

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE
CAPTURA DE AGUA Y SU ALMACENAMIENTO PARA
USO EN EL BENEFICIADO HÚMEDO EN LA
COOPERATIVA DE CAFICULTORES DE PILANGOSTA
R.L., DEL CANTÓN DE HOJANCHA, GUANACASTE**

Proyecto Final de Graduación presentado para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería Agrícola


José Andrés Méndez Cubillo

Mayo, 2016

**“ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE UN SISTEMA DE CAPTURA DE AGUA Y
SU ALMACENAMIENTO PARA USO EN EL BENEFICIADO HÚMEDO EN LA
COOPERATIVA DE CAFICULTORES DE PILANGOSTA R.L., DEL CANTÓN DE
HOJANCHA, GUANACASTE”**


Trabajo Final de Graduación sometido a la evaluación de la Escuela de Ingeniería Agrícola,
Facultad de Ingeniería,
Universidad de Costa Rica
Como requisito para optar por el grado de:

LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA




José Andrés Méndez Cubillo
Sustentante


Aprobado por el Tribunal Examinador:




Ph.D. Ricardo Radulovich
Presidente, Tribunal Examinador



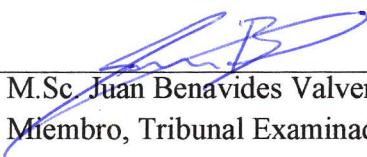
Ing. Hubert Morris Grainger
Director, Equipo Asesor



M.B.A. Gustavo Díaz Gutierrez
Miembro, Equipo Asesor



Ing. Geovanni Carmona Villalobos
Miembro, Equipo Asesor



M.Sc. Juan Benavides Valverde
Miembro, Tribunal Examinador

DEDICATORIA

A mis Padres Olga Cubillo y José Ángel Méndez.

Han sido mi apoyo incondicional y deseo poder retribuirles todo el esfuerzo y sacrificio que
me han brindado.

AGRADECIMIENTOS

A Hubert Morris Grainger por ser el guía en la realización de este proyecto por siempre estar disponible para mis dudas y tener una respuesta; asimismo, por motivarme y brindarme toda su experiencia en la realización de este proyecto que tuvo dificultades en el camino, pero se solventaron de manera correcta. Además, a mis lectores Alejandra Rojas y Gustavo Díaz por estar siempre anuentes a mis consultas y apoyo desde el inicio del proyecto.

Al personal de la Cooperativa Coopepilangosta R.L., en especial al gerente Wilberth Román por permitirme realizar el proyecto en la cooperativa.

Al instituto Meteorológico Nacional por brindarme los datos meteorológicos solicitados y a la Dra. María Laura Arias, directora del Laboratorio de Microbiología de Alimentos, por la exoneración del costo de las pruebas de calidad de agua realizadas.

A mis hermanos David y María, por siempre apoyarme y estar pendiente del proyecto.

Al personal de la Escuela de Ingeniería Agrícola por la ayuda a lo largo de todos estos años.

A la Universidad de Costa Rica y a su solidario sistema de becas, sin el cual difícilmente hubiese podido llegar hasta aquí.

A mi novia Yeimy, que ha sido un gran apoyo en toda la realización de mi proyecto de graduación. Además a mis compañeros de la universidad.

A doña Seidy y a su familia. Ella se convirtió en mi segunda madre durante todos mis años de estudio; le agradezco por recibirme en su hogar con un gran cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
RESUMEN	XII
NOMENCLATURA	XIV
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación del proyecto.....	2
1.3 Ubicación geográfica de la zona del proyecto	3
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Lugar donde se realizó el proyecto	6
2.2 Proceso del beneficiado del café	6
2.2.1 Etapas del beneficiado húmedo del café.....	8
2.2.2 Consumo de agua en el proceso de beneficiado húmedo del café	17
2.3 Aspectos generales de la cosecha de agua de lluvia	20
2.3.1 Definición	20
2.3.2 Características de sistemas de cosecha de agua de lluvia.....	20
2.3.3 Componentes de un sistema de cosecha de agua SCALL	21
2.3.4 Aspectos ambientales, legales, sanitarios de las regulaciones en cosecha de agua.....	30
2.4 Calidad del agua para el beneficiado húmedo del café	31
2.5 Aspectos generales de la zona.....	32
2.5.1 Clima	32
2.6 Análisis de los datos pluviométricos.....	32
2.6.1 Análisis estadístico	33
2.6.2 Cambio climático y efecto del ENOS	38
2.7 Determinación de la evaporación del embalse.....	39
2.7.1 Cálculo de la evaporación por el método combinado	39
2.8 Determinación de la infiltración.....	43
2.9 Balance hídrico del embalse.....	46
2.10 Aspectos generales de obras hidráulicas	46
2.10.1 Conducción de transporte por tubería en gravedad	47
2.10.2 Cajas de registro.....	48
2.10.3 Diseño del vertedor de excedencias	48

2.10.4	Diseño de tubería a presión	50
2.10.5	Sistema de bombeo.....	52
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		53
3.1	Medición de consumo de agua de la cosecha 2014-2015	53
3.2	Descripción de los equipos del beneficio Coopepilangosta R.L., para la realización del beneficiado húmedo de café	53
3.3	Caracterización de las fuentes de agua disponibles para el beneficio.....	54
3.4	Determinación de la calidad del agua de las fuentes de agua disponible para el beneficio Coopepilangosta R.L.	54
3.5	Precipitación de diseño para determinar la capacidad del reservorio	54
3.6	Precipitación para el diseño de las obras hidráulicas	56
3.7	Cálculo de la evaporación	56
3.8	Pruebas de infiltración.....	57
3.9	Determinación de los componentes del sistema de cosecha de agua de lluvia.	59
3.9.1	Bajantes	59
3.9.2	Canoas	59
3.10	Diseño del sistema de pre-limpieza.....	60
3.11	Determinación del volumen del reservorio	60
3.12	Balance hídrico del reservorio	61
3.13	Obras hidráulicas.....	62
3.14	Análisis económico	63
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		65
4.1	Beneficiado de café.....	65
4.1.1	Caracterización del proceso y equipos del beneficio Coopepilangosta R.L.	65
4.1.2	Consumo de agua en la cosecha 2014-2015.....	76
4.1.3	Identificación de las deficiencias de los equipos y del manejo en el procesamiento del beneficiado húmedo.	79
4.1.4	Recomendaciones en la mejora del procesamiento y cambio tecnológico para la disminución del consumo de agua en el beneficiado húmedo.	82
4.2	Caracterización de las fuentes de agua disponibles para el procesamiento del beneficiado húmedo	84
4.2.1	Características de las fuentes de agua disponibles de la empresa	84
4.2.2	Resultados de las pruebas de calidad de agua de las fuentes de agua Disponibles para el beneficio	89
4.3	Determinación de las condiciones hidrológicas y espacios disponibles en el beneficio para la validez del proyecto	90

4.3.1 Hidrometeorología	90
4.3.2 Caracterización de las estructuras de techos disponibles para la captura del agua de lluvia	93
4.4 Diseño de las obras hidráulicas del sistema de captación de agua de lluvia.....	98
4.4.1 Sistema conductor de la captación del agua de lluvia.....	100
4.4.2 Sistema de pre-limpieza	101
4.4.3 Tubería de conducción por gravedad	102
4.4.4 Vertedero de excedencias	106
4.4.5 Sistema de bombeo	107
4.5 Balance hídrico del reservorio	110
4.5.1 Volumen de agua a capturar y almacenar en el reservorio.....	110
4.5.2 Pérdidas de agua en el reservorio	111
4.5.3 Resultados del balance hídrico del embalse	114
4.6 Costos e ingresos.....	118
4.6.1 Costo del cambio tecnológico y su beneficio.....	118
4.6.2 Costos de las obras de construcción del sistema de cosecha de agua de lluvia..	119
4.6.3 Costo de la implementación de un pozo	121
4.6.4 Flujo de caja.....	124
CONCLUSIONES	132
RECOMENDACIONES	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
ENTREVISTA	141
ANEXOS.....	142
ANEXO A. BENEFICIADO DE CAFÉ.....	142
Anexo A.1.	142
Anexo A.2.	143
Anexo A.3.	144
Anexo A.4.	145
Anexo A.5.	146
Anexo A.6.	147
ANEXO B. SISTEMA DE BOMBEO PARA ELEVAR EL AGUA DE LLUVIA A LA ZONA DE BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ, ALMACENADA EN EL RESERVORIO.....	148
Anexo B.1.....	148
Anexo B.2.....	148

ANEXO C. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN	149
Anexo C.1.....	149
Anexo C.2.....	149
Anexo C.3.....	150
Anexo C.4.....	150
Anexo C.5.....	151
Anexo C.6.....	151
ANEXO D. RESULTADOS DE LA EVAPORACIÓN DE AGUA EN LA ZONA DEL PROYECTO	152
Anexo D.1.	152
ANEXO E. RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO DEL RESERVORIO	153
Anexo E.1.....	153
Anexo E.2.....	153
Anexo E.3.....	154
Anexo E.4.....	154
ANEXO F. COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA.....	155
Anexo F.1.	155
ANEXO G. ESTUDIOS PARA LA REALIZACION DE UN POZO PROFUNDO	158
Anexo G.1.	158
Anexo G.2.	159
Anexo G.3.	159
Anexo G.4.	160
ANEXO H. PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL FLUJO DE CAJA.....	162
Anexo H.1.	162
Anexo H.2.	163
Anexo H.3.	163
Anexo H.4.	164
Anexo H.5.	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona del Proyecto	4
Figura 2. Diagrama de la sección transversal de un grano de café	7
Figura 3. Sistema de clasificación del beneficiado húmedo tradicional	11
Figura 4. Diagramas del escurridor de pulpa y del separador de pantalla	19
Figura 5. Esquema de infiltración de doble anillo	44
Figura 6. Vertedero de excedencias tipo cipolletti	49
Figura 7. Anillos de Infiltración	58
Figura 8. Curva de eficiencia y rendimiento de los filtros Wisy	60
Figura 9. Diagrama del balance hídrico del embalse	62
Figura 10. Escurridores de agua del beneficio Coopepilangosta R.L.	66
Figura 11. Despulpadores principales	69
Figura 12. Cribas utilizadas en el beneficio Coopepilangosta R.L.	71
Figura 13. Pilas utilizadas para la remoción del mucilago por fermentación	72
Figura 14. Canal de lavado y clasificación del café	75
Figura 15. Gráfico del consumo de agua por fanega en el beneficio	77
Figura 16. Fuga provocada por obstrucción de las tuberías	80
Figura 17. Fugas del canal de despulpador de repaso	81
Figura 18. Ubicación de las fuentes de agua del beneficio	85
Figura 19. Gráfica de ajuste de precipitación con distribución Gumbel, para el caso N°1 ..	92
Figura 20. Gráfica de ajuste de distribución normal, con precipitación del total de años de registro	93
Figura 21. Techos para la captación de agua de lluvia	95
Figura 22. Área del reservorio para el almacenamiento del agua de lluvia	96
Figura 23. Modelo de elevación digital del área total del reservorio	97
Figura 24. Curvas de nivel del reservorio	97
Figura 25. Curva de nivel de almacenamiento de agua en el reservorio	98
Figura 26. Ajuste de distribución de probabilidad normal para intensidad de lluvia	99
Figura 27. Rendimiento del índice de eficiencia y rendimiento del filtro modelo WFF 150	102
Figura 28. Sistema de conducción por gravedad	103
Figura 29. Perfil topográfico de la ruta de conducción por gravedad	104
Figura 30. Dimensiones de la caja de registro (cm)	105
Figura 31. Vista frontal del vertedor cipolletti	106
Figura 32. Obstáculos presentes en la ubicación de la estación meteorológica	112
Figura 33. Ubicación de los tres puntos de pruebas de infiltración	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de escorrentía	22
Tabla 2. Caudales máximos en los bajantes de agua de lluvia	25
Tabla 3. Bajantes por factor de área de techo	26
Tabla 4. Pendiente de los conductos de descarga y colectores	26
Tabla 5. Períodos con afectación del fenómeno El Niño.....	38
Tabla 6. Dimensiones para el diseño de las cajas de registro	48
Tabla 7. Clasificación de magnitud de Infiltración.....	58
Tabla 8. Recibo de café en la cosecha 2014-2015	67
Tabla 9. Características de los de los despulpadores	70
Tabla 10. Datos de fermentación	73
Tabla 11. Consumo de agua en el beneficiado húmedo	76
Tabla 12. Características de la naciente de agua	86
Tabla 13. Pruebas de caudal a través del tiempo	87
Tabla 14. Características del pozo	88
Tabla 15. Datos de pruebas de la calidad del agua	89
Tabla 16. Resumen de los datos meteorológicos cercanos a la zona de estudio	90
Tabla 17. Precipitación de los años Niños, de la Estación Meteorológica Nicoya (IMN) ...	91
Tabla 18. Dimensiones del área de los techos disponibles	94
Tabla 19. Caudal de escorrentía para el diseño hidráulico	99
Tabla 20. Dimensionamiento de los bajantes	100
Tabla 21. Cantidad de bajantes para cada área de techo.....	100
Tabla 22. Dimensionamiento de las canoas	101
Tabla 23. Caudal de canoa de alto caudal Amanco	101
Tabla 24. Características de los diámetros de tubería seleccionada	103
Tabla 25. Características de los tramos de la tubería de conducción por gravedad	104
Tabla 26. Variable para determinar el caudal de diseño del sistema de bombeo	107
Tabla 27. Valor del diámetro óptimo de la tubería de impulsión	108
Tabla 28. Características de los diámetros de la tubería de conducción a presión	108
Tabla 29. Coeficientes de las pérdidas locales en el sistema de conducción a presión	109
Tabla 30. Variables para el cálculo de la carga dinámica total.....	109
Tabla 31. Volumen de agua de captación de los techos del beneficio.....	110
Tabla 32. Resultados del cálculo de la evaporación.	111
Tabla 33. Evaporación acumulada en mm, de los meses de noviembre a enero	111

Tabla 34. Resultados de las pruebas de infiltración, método de los anillos concéntricos ..	113
Tabla 35. Resultados del balance hídrico de acumulados de mayo a octubre	114
Tabla 36. Resultados del balance hídrico del reservorio para el mes de noviembre	115
Tabla 37. Resultados del balance hídrico del reservorio para el mes de diciembre	116
Tabla 38. Balance hídrico final en el reservorio, incluyendo las salidas e agua para el Uso en el beneficiado húmedo.....	118
Tabla 39. Costo de una desmucilagadora mecánica	118
Tabla 40. Costos del escenario 1 que consiste en el reservorio impermeabilizado	120
Tabla 41. Costos del escenario 2 que consiste en el reservorio impermeabilizado y cubierta de sarán para evitar en un 75 % pérdida por evaporación.	121
Tabla 42. Costos de la realización del pozo.....	123
Tabla 43. Sistema de conducción del pozo.....	123
Tabla 44. Descripción del sistema de bombeo sumergible para el pozo	124
Tabla 45. Cantidad de café para cada año con un incremento del 2 %.	125
Tabla 46. Comportamiento histórico del costo de beneficiado de Café. Costo aceptado por Ley No 2762. Promedio nacional de la cosecha 2008-2009 a 2013-2014 ..	129
Tabla 47. Resultados del flujo de caja Escenario N°1	131
Tabla 48. Resultados del flujo de caja Escenario N°2	131

RESUMEN

El sistema de captación de agua de lluvia de los techos es una medida que brinda la posibilidad al beneficio Coopepilangosta R.L., ubicado en Hojancha, Costa Rica que es una zona catalogada dentro de los 15 cantones del país con mayor vulnerabilidad en el recurso hídrico y que en la cosecha 2014-2015 consumió un volumen de agua total de 1.395 m³ de contar con una fuente de agua disponible a utilizar en el proceso. A su vez puede considerarse como una herramienta para la adaptación a los efectos del cambio climático, principalmente, debido a que se disminuye el uso de las fuentes convencionales de agua como lo son pozos y ríos. Asimismo, permite al beneficio ser una industria autosuficiente en su consumo de agua.

Con base en lo anterior y conociendo que en el beneficiado húmedo se consumen volúmenes altos de agua, se midió que el beneficio Coopepilangosta R.L., consumió un volumen de agua total de 1.395 m³, para el procesamiento de 3.244 fanegas, para un consumo de 430 l/ff. Utilizando como fuente de agua para el proceso sus dos fuentes actuales como lo es una naciente y un pozo, que presentan disminución en el volumen de agua disponible en los últimos años.

Al implementar el sistema de captación del agua de lluvia, se determinó que en el caso más crítico de sequía en la zona, que es con la afectación del “Fenómeno El Niño”, se puede recolectar el agua necesaria para procesar el 39 % de la cosecha 2014-2015. Contando con un reservorio con revestimiento de geomembrana y una cubierta superior de sarán de doble capa; esto con una probabilidad y certeza del 95 % de obtener la precipitación de 1.030 mm, además estimando solo la utilización del 50 % del área de techos del beneficio, por lo que su implementación aprovechando mayor área de techos aumentaría su viabilidad.

Por consiguiente, en el sistema de cosecha de agua de lluvia propuesto, se incluyen accesorios de limpieza como los interceptores de primeras aguas, que cumplen la función de eliminar

los primeros residuos del techo, y así mantener una calidad de agua adecuada que favorezca en la calidad del procesamiento del beneficiado húmedo.

En el análisis económico del Proyecto se determinó que es financieramente viable, en los dos escenarios para el beneficio Coopepilangosta R.L., en un plazo de 10 años. Esto ratifica la viabilidad de la implementación de este Proyecto en el factor económico, pues tanto en ambiental como socialmente es viable para contrarrestar las consecuencias del cambio climático.

Se determinó que la realización del cambio tecnológico en el beneficio Coopepilangosta R.L., que incluye cambiar el método de remoción del mucilago de fermentación natural actual a una forma mecánica, lo cual reduciría en al menos un 40 % el consumo de agua total en el beneficiado húmedo del café, es la opción más acertada a corto plazo para el beneficio, considerando que con esta reducción del volumen de agua a utilizar, con el sistema planteado aquí de captación y almacenamiento del agua de lluvia de los techos, se tendría la capacidad para procesar el 100 % del café que procesa esta cooperativa. También que la consideración de realizar un pozo profundo es otra alternativa, que actualmente por la legislación se podría realizar, pero donde se tendría que analizar si a futuro el pozo tendrá la capacidad de proporcionar el caudal de agua que se necesita, debido a la explotación de los acuíferos que se dan por los pozos en la zona. De esta forma, destaca que la solución planteada aquí debe verse en el contexto de la gama de posibilidades existentes, con el fin de garantizar la mejor toma de decisiones.

Palabras Claves: beneficiado húmedo; café; agua de lluvia; uso del agua; captación.

NOMENCLATURA

CFIA: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos

CIA: Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica

FAO: Food and Agriculture Organization

ICAFE: Instituto del Café de Costa Rica

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

SCALL: Captación de Agua de Lluvia de los Techos

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los sistemas de cosecha de agua de lluvia provienen, desde la antigüedad. Si bien no se conoce con precisión el origen, la evidencia histórica remonta estructuras para la captación del agua de escorrentía desde el tercer milenio antes de Cristo (Kinkade, 2013). Por su parte, el origen de los sistemas de captación de las superficies de los techos vienen desde la época romana temprana (Trimble, 2007).

A través de la historia se han desarrollado diferentes formas de captación de agua de lluvia, tanto para el almacenamiento como para su uso en la agricultura, ganadería y uso doméstico (FAO, 2000). Estos sistemas han ayudado a resolver los problemas de abastecimiento de agua para uso doméstico; y representan opciones reales para incrementar los volúmenes disponibles para consumo animal, uso doméstico y agroindustrial (Anaya, 1998). Por consiguiente, estos sistemas han tomado un nuevo auge y están siendo alentados y promovidos en países de América Latina, Asia y África, debido a que proporciona una fuente de agua libre, de poco costo y que contribuye en una solución para adaptarse al cambio climático (FAO, 2000; Aladenola y Adeboye, 2009).

A nivel nacional, estas tecnologías de captación de agua de lluvia se utilizan como alternativa para el abastecimiento de agua en verano. Debido a la escasez de agua que aqueja a los productores, entonces con estos sistemas es posible recoger el agua de lluvia, almacenarla y posteriormente utilizarla en las actividades productivas, usos domésticos e inclusive industriales (CEMEDE, 2010a).

Asimismo, estos sistemas están siendo utilizados principalmente en producciones pecuarias en la región chorotega. En esta región, los ganaderos construyen abrevaderos con el fin de obtener agua en invierno para poder suministrarla en verano (Rodríguez *et al.*, 2010).

También se han realizado estudios en los Chiles, Alajuela para determinar la viabilidad de un sistema de captación de agua de lluvia y su almacenamiento en un sistema tipo dique-reservorio, para el riego de los cultivos de arroz y yuca en la época de verano (Grijalba, 2012).

Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia de los Techos (SCALL) se han realizado de forma artesanal en los techos de las casas en labores domésticas. Dos instituciones del país: la Universidad Nacional (UNA) y Universidad Estatal a Distancia (UNED) han desarrollado proyectos de construcción de reservorios, con el fin de analizar resultados y divulgar la tecnología para proporcionar seguridad alimentaria (Rodríguez *et al.*, 2010).

1.2 Justificación del proyecto

En el mundo, más de un tercio de la población vive en escasez de agua y se espera que para el 2025 aumente a dos tercios; debido a que las capas freáticas y niveles de los ríos están disminuyendo en muchas partes del mundo por el uso irracional del agua y el efecto del cambio climático, ocasionando impactos comerciales a las agroindustrias; por ejemplo: reducción del suministro de agua para las actividades comerciales; costos más altos para el agua; normas reglamentarias para su uso; conflictos con las comunidades locales y otros usuarios de agua a gran escala, debido a que estas empresas serán vistas como una competencia con la población para el suministro de este líquido (PNUMA, 2007).

El uso de agua sin restricciones ha crecido a nivel global a un ritmo de más del doble del aumento de la población en el siglo XX (FAO, 2013a). Por consiguiente, se ocasiona un aumento a más del 40% en la escasez de agua de la población, debido al cambio climático que tiene grandes consecuencias en la disponibilidad del agua para producir alimentos. Por tanto, afrontar la escasez de agua mediante la utilización de sistemas de captación es una medida que podría ayudar a solventar el problema (Turrall, 2008).

Ahora bien, Centroamérica es una de las regiones más vulnerables al cambio climático que está siendo afectada por fenómenos hidrometeorológicos cada vez más intensos. Estos ocasionan inundaciones y sequías; y a vez afecta la disponibilidad de agua (Guzman, 2013). El fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO), en Centroamérica ha provocado grandes sequias, con una vulnerabilidad alta en Costa Rica (Ordaz *et al.*, 2010).

En Costa Rica, el Pacífico Norte es la zona de mayor afectación de déficit hídrico. Asociado un 90 %, de la sequía, al fenómeno El Niño (Gamboa, 2013). Esto provoca déficit acumulado de agua en toda la provincia de Guanacaste con respecto al promedio histórico en la Región Pacífico Norte en los primeros siete meses del año, que están ocasionando grandes pérdidas agrícolas; muerte de ganado y la disminución de fuentes de agua (Soto, 2013; COENOS, 2014).

Se conoce que la zona, donde se realiza el Proyecto, Hojancha, Guanacaste, se encuentra en las regiones de Costa Rica que esperan mayores disminuciones de precipitación e incrementos de temperatura. Además, se ubica entre los 15 cantones de Costa Rica con mayor vulnerabilidad en el sector hídrico ante el cambio climático (Retana *et al.*, 2011).

Por lo que, el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de aguas subterráneas; busca fuentes alternativas más eficientes, como lo son los sistemas de cosecha del agua de lluvia, para su almacenamiento (Guzmán, 2013). Debido a que es una fuente que impone un impacto insignificante sobre el medio ambiente y ayuda a combatir el cambio climático (Trimble, 2007).

1.3 Ubicación geográfica de la zona del proyecto

La Cooperativa Coopepilangosta R.L. se encuentra localizada en Hojancha; cantón de la provincia de Guanacaste en Costa Rica. Hojancha cuenta con una extensión cercana a los doscientos kilómetros cuadrados, y se ubica en las estribaciones montañosas de la península

de Nicoya. En la figura 1 se muestra la ubicación de la zona de Hojancha en un mapa de Costa Rica.

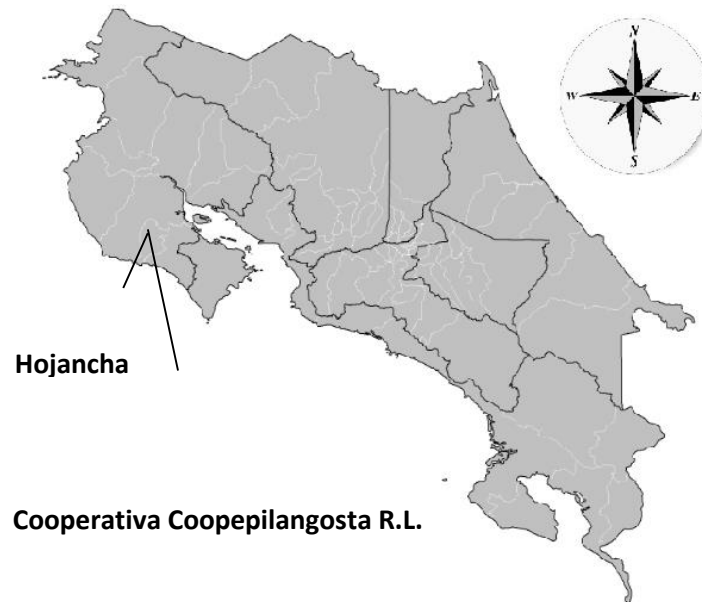


Figura 1. Ubicación de la zona del Proyecto

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar la viabilidad de implementar un sistema de captura de agua de lluvia y su almacenamiento para uso en el beneficiado húmedo del café en el beneficio Coopepilangosta R.L., ubicado en Hojancha, Guanacaste.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Medir y analizar el consumo de agua de los equipos utilizados en el proceso del beneficiado húmedo del café.
2. Analizar las posibles fuentes de agua disponibles para el beneficiado y su utilización en el beneficiado húmedo.
3. Analizar la capacidad de captura de agua de lluvia en el beneficio y su uso en el beneficiado húmedo de café.
4. Identificar y seleccionar la tecnología de almacenamiento apropiada a las características de suelo, clima y necesidad del beneficio.
5. Evaluar la factibilidad técnica y económica del proyecto, para verificar la viabilidad del mismo.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Lugar donde se realizó el proyecto

Coopepilangosta R.L., es una cooperativa que genera bienestar socioeconómico a sus asociados y la comunidad; mediante la producción y comercialización del café y el desarrollo de otras actividades económicas en armonía con el ambiente. Esta empresa, se constituyó el 27 de marzo de 1962 con 23 asociados y actualmente cuenta con 111 asociados y una producción promedio de 4.000 fanegas de café fruta para su producción (W. Román, comunicación personal, 07 de enero 2015).

