00
Ingresos	Q0.00	Q4,530,505.23	Q4,806,866.40	Q5,100,085.81	Q5,411,190.95	Q5,741,274.49	Q6,091,492.09	Q6,463,072.97	Q6,857,319.92	Q7,275,615.54	Q7,719,428.60
Costos Variables	Q0.00	-Q1,194,302.37	-Q1,267,154.90	-Q1,344,451.50	-Q1,426,463.02	-Q1,513,477.49	-Q1,605,799.58	-Q1,703,753.32	-Q1,807,682.14	-Q1,917,950.52	-Q2,034,945.64
Costos Fijos	Q0.00	-Q1,518,896.61	-Q1,518,896.61	-Q1,518,896.61	-Q1,518,896.61	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44	-Q1,594,841.44
Depreciación	Q0.00	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86	-Q1,184,832.86
Venta Activos	Q0.00										
Valor libro	Q0.00										
Intereses bancarios	Q0.00	-Q463,097.83	-Q432,616.69	-Q399,392.25	-Q363,177.60	-Q323,703.64	-Q280,677.02	-Q233,778.01	-Q182,658.08	-Q126,937.37	-Q66,201.78
Utilidad antes de Imp.	Q0.00	Q169,375.56	Q403,365.34	Q652,512.59	Q917,820.87	Q1,124,419.05	Q1,425,341.18	Q1,745,867.34	Q2,087,305.39	Q2,451,053.36	Q2,838,606.88
Impuesto	Q0.00	-Q47,425.16	-Q112,942.30	-Q182,703.53	-Q256,989.84	-Q314,837.33	-Q399,095.53	-Q488,842.86	-Q584,445.51	-Q686,294.94	-Q794,809.93
Depreciación	Q0.00	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86	Q1,184,832.86
Valor libro	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Valor desecho	Q0.00										Q 1,015,500.00
Maquinaria	-Q10,832,828.59										
Construcción	-Q2,031,000.00										
Capital de Trabajo	-Q1,356,599.49	-Q36,426.27	-Q38,648.30	-Q41,005.76	-Q81,479.65	-Q46,161.04	-Q48,976.87	-Q51,964.41	-Q55,134.19	-Q58,497.56	Q1,814,893.54
Imprevistos	-Q128,638.29										
Capital Bancario	Q5,145,531.44	-Q338,679.34	-Q369,160.48	-Q402,384.93	-Q438,599.57	-Q478,073.53	-Q521,100.15	-Q567,999.16	-Q619,119.09	-Q674,839.80	-Q735,575.39
FLUJO DE CAJA	-Q9,203,534.93	Q931,677.66	Q1,067,447.12	Q1,211,251.24	Q1,325,584.66	Q1,470,180.00	Q1,641,001.49	Q1,821,893.77	Q2,013,439.47	Q2,216,253.91	Q5,323,447.97
VAN acumulado	-Q9,203,534.93	-Q8,371,679.88	-Q7,520,717.57	-Q6,658,572.86	-Q5,816,139.84	-Q4,981,920.23	-Q4,150,537.80	-Q3,326,405.58	-Q2,513,211.15	-Q1,714,007.77	Q0.00

E. Figuras

Figura 35. Medición de longitud y ancho de pulpa de café por vernier.



Figura 36. Medición de porcentaje de humedad por medio de balanza de humedad marca Ohaus.

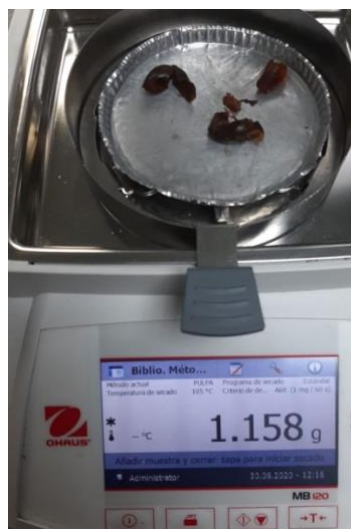


Figura 37. Medición de grados brix por medio de refractómetro digital marca Hanna.



Figura 38. Sistema de extracción de una sola etapa para solución de etanol y agua destilada con pulpa de café.



Figura 39. Concentración de ácido clorogénico y cafeína por región para extracción utilizando agua.