Coopepilangosta R.L., trabaja con base en grano maduro. Este se recibe y se empaca; para exportación se utiliza un 85% y el restante 15% para consumo local. De este 100% de producción, solo un 3% termina en el proceso de café en polvo y el 97% se vende como grano entero a diversas empresas ya sean nacionales o internacionales. El café debidamente recolectado se seca en modo natural o artificial o mitad natural y mitad artificial; luego se vende ya que no se culmina el proceso en la mayoría de la producción. El café se divide en café de primera categoría y café inferior, clasificado debidamente ante niveles de exigencia (W. Román, comunicación personal, 07 de enero 2015).

2.2 Proceso del beneficiado del café

La producción de café es la actividad agroindustrial de mayor tradición en Costa Rica, de gran importancia en la conformación social y económica para el país (CONSULSANTOS S.R.L, 2010). Su producción tiene consecuencias financieras significativas para los países exportadores (Schwan *et al.*, 2012). El beneficiado de café es un conjunto complejo de operaciones de procesamiento agrícola, su proceso implica la eliminación sucesiva de la piel de color rojo más externa y la pulpa del fruto del café; seguido de eliminación del mucílago; recubrimiento de pergamino; y finalmente, la película plateada que rodea el grano de café

verde (Spiller, 1997; IICA, 2010). En la figura 2 se muestra un diagrama de la sección transversal de la fruta de café.

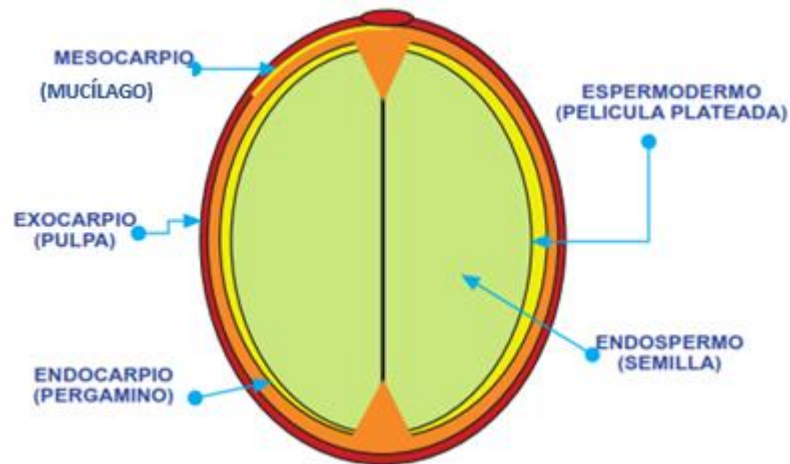


Figura 2. Diagrama de la sección transversal de un grano de café

Fuente: (IICA, 2010)

Para la realización del beneficiado de café existen dos procesamientos: el método húmedo (café lavados) y el método seco (proceso natural) (Spiller, 1997). El método húmedo consiste en recoger los frutos maduros y procesarlos para eliminar la pulpa; el mucílago para realizar el lavado para su posterior secado. El café preparado por este método se llama café pergamino y se practica en los países: Colombia, Kenia, India y en la mayoría de América del Sur y Central, pero presentan un problema asociado: el gran volumen de agua que se consume (Raghavan y Ramalakshmi, 2003).

El beneficiado por vía húmeda es reconocido mundialmente por su fino, suave, y delicado sabor, gracias a todas las etapas que se realizan para obtener café de calidad diferenciada. Justamente, esto es lo que lo distingue del café de beneficiado por vía seca (Raghavan y Ramalakshmi, 2003; IICA, 2010).

2.2.1 Etapas del beneficiado húmedo del café

2.2.1.1 Recolección del café en el campo

La forma ideal para la recolección de café es cosechar todas las cerezas maduras frescas con el menor daño posible al árbol, ya que se realiza manualmente de manera selectiva (Brando y Brando, 2014).

2.2.1.2 Recibo del fruto en el beneficio

Es la primera operación que se realiza en el Beneficio. Se hace en un cuba-sifón tradicional que cumple con la función del recibo de café sumergido en agua. El tanque sifón consiste, generalmente, en una pirámide invertida truncada de cuatro lados, con una inclinación de 45 grados, para facilitar el movimiento de la masa del fruto de café (Anacafe, 2005). En el fondo de la sección triangular se localiza una salida usualmente de una tubería de 100 mm de diámetro, por la acción hidráulica del principio de vasos comunicantes, succiona el café de mayor peso por el fondo de este tanque. Además, en la parte baja del sifón se hace entrar agua que reemplaza el agua evacuada por la tubería que succiona tanto el agua como el grano desde el fondo del tanque (IICA, 2010).

2.2.1.3 Clasificación del grano de café en fruta

IICA (2010) describe que el objetivo principal de la clasificación del café fruta es la separación de los frutos defectuosos. Se pretende evitar su mezcla con el resto de frutos sanos en el despulpado; también, si los frutos pequeños se han separado previo el despulpe será más eficiente y el proceso de secado se favorecerá por la uniformidad de tamaño de los granos.

La técnica más tradicional, para clasificación y separación del café defectuoso, es el sifón clasificador de flotes que funciona con la inmersión de la masa de café dentro de esté lleno de agua. Su objetivo es eliminar el grano llamado bellota o fruto seco y los granos vanos que flotan en el sifón de clasificación; sin embargo, se tiene que hay frutos sanos y de tamaño normal que también flotan debido a que su pulpa se ha fermentado ligeramente (Cleves, 1995).

Además, en esta operación se deben remover objetos y materia extraña que durante la cosecha y el transporte de café fruta se introducirán en la masa de café. Para la remoción de los cuerpos extraños se utilizan los despedradores que cumplen la función de separar los materiales pesados, de una corriente de café fruta transportado por una corriente de agua a través de una canaleta y que en el fondo de esta hay una serie de compartimientos, donde la corriente de agua arrastra el café en fruta, pero las piedras y los objetos sólidos pesados se hunden en los compartimientos (IICA, 2010).

2.2.1.4 Despulpado del fruto

El objetivo del despulpado es separar la pulpa (piel exterior) del grano y una parte importante del mesocarpio, por medio de fricción (Brando y Brando, 2014). Esta operación se efectúa través de máquinas despulpadoras que aprovechan la cualidad lubricante del mucílago del fruto mediante el estrujamiento del fruto entre dos superficies en movimiento relativo (Anacafe, 2005).

El café despulpado, con un remanente importante de mieles, continúa hacia el proceso de desmucilaginado. Es importante que el despulpado se realice correctamente (sin daños en el pergamino y el grano oro), ya que influye directamente en la calidad del grano y en el rendimiento que se desea alcanzar (CONSULSANTOS S.R.L, 2010).

El despulpado se puede realizar en seco o con agua. Según el estudio de (Anacafe, 2005) el proceso de despulpado en seco contiene diferentes ventajas, por ejemplo: reducir el tiempo de fermentación del café pergamino despulpado, evitar la contaminación del agua y la preservación de los nutrientes orgánicos de la pulpa. Además que con el despulpado en seco permite el transporte no hidráulico de la pulpa, el cual es el responsable de bajar la generación de contaminantes en un 50 %.

Para el despulpado del fruto existen diferentes tipos de despulpadores. Entre estos se hallan los despulpadores de cilindro horizontal; de cuchilla; y de cilindro vertical. No obstante, los más utilizados son los despulpadores de cilindro horizontal; que consisten esencialmente en un cilindro giratorio, recubierto con una camisa estampada y un pechero que puede ser fabricado en hule o en metal.

Los frutos de café caen sobre el cilindro en rotación. Son arrastrados por su movimiento para confrontar la pechera contra la cual son estrujados y sometidos a un esfuerzo cortante; de modo que, las fuerzas de presión y fricción (en movimiento) provocan el desprendimiento de la pulpa; además, la pulpa es atrapada por las ponchaduras de la camisa, mientras el grano es retenido por una cuchilla. La regulación de la distancia entre la pechera y el cilindro se hace mediante tornillos de ajuste dispuestos a este propósito (IICA, 2010).

2.2.1.5 Extracción de la pulpa

La pulpa representa aproximadamente el 40% en peso del fruto de café y es el subproducto más voluminoso del proceso de beneficiado húmedo (Anacafe, 2005). En la actualidad la extracción de este subproducto se realiza de forma mecánica por medio de un tornillo helicoidal o "sin fin". A su vez se combina a este proceso, el despulpado en seco para aprovechar de mejor manera la cantidad de nutrientes que contiene y al mismo tiempo evitar la contaminación que esta puede generar al ambiente.

2.2.1.6 Clasificación y limpieza del grano en pergamino en baba

La clasificación del café pergamino tiene como meta separar los frutos de café no despulpados, granos dañados, los restos de pulpa y otros materiales extraños. El objetivo de esta clasificación es obtener café pergamino limpio de calidad homogénea. Además, producir la separación del café en al menos dos tipos diferenciados por la calidad del grano (IICA, 2010).

En la figura 3 se muestra el esquema o modelo de clasificación de la producción del café que se debe dar en un beneficiado húmedo.

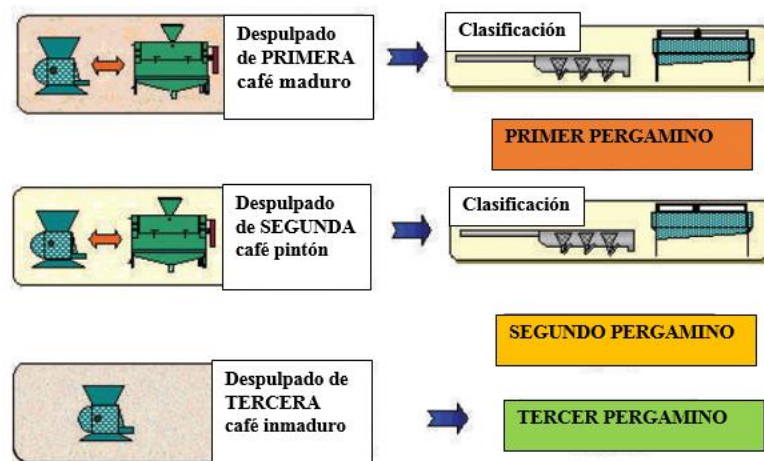


Figura 3. Sistema de clasificación del beneficiado húmedo tradicional

Fuente: (IICA, 2010)

2.2.1.7 Cribas rotativas

Las cribas rotativas son un equipo que combina la clasificación por densidad y por tamaño cuando se utiliza en un tanque lleno de agua. Es la máquina más eficiente para clasificar el café, que consiste en un cilindro de varillas de 6,25 mm de diámetro separadas entre sí de

11 a 12 mm, que gira horizontalmente a una velocidad de 15 a 20 rpm y que está formado por un depósito metálico con lámina de hierro galvanizado (Anacafe, 2005).

2.2.1.8 Remoción del mucílago

El mucílago forma parte del mesocarpio del fruto. Está constituido mayoritariamente por azúcares y sustancias pépticas que provocan su condición de hidrogel, se constituye en una sustancia altamente higroscópica que dificulta el secado del grano de café; por lo que el desprendimiento del mucílago que cubre la semilla de café es una práctica obligada anterior al proceso de secado (Vásquez y Hidalgo, 1990). La remoción del mucílago se puede realizar por fermentación seguida por lavado o por la fricción fuerte en máquinas llamadas removedores de mucílago (Avallone *et al.*, 2001).

2.2.1.8.1 Formas de remoción del mucílago

2.2.1.8.1.1 Desmucilaginado mecánico

Consiste en eliminar el mucílago por medios físicos o mecánicos y su posterior lavado. Con este método se reduce el consumo de agua, además se logra establecer un flujo continuo del proceso y se incrementan los rendimientos en el proceso sin afectar negativamente la calidad de taza (CONSULSANTOS S.R.L, 2010).

En la utilización de este tipo de práctica, el desprendimiento del mucílago se realiza en una cámara con un dispositivo. Al rotar genera esfuerzos cortantes en la masa y fricción entre los granos; a medida que se incrementa la velocidad de giro de un rotor dentro de una carcasa fija. Por ende, los esfuerzos, principalmente cortantes, que actúan sobre la superficie de los granos de café y la frecuencia de colisiones entre ellos, aumentan y generan mayores tasas de desprendimiento del mucílago.

La eliminación del mucílago no es totalmente efectiva. Quedan residuos en la superficie del pergamino, además de los que quedan en la hendidura del grano. A esta hendidura no puede desprendérsele el tejido mucilaginoso porque es imposible la acción física de fricción en esta zona del grano.

2.2.1.8.1.2 Fermentación

La fermentación natural es un proceso biológico. Consiste en transformar el mucílago en una sustancia soluble en agua a través de la acción de enzimas propias del grano y de microorganismos (hongos, levaduras y bacterias) que se alimentan del azúcar de la pulpa y del mucílago. Estos microbios se multiplican con extremada rapidez y producen sustancias llamadas enzimas que desprenden el mucílago (Schwan *et al.*, 2012).

La fermentación debe ser controlada, debe ocurrir de manera alcohólica y no acética. El mucílago se descompone en la fermentación que para el caso de la especie *C. arábica* se completa en un tiempo aproximado de 24 a 36 horas (Raghavan y Ramalakshmi, 2003).

La fermentación del café pergamino despulpado se lleva a cabo en tanques abiertos, bajo techo y puede efectuarse mediante tres sistemas: en seco; bajo agua; o combinando los primeros dos sistemas (Anacafe, 2005).

2.2.1.8.2 Diferencia en la calidad del café por el tipo de remoción del mucílago

Por un lado, estudios realizados indican que no hay diferencia perceptible en la calidad de la tasa, ya sea que el mucílago sea removido mecánicamente o por fermentación natural, Brando (2004). Por otro lado, Vásquez y Hidalgo (1990), en su estudio, determinan que el desmucilaginado mecánico de café y el secado inmediato del mismo, mejoran la acidez y el cuerpo del café, sin afectar el aroma. Además, este tipo de desmucilaginado solo se debe realizar cuando se tiene suficiente capacidad del secado, ya que la espera al secado mayor

de seis horas, desmejora la acidez del café y provoca pérdidas mayores de rendimiento que las ocurridas en la fermentación natural. Por último concluyen que el desmucilaginado mecánico del café y su secado inmediato provocan aumentos del rendimiento del café, esto si se compara con el que se obtiene por fermentación natural del orden del 1,94%.

Varias investigaciones realizadas por el Instituto del Café de Costa Rica (CICAFE); el Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE); y la Fundación de Investigación del Café de Kenia, han realizado pruebas de catación. Estos entes han utilizado café procesado por los dos métodos y obtuvieron como resultado que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el café por fermentación natural y el procesado por desmucilaginado mecánico. La investigación más reciente de USAID/SPREAD de proyecto en Rwanda (África) en el 2009-2009, reportan los mismo resultados que las investigaciones anteriores (Brando & Brando, 2014).

2.2.1.9 Lavado y Clasificación del café pergamino sin baba

2.2.1.9.1 Lavado del café sin mucílago

Después de la remoción del mucílago, el café se somete a un proceso de lavado para eliminar los residuos de la fermentación (Anacafe, 2005). Esta operación es indispensable, pues en el curso del escurrimiento del grano, previo al secamiento del café pergamino, los mucílagos adheridos a la superficie del grano pueden experimentar una pos-fermentación que dañaría la tasa.

2.2.1.9.2 Clasificación del café sin mucílago

Este procedimiento es indispensable para la preparación de café de excelente calidad. Corresponde a un proceso de mejoramiento de la calidad en el que el factor de clasificación físico de peso o densidad es el que establece la posibilidad de separar varias fracciones.

2.2.1.9.2.1 Canal de clasificación y correteo hidráulico

Su objetivo es efectuar la clasificación por densidad, además completar el lavado parcialmente efectuado durante el trasiego. Su uso ha disminuido debido al alto volumen de agua que se consume, el cual ronda de 20 a 25 m³ por cada 100 kilogramos de café oro (IICA, 2010).

2.2.1.9.2.2 Lavado por bomba centrífuga (mecánico)

Se utiliza una bomba centrífuga de impulsor abierto que permiten movilizar una masa de agua y café, en proporciones de 60% agua y 40% de café. Con la acción de los rodetes en rotación sobre la masa de café que se empuja entre el impulsor y la carcasa, se produce un efecto de lavado. Por consiguiente, las aguas residuales utilizadas para la movilización se convierten en las aguas residuales de lavado (IICA, 2010).

2.2.1.9.2.3 Canal de clasificación tipo cuello de ganso y caño colombiano

Es una alternativa muy usada en el país a partir de la década de los años 80. Su principal característica es su gran capacidad de proceso, debido a que funciona en flujo continuo.

La clasificación se realiza de la siguiente forma: una vez que el café es introducido al canal recorre un tramo suficiente largo, para que se estabilice el flujo y se estratifique la masa de grano, así las espumas o boras tienden a flotar en la corriente de agua y los granos de mayor densidad se desplazan por el fondo del canal. Al final del tramo de estabilización, el canal tiene unas aberturas en el fondo que provoca la salida del café que viaja en la parte inferior de la masa por efecto de succión hidráulica.

Estas salidas se distribuyen a lo largo del canal y por debajo de cada salida se ubica un pequeño tanque que recibe los granos que se hunden para luego ser evacuados por medio de

un tubo que permite la variación de la altura de la boca de salida, en relación con el nivel del fondo del canal.

2.2.1.10 *Presecado y secado*

El café después del proceso del lavado adquiere un contenido de humedad de 55 a 60 %. Este porcentaje es necesario reducirlo antes de la etapa de secado, con el fin de disminuir el tiempo de operación y los costos de energía. Por ende, se realiza el presecado (CONSULSANTOS S.R.L, 2010).

El proceso de secado del grano es la remoción de la humedad del producto hasta alcanzar un contenido de humedad adecuado. De manera que, durante el almacenamiento la disminución de la calidad del producto por microorganismos u otros agentes sea prácticamente despreciable y pertinente al alcanzar el punto de contenido de humedad comercial que es del rango de 10-12% para el grano oro (Anacafe, 2005).

Para la remoción de la humedad o secado existen dos formas para su realización de forma natural (secado solar) o de forma mecánica. A saber:

2.2.1.10.1 Secado en forma natural

El secamiento al sol es la práctica más común, en lugares donde puede aprovecharse la energía solar y la energía propia del aire (Anacafe, 2005). Tradicionalmente valorado como el mejor método para el secado a punto del café, por una serie de ventajas que se le atribuyen en términos de la calidad que adquiere el grano (CONSULSANTOS S.R.L, 2010).

2.2.1.10.2 Secado mecánico

Este tipo de secado consiste en hacer pasar una corriente de aire impulsada por un abanico a través de la masa de grano. El aire puede ser a temperatura ambiente o calentado de manera que la temperatura sea mayor al ambiente, para tener mayor capacidad de secado (CONSULSANTOS S.R.L, 2010).

El proceso de secado mecánico se realiza a través de secadoras tipo guardiola. Estas consisten o cuentan con una fuente de calor; un ventilador para forzar el aire caliente a través del grano; y con estructura cilíndrica en compartimientos; donde se coloca la carga de café por secar (Anacafe, 2005).

2.2.1.11 Almacenamiento

El almacenamiento de granos constituye una de las labores primordiales para la conservación de los mismos. Desarrollan papeles estrechamente relacionados con la temperatura; humedad relativa del ambiente; y el sitio del almacenamiento; debido a que el café no se utiliza inmediatamente. Por tanto, si no se almacena en ambientes controlados puede deteriorarse y provocar el defecto “sabor a viejo” (Anacafe, 2005).

De acuerdo con lo anterior, la conservación correcta, del grano, debe tener características de ambientes fresco con temperaturas máximas de 20°C y humedades relativas alrededor del 65% (Anacafe, 2005).

2.2.2 Consumo de agua en el proceso de beneficiado húmedo del café

Anteriormente, el beneficiado húmedo de café era una industria de las que más consumía agua y ocasionaba contaminación al medio ambiente en el país. Por lo que, el ICAFE en el año 1997 tuvo que formular el “Convenio interinstitucional para la descontaminación de las

aguas residuales del beneficiado del café”. Este convenio contaba con cuatro etapas para reducir la contaminación generada en esta agroindustria y a la vez reducir el consumo de agua considerablemente (Vásquez, 1997).

Las etapas involucraban cambios importantes en el proceso del beneficiado, con la utilización de tecnología limpia. Se describen las diferentes etapas:

- 1. Reducción del uso del agua en el beneficiado:** disminuir en consumo de agua en un 75 %.
- 2. Reducción de sólidos pequeños de las aguas residuales del beneficiado:** el empleo de tamices finos, de acero inoxidable para recuperar sólidos mayores a 0,75 mm de grosor.
- 3. Disminución del 50% de los sólidos suspendidos:** esto conlleva al despulpado en seco de las cerezas y el transporte hidráulico de la pulpa.
- 4. Tratamiento anaerobio de las aguas:** reducir la contaminación en 80% en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

Con estas etapas se trató de reducir el consumo que se empleaba sin ningún control de 15,5 litros de agua/kg de fruta beneficiada a 3,87 l/kg de fruta beneficiada. A su vez, en algunos se logró una disminución mayor al nivel de 1.55 l/kg de café fruta, equivalente a un consumo de agua de 400 l/fanega de café fruta procesada (Vásquez, 1997). En la actualidad el ICAFE maneja el dato de consumo promedio de agua para un beneficio húmedo tradicional con desmucilaginado por fermentación de 500 litros por fanega de café fruta procesada, valor que está en el rango que se pretendía alcanzar con el convenio inicial de 1997.

Los principales objetivos de las nuevas tecnológicas utilizadas, en el proceso del beneficiado húmedo, son: la reducción del consumo y evitar la contaminación. Debido a que se está consciente de que el problema en el proceso de beneficiado ha sido el uso excesivo del agua (Anacafe, 2005). Por consiguiente, los principales métodos para reducir el consumo de agua

(utilizados actualmente) son el despulpado en seco, la eliminación mecánica del mucílago, transporte del grano y pulpa de forma mecánica y la recirculación de agua.

2.2.2.1 Recirculación de agua

La recirculación del agua consiste en retornar el agua de proceso de despulpado y lavado a los procesos, se utiliza una bomba centrífuga de caudal (Anacafe, 2005). En Costa Rica, la recirculación de las aguas no solo es obligatoria, para lograr la viabilidad económica del tratamiento de las aguas residuales del café, sino también para reducir el consumo de agua en el proceso y que inhibe la generación de contaminantes de la pulpa; por consiguiente, se entrega una pulpa más rica (Vásquez, 1997). Finalmente, investigaciones del ICAFE indican que la recirculación disminuye la liberación de sólidos por la pulpa hasta en 30% (Vásquez, 1993).

Para el proceso de recirculación se deben utilizar separadores de agua o escurridores de pulpa que cumplen la función de separar el grano y la pulpa del agua (figura 4).

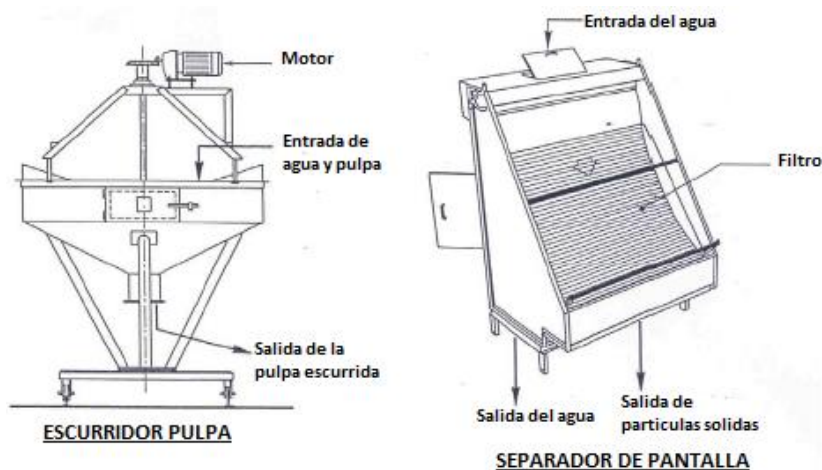


Figura 4. Diagramas del escurridor de pulpa y del separador de pantalla

Fuente: (Traducida de FAO, 1994)

2.3 Aspectos generales de la cosecha de agua de lluvia

2.3.1 Definición

Existen numerosas definiciones de captación de agua. Por un lado, Oweis *et al.* (1999) define la cosecha de agua como un proceso de recolección del agua de escorrentía de una zona amplia de captura para ser aplicada a una zona más pequeña, en campos de agricultura, para uso doméstico y para riego suplementario. Por otro lado, según FAO (2000) la captación de agua de lluvia está definida como la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo, puede lograrse de las superficies de tejados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras.

En otra acepción según FAO (2013b) se entiende por captación y aprovechamiento del agua de lluvia todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, surgido de la iniciativa de los agricultores o desarrollado científicamente, para de aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas; con el objetivo de que pueda ser utilizada posteriormente bajo condiciones de déficit de lluvias.

La captación de agua de lluvia es la recolección de agua que escurre en forma superficial con propósitos de consumo humano; productivo; y conservación ambiental; para el bienestar socioeconómico y ambiental de los usuarios. En la captación de agua de lluvia para fines domésticos se acostumbra utilizar la superficie de techo como captación, conocido este modelo como SCALL (UNATSABAR, 2003; Canelo, 2006).