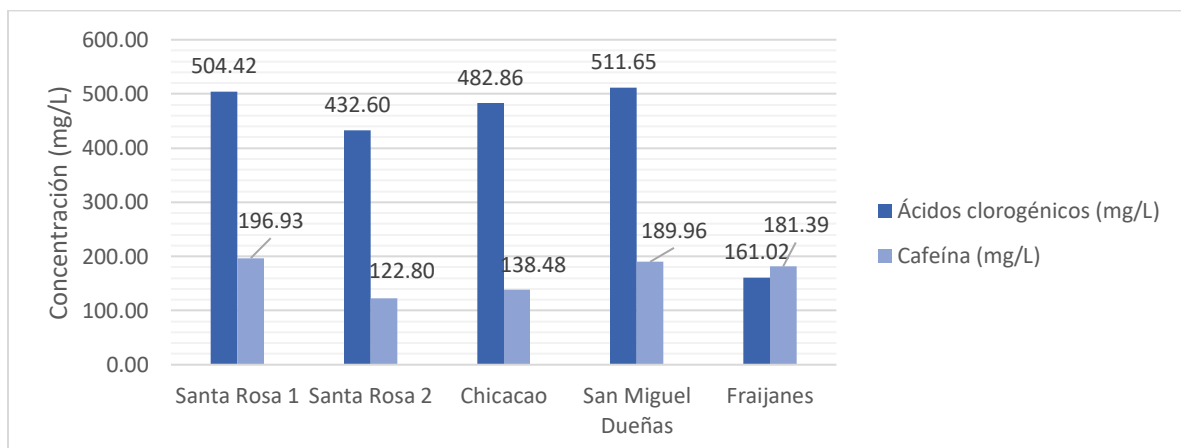


Figura 40. Concentración de ácido clorogénico y cafeína por región para extracción utilizando solución de etanol.

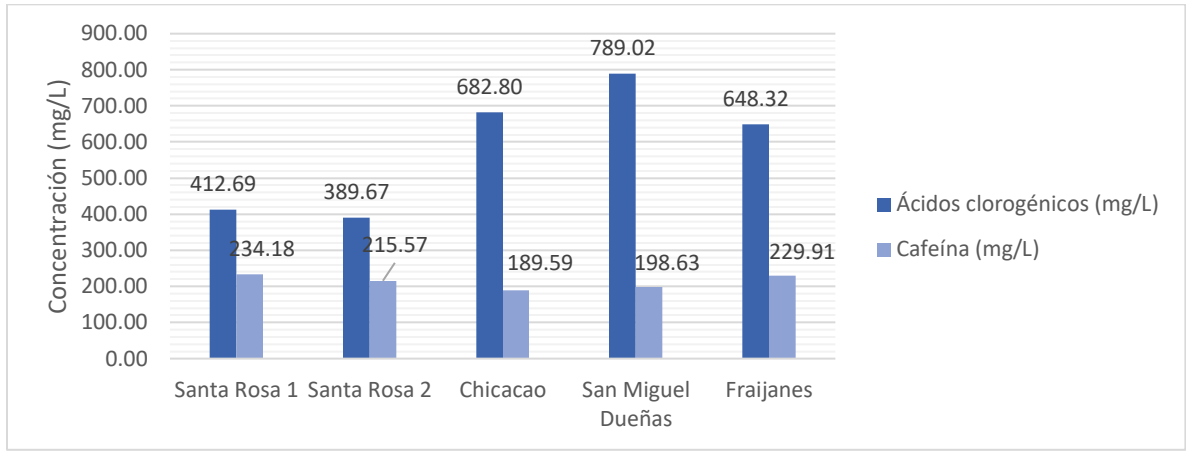


Figura 41. Porcentaje que pasa de pulpa molida de cada corrida de acuerdo con la abertura del tamiz en el tamizador vibratorio.

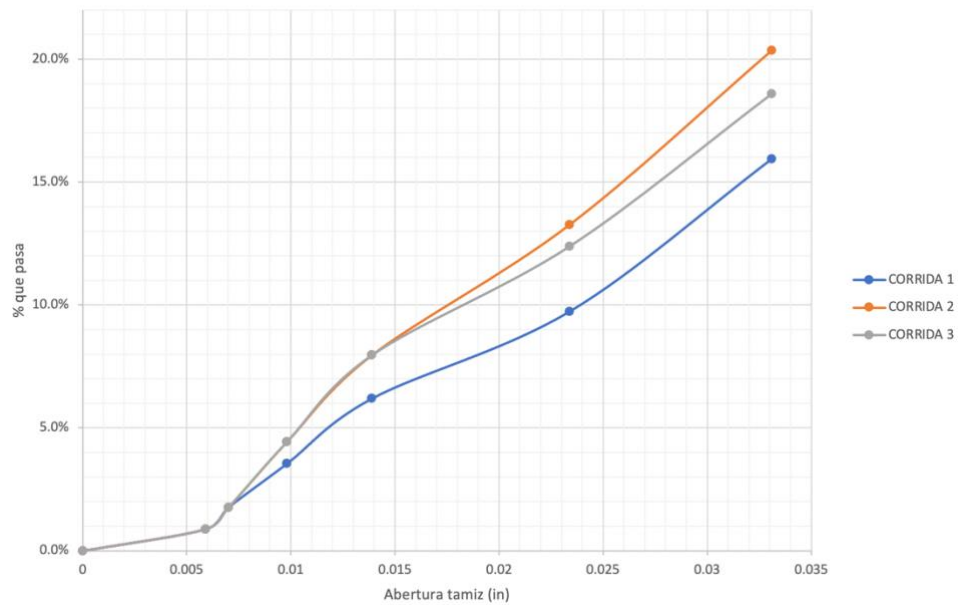


Figura 42. Porcentaje promedio que pasa de pulpa molida de cada corrida de acuerdo con la abertura del tamiz en el tamizador vibratorio.

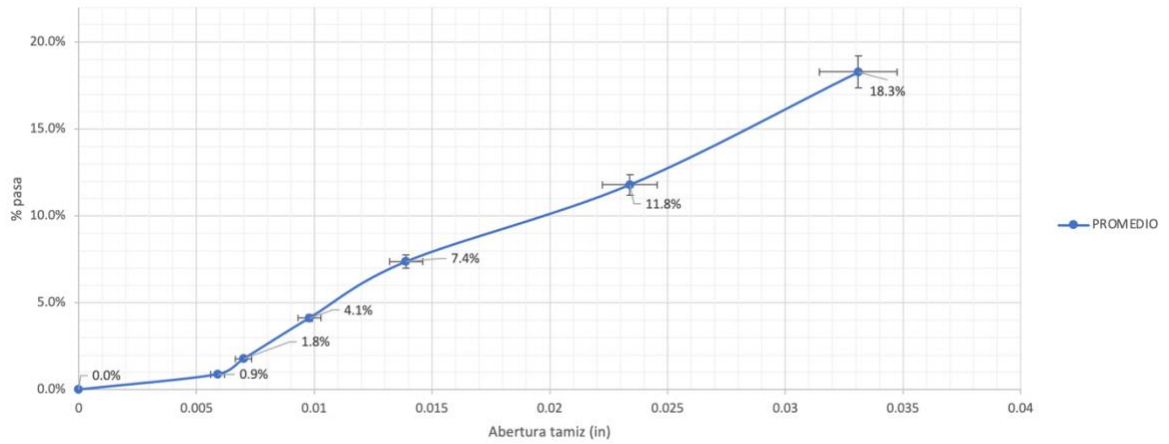


Figura 43. Curva de calibración para análisis de fenoles.

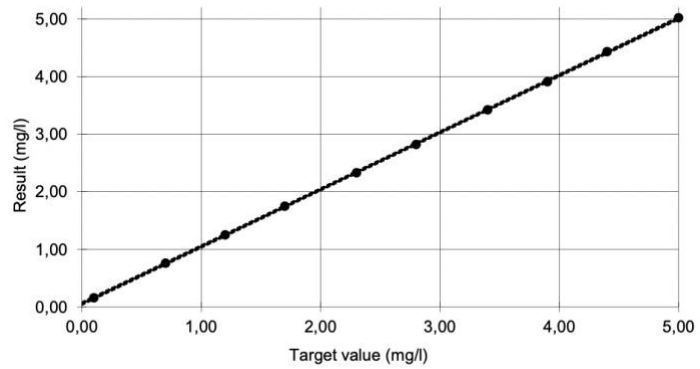


Figura 44. Curva de calibración para concentración de ácido clorogénico

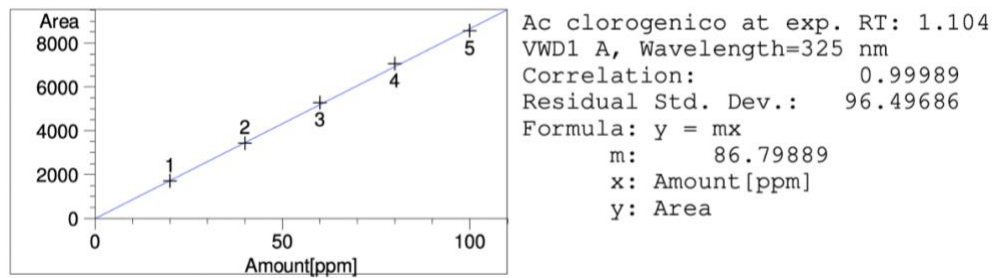


Figura 45. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de Santa Rosa cosechada en marzo 2020.

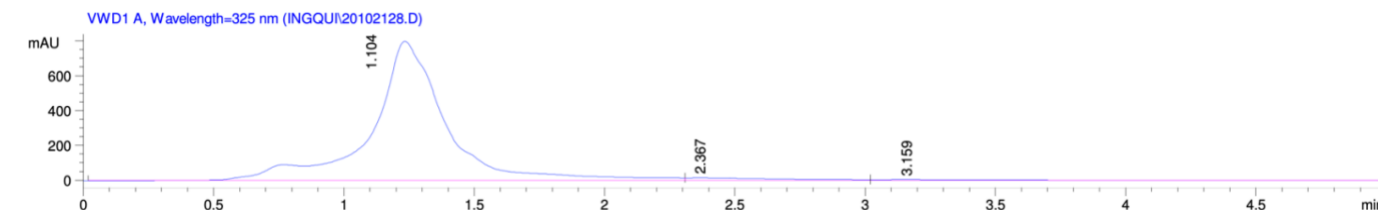


Figura 46. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de Santa Rosa cosechada en octubre 2020.

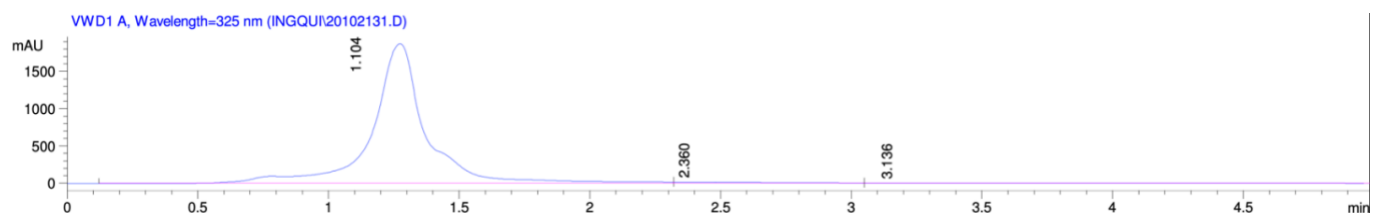


Figura 47. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de Chicacao cosechada en octubre 2020.