2.3.2 Características de sistemas de cosecha de agua de lluvia

Oweis y Hachum (2006) indican que la cosecha de agua se divide en dos grandes ramas. La primera se refiere al agua de escorrentía y la segunda se trata de cosecha de agua para riego suplementario. También, Aladenola y Adeboye (2009) mencionan que la recolección del

agua pluvial se puede clasificar en dos grandes categorías: con base en tierra y con base en las superficies de los techos. Se señala que es una medida para reducir el impacto del cambio climático en los suministros de agua.

La captación de lluvia puede ser considerada como una forma rudimentaria de riego, al usar surcos, canales, etc. No obstante, la diferencia es que la idea de la captación está en el control sobre la aplicación del agua colectada y no está sujeta únicamente al momento en el que llueve; además, existen gran variedad de técnicas relacionadas con sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Dichas técnicas se pueden clasificar con base en sus diferentes fuentes; tipo de escorrentía; técnicas de manipulación; tipo de almacenamiento; y a los diferentes usos que se le da al recurso (FAO, 2000).

La cosecha del agua de lluvia, en conjunto con los esfuerzos por mejorar la productividad agrícola y la rentabilidad en las zonas de secano en África y Asia (Rockström *et al.*, 2010) tiene gran potencial para contribuir a la reducción de la pobreza. Además, debido a la disminución de la disponibilidad y calidad de los recursos tradicionales de agua, el agua de lluvia recolectada se utiliza cada vez más para fines no potables (Mendez *et al.*, 2011).

2.3.3 Componentes de un sistema de cosecha de agua SCALL

Existen muchos elementos que pueden integrarse a un sistema de captación y aprovechamiento de lluvia. Sin embargo, los básicos están en función de la captación; conducción; lavado de los techos; y almacenamiento y distribución del agua. De igual forma, se pueden incluir componentes adicionales para mejorar o mantener la calidad del agua recolectada (Velázquez, 2012; Kinkade, 2013).

2.3.3.1 Área de captación

El área de captación para un sistema, tipo SCALL, está conformado por el techo de la edificación. El mismo debe tener una pendiente no menor al cinco por ciento en dirección a las canaletas de recolección del agua de lluvia (UNATSABAR, 2003). Para el cálculo del área de captación, se debe utilizar solamente la proyección horizontal del techo (UNATSABAR, 2001).

En los sistemas de cosecha de agua de lluvia, se debe considerar el coeficiente de escorrentía del área de captación, que varía según el material o tipo de superficie. Se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes de escorrentía

Tipo de captación	Ce
Cubiertas superficiales	
Concreto	0,6-0,8
Pavimento	0,5-0,6
Geomembrana de PVC	0,85-0,90
Azotea	
Azulejos, teja	0,8-0,9
Hoja de metal acanalada	0,7-0,9
Orgánicos (Hojas en barro)	<0,2
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 10 %	0,0-0,3
Superficies naturales rocosas	0,2-0,5

Fuente: (CIDECALLI-CP, 2007)

Los materiales del techo para la captación del agua de lluvia deben ser de un material liso, no poroso. Este material mejora la eficiencia de su sistema al absorber menos agua y reduce la posibilidad de que los microbios y los desechos se acumulen en los poros y costuras del techo. El material para recubrir el techo (pintura o sellador) debe estar certificado bajo NSF protocolo P151 o por ANSI/NSF estándar 61 (TCEQ, 2007).

La obtención del área de captación del agua de lluvia, de un sistema SCALL, se obtiene con la ecuación:

$$A = a \times b$$

Ec. 1

Donde,

A: área de captación (m²)

a: ancho del techo (m)

b: largo del techo (m)

2.3.3.1.1 Idoneidad del techo metálico como superficie para captar agua de lluvia

La cosecha de agua de lluvia por medio de los techos generalmente produce agua con niveles más bajos de contaminantes químicos y biológicos que la recolectada superficialmente del suelo (TCEQ, 2007).

Primero, Farreny *et al.* (2011), determinan que la pendiente y el material o rugosidad del techo, son factores que deben considerarse para promover la captación del agua de lluvia y su fuente alternativa de consumo para usos no potables. Techos con buena inclinación y coeficiente de escorrentía alto, maximiza la cantidad de agua recolectada y su calidad se ve influenciada.

Segundo, Lee, Bak, y Han (2012) concluyen que el techo con láminas de acero galvanizado, es el tipo de techo más adecuado para la recolección del agua de lluvia. Debido a la calidad del agua resultante tanto en sus parámetros físicos y químicos y micro-biológicos (coliformes totales, E. coli y Enterococos).

Finalmente, Mendez *et al.* (2011), determinan que el agua recolectada de los techos de metal son de mejor calidad. No obstante, los techos de concreto y techos verdes, son opciones alternativas para su utilización en la captura del agua de lluvia. Se concluye que el material del techo es una consideración importante en los sistemas de cosecha de agua de lluvia.

2.3.3.2 *Sistemas de conducción*

El material del sistema de conducción debe ser liviano; fácil de unir entre sí; de un material que no altere la calidad físico-química del agua recolectada; y que cumpla con los normas o requisitos de ANSI/NSF (UNATSABAR, 2001; TCEQ, 2007).

El artículo 8.7 del código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (Morales *et al.*, 2010), describe que para determinar los caudales de diseño de los sistemas de desagüe de aguas pluviales en edificaciones, se utiliza la ecuación del método racional. Expresada:

$$Q_c = \frac{C_e * A * i}{3600}$$

Ec. 2

Donde,

Q_c : caudal de escorrentía (m^3/s)

A: área de techo (m)

C_e : coeficiente de escorrentía

i: intensidad de la lluvia (m/hr)

2.3.3.2.1 Tuberías verticales de conducción (bajantes)

Se deben utilizar tubos de plásticos certificados con la norma 14 ANSI/NSF o estándar 61. Asimismo, pintar el exterior de la tubería que se expone a la luz solar con el fin de protegerlo

de los rayos UV. Si se utiliza otro material de tubería, debe ser certificado bajo la Norma 14 o Norma 61 (TCEQ, 2007).

Para determinar el diámetro de los bajantes, la ecuación se expresa como:

$$D = 2 * \sqrt{\frac{Q_c}{\pi v}}$$

Ec. 3

Donde,

D: diámetro de la tubería de los bajantes (m)

Q_c: caudal de escorrentía (m³/s)

Π: 3,1454

v: velocidad máxima de flujo (m/s)

El artículo 8.10 del código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias de Costa Rica (Morales *et al.*, 2010), especifica el caudal máximo que debe transportar cada tubería. En la tabla 2 se observa el caudal máximo y el factor de área por diámetro de bajante, mientras que en la tabla 3, se muestra una relación del diámetro de bajante por factor de área.

Tabla 2. Caudales máximos en los bajantes de agua de lluvia

Diámetro (mm)	Caudal máximo (l/s)
50	0,9
63,5	1,7
75	2,5
100	5,1
125	8,9
150	14,1
200	28,9

Fuente: (Morales *et al.*, 2010)

Tabla 3. Bajantes por factor de área de techo

Diámetro del bajante (mm)	Factor de área (m²)
50	20
75	60
100	120

Fuente: (Morales *et al.*, 2010)

2.3.3.2.2 Canaletas

Las canaletas deben tener una pendiente mínima de un 1,0 % (TCEQ, 2007). El ancho mínimo de la canaleta debe ser de 75 mm y el máximo de 150 mm (UNATSABAR, 2003). Además, en el artículo 7.20 del código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (Morales *et al.*, 2010), se especifican las diferentes consideraciones que se deben tener para el diseño de las canaletas como lo son:

El diámetro de un conducto horizontal de desagüe. No podrá ser menor que el de cualquiera de los orificios de salida.

1. El conducto deberá funcionar a canal abierto con velocidades entre 0,6 y 2,5 m/s.
2. Para el caudal del diseño, la descarga llenará como máximo la mitad de la altura del colector en condiciones de flujo uniforme o 3/4 partes de la altura del colector.
3. En el caso de conductos de descarga y colectores de menos de 150 mm, se respetan las pendientes indicadas, que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Pendiente de los conductos de descarga y colectores

Diámetro (mm)	Pendiente mínima (%)
50	2,0
75	2,0
100	1,5
150	1,0
200	1,0

Fuente: (Morales *et al.*, 2010)

4. Se sugiere la utilización de la fórmula de Manning para la estimación de la sección de la canaleta.

$$Q_p = A \frac{1}{n} R^{\frac{1}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Ec. 4

Donde,

Q_p: flujo en la canaleta (m³/s).

A: área de la sección transversal (m²).

n: coeficiente de rugosidad de la canaleta (PVC=0,01 y hierro galvanizado=0,016)

R: radio hidráulico (m)

S: pendiente (decimal)

2.3.3.3 Sistema de pre-filtrado

El sistema de pre-filtrado se utiliza en los sistemas SCALL. Se emplea para eliminar los sedimentos y contaminación provenientes de las superficies de los techos y que se arrastre hasta la zona de almacenamiento. En estos sistemas se utilizan los interceptores de primeras aguas que cumplen esta función de manera eficiente.

El concepto del dispositivo de interceptor de las primeras aguas es para desviar o eliminar la primer parte del volumen de agua descargada de la superficie de techo durante una tormenta, debido a que contiene la proporción principal de contaminantes de la superficie de los techos (Bertrand-Krajewski *et al.*, 1998).

Este dispositivo elimina el polvo; cantidades de bacterias de insectos descompuestos; lagartijas; excrementos de animales; y otros contaminantes que se acumulan en la superficie del techo en la temporada seca. Asimismo, elimina el volumen inicial del agua contaminada

que fluye en un techo después de una tormenta para que el llenado del tanque de almacenamiento se realice con agua limpia (Doyle, 2008).

El volumen de agua desviada, para cada sistema en particular depende de distintos factores: del riesgo aceptable para los usuarios finales de agua; de las características del sitio; y del valor del agua en su uso final. Además, se consideran los diferentes factores específicos del lugar como: proximidad de carreteras; distancia de árboles; calidad del material de la cubierta; presencia de aves e insectos; entre otros (Doyle, 2008).

2.3.3.3.1.1 Necesidad y uso de los interceptores de las primeras aguas

Gikas y Tsihrintzis (2012) describen que el uso del sistema de interceptor de las primeras agua de lluvia, mejora la calidad físico-química del agua de lluvia recogida. Sin embargo, no puede evitar la contaminación microbiana del agua de lluvia almacenada. Por lo tanto, es un dispositivo que mejora la calidad del agua de lluvia recolectada y realiza la limpieza de agua para usos no potables.

Asimismo, se menciona que con este sistema, la calidad del agua de lluvia recogida, en relación con sus parámetros físico-químicos, es apropiada para el uso de aguas grises (tanque-inodoro, riego de jardines, etc.). Adicionalmente, estudios realizados por Méndez *et al.* (2011) y Lee *et al.* (2012) determinan que este sistema disminuye las concentraciones de los parámetros de la calidad del agua de lluvia después de su paso por ellos.

2.3.3.4 Almacenamiento del agua de lluvia

Generalmente, existen dos medios para almacenar el agua cosechada. El almacenamiento directo en el perfil del suelo, que generalmente se asocia con la agricultura de escurrentía y el almacenamiento en tanques, cisternas, embalses y reservorios. Las estructuras de almacenamiento deben estar diseñadas para almacenar agua suficiente para satisfacer la

demanda de agua; también debe construirse de tal manera que pueda reducir al mínimo las pérdidas por filtración y evaporación. La elección de almacenamiento del sistema depende de las condiciones locales, topográficas, hidrológicas y del suelo (Oweis *et al.*, 2012).

El almacenamiento de agua en reservorios permite, al productor agropecuario, tener un suministro de agua de buena calidad en la época seca. Los reservorios se pueden construir para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos o para capturar agua llovidas (Salinas *et al.*, 2010).

Además es importante considerar que en algunas ocasiones el almacenamiento es el componente que demanda más espacio y el más caro del sistema de captación de agua de lluvia. Por lo que el criterio principal, es la capacidad de reserva o tiempo que se desea almacenar agua; si se consumirá durante la misma temporada de lluvia; o se concentrará para consumirla durante el período de sequía; o se realizarán las dos acciones: consumirla durante y guardar una reserva para el final de la temporada de lluvia (Adler *et al.*, 2008).

Para determinar el volumen de agua que se puede almacenar el reservorio, se utiliza la siguiente ecuación.

$$V = \frac{P * Ce * A}{1000}$$

Ec. 5

Donde,

V: volumen de agua del reservorio (m³)

A: área total de captación de techos (m²)

C: coeficiente de escorrentía

P: precipitación ajustada con probabilidad de ocurrencia (mm)

2.3.4 Aspectos ambientales, legales, sanitarios de las regulaciones en cosecha de agua

Para realizar un proyecto de cosecha de agua, se deben identificar los requisitos legales que deben cumplir en sus diferentes etapas de construcción y operación. Dentro de estos se hallan: la viabilidad ambiental; los permisos de construcción; la concesión de aguas; las regulaciones ambientales, sanitarias y las regulaciones de conservación de suelos (CEMEDE, 2010b).

En Costa Rica el marco institucional que trabaja con los temas de cosecha de aguas y riego es complejo. Existen diferentes instituciones con competencia en la materia como el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA); el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET); Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Ministerio de Salud; entre los principales (CEMEDE, 2010b).

Para ejecutar, cualquier inicio de actividad de obras o proyectos, es requisito indispensable la aprobación de viabilidad ambiental por parte de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA). Además, contar con los permisos de construcción y la licencia por parte de Municipalidad donde está ubicado el proyecto.

Al igual que el anterior, hay requisitos para almacenar el agua y luego ser aprovechada. Se requiere contar con una concesión de aguas de conformidad con el artículo 4 de la Ley de Aguas; y con el artículo 22, 3, 11 de la Ley de Uso, Manejo y Conservación de suelos para aplicar las técnicas adecuadas de manejo de agua para evitar la degradación del suelo por erosión, revenimiento, salinización, hidromorfismo u otros efectos perjudiciales (CEMEDE, 2010b).

2.4 Calidad del agua para el beneficiado húmedo del café

En Costa Rica no existen estándares para la calidad del agua para usar en el beneficiado húmedo del café. Sin embargo, el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (Decreto Ejecutivo No. 33601- MINAE-S del 9 de agosto del 2006) establece la posibilidad de reusar aguas residuales tratadas en algunas actividades, siempre que no sean para consumo humano (artículo 27).

De acuerdo con el (artículo 28) del código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitaria en Edificaciones (Morales *et al.*, 2010), indica algunas de las actividades en las que se puede reusar, el agua residual tratada, incluyen: reúso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta; reúso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previos a su venta; reúso agrícola en cultivos no alimenticios. Por tanto, las leyes respaldan el uso del agua de lluvia para el beneficiado, pues se conoce que la calidad del agua de agua de lluvia, bien tratada, es de buena calidad, con parámetros más altos a los establecidos por el decreto.

Es necesario evaluar la calidad de agua usada para el beneficiado. Tanto en sus características físicas, químicas y microbiológicas; en su frecuencia requerida para garantizar la inocuidad del agua anualmente. Además, se describe que el agua apropiada para utilizar en el beneficiado húmedo del café debe ser inocua; incolora; libre de sedimentos; no tener olor, ni sabor; con un pH de 6 a 7; estar libre de coliformes fecales y hongos. La calidad del agua es importante para no contaminar el grano y es directamente proporcional en la calidad del café final (Quintero, 2006).

2.5 Aspectos generales de la zona

Es de suma importancia conocer las características climáticas de la zona en estudio. Así se proporciona una idea de las características del lugar y de las necesidades de implementar un sistema de almacenamiento de agua, con agua de lluvia de los techos.

2.5.1 Clima

El cantón de Hojancha está ubicado en los cerros de la Península de Nicoya. Basados en los datos obtenidos de precipitación, temperatura y humedad relativa del área de estudio, del Instituto Meteorológico Nacional, se tiene que la zona cuenta con dos estaciones definidas e influenciadas por la vertiente pacífica, con un invierno de mayo a noviembre y un verano seco que se extiende de diciembre a abril.

La precipitación promedio del período 1939-2012 es de 2.154 milímetros. El mes de octubre obtiene mayor precipitación con 396 milímetros y el mes de noviembre menor precipitación.

La temperatura promedio es de 27 °C, en donde los valores más elevados se dan en los meses de marzo y abril y sobrepasan los 28 °C. La humedad relativa promedio es de 76 %.

2.6 Análisis de los datos pluviométricos

La precipitación de la zona es uno de los elementos fundamentales que se debe analizar con cuidado para definir si es, o no, factible realizar la implementación del sistema de cosecha de agua de lluvia. El estudio apto se debe realizar mínimo con datos de precipitación, de al menos diez años y cercanos a la zona de estudio (FAO, 2000).

2.6.1 Análisis estadístico

Para el análisis de los datos pluviométricos, se realiza un análisis estadístico de probabilidad con análisis de frecuencia. Con el fin de determinar la precipitación de diseño que establece la capacidad del almacenamiento del reservorio y de la intensidad máxima de lluvia para el diseño de las obras hidráulicas.

2.6.1.1 Gráficas de Probabilidad

Para determinar la posición de graficación se utiliza la siguiente ecuación:

$$P(X \geq xm) = \frac{m - b}{n + 1 - 2b}$$

Ec. 6

Donde,

m: es la posición (Ranking), que se le asigna a un evento según la secuencia ordenada de los eventos

n: es el tamaño de la muestra (número de años de registro de precipitación)

b: es el valor que depende de la ecuación de graficación utilizada

Chow *et al.* (1994) determinan que para la distribución de Log- Normal y Normal se utiliza b: 0,375 que es la ecuación de Blom, y para la distribución de Gumbel, la mejor fórmula es la de Gringorten con un valor de b: 0,44

P: probabilidad de excedencia

Se tiene que el período de retorno (T) es recíproco a la probabilidad de excedencia (P). Por tanto, este se calcula con la siguiente ecuación:

$$T = \frac{1}{P}$$

Ec.7

El período de retorno de un evento con una magnitud dada, puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o excedan una magnitud específica y que las variables hidrológicas, como la precipitación anual, calculadas como la suma de los efectos de muchos eventos independientes tienden a seguir la distribución normal (Chow *et al.*, 1994).

2.6.1.2 Ajuste de distribución de probabilidad

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. Mediante el ajuste a una distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística en la muestra, puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados (Chow *et al.*, 1994).

2.6.1.3 Análisis de frecuencia cuando se utilizan factores de frecuencia

El análisis de frecuencias busca asignar a cada caudal de creciente una probabilidad (p) de ser igualado o excedido en un año cualquiera. No se debe usar serie de datos de menos de 20 años para su análisis (Linsley, 1984).

La precisión en una serie de datos se refiere principalmente al problema de homogeneidad. Debido a que los datos hidrológicos no son internamente homogéneos, para el análisis de frecuencia esta serie de datos se le debe realizar un ajuste previo para unas condiciones comunes, generalmente para condiciones naturales o para condiciones actuales (Linsley, 1984). Por consiguiente, debido a que las funciones de distribución de probabilidad, no son factiblemente invertibles, se determina el factor de frecuencia, que se aplica a distribuciones de probabilidad utilizadas en el análisis de frecuencia hidrológica (Chow *et al.*, 1994).

La ecuación de factor de frecuencia creada por Chow, se expresa como:

$$x_t = \bar{x} + K * s$$

Ec. 8

Donde,

x_t : es el caudal con una probabilidad dada

\bar{x} : es la media de la serie de precipitación máxima

K : factor de frecuencia definido

s : desviación estándar de la serie

Para el análisis de frecuencia se deben calcular diferentes parámetros estadísticos

- La media: es el promedio \bar{x} de la información de la muestra. Se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ec. 9

- La desviación estándar:

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$$

Ec. 10

- Coeficiente de variación:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}}$$

Ec. 11

- Coeficiente de asimetría:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$$

Ec. 12

2.6.1.3.1 Distribución normal

Se deben calcular diferentes factores para determinar la precipitación ajustada con el factor de frecuencia. La primera variable que se determina es la variable intermedia (w), expresada como:

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}$$

Ec. 13

Con $0 < p < 0,5$

La segunda variable que se determina es la variable normal estándar (Z), con la ecuación 14.

$$Z = w - \frac{2,515517 + 0,802853w + 0,0110328w^2}{1 + 1,432788w + 0,189269w^2 + 0,001308w^3}$$

Ec. 14

Se tiene que para la distribución normal el factor de frecuencia (K) es: $K=Z$

2.6.1.3.2 Distribución log-normal

Para las distribuciones con logaritmos se tiene que utilizar las siguientes ecuaciones:

$$y = \log(x)$$

Ec. 15

$$s_y = \log(s)$$

Ec. 16

Sabiendo que $K=Z$. Por tanto, se obtiene la siguiente expresión:

$$y_t = \bar{y} + K * s_y$$

Ec. 17

La precipitación con la probabilidad dada se obtiene de la siguiente manera:

$$x_t = 10^{y_t}$$

Ec. 18

2.6.1.3.3 Distribución valor extremo tipo I (Gumbel)

Para determinar el factor de frecuencia en la distribución de Gumbel, se utiliza la ecuación:

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0,5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Ec. 19

Determinando el factor de frecuencia, se utiliza la ecuación 8 para determinar la probabilidad ajustada.

2.6.2 Cambio climático y efecto del ENOS

El ENOS es un fenómeno oceánico–atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del Océano Pacífico tropical en la atmósfera circundante. Este fenómeno está relacionado con trastornos climáticos en el mundo. En el ENOS, aparecen dos eventos, depende de las temperaturas superficiales del Océano Pacífico tropical. Estos eventos son: El Niño que se presenta al tener anomalías cálidas y La Niña que se presenta al tener anomalías frías de temperatura (IMN, 2015; IMN, 2015a).

En la tabla 5 se muestran los períodos en los que el Fenómeno El Niño ha estado activo desde el año 1951 al año 2013. Se indica el mes en que se inició y finalizó dicha anomalía, con el objetivo de conocer su influencia o afectación en el Pacífico Norte del país. Esta tabla se encuentra basada en la tabla de (CPC-NOAA, 2015) y al Índice Oceánico de El Niño (ONI).

Tabla 5. Períodos con afectación del fenómeno El Niño

Marzo a Noviembre de 1953
Abril 1957 - Junio 1958
Junio 1963 - Febrero 1964
Mayo 1965 - Juno 1966
Abril 1972- Marzo 1973
Agosto 1976 - Marzo 1977
Julio 1977 - Enero 1978
Abril 1982 - Julio 1983
Agosto 1986 - Febrero 1988
Marzo 1991 - Julio 1992
Febrero 1993 - Setiembre 1993
Junio 1994 - Marzo 1995
Abril 1997 - Abril 1998
Mayo 2002 - Marzo 2003
Junio 2009 - Mayo 2010
Octubre 2014 - Octubre 2015

Fuente: (IMN, 2015b)

La ausencia o disminución de temporales, así como el aumento en la cantidad de días secos, provocan que al finalizar un año, la cantidad de lluvia acumulada sea menor que la cantidad promedio (IMN, 2015b).

2.7 Determinación de la evaporación del embalse

La tasa de evaporación varía, según factores meteorológicos. Entre ellos: radiación solar, temperatura del aire, la presión de vapor, el viento y en menor grado la presión atmosférica. La radiación solar es el factor más importante, además de otros factores de la naturaleza de la superficie evaporante (Linsley, 1984).

Para determinar la evaporación de embalses se utilizan distintos métodos. A saber, balance hídrico; balance energético; métodos aerodinámicos; tanques de evaporación y datos meteorológicos. El más usado es el tanque evaporímetro para determinar la evaporación de embalses (Linsley, 1984).

El método combinado es el método apropiado para aplicarse en áreas pequeñas con información meteorológica detallada. La información requerida incluye la radiación neta, la temperatura del aire, la humedad relativa; la velocidad del viento; y la presión del aire (Chow *et al.*, 1994).

2.7.1 Cálculo de la evaporación por el método combinado

Se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de la evaporación por el método combinado:

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a \text{ (mm/día)}$$

Ec. 20

2.7.1.1 Cálculo de la evaporación por el método del balance de energía (E_r)

Primero, se debe determinar la evaporación por el método del balance de energía (E_r), con la ecuación 20. Se supone que el calor sensible del aire (H_s) y el calor del suelo (G) es cero.

$$E_r = \frac{R_n}{l_v * \rho_w} \left(mm/dia \right)$$

Ec. 21

Donde la radiación neta (R_n) se expresa como:

$$R_n = R_i(1 - \alpha) - R_e$$

Ec. 22

La radiación emitida (R_e) se calcula con la siguiente expresión:

$$R_e = e\sigma T(^{\circ}K)^4 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

Ec. 23

Donde el calor latente de vaporización (l_v), se calcula con la ecuación:

$$l_v = 2,501 \times 10^6 - 2370 * T(^{\circ}C) \left(J/Kg \right)$$

Ec. 24

2.7.1.2 Cálculo de la evaporación por el método aerodinámico (E_a)

La evaporación por el método aerodinámico (E_a) se determina con la expresión:

$$E_a = B * (e_a - e_s) \text{ (mm/día)}$$

Ec. 25

Donde el coeficiente de transferencia de vapor (B) se expresa como:

$$B = \frac{0,622 * k^2 * \rho_a * u_2}{p * \rho_w * (\ln(z_2/z_0))^2} \text{ (m/Pa * s)}$$

Ec. 26

Donde la presión de vapor de saturación se expresa como:

$$e_s = 611 * \exp\left(\frac{17,27 * T(^{\circ}C)}{237,3 + T(^{\circ}C)}\right) \text{ (Pa)}$$

Ec. 27

La presión de vapor del aire (e_a) a la altura de 2,0 m se formula como:

$$e_a = e_s * HR \text{ (Pa)}$$

Ec. 28

Para el cálculo de la evaporación por el método combinado, se debe calcular la constante psicométrica, expresada como:

$$\gamma = \frac{C_p * k_h * p}{0,622 * l_v * k_w}$$

Ec. 29

Por último, se debe calcular el gradiente de la curva de presión de vapor de saturación. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{4098 * e_s}{(237,3 + T(^{\circ}C))^2}$$

Ec. 30

Donde,

E= evaporación por el método combinado (mm/día)

E_r = evaporación por el método del balance de energía (mm/día)

E_a = evaporación por el método aerodinámico (mm/día)

R_n = radiación neta (W/m^2)

R_i = radiación incidente (W/m^2)

R_e = radiación emitida (W/m^2)

l_v = calor latente de vaporización (J/kg)

p = presión de aire (Pa)

T = temperatura exterior del aire

u_2 = velocidad del viento (m/s)

ρ_w = densidad del agua (997 kg/m^3)

ρ_a = densidad del aire ($1,19 \text{ kg/m}^3$)

e = emisividad de la superficie de agua (0,97)

α =albedo de fracción reflejada, con valor de 0,06 para cuerpos de agua, según Chow (1994)

σ = constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$)

K = constante de Van karman (0,4)

B = coeficiente de transferencia de vapor ($m/Pa*s$)

z_2 = altura de 2,0 m

z_0 = altura de la rugosidad de la superficie de agua de la tabla 2.8.2 de Chow (1994)

e_s = presión de vapor de saturación (Pa)

e_a = presión de vapor del aire a z_2 (Pa)

HR= humedad relativa del aire (decimal)

C_p = calor específico del aire a presión constante (J/kg*k)

Relación $K_w/K_m=1$

γ = constante psicométrica

Δ = gradiente de la curva de presión de vapor de saturación

2.8 Determinación de la infiltración

La infiltración se define como el paso del agua a través de la superficie, hacia el interior de la tierra. A la capacidad de infiltración se le conoce como la velocidad con que ingresa el agua en el suelo después de la infiltración. Los factores que determinan esta tasa son la textura; estructura; materia orgánica del suelo; cantidad de agua en el suelo. Se considera que la porosidad no capilar es, posiblemente, el aspecto más importante en la determinación de la tasa de infiltración (Linsley, 1984).

Existen diversos métodos para determinar la infiltración: primero, el de la lluvia artificial, que trata de simular la distribución del tamaño de las gotas; y la velocidad terminal de la lluvia natural; segundo, el método de aplicación por inundación, este se realiza cuando se utilizan anillos concéntricos.

El funcionamiento del método de infiltración de doble anillo concéntrico consiste en que el anillo exterior, cuando se le vierte agua, impedirá que el agua del anillo interior fluya en sentido horizontal. Esto causaría errores en la determinación de la infiltración, en la cual se supone que el flujo del agua es en sentido vertical (Cisneros, 2003).

En la figura 5 se muestra el esquema de infiltración de doble anillo.

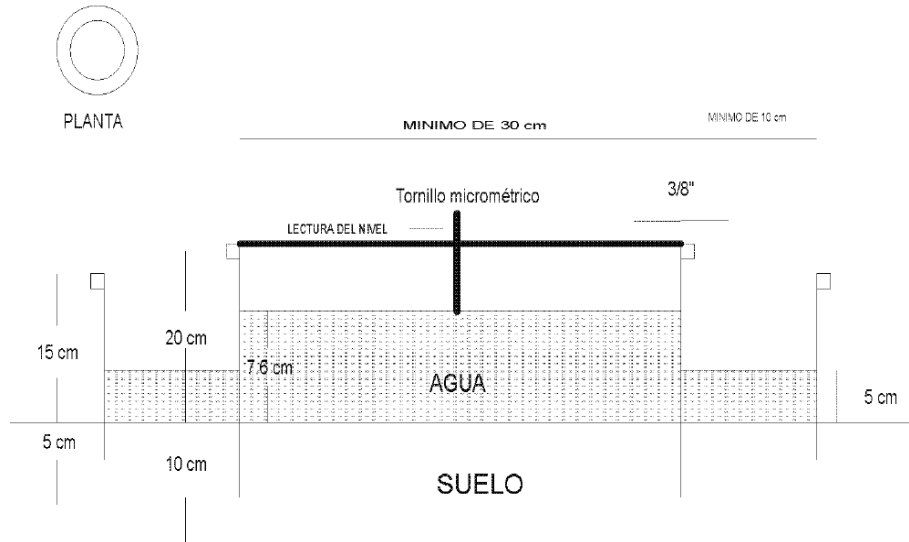


Figura 5. Esquema de infiltración de doble anillo
Fuente: (Cisneros, 2003)

Existen ecuaciones para representar el comportamiento real de los datos experimental de un ensayo de infiltración a nivel de campo. Se destaca la ecuación de Kostiakov-Lewis (Ec. 31) que determina la velocidad de infiltración en un tiempo determinado y con valores ajustados (Cisneros, 2003).

$$I = Kt^n$$

Ec. 31

Donde,

I: velocidad de infiltración (cm/hr)

t: tiempo (min)

k: parámetro que representa la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial (cuando t=1)

n: parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo (-1.0 < n < 0)

Para obtener los coeficientes k y n del modelo de Kostiakov-Lewis, se utiliza el método de regresión lineal simple. Se aplican logaritmos a ambos términos de la ecuación 31, que correspondería a la ecuación de una recta para obtener la ecuación 32.

$$\mathbf{Log\ I = Log\ k + n\ Log\ t}$$

Ec. 32

Se utiliza la siguiente expresión para determinar la velocidad de infiltración promedio (\bar{Y}):

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$$

Ec. 33

El tiempo promedio (\bar{X}), se expresa como:

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

Ec. 34

La variable b_1 , se obtiene con la ecuación:

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

Ec. 35

La variable b_0 , se consigue de la siguiente manera:

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

Ec. 36

Para así lograr la constante K, con la siguiente ecuación:

$$k = \text{antilog } b_0$$

Ec. 37

La constante n, se expresa como:

$$n = b_1$$

Ec. 38

Con el modelo alcanzado de Kostiakov-Lewis se puede calcular la velocidad de infiltración en un tiempo determinado y obtener valores ajustados. Además, con estos valores corregidos y ajustados, al modelo resultante, se pueden graficar para observar el comportamiento de la velocidad de infiltración de los dos modelos.

2.9 Balance hídrico del embalse

Para realizar el balance hídrico del embalse, se debe tener en cuenta el volumen de agua de entrada para su almacenamiento; así como, de las salidas generadas por el tipo de reservorio, como lo son las pérdidas por infiltración; evaporación; y salida o pérdida por el consumo de agua en el beneficiado húmedo.

2.10 Aspectos generales de obras hidráulicas

Se deben realizar diferentes diseños hidráulicos, complementarios a la estructura del reservorio. Tales como: un vertedero de excedencias; sistemas de transporte; y sistema de bombeo.

2.10.1 Conducción de transporte por tubería en gravedad

Para determinar el diámetro de la tubería, se utiliza la totalidad de su caudal. Se sabe que la velocidad máxima en la tubería es de 3,7 m/s y se asume que la tubería está a flujo lleno o completo (USBR, 1978). Para ello, se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_g = \sqrt{\frac{Q * 4}{\pi v_g}}$$

Ec. 39

Donde,

D_g : diámetro de la tubería por gravedad (m)

v_g : velocidad máxima en tubería por gravedad (m/s)

Q : caudal de diseño (m³/s)

También el diámetro se puede determinar con la ecuación de Manning (Ec. 4). Es posible determinarla debido a que en los sistemas de conducción por gravedad, se deben asumir las condiciones constantes de flujo y de canal abierto con un valor de relación del tirante de agua con el diámetro de agua (y/D) de 0,5. En un sistema de tubería por gravedad, la potencia requerida para mover el fluido, es suministrada por la gravedad (Saldarriaga, 1998).

2.10.1.1 *Zanjas para la colocación de la tubería por gravedad*

La colación de la tubería de desagüe del agua (provenientes de los bajantes de los techos) y el sistema conductor hasta el reservorio por gravedad, deben realizarse según lo indicado en el apartado 7.3.5 del código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones de Costa Rica (Morales *et al.*, 2010).

2.10.2 Cajas de registro

El diseño de las cajas de registro se realiza con las normativas y especificaciones del apartado 7.5.2 del código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (Morales *et al.*, 2010), asimismo, de las especificaciones de los detalles constructivos especificados en el Reglamento Técnico para el Diseño y Construcción de Urbanizaciones Condominios y Fraccionamientos del AyA. En la tabla 6 se muestran las dimensiones para el diseño de las cajas de registro.

Tabla 6. Dimensiones para el diseño de las cajas de registro

Profundidad máxima (cm)	Dimensiones interiores de la caja	
	Ancho (cm)	Longitud (cm)
45	35	50
60	40	50
90	50	65
120	65	75
200	60	100
450	80	100

Fuente: (Morales *et al.*, 2010)

2.10.3 Diseño del vertedor de excedencias

Estructuras para el control del nivel del agua y la regulación de descargas son necesarias para muchas obras hidráulicas, como es la obra de embalses o reservorios. Debido a que se pueden generar excedencias de volumen de agua con respecto a la capacidad de almacenamiento del reservorio, que ocasionaría problemas en la infraestructura del mismo. Por lo que, se deben disponer estructuras hidráulicas de control adecuadas a las necesidades particulares de cada estructura, que varían desde vertederos o compuertas, para controlar y conducir el volumen de agua excedente hacia el cauce del río o al sitio donde se aproveche (Sotelo, 1994).

Villón (1995) llama vertedero a un dispositivo hidráulico que consiste en una escotadura a través de la cual se hace circular el caudal que se desea determinar. En la figura 6 se observa el diseño de un vertedero tipo cipolletti, que es de diseño trapezoidal.

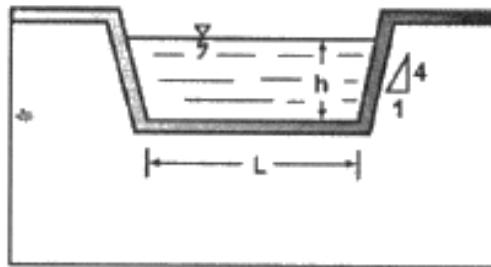


Figura 6. Vertedero de excedencias tipo cipolletti

Fuente: (Villón, 1995)

Para el diseño de un vertedor, se deben conocer los siguientes parámetros:

h: carga sobre el vertedero, espesor del chorro medido sobre la cresta

L: longitud de cresta del vertedero (pared horizontal de la escotadura en contacto con el líquido)

Se utiliza la ecuación 40 para determinar la longitud del vertedero de sección trapezoidal tipo cipolletti,

$$Q = 1,859 L H^{1,5}$$

Ec. 40

Al despejar la ecuación 40, se puede obtener la longitud de la cresta del vertedor:

$$L_c = \frac{Q}{1,84 H^{1,5}}$$

Ec. 41

Donde,

L_c : longitud de la cresta (m)

Q : caudal de diseño (m^3/s)

H : borde libre (m)

2.10.4 Diseño de tubería a presión

La tubería de conducción a presión es la encargada de transportar el agua del reservorio, por el sistema de bombeo, hacia la zona del beneficiado húmedo que se encuentra en un nivel superior. Para determinar los diámetros óptimos de la tubería de conducción, se utiliza la metodología de pérdidas, que consiste en suponer un primer valor de f ; y por el método de Newton determinar el valor constante de f , para calcular las pérdidas de fricción. Por último calcular el diámetro, con la siguiente ecuación (Saldarriaga, 1998).

$$D_b = \sqrt[5]{\frac{8fLQ_b^2}{h_f\pi^2g}}$$

Ec. 42

El cálculo de las pérdidas por fricción en la tubería y su coeficiente de fricción, se determinan con las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Colebrook White, respectivamente (Morales *et al.*, 2010).

La ecuación de Darcy –Weisbach se expresa como:

$$h_f = \frac{fLv_m^2}{D_b} = \frac{8fLQ_b^2}{\pi^2 2gD_b^5}$$

Ec. 43

El coeficiente de fricción se calcula a partir de la fórmula de Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7 * D_b} + \frac{2,54}{\sqrt{f} * R_e} \right)$$

Ec.44

Determinando el diámetro óptimo de diseño, se escoge el inmediato inferior y superior de los diámetros de tubería de PVC, que se encuentran en el mercado. Se utiliza la siguiente ecuación para conocer la longitud del diámetro superior, expresado como:

$$L_1 = \frac{\frac{h_f}{Q_b^n} - k_2 L}{k_1 - k_2}$$

Ec.45

La variable K se expresa como:

$$k = \frac{8f}{\pi^2 g D_b^5}$$

Ec. 46

Donde,

Q_b: caudal de conducción de la tubería a presión (m³/s)

D_b: diámetro interno de la tubería (m)

L: longitud total de la tubería a presión (m)

L₁: longitud de tramo de tubería de diámetro superior (m)

L₂: longitud de tramo de tubería de diámetro inferior (m)

h_f: pérdida por fricción (m)

f: factor de fricción adimensional

C: coeficiente de rugosidad (tabla 6,3 CHIS (1996))

Re: número de reynolds de la tubería =V*D/v , y v es igual a 10⁻⁶ m²/s para agua a 20 °C

ε: rugosidad absoluta del material de tubería (m), (Tabla 6,4 CFIA (1996)

g: aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

v_m : velocidad media, m/s

π : 3,1416

2.10.5 Sistema de bombeo

Para determinar el dimensionamiento de una bomba, se necesitan conocer dos parámetros: el caudal de diseño y la carga dinámica total (HB) que se expresa como:

$$HB = H_{succión} + H_{terreno} + P_o + H_f$$

Ec. 47

Donde,

$H_{succión}$: elevación de la tubería de succión con respecto a la altura inferior del reservorio (m)

$H_{terreno}$: diferencia de nivel del terreno (m)

P_o : presión de operación (m.c.a)

H_f : pérdidas totales de fricción

En las pérdidas totales de fricción se consideran las pérdidas de fricción en tubería (h_f) y las pérdidas locales (h_l), que se deben a todos los accesorios, entradas y salidas que se presentan en un sistema de bombeo. La potencia hidráulica (PH) es la fuerza que debe tener la bomba para realizar dicho trabajo en Watts. Se utiliza la ecuación 48 para determinarla.

$$PH = 9,81 * Q * CDT$$

Ec. 48

Donde,

PH: potencia hidráulica (Watts)

Q: caudal de la bomba (m^3/s)

CDT: carga dinámica total (m.c.a)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Este proyecto contempla diferentes etapas para su realización. Estas corresponden a la recopilación de datos de las cooperativas; caracterización del funcionamiento y equipos utilizados en el proceso; trabajo de campo para la obtener información necesaria; analizar los datos obtenidos y entregados para determinar la viabilidad de la implementación del sistema de cosecha de agua de lluvia; finalmente, analizar la viabilidad económica de la construcción del sistema.

3.1 Medición de consumo de agua de la cosecha 2014-2015

El consumo o volumen de agua utilizado en el beneficiado del café por Coopepilangosta R.L. en la cosecha 2014-2015, se realizó por medio de un hidrómetro marca Arad. El hidrómetro tiene un diámetro de entrada y salida de 100 mm, propio de la empresa y está colocado en la parte posterior al tanque de agua del beneficio. El control del consumo de agua se llevó a cabo durante los tres meses de cosecha de la cooperativa, con la utilización de una boleta (Anexo A.1), en donde se apuntó la marca inicial y final del hidrómetro en cada etapa del beneficiado.

Se realizaron pruebas volumétricas para determinar el caudal de agua limpia, que proporcionan las diferentes tuberías localizadas en puntos estratégicos, para suministrar el agua a los equipos o canales que lo requieren.

3.2 Descripción de los equipos del beneficio Coopepilangosta R.L., para la realización del beneficiado húmedo de café

Para caracterizar y describir el funcionamiento de todos los equipos utilizados en el proceso del beneficiado húmedo del café en la cooperativa Coopepilangosta R.L, se realizaron mediciones y observaciones durante el funcionamiento de los equipos en toda la cosecha

2014-2015. También, se realizó un levantamiento topográfico en la zona de beneficiado húmedo, con una estación total SOKKIA (Modelo SET650X), para determinar las pendientes y diferencias de alturas entre los equipos y determinar la fuerza gradiente del arrastre del agua en todo el proceso.

3.3 Caracterización de las fuentes de agua disponibles para el beneficio

Para ubicar las fuentes de agua se utilizó un GPS marca Garmin y el programa de ubicación satelital Google Earth. Además, se utilizó la herramienta Arcgis 10.0 para la georreferenciación y manipulación de los datos.

3.4 Determinación de la calidad del agua de las fuentes de agua disponible para el beneficio Coopepilangosta R.L.

Las pruebas de calidad del agua se realizaron en el laboratorio de Microbiología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica. Se usó la metodología: Pouch. 2003. Compendium of methods for the examination of food. APHA. Los parámetros que se evaluaron fueron: recuento de filamentos de hongos; coliformes fecales; y E. Coli. Según la bibliografía estudiada, son tres de los parámetros que deben estar ausentes si se quiere obtener café de alta calidad con el beneficiado húmedo.

3.5 Precipitación de diseño para determinar la capacidad del reservorio

Se dispuso de los datos de diversas estaciones meteorológicas cercanas al sitio para determinar la precipitación de diseño. Se contó con una estación del ICAFE, marca “*Davis Vantage Pro2Plus*”, colocada en la cooperativa Coopepilangosta R.L., con un registro de los últimos 3 años. También, se dispuso con los datos de precipitación de un pluviómetro, de la reserva forestal Monte Alto en Hojanca, a una distancia de 8,0 km al suroeste de la zona del

Proyecto; sin embargo, solo proporcionó el registro de los últimos 3 años. Por último, se contó con de los datos de la estación meteorológica, del Instituto Meteorológico Nacional, N° 72101 de Nicoya, extensión agrícola, con una altitud de 120 msnm, una ubicación geográfica de una latitud de 10°08'N, longitud de 85°27'O, y a una distancia de 8,6 km al sureste del beneficio Coopepilangosta R.L.

La estación meteorológica seleccionada para utilizar los datos de precipitación, fue la estación N° 72101 del IMN. Cuenta con un registro de los años de 1949-2014, para un registro de 66 años de datos de precipitación diaria. Por ende, debido al período tan amplio con los que se cuentan, le da validez al estudio hidrológico y estadístico.

En el análisis de datos, se determinó los años que presentan datos faltantes. Con ello se elimina ese año de registro que contaba con datos erróneos, y en consecuencia, solo contar con datos con un registro completo para mayor validación del análisis.

La época lluviosa en la zona de Guanacaste comienza a finales del mes de mayo y termina en el mes de noviembre. El beneficiado en Coopepilangosta R.L., comienza a inicios de noviembre y termina en enero, por lo que se trabaja con los datos de precipitación acumulados de los meses de mayo a octubre, que es la precipitación que el beneficio puede acumular sin salidas. Para los meses de noviembre a enero, también se realizó el análisis con los datos acumulados mensuales.

Para analizar la afectación del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur, en la precipitación de la zona, se utilizó la tabla 5. Se muestran los períodos con afectación del fenómeno en el país. Además, se utilizó el criterio de que un año para ser considerado año con afectación del fenómeno El Niño, tenía que contar con más de 4 meses declarado con el fenómeno en el período de mayo a octubre que es el periodo de lluvia de la zona.

La estimación de precipitación de diseño se realizó con los datos máximos acumulados de precipitación de los meses de mayo a octubre. Basados en un análisis de frecuencia, para determinar la probabilidad de ocurrencia de un 95 %, que se contará con la precipitación de diseño calculada y se ajustan los datos a la distribución de probabilidad que mejor se ajusten. También para los meses de noviembre a enero, se realizó un análisis hidrológico estadístico, para determinar la precipitación con el 95 % de ocurrencia en estos tres meses, para los dos casos de análisis.

3.6 Precipitación para el diseño de las obras hidráulicas

Para el análisis del diseño hidráulico, se seleccionó la precipitación máxima diaria de todos los años de registro. Se realizó una graficación de probabilidad para determinar la distribución de mayor ajuste a los datos. La precipitación de diseño o intensidad máxima se determinará a un período de retorno de 25 años con la distribución de mayor ajuste.

3.7 Cálculo de la evaporación

Se calculó la evaporación que se podría presentar en un reservorio de aguas libres, por el método combinado. Se debe seguir la información del apartado 2.9. Para realizar el cálculo de la evaporación.

Para proporcionar los datos meteorológicos que ocupaba el método, se utilizó la estación Davis2pro ubicada en el beneficio de Coopepilangosta R.L., propiedad del ICAFE, que cuenta con registro de datos cada 15 minutos, por período de dos años de todas las variables a utilizar.

De todos los registros, se obtuvo un promedio mensual diario de las 24 horas, para cada mes. Para sumar la evaporación que se da en los meses de mayo a octubre, que es en los meses donde se almacenará agua de lluvia sin ninguna salida, para así determinar las pérdidas de

agua que se darían, por este efecto natural. Además, en los meses de noviembre a enero, se realizó el cálculo de la evaporación diaria, en esos meses es donde se realiza el beneficiado en Coopepilangosta R.L., así es posible realizar el modelo diariamente de las entradas y salidas del reservorio.

Además se realizó una clasificación con respecto a la ubicación de la estación meteorológica con la norma en común ISO Y OMN 19289:2012 de “Clasificación de emplazamientos de las estaciones Terrestres de Observación en superficie”. Consiste en documentar la presencia de obstáculos cercanos al lugar de las mediciones que ocasione afectaciones en los resultados de los valores obtenidos; con el fin de obtener el error que cuenta los datos, según la clasificación basado en la norma de los siguientes componentes utilizados en el cálculo de la evaporación:

- a) temperatura y humedad del aire
- b) viento de superficie
- c) radiación global y difusa

3.8 Pruebas de infiltración

Se realizaron tres pruebas de infiltración en el reservorio, donde se almacenará el agua de lluvia. Con estas pruebas se determinó, la tasa de infiltración del tipo de suelo del reservorio que conlleva a la decisión de la permeabilización del reservorio para disminuir las pérdidas del volumen de agua.

El método que se utilizó fue el de doble anillos concéntricos, debido a que es el método más adecuado para determinar la infiltración básica y la velocidad de infiltración. Se utilizaron los anillos concéntricos de la escuela de Ingeniería Agrícola, mostrados en la figura 7. El anillo interno, presenta un diámetro de 38 cm y el anillo externo un diámetro de 60 cm, ambos con una altura de 30 cm.



Figura 7. Anillos de Infiltración

Su procedimiento consistió, primero en enterar el anillo interno y externo a una profundidad de 5-10 cm en el suelo. Luego se llenó de agua a una altura aproximada de 5,0 cm el anillo exterior y posteriormente, el anillo interior a una altura aproximada de 7,6 cm.

Se tomaron medidas durante los primeros 20 minutos cada 1 minuto. Debido a la tasa de infiltración tan alta, después se comenzaron a tomar valores cada 2; 3; 4; 5; 10; y 30 minutos, hasta que la tasa de infiltración fuera casi constante.

Se utilizaron los valores de la tabla 7 de la clasificación de magnitud de la infiltración para la clasificación de valores de infiltración.

Tabla 7. Clasificación de magnitud de Infiltración

Clasificación	Magnitud (cm/hr)	Características
Muy Lenta	< 0,25	Suelos con un alto contenido de arcilla
Lenta	0,25 - 1,75	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados
Media	1,75 - 2,50	Suelos migajones arenosos o migajones limosos
Rápida	>2,50	Suelos arenosos o migajones limosos profundos y de buena agregación

Fuente: (Cisneros, 2003)

Se determinó el porcentaje de error, obtenido en la prueba de infiltración experimental (I_{exp}), y a su vez se comparó con el resultado de ecuación de Kostiakov de infiltración ajustada o teórica (I_{teor}), con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ error} = \left(\frac{I_{teor} - I_{exp}}{I_{teor}} \right)$$

Ec. 49

La infiltración ajustada, se determinó con las especificaciones del apartado 2.8, y se calculó un promedio de las tres pruebas realizadas en el área del reservorio.

3.9 Determinación de los componentes del sistema de cosecha de agua de lluvia.

Para el diseño de todos los componentes, que integran un sistema de captación de agua de lluvia se siguieron las especificaciones del apartado 2.3.

3.9.1 Bajantes

El diámetro de los bajantes se determinó con la ecuación 3 y su resultado se corroboró con la tabla 1106.2 del código Internacional de Plomería. Además, al considerar el caudal máximo para el diámetro determinado de la tabla 2, y con base en la tabla 3, del factor de área por capacidad de bajante, se determinó el número de bajantes que se utilizan para cada techo.

3.9.2 Canoas

La dimensión de las canoas se realizó con el apartado 2.3.3.2.2 y su resultado se corroboró con la tabla 1106.3 del código Internacional de Plomería.

3.10 Diseño del sistema de pre-limpieza.

Para la limpieza de los techos, se utilizaron los filtros Vortex Wisy (WFF) de la marca Rainwater Management Solution (RMS). Para la selección del modelo, se utilizó el gráfico de índice de eficiencia y cuadro de rendimiento de los filtros Wisy, que se muestra en la figura 8, basado en el caudal de descarga en galones por minuto.

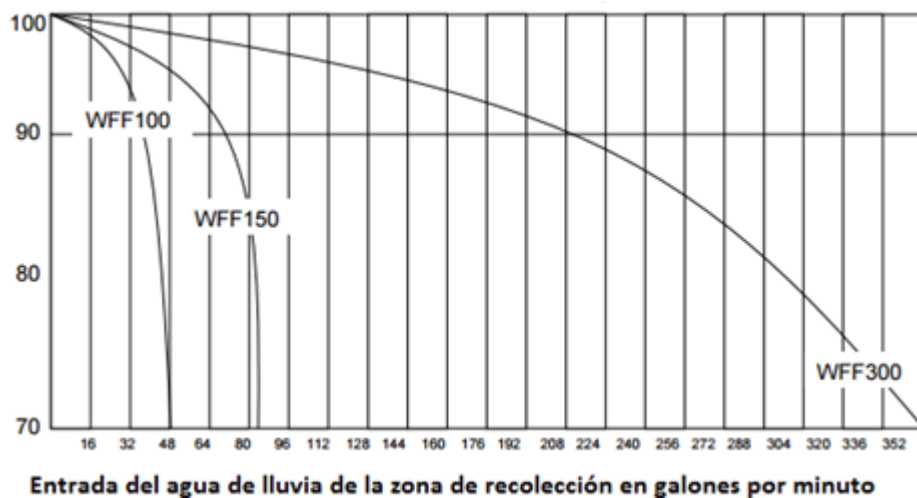


Figura 8. Curva de eficiencia y rendimiento de los filtros Wisy

3.11 Determinación del volumen del reservorio

La ubicación del reservorio se determinó, según las condiciones del terreno de la cooperativa que permitieran aprovechar las estructuras de techos disponibles y que el agua recolectada se transportara por gravedad hacia el reservorio.