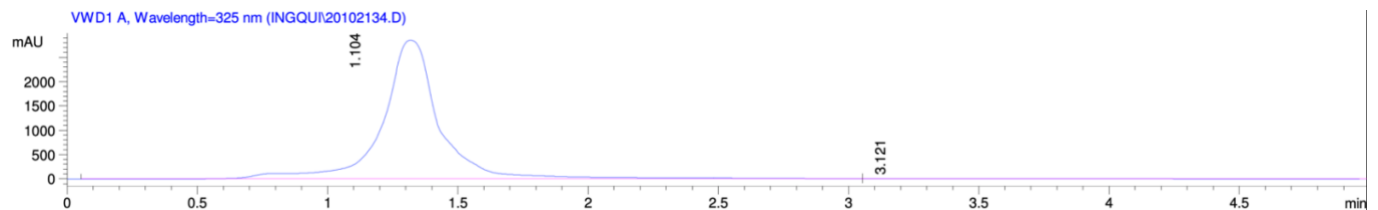


Figura 48. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de San Miguel Dueñas cosechada en octubre 2020.

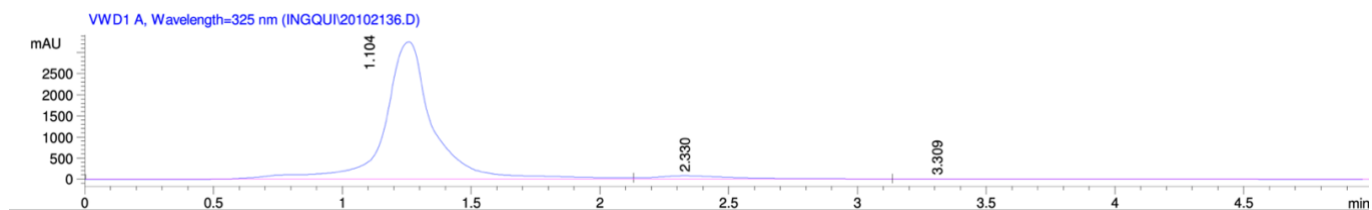


Figura 49. Cromatograma de ácido clorogénico de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de Fraijanes cosechada en octubre 2020.

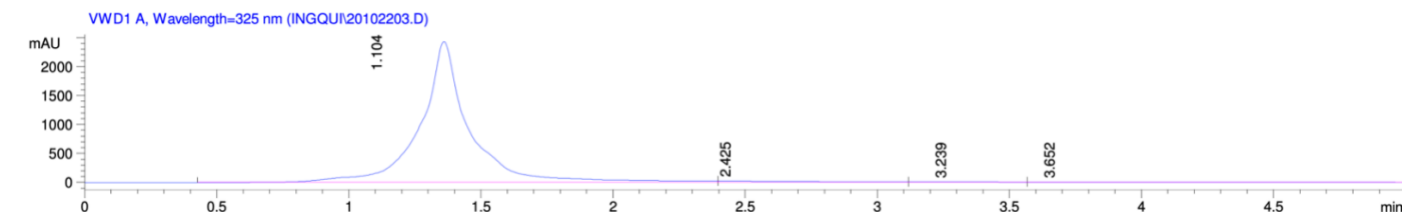


Figura 50. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de Santa Rosa cosechada en marzo 2020.

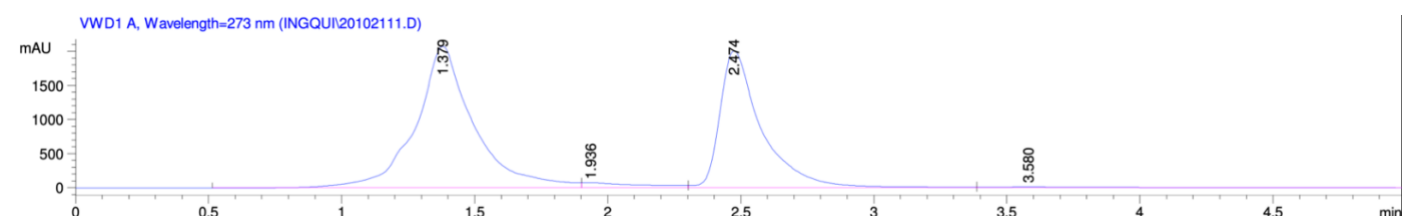


Figura 51. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de Santa Rosa cosechada en octubre 2020.