Se realizó un levantamiento topográfico en el área del reservorio y todos sus alrededores hasta el beneficio, para conocer el perfil topográfico de la zona. Esto se realizó con una estación Trimble RTK y la manipulación de los datos se ejecutó con el programa ArcMap 10.0, y su vez se realizó un modelo de elevación digital del reservorio y curvas de nivel cada

0,3 m. Además, para la visualización de la zona en Arcgis y la correcta manipulación, se utilizaron las imágenes ortofoto en escala 1:5000 del servicio OGC del Programa de Regularización del Catastro y Registro.

3.12 Balance hídrico del reservorio

El balance hídrico del reservorio se realizó en dos partes. La primer parte consistió en realizar un balance hídrico con los datos acumulados de precipitación del período de mayo-octubre, que corresponde al volumen de agua que se almacenará o entrará en el reservorio, restando las pérdidas de agua que se darán por la evaporación en el reservorio en esos 6 meses. La segunda parte, consistió en realizar un balance hídrico individual para los meses de noviembre, diciembre y enero. Donde además del volumen de agua almacenada hasta octubre se le suma el agua que se captura en cada mes, mientras que en las pérdidas o salidas de agua que se dan el reservorio como lo es la evaporación, se le suma el volumen de agua utilizado en estos meses para el beneficiado húmedo de café.

El balance hídrico se realizó tomando en consideración diferentes casos y escenarios, para analizar las diferentes situaciones que se pueden presentar en el volumen de agua acumulada en el reservorio.

En la figura 9 se muestra que los casos es el valor de precipitación. Donde el caso N°1 sería el caso más crítico, por el análisis de la afectación del fenómeno de El Niño que provoca sequías y disminución de la precipitación en la región del Pacífico Norte de Costa Rica.

Los escenarios corresponden a las pérdidas que se dan en el reservorio como lo son por evaporación al 100 % y a un 25 %. Las pérdidas por infiltración no se analizan, debido a que se quiere mantener una calidad de agua y obtener el mayor volumen de agua almacenada disponible, y a su vez se considera la impermeabilización del reservorio. El escenario N°2 que corresponde a la pérdida de un 25 % del agua por evaporación, se debe a la consideración

de una cubierta de polietileno negro (sarán), que según Alvarez, Baille, Martinez, y Gonzalez-Real (2006) disminuye la tasa de evaporación de un 75 a un 82%, para las coberturas de malla simple y doble respectivamente. Está cubierta se debe ubicar a un metro de altura y en todo el alrededor del reservorio va a llevar también la colocación de sarán y malla para evitar la entrada de animales al reservorio y así el reservorio se encuentre cubierto en su totalidad.

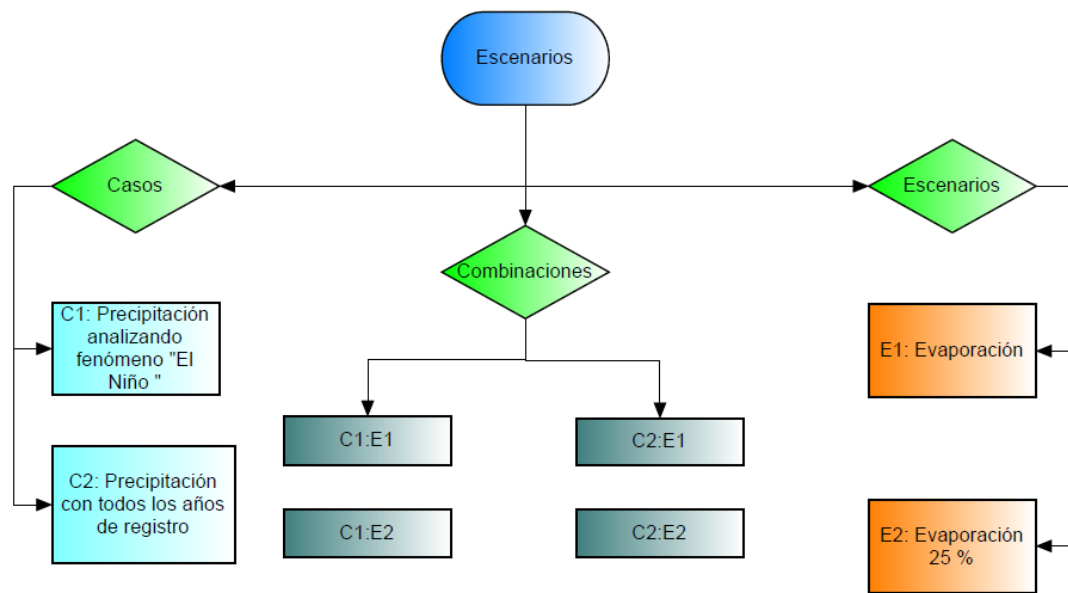


Figura 9. Diagrama del balance hídrico del embalse

Fuente: Elaboración propia

3.13 Obras hidráulicas

Se deben seguir las especificaciones del apartado 2.10 para la realización de las obras hidráulicas que componen el sistema de conducción por gravedad; el vertedor de excedencias; sistema de bombeo; y el sistema de conducción por presión.

3.14 Análisis económico

Para el análisis económico del Proyecto se definieron los costos preliminares necesarios para su realización. Entre ellos, el movimiento de tierra para limpiar el reservorio; los filtros Wisy; y las obras hidráulicas.

Se calcularon los costos de la implementación del sistema de cosecha de agua de lluvia para dos escenarios:

1. Costo del sistema con la impermeabilización del reservorio
2. Costo del sistema con la impermeabilización del reservorio y la cubierta de polietileno para disminuir la evaporación.

El análisis económico consistió en diferentes etapas:

La primera etapa fue determinar el costo del cambio tecnológico (desmucilagadora mecánica) y del beneficio en el ahorro del consumo de agua que esta traerá.

En la segunda etapa se determinó todos los costos de la inversión inicial para la realización o implementación del sistema de cosecha de agua de lluvia en el beneficio Coopepilangosta R.L. Adicionalmente, el costo de la inversión, donde se analizan las situaciones de los escenarios que consiste en la impermeabilización con geomembrana del reservorio, que es el escenario 1; y el escenario 2 que consiste en la impermeabilización con geomembrana y la colocación de una cubierta de polietileno (sarán) de 80 % color negro, que disminuya la tasa de evaporación en 75 %.

La tercera etapa, del análisis económico, consistió en analizar un tercer escenario para que el beneficio obtenga el volumen de agua para el beneficiado húmedo como lo es de optar por realizar un pozo de 50 m de profundidad, en vez de implementar el sistema de cosecha de

agua de lluvia. Además de realizar el estudio para determinar la viabilidad de construir un pozo en la zona del proyecto.

La última etapa consistió en realizar un flujo de caja con un horizonte de evaluación de 10 años, para determinar la viabilidad del sistema de cosecha de agua de lluvia planteado. En este período se analizan los costos de inversión del sistema en los dos escenarios: se utilizan como ingresos, los obtenidos por la venta de café de exportación y de consumo nacional; y como egresos el costo de la inversión, costos del funcionamiento del beneficio de café, personal del beneficio y costo de un préstamo para el desarrollo del sistema de cosecha de agua de lluvia.

Para la realización del flujo de caja se usaron las diferentes estimaciones, debido a que el producto de café es muy variable:

1. Para la estimación de los costos del beneficiado húmedo de café se utilizaron los informes del ICAFE, sobre los costos del beneficiado de café. Se usó un comportamiento histórico (cosecha 2008-2009 a 2013-2014), promedio nacional de los costos de la realización del beneficiado de café.
2. Incrementar anualmente en un 5 % todos los costos del beneficiado de café para el horizonte de evaluación de 10 años.
3. Se fijó el precio de café de exportación en \$205 por cada saco de 46 kg de café oro, debido a la alta fluctuación que se presenta todos los años en la bolsa de Nueva York, además porque fue el precio que el beneficio Coopepilangosta R.L., consiguió en la cosecha 2014-2015. El precio de venta para consumo nacional se fijó en ¢ 1.200 por kilogramo de café oro.
4. Se estima un aumento del 2% anualmente en la cosecha de café; por consiguiente, en el recibo del beneficio Coopepilangosta R.L.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Beneficiado de café

4.1.1 Caracterización del proceso y equipos del beneficio Coopepilangosta R.L.

El beneficio Coopepilangosta R.L. realiza un beneficiado semitecnificado por la vía húmeda. Este trabajo se desarrolla con reducción en el consumo de agua en el proceso; con acciones como la recirculación del agua en el proceso; el transporte del grano de forma mecánica (tornillo sin fin y faja transportadora); realización del despulpado en seco y por la reutilización de una manera adecuada de los subproductos del café.

El consumo de agua limpia en el beneficiado se maximiza en los equipos como: el cuba-sifón para el recibo del café; las cribas que funcionan inundadas en agua; flujo constante de agua en el canal de lavado; flujo de agua constante en el conducto para el transporte del café verde clasificado; y flujo de agua constante en el canal hacia las bombas centrífugas.

La recirculación de agua se realiza al emplear cuatro escurridores, o también llamados separadores de pantalla, para la función de separar el grano y la pulpa del agua (figura 10). El reciclado del beneficio Coopepilangosta R.L. es un reciclado total, ya que se realiza en las dos etapas del procesamiento del grano. Por consiguiente, se provoca una disminución considerable en el consumo del agua.



Figura 10. Escurreidores de agua del beneficio Coopepilangosta R.L.

Fuente: Elaboración propia

En los anexos A.2 al A.5 se muestran los diagramas de flujo, de todos los procesos del beneficiado húmedo. Allí se detallan los puntos que se usan en la inmersión de agua limpia y donde se da la utilización de agua recirculada. Los diagramas para explicar mejor cada proceso realizado, en el beneficio Coopepilangosta R.L, son los siguientes:

1. Anexo A.2. El ciclo del proceso completo.
2. Anexo A.3. Ciclo del proceso simplificado.
3. Anexo A.4. Diagrama de flujo de la etapa de pre-fermentación.
4. Anexo A.5. Diagrama de flujo de la etapa de post-fermentación.

4.1.1.1 Descripción de las etapas del proceso del beneficiado húmedo realizadas en el beneficio Coopepilangosta R.L.

4.1.1.1.1 Recolección del café en el campo

La recolección del café se ejecuta completamente a mano por muchos trabajadores que se desplazan hasta los cafetales y recolectan el grano una manera selectiva; con el fin de

obtener, en su mayor cantidad, solo grano maduro. Para esto, se segrega, el cafetal, en lotes y así se puedan cortar los sectores con café maduro.

4.1.1.1.2 Recibo del café fruta

Esta operación se realiza cuando se mide el café, que viene de los recibidores de campo. La medición es de manera volumétrica, por medio de un cajón de media fanega, para control de la cantidad de café entregado en los recibidores de campo (merma de café en el transporte). Posteriormente, se deposita en el tanque sifón que cuenta con un volumen aproximado de 1,5 m³ de agua limpia.

El recibo de café en el beneficio Coopepilangosta R.L, para la cosecha 2014-2015, inicio el 11 de noviembre del 2014 y finalizó el 20 de enero del 2015, para un período de 62 días. De estos 37 días fueron en los que se procesó café. En la tabla 8 se muestra el recibo de café por mes y la totalidad recibida y procesada en el beneficio para la cosecha estudiada.

Tabla 8. Recibo de café en la cosecha 2014-2015

Fechas	Mes	Cajuelas	Fanega
19-28	Noviembre	9.596	480
02-31	Diciembre	38.365	1.918
02-20	Enero	16.927	846
Total		64.888	3.244

4.1.1.1.3 Clasificación del fruto

La clasificación de café en fruta es realizada de la forma tradicional. Se emplea una despedradora y un separador de flotes para la eliminación de todos los materiales extraños. El café proveniente del tanque sifón es transportado por una tubería de 150 mm, que por la fuerza de gravedad del flujo de masa y agua se desplaza hacia el despedrador, el que cumple la función de evitar que pasen a la zona de los despulpadores, materiales que lastimen las

camisas de los despulpadores como lo son: piedras, arena, hojas, tornillos, clavos, entre otros, que se mezclan durante la recolección de café del fruto en el campo; recibidores de campo; y transporte al beneficio. Asimismo, se cuentan con un sifón de flotes, que cumple la función de eliminar del proceso el café dañado, enfermo, vano y seco.

El canal despedrador cuenta con una pendiente del 10 %. En el último tramo de 1,3 m se encuentran dos tanques, donde depositan todos los materiales pesados, separados uno del otro por 0,15 m.

Además, en la clasificación del café participa una bomba centrífuga de 10 hp. La bomba se encarga de elevar el café, una vez pasado por el despedrador, hacia la parte superior del sifón de flotes, con una diferencia de elevación de 11 m, con una salida de diámetro nominal de 100 mm.

4.1.1.1.4 Despulpado del fruto

El despulpado en el beneficio de Coopepilangosta R.L., se realiza por despulpadores de cilindro horizontal de pechero de hierro procesados en seco, con capacidad de procesar 10 fanegas por hora.

El beneficio cuenta con dos niveles de despulpado, intercalados con un equipo de clasificación (cribas). El primer nivel de despulpado consta de cuatro despulpadores de cilindro horizontal de pechero de hierro (figura 11), para chancar los granos de mayor tamaño y totalmente maduro, denominado “primer pergamino”. El segundo nivel, consiste en un despulpador de repaso de pechero de hierro, utilizado para el “café inferior”, con la separación entre el pechero y el cilindro menos distante para despulpar granos de menor tamaño.



Figura 11. Despulpadores principales

El transporte del grano hacia los despulpadores principales y hacia el despulpador de repaso, así como la extracción de la pulpa, se realiza con tornillos sin fin; sin embargo, en la extracción de la pulpa también se utiliza una banda transportadora.

El café despulpado se deposita en un canal trapezoidal metálico en la parte inferior de los despulpadores. Este canal transporta el café pergamino húmedo hacia la criba N°1 para su primera clasificación y separación de calidades. El grano es transportado por la ayuda de un caudal proveniente de la recirculación de agua.

El canal trapezoidal, donde se transporta el grano despulpado tiene una longitud de 9 m y una pendiente promedio (s) de 3 %, debido a que la diferencia de nivel del canal es de 0,3 m. Además, su tirante promedio (y) es 0,03 m, debido a que el flujo es muy variado.

Con la ecuación de Manning (Ec.4) se determinó un caudal promedio que se traslada en el canal trapezoidal, para la movilización del café despulpado. Donde se tiene que el valor de la n de Manning es 0,0013, para un canal metálico recubierto según (Chow *et al.*, 1994).

Se obtiene un valor de caudal de 2,5 l/s con el tirante promedio de 0,03 m. Resulta un valor de tirante crítico (y_c) de 0,008 m, lo que indica que $y > y_c$, y el flujo dentro del canal es subcrítico.

4.1.1.1.4.1 Caracterización de los despulpadores en la cosecha 20014 – 2015

La capacidad de trabajo de la primera fila de despulpado, en la cosecha 2014-2015, se consigue con los datos medidos de la cantidad de fanegas entregadas y su duración en el proceso de beneficiado. En la tabla 9 se muestra las características de los despulpadores del beneficio.

Tabla 9. Características de los de los despulpadores

Variables	Capacidad de c/u despulpador (fanega/hora)
Valor promedio	8
Valor máximo	10
Valor mínimo	5
Coefficiente de varianza (cv)	2
Desviación estándar (s)	1

Se conoce que la capacidad máxima de procesamiento de cada despulpador del beneficio, es de 10 ff/hr. Mientras que en la tabla 9 se muestra que el valor promedio de procesamiento de los despulpadores fue de 8 ff/hora; lo que indica que estos despulpadores en promedio se usaron a una capacidad del 83 % en la cosecha 2014-2015. A sabiendas del valor de procesamiento de las despulpadoras, se obtiene que la línea principal tiene una capacidad máxima teórica de fabricante de 40 ff/hr y que, en la cosecha 2014-2015, su capacidad promedio utilizada fue del 81 % con una capacidad de procesamiento de 33 ff/hr.

En el anexo A.6 se exponen las características técnicas de los despulpadores de cilindro horizontal de pechero de hierro, utilizados para el chancado de café.

4.1.1.1.5 Clasificación y limpieza del café despulpado

El sistema de clasificación del café despulpado consiste en la ubicación de la criba N°1. Después de los despulpadores de primera, para clasificar el café de mejor tamaño y excelente calidad y la ubicación de una criba N°2, ubicada después del despulpador de repaso, para clasificar y separar el café verde e inferior.

El grano pergamino, una vez clasificado, por las dos cribas es transportado por tuberías de PVC de diámetro de 100 mm hacia las pilas de fermentación por medio de gravedad; se presenta una diferencia de elevación de 1,5 m entre el inicio de la tubería hasta la posición final que es en la parte superior de los separadores de agua, que se encuentran a una altura de 2 m superior de las pilas. En la figura 12, se muestra las cribas utilizadas en el beneficio.



Figura 12. Cribas utilizadas en el beneficio Coopetilangosta R.L.

El canal encargado de transportar el grano del despulpador de repaso a la criba N°2, para su clasificación, cuenta con una pendiente de 5 % en su longitud de 3,6 m; un ancho de 0,24 m; y una profundidad de 0,14 m.

4.1.1.1.6 Remoción del mucílago

La remoción del mucílago en el beneficio Coopepilangosta R.L. se realiza de la manera tradicional: por el método de la fermentación natural. Se ejecuta en pilas de concreto recubiertas de cerámica bajo techo y es una fermentación aeróbica. Estas pilas cuentan con dos salidas: una de ellas, es para la descarga el café pergamino fermentado y la otra, para la salida y escurrimiento de las aguas miles, además de una pequeña fosa cubierta con una lámina perforada para el escurrimiento de las aguas mieles, que son llevadas hacia las dos lagunas de lodos que cuenta el beneficio para su tratamiento (figura 13).

El café clasificado como primera e inferior es depositado en la pila N°3 para su proceso de fermentación. Por su parte, el café verde es colocado en la pila N°7, para su fermentación por separado. En este beneficio se utiliza la recirculación del agua, que ayuda a acelerar la descomposición del mucílago; asimismo, con las condiciones climáticas de la zona provocan la rápida descomposición del mucílago. Por tanto, el tiempo de fermentación en este beneficio es bajo.



Figura 13. Pilas utilizadas para la remoción del mucílago por fermentación

4.1.1.1.6.1 Características de la fermentación de la cosecha 2014-2015

El proceso de fermentación, es descontrolado. No cuentan con control del tiempo de fermentación para la remoción de mucílago; ni un manejo adecuado en las pilas; tampoco en la realización de pruebas para determinar el punto de fermentación y la homogeneidad de la masa de café en las pilas. Los datos del tiempo de fermentación del período de cosecha 2014-2015 se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Datos de fermentación

Variables	Tiempo de fermentación (hr)
Valor promedio	9
Valor máximo	12
Valor mínimo	4
Coefficiente de varianza (cv)	3
Desviación estándar (σ)	2

Resultó que el valor promedio del tiempo de fermentación en la cosecha 2014-2015 es de 9 horas, pero se presentan variaciones muy marcadas a lo largo de la cosecha. Con los valores máximos y mínimos obtenidos se observa que hay una diferencia de siete horas y media, que es un valor muy alto para la fermentación, que es un proceso tan delicado, ya que afecta directamente la calidad del grano y su producción final en la tasa.

La pila N°3 es la encargada de recibir el café para su fermentación y eliminación del mucílago. Cuenta con una pendiente longitudinal de 6 %; una salida de 100 mm, para la salida del café pergamino fermentado; y con una fosa cuadrada de 0,9 m de lado, cubierta con una lámina perforada, para el paso de las aguas mieles, donde en el fondo se encuentra otra salida de diámetro de 100 mm.

La pila N°7 es la usada para depositar el café verde que es clasificado en la criba N°2 y depositado en esta por una tubería de PVC de 100 mm. Al igual que la pila N°3, tiene una

salida para el café pergamino fermentado y otra para el escurrimiento de las aguas mieles de las mismas dimensiones y presenta una pendiente transversal de 9 %.

La pila N°2 es la utilizada para depositar el café que es clasificado de primera en el canal clasificador, tipo cuello de ganso. Posee una pendiente longitudinal de 9 %.

El beneficio Coopepilangosta R.L. cuenta también con 4 pilas más, para el almacenamiento del grano en el proceso de fermentación. No obstante, no son usadas debido a la cantidad de producto procesado en los últimos años. Las pilas cuentan con una pendiente de 8 %.

4.1.1.1.7 Limpieza y Clasificación del café pergamino

La limpieza para la remoción de los residuos del proceso de fermentación, se realiza de forma mecánica. El café, de las pilas de fermentación, se mueve por una apertura donde sale el café pergamino; y se moviliza por un canal hacia la bomba centrífuga N°2; que eleva el grano a la zona superior, al regulador de flujo N°3; para la distribución del caudal (agua-grano) al canal de lavado y clasificación tipo cuello ganso; donde se realiza la clasificación del café de primera. El café que no es seleccionado sigue hacia las cribas N°1 y N°2, para la separación del café verde y de flote.

Aunado con lo anterior, en el proceso de lavado y clasificación, se utiliza el despulpador de repaso para despulpar el café maduro que se filtró en el proceso anterior y en su mayoría frutos de menor tamaño con buena maduración.

La clasificación del café, de primera, se realiza en el sistema clasificador de canal colector tipo cuello de ganso, este separa la pulpa; grano en fruta; y el café inferior del café de primera. El café de primera es succionado por las ranuras en donde el café por medio de los “cuellos de gansos”, desplaza este grano al canal de primera para ser trasladado por una tubería de PVC de diámetro de 100 mm hacia la zona del escurridor para comenzar el secado.

En la figura 14 se muestra el canal de lavado, con los cuellos de ganso para la clasificación por densidad. En la parte de abajo está el canal que transporta el café que es seleccionado de primera.



Figura 14. Canal de lavado y clasificación del café

Este canal, rectangular y clasificador, presenta una pendiente promedio a lo largo de su trayecto de 2 %. En el último tramo de 4 m cuenta con 5 aberturas de 3,2 cm de ancho que provoca la salida del café que viaja en la parte inferior de la masa (mayor densidad), es decir el café de primera, por medio de los cuellos de ganso hacia el canal de primera.

Con la ecuación de Manning (Ec.4) también se determinó el caudal que transporta el canal rectangular, con un tirante promedio (y_n) de 0,03 m. Con lo que resultó un valor de 11 l/s que proporciona un tirante crítico de (y_c) de 0,2 m; se obtiene que $y < y_c$. Por ende, el flujo dentro del canal es supercrítico.

4.1.1.1.8 Pre-secado y secado

En el beneficio Coopepilangosta R.L. el secado del café de primera se realiza, en un primer momento, con pre-secadoras verticales y su secado final se termina en secadoras “Guardiola” por un tiempo aproximado de 36 horas para alcanzar el contenido de humedad del 12 %; mientras que el café verde e inferior es secado en su totalidad hasta el contenido de humedad de un 12 % al sol en patios.

4.1.1.1.9 Almacenamiento del café seco

El café en pergamino seco se almacena en silos metálicos y en sacos.

4.1.2 Consumo de agua en la cosecha 2014-2015

Se realizó una separación de las etapas del beneficiado húmedo de café para un control más detallado en el consumo. Las etapas son las siguientes:

1. Etapa de pre-fermentación (despulpado del café)
2. Lavado del equipo de la etapa de pre-fermentación
3. Etapa de pos-fermentación (Limpieza y clasificación del café)
4. Lavado del equipo de la etapa de post-fermentación

En cada etapa, se realizaron las lecturas correspondientes en el hidrómetro y así se determinó su consumo. Se presenta la tabla 11 para mayor detalle:

Tabla 11. Consumo de agua en el beneficiado húmedo

Variables	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Consumo total
Consumo de agua promedio (l/fanega)	122	63	158	87	430
Consumo máximo de agua (l/fanega)	200	210	23	303	
Consumo mínimo de agua (l/fanega)	51	23	77	33	
Porcentaje (%)	28	15	37	20	
Coefficiente de varianza (cv)	1.285	1.377	1.849	2.562	
Desviación estándar (σ)	36	38	44	51	

Con este análisis se obtiene que el consumo total promedio es de 430 l/ff. Además, que la etapa del lavado del café es la de mayor consumo. En la figura 15 se representa, gráficamente, el consumo de agua en cada etapa de la industrialización del café.