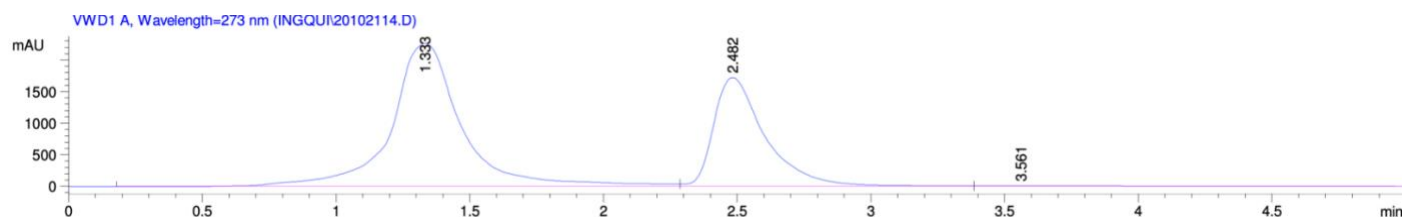


Figura 52. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de Chicacao cosechada en octubre 2020.

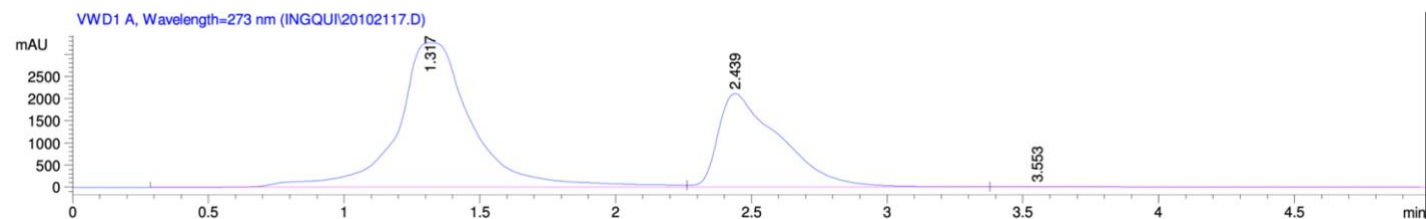


Figura 53. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de San Miguel Dueñas cosechada en octubre 2020.

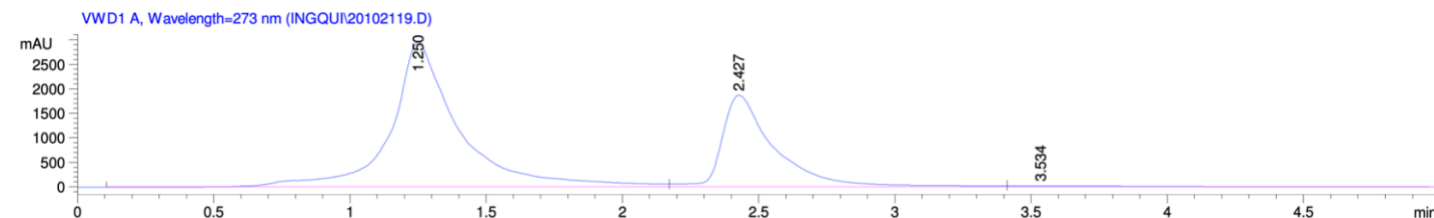


Figura 54. Cromatograma de cafeína de muestra de solución extraída por medio de agua, para pulpa de Fraijanes cosechada en octubre 2020.

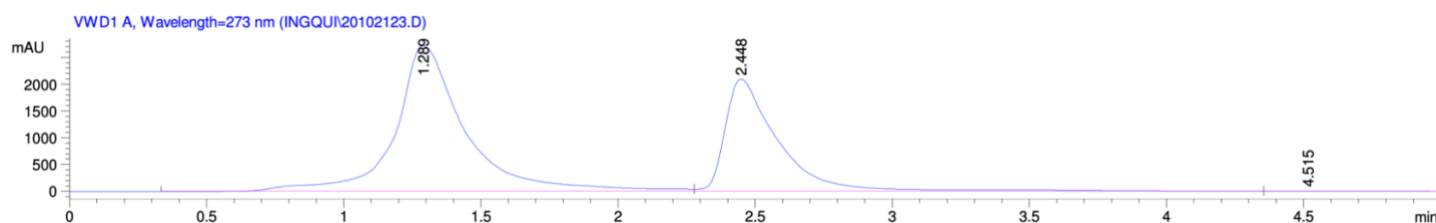


Figura 55. Resultados de análisis de fenoles realizado en laboratorio Ecoquimsa para extracción con agua de pulpa de Santa Rosa cosechada en octubre 2020.



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
 Página Web: ecoquimsa.com
 PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Universidad del Valle de Guatemala
 Responsable: Sr. Diego Garzaro
 Dirección: 18 avenida 11-95 zona 15, Vista Hermosa III, oficina B-208

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Casa particular	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Solución de pulpa	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	08 de noviembre de 2020	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	18:00	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	20-3823-1		
Lote:	20-3823		

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 10 de noviembre de 2020
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 10:30
 Fecha de informe: 23 de noviembre de 2020

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultado	Método de análisis ⁽²⁾
Fenoles	mg/L	0.10	37.60	Spectroquant® Merck 14551

(1) mg/L = ppm.

(2) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

El presente resultado es válido únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.


 Laboratorio ECOQUIMSA
 Lic. Edgar del Pozo
 Químico
 Colegiado No. 4943

Figura 56. Resultados de análisis de fenoles realizado en laboratorio Ecoquimsa para extracción con agua de pulpa de Santa Rosa cosechada en marzo 2020.