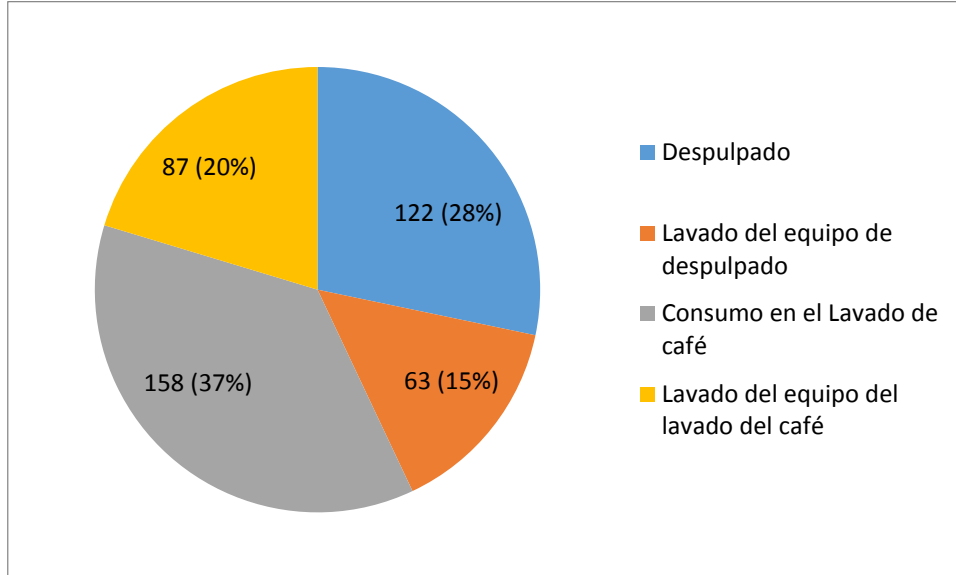


Figura 15. Gráfico del consumo de agua por fanega en el beneficio

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el consumo total medido está por debajo del establecido en el “Convenio institucional de la descontaminación de aguas residuales del beneficiado de café”. Alcanza una disminución del 44 % y también menor al valor que maneja actualmente el ICAFE, para un beneficiado húmedo de 500 l/ff.

Con este consumo de agua por procesamiento de cada fanega de café fruta procesada, resultó que el beneficio Coopepilangosta R.L., en la cosecha 2014-2015, tuvo un consumo de agua de 1.395 m³, en el procesamiento de las 3.244 fanegas.

4.1.2.1 Consumo de agua en la etapa de pre-fermentación (despulpado del café)

El consumo de agua promedio en esta etapa fue de 122 litros por cada fanega de café fruta despulpada. Se representa el 28 % del consumo total del proceso como se observa en la figura 15. Además, se determinó que el tiempo promedio del despulpado es de 3 horas.

Para el funcionamiento de los equipos en esta etapa se utilizan dos tuberías de PVC para la incorporación de agua limpia al proceso, que se mantienen abiertas durante todo el trabajo. El caudal de las tuberías es de 0,2 l/s.

La variabilidad en el consumo de agua se debe a dos factores. El primero, es que no se tiene ningún control del volumen de agua utilizada en los equipos, donde se determinó que el consumo de agua promedio en el cuba-sifón, para el recibo de café, es de 1.500 litros; con una variabilidad promedio de 250 litros. El consumo de agua promedio, utilizado para el llenado de las cribas, es de 1.400 litros con una variabilidad promedio en el consumo de 200 litros.

El segundo factor se debe a la obstrucción en las tuberías por la presencia de una masa espesa de café. Estos provocan la utilización de consumos de agua extra en el proceso, para eliminar la obstrucción de las tuberías que ocasionan variaciones en el consumo.

4.1.2.2 Lavado del equipo de la etapa de pre-fermentación

En esta etapa el consumo promedio de agua es de 63 l/ff, que equivale a un 15 %. Para esta etapa se utiliza una tubería de agua limpia de diámetro de 50 mm con un caudal promedio de 1,0 l/s, obtenido de las pruebas volumétricas, realizadas a lo largo de la cosecha. Se determinó que el tiempo aproximado, para la realización de esta etapa es de 50 minutos, realizado por un solo empleado.

4.1.2.3 Etapa de pos-fermentación (lavado del café)

Es la etapa que presenta mayor consumo de agua con un 37 % del consumo total que representa 158 l/ff, y al igual que en etapa 1, tiene una duración promedio de 3 horas.

Para este proceso también se utiliza el consumo de agua de las cribas y el caudal de la tubería que se encuentra en el desagugador para la salida del café verde de la criba N°2. Asimismo, se utiliza una tubería que proporciona un caudal de 0,3 l/s, para el arrastre del grano en el canal clasificador tipo “cuello de ganso” y una tubería con un caudal de 0,3 l/s, en el canal que transporta el grano de las pilas de fermentación hacia la bomba de lavado del café. Con la utilización de las tres tuberías con el tiempo promedio de duración de la etapa, se estaría proporcionando un volumen de agua de 8 m³.

El consumo de agua en este proceso, al igual que en las demás etapas presenta mucha variación en sus datos. Estas variaciones se deben a las variaciones de tiempo del proceso y que en ese no ocurran fugas ni problemas en los equipos.

4.1.2.4 Lavado del equipo de la etapa de pos-fermentación

En esta etapa el consumo de agua por fanega de fruta procesada es de 87 l/ff, equivalente al 20 % del consumo final del proceso de beneficiado húmedo de café. El consumo es más alto que en la etapa 2, pues se utiliza otra tubería con un caudal promedio de 2,0 l/s para el lavado de las pilas de fermentación y demás equipos utilizados en parte baja. El tiempo promedio de realización del lavado es de 60 min, por lo que el volumen promedio de agua proporcionado por las dos tuberías es de 4 m³.

4.1.3 Identificación de las deficiencias de los equipos y del manejo en el procesamiento del beneficiado húmedo.

4.1.3.1 Deficiencias y fugas de los equipos del proceso

En esta etapa se determinó el estado de los equipos: su eficiencia en el funcionamiento; la determinación de fugas; y las deficiencias en todo el sistema de distribución de agua, que ocasionan un mayor consumo de agua en el proceso y problemas en el funcionamiento o

rendimiento del beneficiado. Se observó que las dos válvulas principales para la abertura del caudal al proceso del beneficiado húmedo presentan fugas y se encuentran un poco deterioradas.

En el proceso de despulpado, se evidenció que los despulpadores permitían la salida de más cantidad de lo permitido de grano sin despulpar y también de la salida de pulpa. Estos pueden ocasionar problemas en el proceso de fermentación por tener una masa de grano mezclada con pulpa; y café fruta sin despulpar. Esto se debe a una descalibración en el ajuste de pechero de hierro y el cilindro.

Bajo esta línea, se determinó que los canales de transporte del grano despulpado, de café de primera; además, del canal de clasificación tipo cuello de ganso; y adicionalmente, en las carcasas de los tornillos sin fin N°2 y N°3; presentaron fugas debido al deterioro al largo de la cosecha por el gran contacto de las aguas mieles del café, pues es un líquido altamente corrosivo. En consecuencia se producía un mayor consumo de agua para el lavado de los equipos y pisos.

Además, en el proceso las tuberías y los desagües se obstruyen de grano. Esto provoca que las tuberías se fracturen y se produzcan grandes desperdicios de agua y café. La figura 16 lo evidencia.



Figura 16. Fuga provocada por obstrucción de las tuberías

Sumado a los problemas anteriores, en el beneficiado, existe un descontrol del caudal que entrega la tubería de 100 mm en la criba N°1, hacia el canal que transporta el café del despulpador de repaso a la criba N°2. Como se observa en la figura 17, son grandes volúmenes de agua que caen en el piso y provocan por consiguiente, mayor consumo de agua en las etapas de lavado.



Figura 17. Fugas del canal de despulpador de repaso

4.1.3.2 Deficiencias en la realización del proceso del beneficiado húmedo del café

En los períodos de poca cosecha, se almacena café en el cuba-sifón, de dos días de cosecha. Por ello, se mezclan café de cortes diferentes y en consecuencia se originan problemas en la calidad de café. Además, se observó en la pila de fermentación (N°3), masa rojiza (café sobre-fermentado) cuando se despulpan cortes de varios días. Esto ocasiona una disminución en la calidad del beneficiado y del resultado final en la tasa.

El proceso de despulpado no se realiza de la manera adecuada. Se pasa mucho café sin despulpar; mezclado con pulpa; y café verde. El proceso de clasificación del café despulpado no se realiza adecuadamente: se deposita todo el café clasificado de primera; y café inferior; en la misma pila de fermentación (Pila N°3), para su remoción del mucílago; y solo se separa el café verde que es depositado en otra pila de fermentación (Pila N°7). Además no se realiza

adecuadamente, en la pila N°3 se observa una gran cantidad de café verde y que es igual fermentado con el café de primera e inferior.

También en el proceso de despulpado, al finalizar el proceso, se dejan los despulpadores, cribas y canales con depósito de café (sucias), hasta el próximo día que se lavan los equipos. Todos estos residuos que, en su mayoría es café inferior y de flote, son depositados en la pila de fermentación N°3, lugar donde se almacena todo el café del proceso de despulpado y se genera una mezcla. Por consiguiente, no se está realizando la separación de café de primera, del inferior para su proceso de fermentación que puede ocasionar disminución de la calidad.

Asimismo, otro problema es la poca calibración de los despulpadores. Debido a que en el proceso estas graduaciones se pueden descalibrar y ocasionar mayor daño mecánico del grano o que mayor cantidad de grano pase sin despulpar. Por ello, se debe revisar, mínimo dos veces, la graduación de la separación entre el pechero y el cilindro horizontal en el periodo de cosecha.

En la pila de fermentación se observa mucho café sin despulpar y pulpa. También, en este proceso se presenta una gran variación de tiempos de fermentación a lo largo del período de cosecha y no se realiza la revisión del estado de fermentación antes del proceso de lavado del café. Además, se sobrepasa la altura máxima recomendada de la masa de café que es de 0,9 m a 1,5 m que es casi la altura máxima de la pila.

4.1.4 Recomendaciones en la mejora del procesamiento y cambio tecnológico para la disminución del consumo de agua en el beneficiado húmedo.

4.1.4.1 Recomendaciones en la mejora del procesamiento

En el procesamiento se recomienda no mezclar frutos de diferentes días de corte y no tener por más de 12 horas el café inmerso en agua. Si se tienen en estas dos condiciones se empieza

a producir una infusión de los azúcares y se provoca una fermentación inadecuada. Por ello, el café se debe despulpar el mismo día que se cosecha.

Asimismo, no colocar toda la masa de café despulpada en una sola pila de fermentación. En dicha circunstancia se mezclarían las diferentes calidades de grano, lo que ocasiona problemas en la tasa de fermentación y provoca la disminución en la calidad de la tasa final de café. Además, de que la altura en las pilas no debe sobrepasar los 0,9 m para que se dé una fermentación homogénea en toda la masa de café colocada en la pila.

4.1.4.2 Recomendaciones de cambio tecnológico en el proceso

El principal cambio tecnológico recomendado, es la implementación del desmucilaginado mecánico. Se determina que con este equipo, no se afecta ni disminuye la calidad de la tasa de café final en comparación con la remoción del mucílago por fermentación natural que es el actual. Con los diferentes modelos y tipos de desmucilaginadores, el beneficio con la opción del modelo AGV 15 marca Bendig, que tiene la capacidad de procesar 15 fanegas por hora, y presenta un consumo de agua de 70 litros por fanega para la remoción del mucílago y la limpieza del grano, lo que reduciría el consumo de agua en el beneficio de pasar de 158 litros en la etapa de pos-fermentación a 70 litros y además de que esto ocasionaría que se reduzca el gasto de agua en el lavado del equipo de la etapa anterior a un gasto máximo de 30 litros para un consumo de agua total de la etapa 2 y 3 de 100 litros.

Provocando una reducción de 145 litros (59%) con la forma actual en que se realiza las etapas 2 y 3. Donde se podría obtener un consumo de agua total en proceso de 285 litros por fanega de café fruta procesada. Por lo que se podría reducir tomando en cuenta un factor de seguridad y contando con bastante certeza, un 40 % el consumo de agua total utilizada para el beneficiado húmedo del café en el beneficio. Obteniendo que con el consumo de 285 litros por fanega, el beneficio hubiera consumido un volumen de agua en la cosecha 2014-2015 de 924 m³.

Pero se debe tomar en consideración que con la implementación de este equipo después de la clasificación del café por medio de cribas, se utiliza inmediatamente el desmucilagador mecánico para la remoción del mucilago, seguido inmediatamente del secado del grano al contenido de humedad del 12 %. Por lo que se debe tomar en consideración la capacidad de secado que cuenta el beneficio, ya que el grano no puede pasar más de 6 horas en espera, ya que ocasiona pérdidas de rendimiento y desmejora la acidez del grano, que afecta la calidad de tasa.

También se recomienda eliminar el uso de cribas inundadas que ocasionan consumo de agua altos por equipos o canales clasificatorios más eficientes que no requieran un uso tan alto de agua. Donde se comprobó con la visita realizada en el beneficio “Las Marías”, que es un beneficio que no utiliza cribas para la clasificación, realiza el despulpado en seco, realiza el desmucilagado mecánico, realiza la recirculación del agua. Ocasionando que en todo el proceso su consumo de agua ande por debajo de los 160 litros por fanega de café fruta procesada.

Además, realizar en los despulpadores el ajuste de la distancia entre el pechero y la cuchilla recomendado para el tamaño de café procesado, en media cosecha, y no solo al inicio. Con el fin de controlar que el despulpado sea correcto sin el paso de café sin despulpar o grano majado. La pulpa en la pila de fermentación daña la apariencia física del grano y provoca fermentaciones disparejas.

4.2 Caracterización de las fuentes de agua disponibles para el procesamiento del beneficiado húmedo

4.2.1 Características de las fuentes de agua disponibles de la empresa

El beneficio de Coopepilangosta R.L., cuenta actualmente con dos fuentes de agua disponibles, para realizar el proceso del beneficiado húmedo de café. Una fuente principal

(naciente) y una secundaria o alternativa (pozo), donde su caudal es llevado hasta un tanque de almacenamiento para su posterior utilización en el beneficiado húmedo. En la figura 18 se visualiza la ubicación de las fuentes de agua disponibles para el beneficio de Coopepilangosta R.L., y del tanque de almacenamiento de agua que cuenta actualmente el beneficio.



Figura 18. Ubicación de las fuentes de agua del beneficio

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.1 Fuente principal de agua

Por muchos años, una naciente de agua ha sido la fuente principal. Ha proporcionado un caudal suficiente para abastecer la cantidad de agua utilizada en el beneficiado húmedo; por lo que, no se necesitaba la utilización de otra fuente de agua. Anteriormente, con solo esta fuente se tenía la capacidad de proporcionar el agua durante todo el período de beneficiado húmedo. No obstante, actualmente, debido al cambio climático y problemas de régimen

hídrico, que presenta la zona, esta fuente ha disminuido su caudal, y el período de disponibilidad. En los últimos 5 años, esta fuente ya no abastece, en su totalidad, la cantidad de agua utilizada en el período de beneficiado. Esto originó la búsqueda de una fuente alternativa, como lo fue la utilización del agua de un pozo artesanal, ubicado en las cercanías del sitio.

Esta naciente de agua, presenta caudal partiendo del mes de setiembre. Sin embargo, su caudal va en disminución progresiva, para secarse a finales del mes de enero; proporciona aproximadamente un 85% del volumen total de agua utilizada para el proceso del beneficiado. En la tabla 12, se muestra las características de la fuente, y su ubicación geográfica.

Tabla 12. Características de la naciente de agua

Conducción	Tubería		ΔX (m)	H_{fuente} (m)	H_{tanque} (m)	ΔH (m)	Ubicación geográfica	
	Tipo	Diám (mm)					Latitud	Longitud
Por gravedad	PVC	50	343	373	344	29	10°04'10.31"N	85°24'77.23"W

El caudal de la naciente, hasta el tanque de almacenamiento del beneficio, se desplaza en una tubería de PVC de diámetro de 50 mm, una distancia de 343 m, por medio de gravedad, ya que se cuenta con una diferencia de elevación de 29 m, de la altura de la fuente, a la altura de la ubicación del tanque, como se visualiza en los datos de la tabla 12.

Esta fuente durante todo el período de beneficiado está incorporando su caudal al tanque de almacenamiento. En el período de cosecha 2014-2015 tuvo la capacidad de proporcionar todo el volumen de agua utilizado en el beneficiado hasta mediados de diciembre. Después se empezó a ayudar con la incorporación de caudal del pozo al tanque.

En la tabla 13, se observa un control del caudal que se conducía en la tubería de conducción principal, hacia el tanque de almacenamiento, donde se observó la disminución de su caudal durante el tiempo. Las pruebas de caudal se realizaron por el método volumétrico.

Tabla 13. Pruebas de caudal a través del tiempo

Fuente	Prueba	Fecha	Caudal (l/s)
Naciente	1	15/12/2014	0,3
	3	05/01/2015	0,1
	4	12/01/2014	0,09
	5	20/01/2014	0,09
	5	21/01/2014	0,08

Se observa una disminución importante en el caudal del 15 de noviembre al 05 de enero de 0,2 l/s, que fue en el período donde se empezó a utilizar el uso de agua del pozo en el beneficiado húmedo. Después del 15 de enero, el caudal proporcionado por la naciente era considerablemente bajo, así era más frecuente el uso del agua del pozo. Esta fuente a partir del 28 de enero, ya no proporcionaba ningún caudal, hecho que coincidió con la finalización de la cosecha.

No obstante, el problema se debe al retraso de la cosecha, como ha pasado años anteriores, sumado a los efectos del cambio climático, que siguen afectando la zona, y por consiguiente, el caudal de la naciente, entonces se ocasiona una mayor disminución del caudal durante los siguientes años. Esto conlleva grandes problemas y dificultades para el procesamiento del beneficiado húmedo en la cooperativa Coopepilangosta R.L.

Este problema se agrava, debido a que la zona como se describió anteriormente, presenta una gran vulnerabilidad en el recurso hídrico. Esta vulnerabilidad se da por diferentes motivos: pocas fuentes de agua disponible; faltante de estructuras que causan gran competencia por las fuentes del recurso hídrico. Por tanto, estas condiciones provocan al beneficio

Coopepilangosta R.L., la búsqueda de una fuente alternativa limpia y con capacidad de proporcionar el volumen de agua para el beneficiado húmedo.

4.2.1.2 Fuente secundaria

Es un pozo con una profundidad de 18 m de agua. Este pozo no es propiedad del beneficio; se encuentra en la finca vecina propiedad del señor Gerardo Quesada, que es miembro de la cooperativa. De este modo, se cuenta con un convenio para que Coopepilangosta R.L. utilice esta fuente en el proceso del beneficiado húmedo del café, como fuente alternativa.

De aquí que, su uso a futuro sea incierto para el beneficio. Debido a las condiciones climáticas y la escasez de agua en la zona provocará mayor competencia en el régimen hídrico, que puede conllevar a que Don Gerardo ocupe toda la capacidad del pozo para sus usos de agricultura y ganadería.

Tabla 14. Características del pozo

Tipo de impulsión	Características de la bomba vertical			ΔX(m)	H_{fuente} (m)	H_{tanque} (m)	ΔH (m)
Bomba vertical	Potencia mecánica	3	hp	263	329	344	15
	Potencia eléctrica	2,2	kW				

En la tabla 14 se muestran las características del pozo. Se tiene que para la extracción del agua y su elevación hasta el beneficio, se utiliza una bomba centrífuga de 3 hp, trifásica, que traslada el agua con una tubería de PVC de diámetro de 50 mm, a una diferencia de elevación de terreno de 15 m en una distancia de 263 m.

4.2.1.3 Fuente alternativa

La fuente alternativa es la que se plantea en el presente proyecto de la captación del agua de lluvia de los techos del beneficio de Coopepilangosta R.L. La captación del agua de lluvia se profundizará en el apartado 4.3.

4.2.2 Resultados de las pruebas de calidad de agua de las fuentes de agua disponibles para el beneficio

La calidad del agua utilizada en el proceso del beneficiado húmedo del café, es de suma importancia para calidad de la tasa final. Con los resultados de las pruebas de hongos, coliformes fecales, y E. Coli, que se muestran en la tabla 15. Se observa que la calidad del agua utilizada por el beneficio para el procesamiento está por encima de los estándares de la ley N° 33601 de Costa Rica.

Tabla 15. Datos de pruebas de la calidad del agua

Muestra	Recuento de hongos filamentosos y levaduras UFL/ml	NMP Coliformes fecales NMP/100ml	NMP E. Coli NMP/100ml
Agua de lluvia	1,20E+02	14	12
Naciente	< 3	>1600	>1600
Pozo	< 3	< 1,8	< 1,8

Fuente: (Laboratorio de Microbiología de Alimentos, 2015)

Se determina que la calidad del agua del agua de lluvia es superior a la de la fuente primaria, debido a esto es que va a utilizar un sistema de pre-limpieza y de contar con un reservorio totalmente cubierto de sarán, además de una malla en el perímetro del reservorio, que evite el ingreso de cualquier tipo de contaminación (hojas, animales, etc), para evitar que se dé la

proliferación de algas y así mantener la calidad de agua que se captura de los techos del beneficio y se almacena en el reservorio.

También se debe tomar en consideración que aunque se va almacenar el agua de lluvia desde el mes de mayo, va a estar ingresando volumen de agua diario al reservorio, por lo que el agua va estar en movimiento, además que se cuenta con un vertedor de excedencias, por si se llega al volumen de agua máximo del reservorio y esta agua se pueda recircular, que esto ocasionaría también que se evite la proliferación del algas en el reservorio, además del crecimiento de zancudo, por contar con un reservorio cerrado para el escenario N°2.

4.3 Determinación de las condiciones hidrológicas y espacios disponibles en el beneficio para la validez del proyecto

4.3.1 Hidrometeorología

4.3.1.1 Datos de la estación utilizada

En la tabla 16, se muestra todos los datos meteorológicos que se disponían de la estación utilizada, para el análisis hidrológico.

Tabla 16. Resumen de los datos meteorológicos cercanos a la zona de estudio

Nombre de la estación	Nicoya
Latitud	09° 09' N
Longitud	85° 27' O
Altitud (msnm)	120
Lluvia (mm/día)	Enero 1949-Diciembre 2014
Humedad relativa (%)	Enero 1971-Setiembre 1971
Temperatura (°C)	Setiembre 1938-Mayo 1984
Viento (m/s)	Enero 1961-Diciembre 1984
Brillo solar (horas/día)	Enero 1970-Abril 1984
Distancia de la zona del proyecto (km)	8,6

4.3.1.2 Análisis de precipitación

En el análisis de precipitación, se extrajeron valores ajustados, estadísticamente, con una probabilidad de ocurrencia del 95 %, para tener un alto grado de certeza del valor obtenido para el diseño del volumen de agua a almacenar.

4.3.1.2.1 Caso N°1. Precipitación ajustada con años afectados por el fenómeno El Niño

En la tabla 17 se exponen los años que, en los meses de mayo a octubre, fueron afectados con el fenómeno de El Niño, según la metodología aplicada; con el propósito de determinar el año del fenómeno de El Niño; así como de su valor de precipitación acumulado.

Tabla 17. Precipitación de los años Niños, de la Estación Meteorológica Nicoya (IMN)

Años	Precipitación acumulada de mayo a octubre (mm)
1951	1798
1969	2624
1972	1393
1982	1574
1987	1863
1991	1642
1994	1430
1997	1124
2002	1282
2004	1920
2006	1230
2009	1118

En la figura 19 se ilustra la gráfica de probabilidad. Se indica que la distribución de Gumbel es la que mejor se ajusta a los datos del caso N°1.

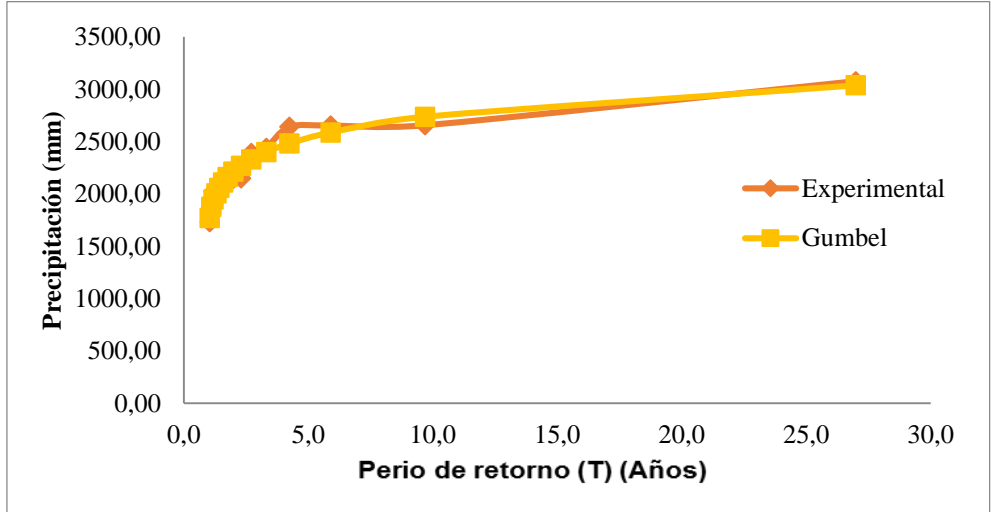


Figura 19. Gráfica de ajuste de precipitación con distribución Gumbel, para el caso N°1

Se usó la ecuación de factor de frecuencia para la distribución Gumbel. Se obtuvo un valor de precipitación ajustado de 1.030 mm, con una probabilidad de ocurrencia del 95 %. Por consiguiente, se indica que con la situación más crítica de sequía por la afectación del fenómeno El Niño que se puede presentar en la zona, se garantiza con un análisis estadístico bastante certero que el beneficio podrá capturar todos los años como mínimo la precipitación determinada.

4.3.1.2.2 Caso N°2. Precipitación con todos los años de registro

En la figura 20 se presenta la gráfica de probabilidad, con la distribución normal, esta fue la que mejor se ajustó a los datos de precipitación acumulados de mayo a octubre del registro del total de los 54 años en análisis.

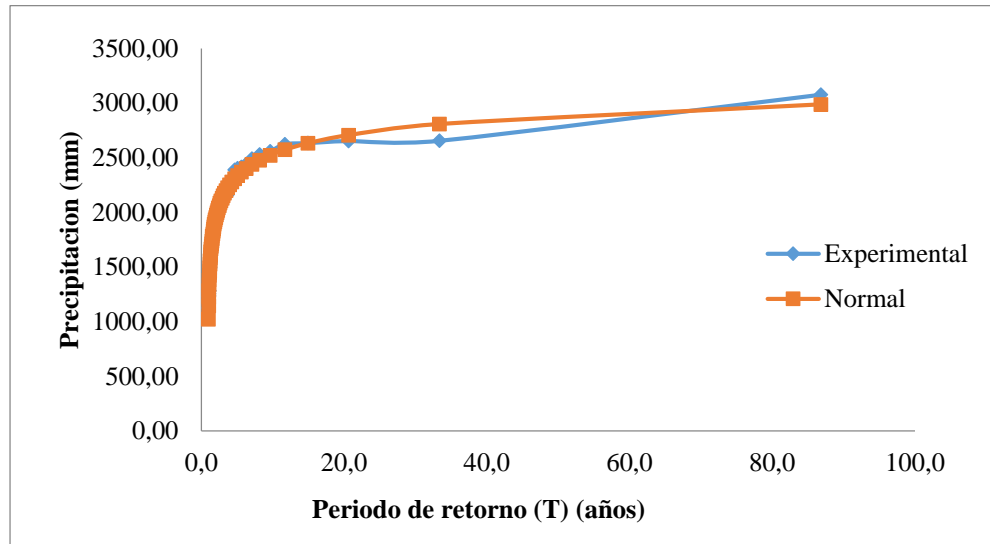


Figura 20. Gráfica de ajuste de distribución normal, con precipitación del total de años de registro

El resultado fue un valor de precipitación de 1.196 mm, ajustada a la distribución normal, con una probabilidad de ocurrencia del 95 %. Se obtiene una diferencia de 166 mm, con respecto al análisis del primer caso, que ocasiona un mayor aumento en el volumen de agua capturada y a la vez disponible para la utilización en el beneficio.

4.3.2 Caracterización de las estructuras de techos disponibles para la captura del agua de lluvia

4.3.2.1 Área de techos

Para la implementación del sistema de cosecha de agua de lluvia tipo SCALL, lo primero que se determinó fue las áreas de techos a utilizar.

La cooperativa cuenta, con suficientes estructuras de techos, para la implementación del sistema de captura de agua de lluvia de los techos. Entre las estructuras de techo con las que cuentan son:

1. Techo del galerón del beneficiado húmedo
2. Techo del galerón, para el depósito de la broza de café
3. Techo del galerón, para la lombri-compost
4. Edificio administrativo
5. Techo de edificio de reuniones; zona de catación y oficinas
6. Techo de la estructura del secado, empacado, tostado del café

No obstante, debido al mal estado y al difícil acceso para el traslado del agua y su conexión con los otros techos, sólo se seleccionaron las primeras tres estructuras para la captura del agua de lluvia. La selección se basó por la facilidad en la captura de agua de lluvia y estado de los techos. En la tabla 18 se enseñan los datos de las áreas, de las tres estructuras disponibles a utilizar en la recolección de agua de lluvia.

Tabla 18. Dimensiones del área de los techos disponibles

Número	Techo	Tipo	largo (m)	ancho (m)	Área (m²)
1	Beneficiado húmedo	Techo a un agua	23,3	14,2	331
2	Broza de café	Techo a dos aguas	24,0	16,0	384
3	De la estructura del lombri-compost	Techo a un agua	20,4	14,2	289
Área total de techos					1.004

En la tabla, antes descrita, se contabiliza el área total de techos, que se consideran para la captación de agua de lluvia, así se trabajará con 1.004 m². El material del techo de la zona de beneficiado húmedo es de zinc metálico; recubierto con una capa de pintura anticorrosiva

color verde; no posee canoas, ni bajantes; mientras que los techos del depósito de la broza y del galerón del lombri-compost, no cuentan con ninguna capa protectora: ni canoas, ni bajantes.

En la figura 21 se muestran los techos para la captación de agua de lluvia en el de beneficio de Cooepilangosta R.L. Mientras, que en la figura 22, se presenta la ubicación de los techos dentro del beneficio.



Figura 21. Techos para la captación de agua de lluvia

4.3.2.2 Ubicación y caracterización del reservorio para el almacenamiento del agua de lluvia capturada.

El reservorio para el almacenamiento del agua, se ubicó en un estanque de tierra que tenía el beneficio Cooepilangosta R.L., en la parte inferior de su finca, era usado como laguna de oxidación de las aguas mieles del proceso del beneficiado húmedo; sin embargo, debido a la merma de la producción hace más de 5 años no se utiliza. Es un reservorio de tierra que cuenta con todas las condiciones para el almacenamiento del agua y permite que se transporte agua por medio de una tubería en gravedad.

Con el levantamiento topográfico, se determinó que el área total del estanque es de 1.590 m², con una capacidad volumétrica de almacenamiento de 5.804 m³. A sabiendas, que en la cosecha 2014-2015, se consumió un volumen de agua de 1.395 m³, valor muy inferior a la capacidad total del reservorio. Por ello, se escogió un área del reservorio total, para el almacenamiento del agua de lluvia, se utilizan las curvas de nivel realizadas cada 0,3 m, en el área del reservorio.

Asimismo, se estableció que a la curva de nivel de elevación de 329,2 m, se alcanza un área de 933 m² con una capacidad para almacenar un volumen de agua de 1.908 m³. A esta no se le debe realizar ninguna obra de movimientos de tierra, pues dicha curva tiene la elevación donde el agua se almacena en su circunferencia.

En la figura 22 se muestra la ubicación del reservorio así como la ubicación de los techos para la captación del agua de lluvia.



Figura 22. Área del reservorio para el almacenamiento del agua de lluvia

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un modelo de elevación digital (figura 23) para determinar el volumen del reservorio y sus elevaciones. Se ofrece una visión de las elevaciones que se encuentran en el área del reservorio.

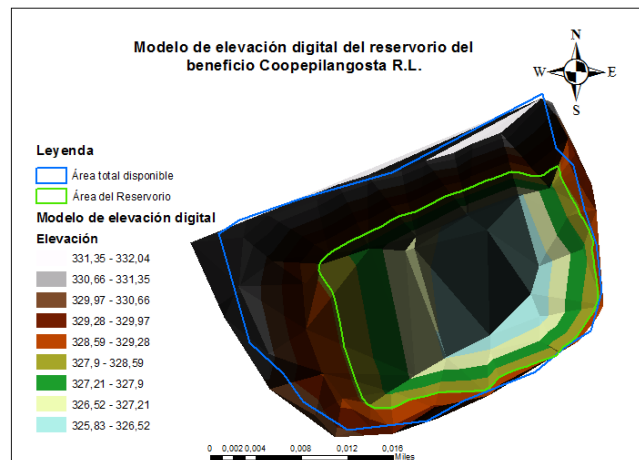


Figura 23. Modelo de elevación digital del área total del reservorio

Fuente: Elaboración propia

En la figura 24 se muestra la vista de las curvas de nivel realizadas en el área del reservorio.

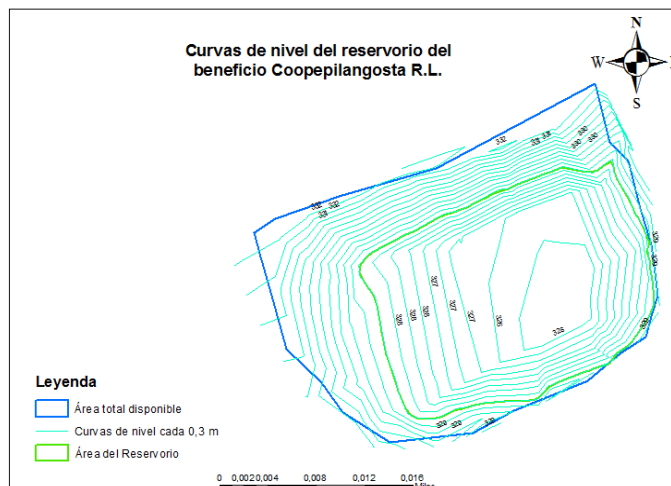


Figura 24. Curvas de nivel del reservorio

Fuente: Elaboración propia

También se realizó una curva de volumen de almacenamiento de agua en el reservorio (figura 25). Otorga una representación del volumen de agua que se puede almacenar en el reservorio para cada curva o cota de elevación.

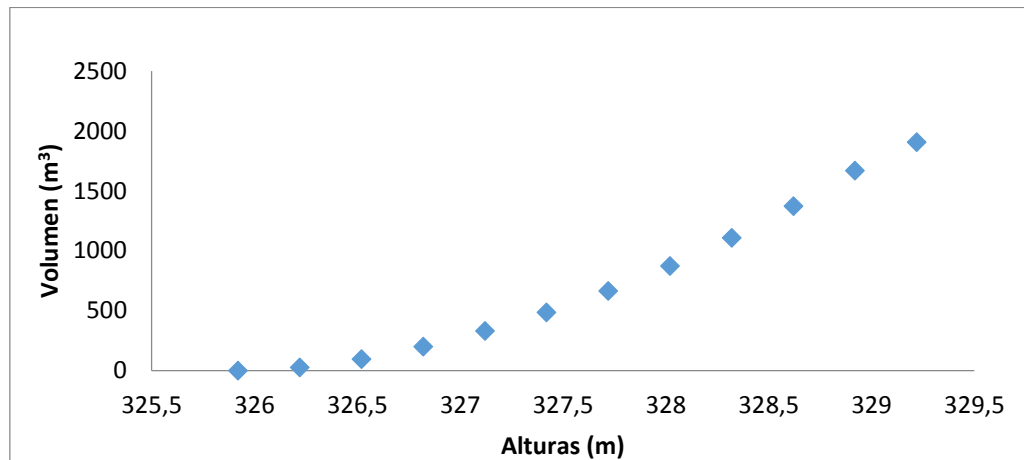


Figura 25. Curva de nivel de almacenamiento de agua en el reservorio

4.4 Diseño de las obras hidráulicas del sistema de captación de agua de lluvia

Para el diseño hidráulico de las obras complementarias con el sistema de cosecha de agua de lluvia, se determinó el valor de la intensidad máxima de lluvia, donde los se ajustaron mejor a la distribución Normal (figura 26), para un período de retorno de 25 años.

El resultado fue un valor de intensidad máxima de 155 mm/hr.

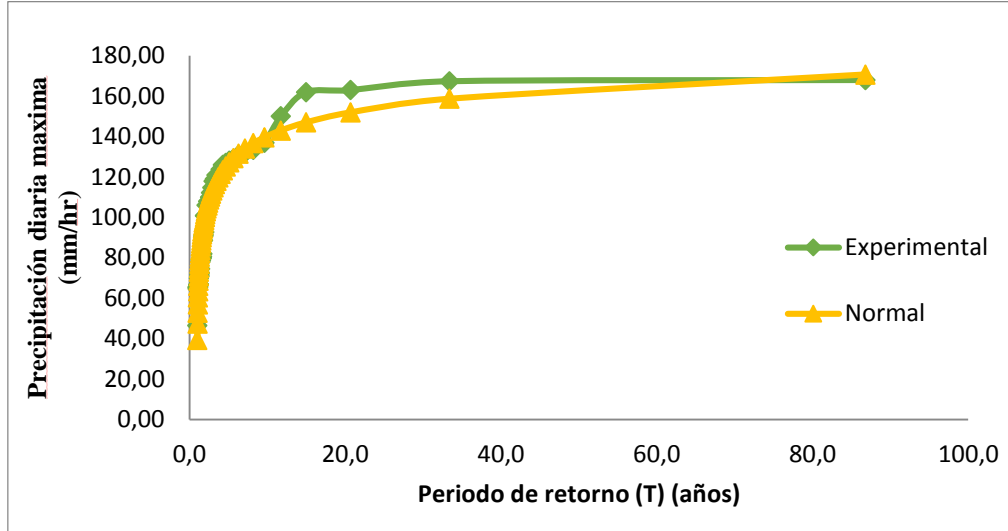


Figura 26. Ajuste de distribución de probabilidad normal para intensidad de lluvia

Se obtuvo el caudal de escorrentía en cada techo (tabla 19) para el diseño de las obras hidráulicas. Se evidencia que en el techo 1, el caudal máximo que se puede recolectar es de 11,4 l/s; el techo 2 que es una superficie de dos aguas cuenta con un área total de 384 m², para capturar un caudal de 13,2 l/s. En consecuencia, para cada sección del techo de agua se tendría un área de captura de 192 m² para capturar un caudal de 6,6 l/s; mientras que en el techo 3 su caudal máximo de captura fue de 9,9 l/s.

Tabla 19. Caudal de escorrentía para el diseño hidráulico

Techo	Área (m ²)	I (mm/hr)	Ce	Q (l/s)
1	331	155	0,8	11,4
2	384	155	0,8	13,2
3	289	155	0,8	9,9

El diseño de las canoas y bajantes del techo 2, se realizó con el caudal para cada sección del techo a dos aguas, que representa un caudal de 6,6 l/s.

4.4.1 Sistema conductor de la captación del agua de lluvia

4.4.1.1 Bajantes

El resultado del dimensionamiento de los bajantes, calculado por los métodos descritos en el apartado 3.9.1, resultó como se detalla en la tabla 20.

Tabla 20. Dimensionamiento de los bajantes

Techo	Q (l/s)	Diámetro (mm)	Diámetro escogido (mm/in)
1	11,4	85	100/4
2	6,6	65	100/4
3	9,9	80	100/4

Dado que el caudal máximo para un bajante de diámetro de 100 mm de PVC es de 5 l/s (tabla 2), por lo que se colocaron varios bajantes en cada techo. Con base en el resultado de la tabla 21, que indica que: para el techo 1, se ocuparon 3 bajantes; para el techo 2 se ocuparon 2 bajantes por cada sección del techo de 2 aguas. Finalmente, para un total de 4 bajantes en el techo 2 y para el 3, 2 bajantes.

Tabla 21. Cantidad de bajantes para cada área de techo

Techo	Número de bajantes	Ubicación a lo largo del techo (m)	Q c/u bajante (l/s)
1	3	4,5 m; 9 m; 14 m	4
2	2	12 m; 24 m	3
3	2	10 m; 20 m	5

4.4.1.2 Canoas

Se diseñaron las canaletas con una pendiente de 1,5 % y el resultado del dimensionamiento basado en la ecuación de Manning, se muestra en la tabla 22.

Tabla 22. Dimensionamiento de las canoas

Característica	Techo 1	Techo 2	Techo 3
Ancho (m)	0,15	0,15	0,15
Altura (m)	0,12	0,11	0,14

Se seleccionaron las canaletas clásicas de alto caudal de forma rectangular de Amanco, que cuentan con una base de 150 mm y una altura de 130 mm, para un área de 0,02 m². Además, que tienen la capacidad para transportar el caudal de techo para cada sección de bajante, como se muestra en la tabla 23.

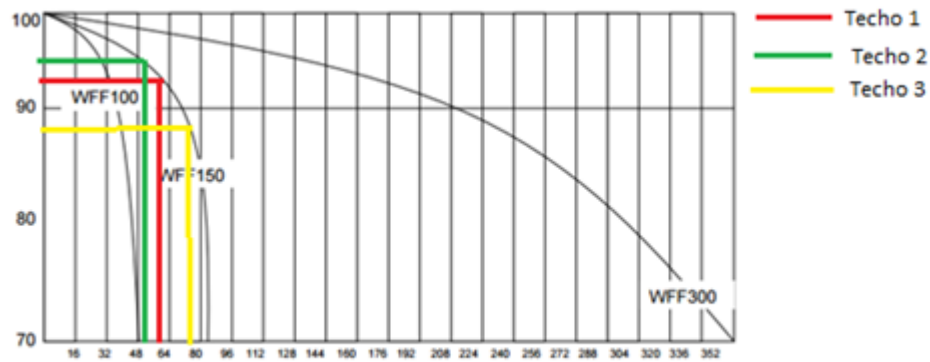
Tabla 23. Caudal de canoa de alto caudal Amanco

Gradiente (%)	Canoa alto caudal Q_{max}(l/s)
0,2	7,2
0,5	11,5
1,0	16,2

4.4.2 Sistema de pre-limpieza

Se seleccionaron los Wisy que es un limpiador centrífugo, específicamente, el modelo WFF 150 (figura 27). Se colocará un filtro para cada bajante; situados posterior a las cajas de registro de cada bajante, para tener una colocación total de 9 filtros WFF 150.

Con la curva de rendimiento, se determinó que los filtros en el techo 1 funcionarían con un rendimiento del 92 %; en el techo 2 con un 95 %; mientras que en el techo 3 con un 88 %, como se observa en la figura 27.



Entrada del agua de lluvia de la zona de recolección en galones por minuto

Figura 27. Rendimiento del índice de eficiencia y rendimiento del filtro modelo WFF 150

Este filtro cuenta con una malla de 0,28 mm, para la separación de las impurezas tales como hojas, que trae el agua de lluvia; ramas; insectos; y musgo. Tiene la capacidad para desviar hasta 95% de agua de lluvia limpia a un tanque de almacenamiento. Este filtro está diseñado para proporcionar agua altamente oxigenada y muy limpia al tanque por su diseño de diamante de corte vertical. Este filtro funciona con la acción capilar para proporcionar la más alta calidad del agua de lluvia con un mantenimiento y pérdida de agua mínima.

Además de la colocación de estos filtros, se debe realizar un mantenimiento diario del estado y limpieza de los techos. Se debe colocar una capa protectora de pintura para disminuir la corrosión.

4.4.3 Tubería de conducción por gravedad

Para el transporte del caudal recolectado hacia el reservorio se debe de hacer uso de tubería PVC SDR-41 de drenaje (ASTM 3034). Los tramos que conducen el caudal proveniente de un techo, serán de tubería PVC con diámetro de 100 mm y los tramos de conducción de caudal, de más de un techo, se efectuarán con tubería de PVC de diámetro de 150 mm.

En la tabla 24 se ilustran los datos del diámetro interno; externo; y el coeficiente de fricción de los diámetros nominales, de las tuberías seleccionadas.

Tabla 24. Características de los diámetros de tubería seleccionada

Diámetro nominal (mm)	Diámetro interno (mm)	Diámetro externo (mm)
100	100,9	107,1
150	151,6	159,4

En la figura 28 se muestran los tramos de conducción del agua de lluvia, recolectada en los techos hacia el reservorio. Los tramos del 1 al 6, son de la tubería de conducción principal que tiene un diámetro de 150 mm.



Figura 28. Sistema de conducción por gravedad

Fuente: Elaboración propia

Además, en la tabla 25, se observa la descripción de los 6 tramos de la tubería principal que cuenta una longitud total de 143 m. El tramo 1, transporta un caudal de 25 l/s que corresponde al caudal de los techos 1 y 2; mientras que los tramos del 2 al 6 corresponden al tramo principal, ya que transportan todo el caudal de los tres techos de 35 l/s; donde se muestran

las diferencias de nivel y pendiente en cada tramo y de la fuerza de gravedad para que el fluido se desplace a lo largo de la tubería.

Tabla 25. Características de los tramos de la tubería de conducción por gravedad

Parámetro	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6
Elevación inicial, h1 (m)	344	335	333	332,2	332	336
Elevación final, h2 (m)	335	333	332	331,8	336	329
Diferencia de nivel, Δh (m)	-9	-2	-1	-0,4	+4	-7
Distancia, L (m)	42	23	25	18	18	17
Pendiente, S (decimal)	0,22	0,07	0,04	0,02	+0,2	0,4
Caudal, Q (l/s)	25	35	35	35	35	35

En la figura 29 se visualiza el perfil topográfico de la ruta de conducción por gravedad, donde la diferencia de nivel del primer punto al punto del reservorio es de 19,4 m. Además, se observa que, si se encuentra con pendiente suficiente para que el caudal se transporte solo en el tramo 5, entonces se tiene que realizar un corte de 4 m en la zona de la zanja de la tubería, debido a que el agua transportada no tendría la energía para subir la loma. Se considera que a inicios del tramo 2, se colocará una caja de registro y ese punto es superior al punto final del tramo 5.

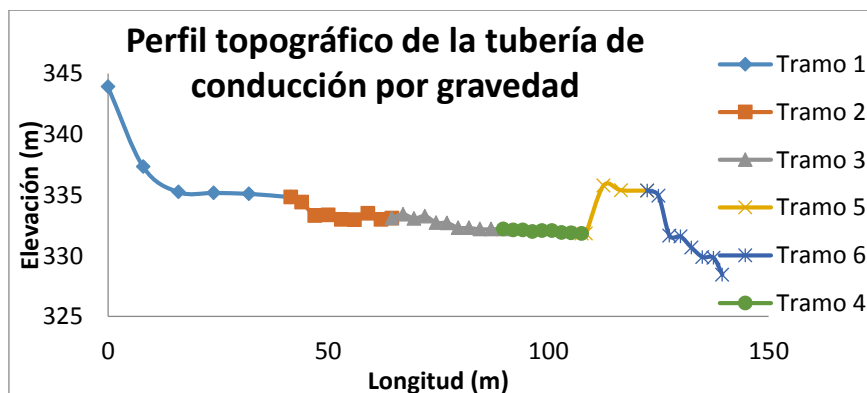


Figura 29. Perfil topográfico de la ruta de conducción por gravedad

Fuente: Elaboración propia

4.4.3.1 Zanjas y cajas de registro

4.4.3.1.1 Zanja

El sistema de conducción por gravedad irá enterrado a una profundidad de 0,3 m de la corona del tubo a la superficie del terreno. El ancho de la zanja será de 0,2 m, debido a que el diámetro de la tubería es de 100 mm y 150 mm. La longitud de la zanja es de 143 m, que es la suma de los 6 tramos, para una extracción de un volumen de tierra de 13 m³.

Para eliminar el lomo del tramo 5, que tiene una diferencia de elevación de 4 metros en una distancia de 18 m, entonces se tiene que realizar una excavación de 14 m³.

4.4.3.1.2 Cajas de registro

Se colocarán 11 cajas de registro, 9 están ubicadas a la salida del caudal de cada bajante, y las otras 2 se localizan en las conexiones de las tuberías de 100 mm que transportan el caudal de 1 o 2 techos.

Basados en la tabla 6, se escogieron las dimensiones internas de la caja de registro (cm) que se observan en la figura 30. Mientras que las dimensiones de la excavación son de un ancho de 65 cm; 85 cm de largo; y una profundidad de 55 cm.

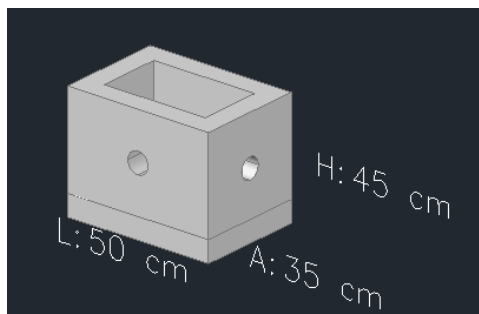


Figura 30. Dimensiones de la caja de registro (cm)

Fuente: Elaboración propia

Basados en los detalles de los pozos de registro del Reglamento de Norma Técnica A y A. Se tiene que el espesor es de 10 cm, se utiliza para su construcción varilla #3 y concreto de 210 kg/cm².

Se para la construcción de las 5 cajas de registro se requiere el siguiente material:

- 4 sacos de cemento
- 0,2 m³ de arena
- 0,4 m³ de piedra
- Para la estructura vertical de las paredes, se necesitan 2 varillas #3, para cada caja de registro; para un total de 10 varillas #3.
- Para la estructura horizontal se requieren 1,5 varilla por caja de registro; para un total de 8 varillas #3.
- 1,5 kg de alambre de construcción

4.4.4 Vertedero de excedencias

La carga en el vertedero es de 10 cm; por lo que la longitud de la cresta del vertedero cipolletti resultó de 58,7 cm. En la figura 31 se muestran tanto las dimensiones (cm) del vertedero diseñado como de las cotas en las curvas de nivel del reservorio, donde se colocará para liberar el excedente del agua.

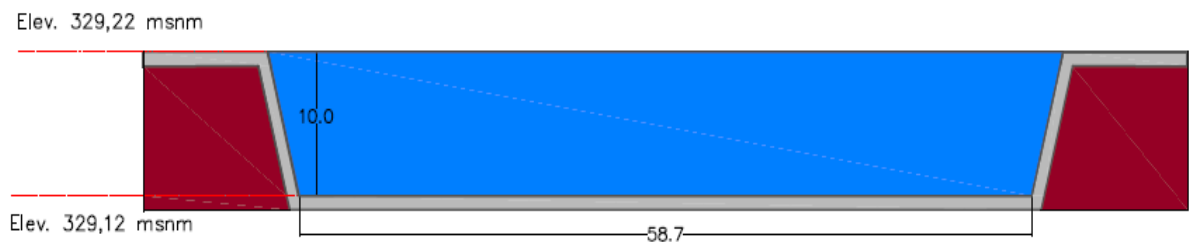


Figura 31. Vista frontal del vertedor cipolletti

Fuente: Elaboración propia

El inicio del vertedero se ubicará en la curva de elevación 329,12 m, para alcanzar la elevación de 329,2 m con los 10 cm de carga; que es el nivel máximo del reservorio, y no se debe sobrepasar esta altura. Además, se diseñó un canal en tierra, de un ancho inicial de 58,7 cm y final de 30 cm; con una altura de 10 cm, para que el caudal se conduzca hacia el cauce del río, que se encuentra a una diferencia de nivel de 10 m del reservorio. El diseño del vertedero se realizará en el borde del reservorio en tierra, y será recubierto con la geomembrana, al igual que el canal.

4.4.5 Sistema de bombeo

4.4.5.1 Tubería de conducción a presión

El caudal de diseño para el sistema de bombeo se diseñó de tal forma que en un tiempo de 6 horas se pueda proporcionar, al tanque de almacenamiento, el volumen máximo o volumen pico de agua en un día de procesamiento de café en el beneficio Coopepilangosta R.L.

En la tabla 26 se indican las variables utilizadas para determinar que el caudal de sistema de bombeo sea de 2,6 l/s.

Tabla 26. Variable para determinar el caudal de diseño del sistema de bombeo

Variable	Valor	Unidad
Volumen de agua pico en el procesamiento del beneficiado húmedo (V_p)	56000	l
Tiempo de recuperación del volumen pico en el tanque de almacenamiento (t)	6,0	hr
Caudal de diseño del sistema de bombeo (Q)	2,6	l/s

Para determinar el diámetro de la tubería de impulsión o de conducción, se consideró la diferencia de nivel del terreno; del punto superior del reservorio, a la elevación del tanque de almacenamiento para una diferencia de 24,9 m en una distancia de 211 m; además de altura

de succión de 4,2 m en una distancia de 10 m. El valor del diámetro óptimo de la tubería de impulsión se desglosa en la tabla 27.