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
 Página Web: ecoquimsa.com
 PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Sr. Diego Garzaro
 Dirección: 2a. calle 2-22 zona 4, aldea Choacorrall, San Lucas Sacatepéquez, Sacatepéquez

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Domicilio, San Lucas Sacatepéquez	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Infusor casero	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	13 de septiembre de 2020	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	16:30	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	20-3071-1		
Lote:	20-3071		

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 14 de septiembre de 2020
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 10:16
 Fecha de informe: 23 de septiembre de 2020

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultado	Método de análisis ⁽²⁾
Fenoles	mg/L	0.10	58.80	Spectroquant® Merck 14551

(1) mg/L = ppm.

(2) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

El presente resultado es válido únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.

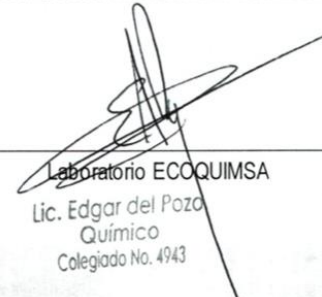

 Laboratorio ECOQUIMSA
 Lic. Edgar del Pozo
 Químico
 Colegiado No. 4943

Figura 57. Resultados de análisis de fenoles realizado en laboratorio Ecoquimsa para extracción con agua de pulpa de San Miguel Dueñas cosechada en octubre 2020.



9ª. Avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala
 E-mail: informacion@ecoquimsa.com.gt
 Página Web: ecoquimsa.com
 PBX: (502) 2322 3600

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

Datos del Cliente

Cliente: Universidad del Valle de Guatemala
 Responsable: Sr. Diego Garzaro
 Dirección: 18 Avenida 11-95 zona 15, Vista Hermosa III, Of. B-208

Datos de la muestra

Lugar de muestreo:	Casa Particular	Muestra simple o compuesta:	Simple
Referencia cliente:	Solución de pulpa	Responsable del muestreo:	CLIENTE
Fecha de monitoreo:	16 de diciembre del 2020	Temperatura de almacenaje:	5 °C
Hora de monitoreo:	09:00	Recipiente utilizado:	Plástico
Tipo de muestra:	Agua	Método de preservación:	INS04-MUE
Código de muestra:	20-4393-1		
Lote:	20-4393		

Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 16 de diciembre del 2020
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 10:50
 Fecha de informe: 28 de diciembre del 2020

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultado	Método de análisis ⁽²⁾
Fenoles	mg/L	0.10	25.75	Spectroquant® Merck 14551

(1) mg/L = ppm.

(2) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

El presente resultado es válido únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.

Laboratorio ECOQUIMSA

Lic. Edgar del Pozo
 Químico
 Colegiado No. 4943

Figura 58. Diagrama de operaciones de proceso de extracción de ácido clorogénico.

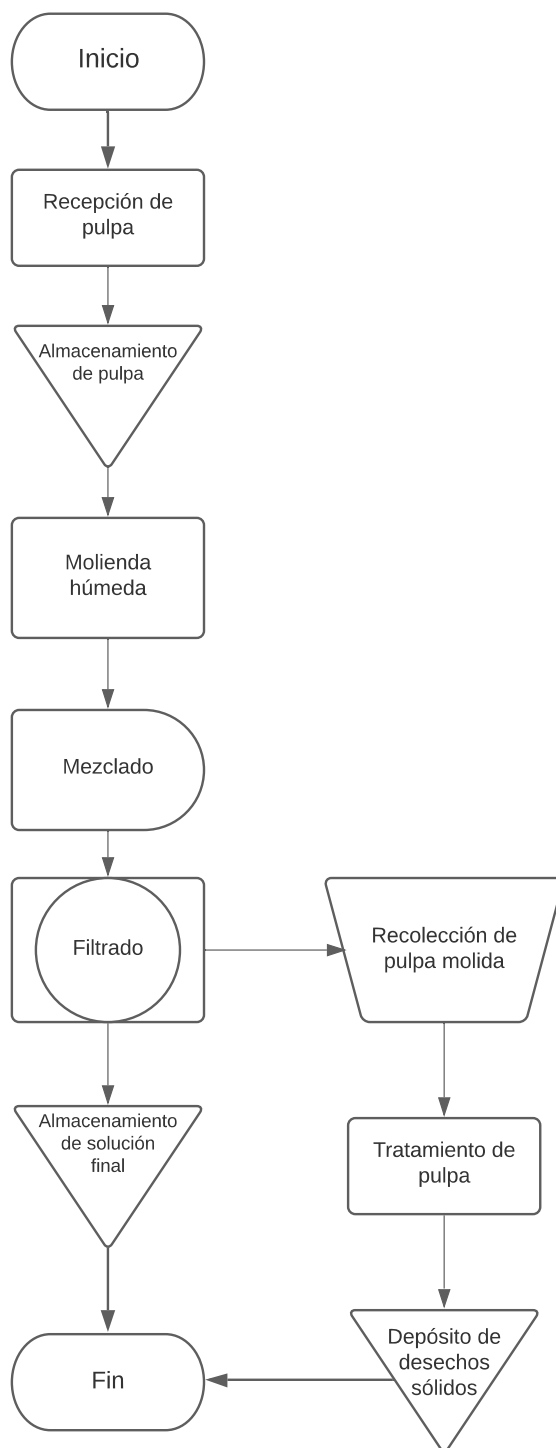


Figura 59. Espacio propuesto para la implementación de la línea de extracción de ácido clorogénico a escala planta piloto.



Figura 60. Espacio de acumulación de pulpa fresca en beneficio húmedo de Nueva Santa Rosa, Guatemala.



Figura 61. Cotización de molino húmedo.

Dear Mr. Garzaro,

thank you for your contact and your interest in our wet Mill.

For a quote we need some information about your application for the mill.

Please fulfil the attached questionnaire and return it to us.

Also please give us your full company address for the quote.

The price for the K-MT 4 mill with hopper and feeding screw is about € 60,000.00

Kind regards

Rolf Mielke

Verkauf

Sales

Maschinenbau Kaltenbach GmbH

Rheinweg 9

D-79395 Neuenburg-Zienken


t: +49 7631 7945 15

m: +49 15116135920

f: +49 7631 7945 50

e: r.mielke@kaltenbach-maschinenbau.de

Figura 62. Cotización para filtro de canasta.



ST053020AF46TS, 2" Cast Iron Eaton Model 53BTX Duplex Strainer.

EATON

Price: \$3,602.99

[Write a Review](#)

SKU: ST053020AF46TS

Shipping: Calculated at Checkout

Please Choose A Basket Option: *

Quantity:

[ADD TO CART](#) [ADD TO WISH LIST](#)

[Facebook](#) [Email](#) [Twitter](#) [Pinterest](#)

Eaton Model 53BTX Duplex Basket Strainer

Figura 63. Cotización Bombas centrífugas.

Comeo G I002/02-A4A31F5071E6MW	2	2PC	G	7m	4m ³ /h	230V	60Hz	3450	0.37kW	Single-phase AC	13.1 Kilogram	48229166	€366.32
Comeo C I002/04-A4B32F5071E6OW	2	4PC	C	15m	4m ³ /h	230V	60Hz	3345	0.55kW	Three-phase current	15.2 Kilogram	48239970	€597.17

Figura 64. Cotización tubería de acero inoxidable.



Tubo redondo sanitario en acero inoxidable 4 pulgadas x 2mm

Q 1,466.00

- 1 +

29.0 Unidad(es) **Existencias**

[Add to Cart](#)

Tubo redondo sanitario en acero inoxidable serie 304. Pulido interior y exterior 180 Grit. Diámetro 101.6mm (4 pulgadas). Grosor de pared 2.0mm.

Envío gratuito en Ciudad de Guatemala con compras superiores a Q1,500.
Compre ahora, recíballo mañana.

Figura 65. Cotización de válvulas de compuerta marca Amanco.

VÁLVULA COM-PUERTA MATCO	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	PRECIO
	966811	Válvula 1/2"	Q. 60.00
	966812	Válvula 3/4"	Q. 80.00
	966813	Válvula 1"	Q. 120.00
	966814	Válvula 1 1/4"	Q. 150.00
	966815	Válvula 1 1/2"	Q. 190.00
	966816	Válvula 2"	Q. 280.00
	966817	Válvula 2 1/2"	Q. 530.00
	966818	Válvula 3"	Q. 730.00
	966819	Válvula 4"	Q. 1,130.00

Figura 66. Tabla de valores críticos para prueba de Tukey.

$$q_{\alpha}(v_1, v_2)$$

v_2 ↓	α ↓	v_1									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.05	18.00	29.98	32.82	37.08	40.41	43.12	45.40	47.36	49.07	50.59
	0.01	90.03	135.0	164.3	185.6	202.2	215.8	227.2	237.0	245.6	253.2
2	0.05	6.10	8.33	9.80	10.88	11.74	12.44	13.03	13.54	13.99	14.39
	0.01	14.04	19.02	22.29	24.72	26.63	28.20	29.53	30.68	31.69	32.59
3	0.05	4.50	5.91	6.82	7.50	8.04	8.48	8.85	9.18	9.46	9.72
	0.01	8.26	10.62	12.17	13.33	14.24	15.00	15.64	16.20	16.69	17.13
4	0.05	3.93	5.04	5.76	6.29	6.71	7.05	7.34	7.60	7.83	8.03
	0.01	6.51	8.12	9.17	9.96	10.58	11.10	11.55	11.93	12.27	12.57
5	0.05	3.64	4.60	5.22	5.67	6.03	6.33	6.58	6.80	6.99	7.17
	0.01	5.70	6.97	7.80	8.42	8.91	9.32	9.67	9.97	10.24	10.48
6	0.05	3.46	4.34	4.90	5.31	5.63	5.89	6.12	6.32	6.49	6.65
	0.01	5.24	6.33	7.03	7.56	7.97	8.32	8.61	8.87	9.10	9.30
7	0.05	3.34	4.16	4.68	5.06	5.36	5.61	5.82	6.00	6.16	6.30
	0.01	4.95	5.92	6.54	7.01	7.37	7.68	7.94	8.17	8.37	8.55
8	0.05	3.26	4.04	4.53	4.89	5.17	5.40	5.60	5.77	5.92	6.05
	0.01	4.74	5.63	6.20	6.63	6.96	7.24	7.47	7.68	7.87	8.03
9	0.05	3.20	3.95	4.42	4.76	5.02	5.24	5.43	5.60	5.74	5.87
	0.01	4.60	5.43	5.96	6.35	6.66	6.91	7.13	7.32	7.49	7.65
10	0.05	3.15	3.88	4.33	4.65	4.91	5.12	5.30	5.46	5.60	5.72
	0.01	4.48	5.27	5.77	6.14	6.43	6.67	6.87	7.05	7.21	7.36
11	0.05	3.11	3.82	4.26	4.57	4.82	5.03	5.20	5.35	5.49	5.61
	0.01	4.39	5.14	5.62	5.97	6.25	6.48	6.67	6.84	6.99	7.13
12	0.05	3.08	3.77	4.20	4.51	4.75	4.95	5.12	5.27	5.40	5.51
	0.01	4.32	5.04	5.50	5.84	6.10	6.32	6.51	6.67	6.81	6.94
13	0.05	3.06	3.73	4.15	4.45	4.69	4.88	5.05	5.19	5.32	5.43
	0.01	4.26	4.96	5.40	5.73	5.98	6.19	6.37	6.53	6.67	6.79
14	0.05	3.03	3.70	4.11	4.41	4.64	4.83	4.99	5.13	5.25	5.36
	0.01	4.21	4.89	5.32	5.63	5.88	6.08	6.26	6.41	6.54	6.66
15	0.05	3.01	3.67	4.08	4.37	4.60	4.78	4.94	5.08	5.20	5.31
	0.01	4.17	4.83	5.25	5.56	5.80	5.99	6.16	6.31	6.44	6.55
16	0.05	3.00	3.65	4.05	4.33	4.56	4.74	4.90	5.03	5.15	5.26
	0.01	4.13	4.78	5.19	5.49	5.72	5.92	6.08	6.22	6.35	6.46

Figura 67. Encuesta a consumidores sobre percepción de antioxidantes.

Antioxidantes

La encuesta es parte de un estudio de la Universidad Del Valle de Guatemala con el objetivo de investigar el uso de antioxidantes. Toda la información recopilada será empleada de forma confidencial y con fines de investigación. Su participación en el estudio es totalmente anónima y voluntaria.

Antioxidantes

***Obligatorio**

Preguntas

Género *

Masculino

Femenino

Edad *

Tu respuesta _____

¿Conoce que es un antioxidante? *

Sí

No

Antioxidantes

¿Conoce los beneficios de los antioxidantes? *

- Sí
- No

¿Utiliza o consume algún producto con antioxidantes? *

- Sí
- No

Si su respuesta anterior fue sí, ¿qué productos consume/utiliza que posean antioxidantes? Es aceptable más de una opción.

- Cosméticos
- Bebidas
- Alimentos
- Medicamentos
- Otros: _____

Productos

Marque las bebidas que consume con mayor frecuencia (es aceptable más de una opción): *

- Café
- Té
- Jugo de arándanos
- Jugo de naranja
- Limonada
- Kombucha
- Cacao
- Agua pura
- Bebidas carbonatadas
- Otros: _____

¿Estaría dispuesto a comprar una bebida que contribuya con su salud (por ejemplo: prevención de enfermedades cardiovasculares)? *

Sí

No

¿Cuánto es lo máximo que estaría dispuesto a pagar por una bebida con estos beneficios? (Botella de 600 mL) *

Q21-Q30

Q10-Q20

Otros: _____

Figura 68. Encuesta realizada a dueños de beneficios húmedos de café.

Pulpa de café

La encuesta es parte de un estudio de la Universidad del Valle de Guatemala para investigar alternativas de aprovechamiento para la pulpa de café generada en el proceso del beneficiado. Toda la información recopilada será empleada de forma confidencial y con fines de investigación. Su participación en el estudio es totalmente anónima y voluntaria.

Preguntas

¿Qué tipo de café cultiva? (Es posible más de una opción) *

Café Arábica

Café Robusta

Otros: _____

¿En qué departamento se encuentra su plantación? *

- Alta Verapaz
- Baja Verapaz
- Chimaltenango
- Chiquimula
- Guatemala
- El Progreso
- Escuintla
- Huehuetenango
- Izabal
- Jalapa

- Jutiapa
- Petén
- Quetzaltenango
- Retalhuleu
- Quiché
- Sacatepéquez
- San Marcos
- Santa Rosa
- Sololá
- Suchitepéquez
- Totonicapán
- Zacapa

¿Cuál es la altura de su plantación (MSNM)? *

Tu respuesta

¿Cuánto café cereza cosecha en temporada? En quintales *

Tu respuesta

¿Qué tipo de beneficiado realiza en el proceso post cosecha? *

- Seco
- Húmedo
- Seco y húmedo

Utilización de pulpa

¿Para qué utiliza la pulpa obtenida luego del proceso de desplumado? *

- Abono
- Procesos de tratamiento de desechos
- Procesos bioquímicos
- Procesos químicos
- No se utiliza
- Otros: _____

¿Estaría interesado en un proyecto para la utilización de la pulpa y obtención de subproductos? *

- Sí
- No
- Tal vez