Tabla 27. Valor del diámetro óptimo de la tubería de impulsión

Variable	Valor	Unidad
Factor de fricción (f)	0,06	-----
Velocidad del diámetro de la tubería de impulsión (vs)	1,4	m/s
Diámetro óptimo (D_{opt})	48,7	mm

La tubería de conducción a presión se realizará con tubería de PVC ASTM 2241, cédula SDR 26, con los diámetros nominales inmediatamente inferior de 38 mm y diámetro inmediatamente superior de 50 mm de diámetro óptimo. El diámetro de la tubería de succión resultó de 38 mm; por ello, se selecciona el mismo diámetro que, el inmediatamente inferior, de la tubería de inducción. En la tabla 28, se muestra las características de los diámetros seleccionados.

Tabla 28. Características de los diámetros de la tubería de conducción a presión

Característica	Diámetro 38 mm	Diámetro 50 mm
Diámetro interno (mm)	44,6	55,7
Diámetro externo (mm)	48,3	60,3
f_{interno}	0,06	0,06
L (m)	97,9	112,6
hf (m)	18,5	6,4

La tubería de presión también irá enterrada. Por consiguiente, se debe realizar una zanja de 0,10 m de ancho y una profundidad de 0,3 m de la corona del tubo a la superficie del terreno; para una longitud total de 210,5 m, para la extracción de un volumen de tierra de 7,4 m³.

4.4.5.2 Bomba seleccionada

Para la selección de la bomba se calcularon, las pérdidas locales que se dan en el sistema de conducción a presión en la tubería. En la tabla 29, se señalan los coeficientes de las pérdidas por los accesorios en el sistema de conducción para un valor total de 4,6.

Tabla 29. Coeficientes de las pérdidas locales en el sistema de conducción a presión

Pérdidas locales	Número	K	K total
Codos de 90	6,00	0,30	1,80
Codos de 45	3,00	0,20	0,60
Válvulas de compuerta	2,00	0,25	0,50
Salida de tubería al deposito	1,00	1,00	1,00
Contracción súbita	1,00	0,21	0,21
Entrada al tubo	1,00	0,50	0,50
Total	14,00	2,46	4,61

Con base en la sumatoria de los coeficientes de las pérdidas en accesorios, mostrado en la tabla 30, se detalla el valor de las demás variables que se utilizaron para calcular la carga dinámica total, para la selección de la bomba. De este modo, se obtiene un valor de 44,7 m.c.a de carga dinámica total, para el dimensionamiento de la bomba.

Tabla 30. Variables para el cálculo de la carga dinámica total

Caudal de diseño (Q)	2,6	l/s
Altura de succión (hs)	6,2	m
Altura de terreno (ht)	22,9	m
Diferencia de altura total	29,1	m
Distancia horizontal total (L)	220,8	m
Diámetro de la tubería (D)	0,05	m
Diámetro interno de la tubería SDR 26 (Di)	0,057	m
Área de la sección transversal de la tubería (A)	0,003	m ²
Factor de fricción de la tubería (f)	0,054	
Sumatoria de los coeficientes de las pérdidas locales (ΣhL)	4,6	
Carga dinámica total en la bomba (HB)	44,7	m.c.a

Se seleccionó una electrobomba centrífuga con doble rodete de la marca PEDROLLO; serie 2CP, como se detalla en la curva característica (anexo B.1) que, es con la carga dinámica total y el caudal de diseño, la bomba que cumple las características de la electrobomba 2CP32/200C. La electro bomba centrífuga seleccionada tiene una potencia eléctrica de 3 kW y una potencia de 4 hp, que trabaja con corriente trifásica. En el anexo B.2 se indican las características del modelo seleccionado.

4.5 Balance hídrico del reservorio

Se realizó el balance hídrico del embalse. Se toman en consideración las 4 combinaciones posibles que se mostraron en el apartado 3.12.

4.5.1 Volumen de agua a capturar y almacenar en el reservorio

Con el valor de la precipitación acumulada de mayo a octubre, para cada caso, entonces se obtiene el volumen de agua potencial que se puede capturar, con el área de techos utilizados para el Proyecto. En la tabla 31 se describe:

Tabla 31. Volumen de agua de captación de los techos del beneficio

Techo	Área (m ²)	Ce	Caso N°1		Caso N°2	
			P (mm)	V (m ³)	P (mm)	V (m ³)
1	331	0,8	1030	273	1196	317
2	384	0,8	1030	316	1196	367
3	289	0,8	1030	238	1196	276
Total	1004			827		960

Para el caso N°1, el volumen de agua a capturar es de 827 m³ y en el caso N° 2, un volumen de agua de 960 m³; así se halla una diferencia de volumen de agua de lluvia de 133 m³, que representa más de agua que se podrá almacenar con el valor de precipitación, del caso N°2

4.5.2 Pérdidas de agua en el reservorio

Se determinaron las pérdidas de agua en el reservorio que se van a presentar en un reservorio impermeabilizado, como lo es la evaporación.

4.5.2.1 Evaporación

Al aplicar las ecuaciones del apartado 2.7, se muestran en la tabla 32, los resultados obtenidos de la evaporación diaria de los meses de mayo a octubre.

Tabla 32. Resultados del cálculo de la evaporación.

Mes	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre
E (mm/día)	3	1	2	4	1	2

En el mes de setiembre es donde se obtiene la evaporación menor de mm/día; y la mayor en agosto. Para obtener una evaporación acumulada de los meses de mayo a octubre de 411 mm. Este es un valor alto que afectará considerablemente el volumen de agua en el reservorio, si no se cuenta con ninguna estructura que evite o minimice su pérdida.

En la tabla 33, se muestra la evaporación acumulada de los meses de noviembre a enero, que se da en la zona de la realización del proyecto. Esta evaporación se tomó en consideración para la realización del balance hídrico en los meses de noviembre a enero.

Tabla 33. Evaporación acumulada en mm, de los meses de noviembre a enero

Mes	Noviembre	Diciembre	Enero
E (mm/mes)	79	110	140

En el anexo D.1, se detallan los valores obtenidos del cálculo de la evaporación diaria para los meses de noviembre a enero, para utilizarlos en el balance hídrico del reservorio.

4.5.2.1.1 Clasificación de la Estación Meteorológica del Icafe

Se realizó una clasificación de la estación Davis pro, según la evaluación de los parámetros establecidos por la norma en común de la ISO y la OMN 19289:2010; con el fin de determinar el error o grado de incertidumbre en los datos de temperatura; humedad del aire; viento de superficie; y la radiación global y difusa.

En la figura 32 se proporciona la ubicación de la estación meteorológica, con respecto a todos los obstáculos, que pueden provocar incertidumbre en los datos medidos.

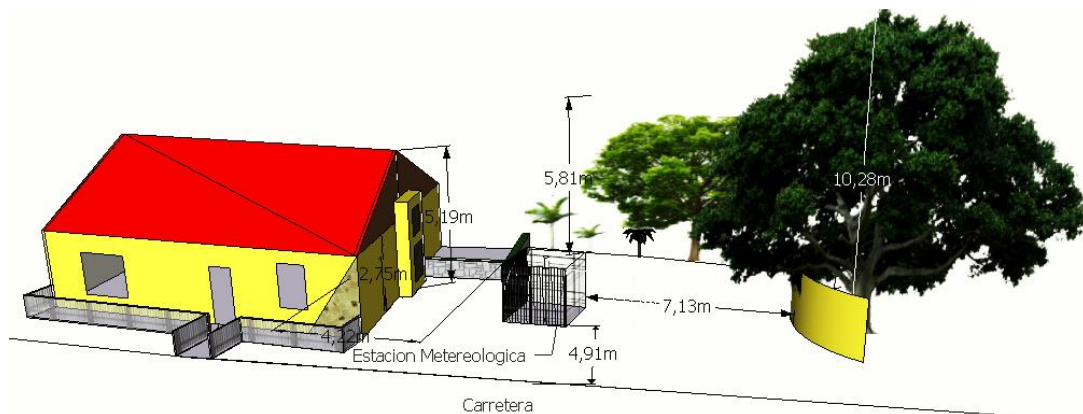


Figura 32. Obstáculos presentes en la ubicación de la estación meteorológica

Fuente: (Elaboración propia, SketchUp Pro 2014)

Se obtuvo que la estación total se clasifica de clase 4. Por consiguiente, presenta una incertidumbre de hasta 2 °C, en los datos de temperatura y humedad del aire; una incertidumbre de más del 50 % en los datos de viento de superficie y en la radiación. Por tanto, indica que hay proyección de sombras más del 30 % del día sobre la estación meteorológica y se afectan los valores registrados.

4.5.2.2 Infiltración

En la figura 33, se muestran los tres puntos analizados para determinar la velocidad de infiltración que se tiene en el área del reservorio.

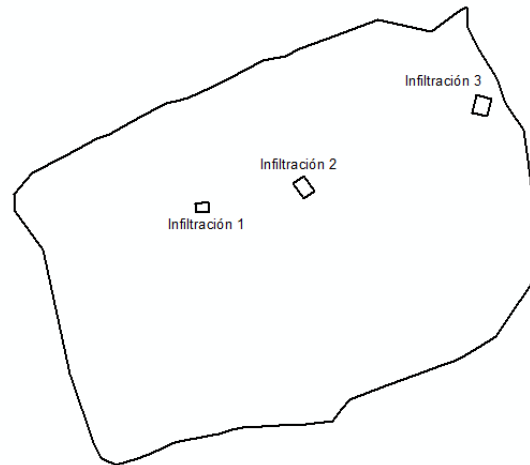


Figura 33. Ubicación de los tres puntos de pruebas de infiltración

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 34 se detallan los resultados de las tres pruebas de infiltración, donde se determina que el tipo de suelo es variable y la tasa de infiltración en 2 puntos es lenta y en el tercero es rápida. Se concluye que el tipo de suelo predominante en el reservorio es un suelo con alto contenido de arcilla y bajo contenido de materia orgánica.

Tabla 34. Resultados de las pruebas de infiltración, método de los anillos concéntricos

Nombre	Velocidad de infiltración (cm/hr)			Clasificación
	Experimental	Teórico (Kostiakov)	% error	Teórico (Kostiakov)
Prueba 1	2,0	1,1	45	Lenta
Prueba 2	1,6	1,1	31	Lenta
Prueba 3	3,0	2,5	17	Rápida

4.5.3 Resultados del balance hídrico del embalse

Las pérdidas por infiltración no se consideraron para el balance hídrico en el reservorio, debido a que se desea almacenar el mayor volumen de agua posible. Asimismo, se mantiene la calidad del agua recolectada, ya que las pérdidas por infiltración en el suelo son altas en el transcurso del tiempo y la calidad del agua se ve afectada por su almacenamiento directo en el suelo.

4.5.3.1 Balance hídrico del reservorio acumulado de los meses de mayo a octubre

En la tabla 35, se evidencia el resultado del balance hídrico del reservorio acumulado de mayo a octubre. Se consideran las 4 combinaciones que se analizaron y se determinó que la colocación de la cubierta de sarán, para evitar la evaporación en un 75 %, produce un aumento del 15 % del volumen de agua disponible para el beneficiado de café.

Además, se obtuvo que la combinación del caso N°2 con el escenario N°2, es la que ocasiona el mayor volumen de agua almacenada, con un volumen neto de 865 m³. También se tiene que en todos los casos la capacidad de aprovechamiento del volumen del reservorio de 1908 m³, que sería utilizada como máxima en un 45 % de su volumen total.

Tabla 35. Resultados del balance hídrico de acumulados de mayo a octubre

Caso	Escenario	P (mm)	E (mm)	Volumen capturado (m ³)	Pérdidas por evaporación en el reservorio (m ³)	Volumen neto (m ³)	Capacidad del reservorio
1	1	1030	411	825	383	444	23%
	2	1030	103	826	96	731	38%
2	1	1196	411	961	383	577	30%
	2	1196	103	961	96	865	45%

4.5.3.2 Balance hídrico del reservorio para los meses de noviembre a enero

Obteniendo el volumen neto de agua disponible en el reservorio para el mes de Noviembre de las diferentes combinaciones de escenarios y casos, y sumándole el volumen de agua que se captura en el mes de noviembre, pero restando las pérdidas de agua en el reservorio por evaporación y beneficiado húmedo de café, se obtienen los resultados que se muestran en tabla 36. Donde se obtiene que para las 4 combinaciones se puede procesar todo el café que se beneficia en Coopepilangosta en este mes quedando un volumen de agua disponible para me de noviembre como se comprueba en la última fila de esta tabla. Además se determina que en un reservorio impermeabilizado y con cubierta de sarán que es el escenario N°2, se almacena 191 m³ de más que en un reservorio del escenario N°1

Tabla 36. Resultados del balance hídrico del reservorio para el mes de noviembre

Balance hídrico del mes de noviembre				
Descripción	Escenario N°1		Escenario N°2	
	Caso N°1	Caso N°2	Caso N°1	Caso N°2
Precipitación acumulada del mes de noviembre (mm), con la probabilidad del 95 %, ajustado a la distribución log-normal	14	20	14	20
Volumen de agua capturada en noviembre (m ³)	11	16	11	16
Volumen de agua almacenada al mes de octubre (m ³)	444	731	577	865
Volumen de agua total disponible para el mes de noviembre (m ³)	455	747	588	881
Evaporación acumulada en el mes de noviembre (mm)	82	82	21	21
Pérdidas de agua en el reservorio por la evaporación acumulada del mes de noviembre (m ³)	77	77	21	21
Consumo de agua para el proceso del beneficiado húmedo de café en el mes de noviembre de la cosecha 2014-2015 (m ³)	227	227	227	227
Cantidad de fanegas procedas por el beneficio para el mes de noviembre en la cosecha 2014-2015	480	480	480	480

Tabla 36. Continuación de la tabla anterior: Resultados del balance hídrico del reservorio para el mes de noviembre

Balance hídrico del mes de noviembre				
Descripción	Escenario N°1		Escenario N°2	
	Caso N°1	Caso N°2	Caso N°1	Caso N°2
Volumen de agua disponible en el reservorio para el mes de diciembre (m ³)	151	443	342	634

Se obtiene que la precipitación para el mes de diciembre con una probabilidad del 95 % es de cero, por lo que para este mes, el reservorio no contaría con ninguna entrada en el volumen de agua acumulada. Pero si se obtiene pérdidas por evaporación de 110 mm para el escenario N°1 y 28 mm para el escenario N°2, además el mes de diciembre es el mes pico de recibo y beneficiado para el procesamiento de 1.918 fanegas y un consumo de agua de 721 m³, obteniendo que para el caso N°1 y escenario N°1, solo se podría beneficiar 112 fanegas para un faltante de agua de 777 m³ para procesar 1.806 fanegas. Mientras que para el caso N°1 y escenario N°2, se podría beneficiar 735 fanegas para apenas un faltante de 509 m³ de agua.

Pero se obtiene que el escenario N°2 y caso N°2 es donde se podría beneficiar hasta 1.415 fanegas con el agua de lluvia almacenada para solo un faltante de 216 m³ para procesar todo el café que ingreso en la cosecha 2014-2015. En la tabla 37, se muestra los resultados obtenidos del balance hídrico del reservorio del mes de diciembre.

Tabla 37. Resultados del balance hídrico del reservorio para el mes de diciembre

Balance hídrico del mes de diciembre				
Descripción	Escenario N°1		Escenario N°2	
	Caso N°1	Caso N°2	Caso N°1	Caso N°2
Precipitación acumulada del mes de diciembre (mm), con la probabilidad del 95 %	0	0	0	0
Volumen de agua capturada en el mes de diciembre (m ³)	0	0	0	0

Tabla 37. Continuación de la tabla anterior: Resultados del balance hídrico del reservorio para el mes de diciembre

Balance hídrico del mes de diciembre				
Descripción	Escenario N°1		Escenario N°2	
	Caso N°1	Caso N°2	Caso N°1	Caso N°2
Volumen de agua bruta para el mes de diciembre (m ³)	151	501	285	634
Evaporación acumulada en el mes de diciembre (mm)	110	110	28	28
Pérdidas de agua en el reservorio por la evaporación acumulada del mes de diciembre (m ³)	103	103	26	26
Consumo de agua para el proceso del beneficiado húmedo de café en el mes de diciembre (m ³)	721	721	721	721
Cantidad de fanegas procedas por el beneficio para el mes de noviembre en la cosecha 2014-2015	1918	1918	1918	1918
Cantidad de fanegas de café frutas a procesar con el agua de lluvia neta disponible para el mes de diciembre	112	791	735	1415
Cantidad de café sin procesar con agua de lluvia	1806	1127	1183	503

Obteniendo que también no se podría beneficiar las 846 fanegas que se procesaron el mes de enero en ninguno de las 4 combinaciones de escenarios y casos.

En la tabla 38 se muestra el resultado del balance del reservorio final. Se obtiene que al incluir la cubierta de sarán en el reservorio, se aumenta en un 21 % la producción de café con agua de lluvia. Obteniendo que en el caso de precipitación con afectación del fenómeno El Niño en un reservorio del escenario N°2 se puede procesar 1.271 fanegas que equivale un 39 % de la cosecha 2014-2015. Mientras que el escenario N°2 con el caso N°2, se beneficiaría hasta 1.895 fanegas con una probabilidad del 95 % de obtener esa cantidad de agua, que en la cosecha 2014-2015 se hubiera podido procesar el 58 % del total cosechado.

Tabla 38. Balance hídrico final en el reservorio (Mayo - Enero)

Caso	Escenario	Capacidad de fanegas de café procesado con el agua de lluvia capturada y almacenada	% Producción de la cosecha 2014-2015
N°1	N°1	592	18 %
	N°2	1.271	39 %
N°2	N°1	1.215	37%
	N°2	1.895	58%

En el anexo E se proporcionan gráficas del balance hídrico diario en el reservorio de los meses de noviembre a enero. En este lapso se da el consumo de agua en el beneficiado húmedo y se muestra el déficit de agua que se tiene para suplir todo el beneficiado con agua de lluvia para cada situación o combinación de los casos y escenarios.

4.6 Costos e ingresos

4.6.1 Costo del cambio tecnológico y su beneficio

El primer objetivo del Proyecto era reducir el consumo de agua dentro del beneficiado con un cambio tecnológico en el proceso, sin disminuir la calidad de café producido; para esto se recomienda la incorporación de una desmucilagadora mecánica. En la tabla 39 se detalla el costo de una desmucilagadora mecánica, marca Bendig modelo AGV-15.

Tabla 39. Costo de una desmucilagadora mecánica

Cambio Tecnológico	Cantidad	Unidad	Precio total
Desmucilagadora vertical modelo AGV-15, con motor 15 hp, cap.: 15 ff/hr. Incluye mazorca sólida pulida a mano, cedazos en acero inoxidable, bisagras sólidas para abrirla y facilitar la limpieza. Sistema de doble salida para el café con diferentes niveles de mucílago	1	c/u	€5.379.500
	Impuesto (13%)		€699.335
Costo Total			€6.078.835

Con una inversión de ¢6.078.835, el beneficio Coopepilangosta R.L., reducirá su consumo de agua en al menos un 40 %.

4.6.2 Costos de las obras de construcción del sistema de cosecha de agua de lluvia

4.6.2.1 Total de costos de la realización

Para el recubrimiento del reservorio se utilizará la geomembrana de polietileno ultraflexible (LLDPE) de 1,5 mm de espesor de AMANCO. Estas son resistentes a una amplia gama de productos químicos, incluidos ácidos; sales; alcoholes; aceites; e hidrocarburos.

Además presentan una flexibilidad muy alta con un compendio de propiedades adecuadas para un gran número de aplicaciones. Entre las que cabe destacar: sellado de vertederos y balsas de agua en terrenos conflictivos con riesgo de movimientos del soporte. El precio por m² de Geomembrana LLDPE de 1,5 mm de espesor es de ¢2.839, y el precio para un área de 1000 m² es de ¢2.839.429; se incluye el transporte, pero se debe agregar el costo de un 2 % del precio de la Geomembrana para su instalación.

Por un lado, los precios de toda la tubería y sus accesorios, fueron cotizados directamente en Durman. Por otro lado, las canoas y sus accesorios fueron cotizados en Amanco.

Para determinar el costo de la realización de las cajas de registro, se determinó que los materiales que se ocupan para su construcción son cemento, arena, piedra y varilla #3. Además, todas las zanjas o excavaciones que se realizaron, se estimaron a un costo de ¢2.000 por metro cúbico de tierra removida.

El sistema de bombeo, fue cotizado por un agente vendedor de Corporación Font.S. A. Se incluía el sistema la bomba centrífuga y la caja de arranque. El costo del sistema de pre-filtrado (filtros Wisy) se determinó en \$741 por unidad.

El costo de la estructura para la puesta del sarán, en el escenario N°2 (que incluye protección para evitar pérdidas por evaporación) se cotizó en un taller metálico del pueblo. En el anexo E.1 se desglosan todos los costos de la inversión del proyecto que involucran todo el sistema de conducción; sistema de bombeo; de pre-limpieza; y demás obras hidráulicas para su implementación.

En la tabla 40 se observa el costo total del escenario N°1 que tiene el Proyecto. Se incluyen los costos de mano de obra en la instalación y limpieza de la laguna de oxidación, para el reservorio impermeabilizado con un valor de ₡ 14.304.141.

En la tabla 41 se muestra el costo del Proyecto en el escenario N°2, que además incluye una cubierta de protección para la disminución de las pérdidas por evaporación con un valor de ₡ 15.404.362. En conclusión, la diferencia de costo de un escenario al otro es de ₡ 1.100.220.

Tabla 40. Costos del escenario N°1 que consiste en el reservorio impermeabilizado

ESCENARIO N°1					
Ítem	Renglón de pago	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (₡)	Precio total (₡)
<i>COSTO DEL SISTEMA CON RESERVORIO EN TIERRA</i>					₡11.407.924
	Impermeabilización				
1	Geomembrana LLDPE 60 mil AMANCO	1000	m ²	₡ 2.839	₡2.839.429
2	Costo de instalación	2	%	₡ 56.788	₡56.789
<i>SUBTOTAL GEOMEMBRANA</i>					₡2.896.218
TOTAL, ESCENARIO 1					₡14.304.142

Tabla 41. Costos del escenario N°2 que consiste en el reservorio impermeabilizado y cubierta de sarán para evitar en un 75 % pérdida por evaporación.

ESCENARIO 2					
Ítem	Renglón de pago	Cantidad	Unidad	Precio unitario (C)	Precio total (C)
<i>COSTO DEL SISTEMA CON RESERVORIO EN TIERRA</i>					¢11.407.924
	<i>Impermeabilización</i>				
1	Geomembrana LLDPE 60 mil AMANCO	1000	m ²	¢2.839	¢2.839.429
2	Costo de instalación	2	%	¢56.788	¢56.789
<i>SUBTOTAL GEOMEMBRANA</i>					¢2.896.218
	<i>Protección contra evaporación</i>				
3	¢ 525.000				¢ 525.000
4	¢ 475.200	320	m	¢1,5	¢475.200
5	¢ 100.020	10	%	¢100,0	¢100.020
<i>SUBTOTAL ZARAN</i>					¢1.100.220
TOTAL, ESCENARIO 2					¢15.404.361

4.6.3 Costo de la implementación de un pozo

Se determinó en la investigación que se realizó en la zona de realización del proyecto, que esta zona no cuenta con alguna restricción para la construcción de un pozo que sería otra opción que tendría el beneficio para suministrar el volumen de agua utilizado en el beneficiado húmedo de café.

Se determinó por medio del SENARA, que la zona de Hojanca no cuenta con ninguna restricción para solicitud de construcción de pozos, además se estipuló que un radio de 1.000 m de la ubicación del beneficio, se encuentran registrados oficialmente dos pozos profundos de 30 y 45 m de profundidad para uso doméstico y riego con una profundidad estática de 7,0 y 7,8 m respectivamente. Además que para el pozo de 30 m de profundidad tiene la

autorización de extraer un caudal de 1,75 l/s. Los datos facilitados por parte del Senara, se muestran en el anexo G.1 y G.2.

Pero se debe aclarar que con la visita de campo realizada en la zona, se constato que existen varios pozos artesanales cercanos la zona de estudio, lo que ocasionaría que el nivel freático baje por su gran uso en la zona. También que se debe tomar en consideración la sequía de los últimos años en la provincia de Guanacaste, que ratificaría a la zona de Hojancha como una zona de vulnerabilidad hídrica. Por lo tanto se tendría que pensar, si a futuro un pozo profundo tendrá la capacidad, para proporcionar el gran volumen de agua utilizado en beneficiado húmedo del café.

El costo de la perforación de un pozo profundo de 50 m para el beneficio, se utilizó la cotización de la empresa “Perforaciones Aragonés”, que incluye los siguientes aspectos:

1. Inspección del sitio de perforación y georreferenciación.
2. Trámite del permiso de perforación y concesión de agua.
3. Perforación conveniente para lograr un diámetro neto efectivo de 212,5 mm.
4. Suministro y colocación de la tubería del pozo en PVC SDR26, con 150 mm de diámetro.
5. Suministro de la rejilla a colocar en las zonas acuíferas.
6. Suministro del filtro de grava, a colocar entre la tubería y la formación geológica.
7. Sello sanitario de concreto.
8. Evaluación y desarrollo del pozo.
9. Prueba de bombeo con nuestro equipo.

En la tabla 42, se proporcionan los costos de cada rubro de la perforación de un pozo de 50 m de profundidad para un costo total de ₡ 7.897.000.

Tabla 42. Costos de la realización del pozo

Descripción	Costo (dólares)	Costo (colones)
Trámite del permiso de perforación y concesión de agua ante la Dirección de Agua del MINAE (incluye bitácora geológica y publicación de edicto en La Gaceta)	\$ 1.000	₡ 530.000
Perforación y construcción de un pozo de 50 metros de profundidad (\$190.0/m)	\$ 9.500	₡ 5.035.000
Prueba de bombeo de 8 horas	\$ 1.200	₡ 636.000
Análisis de calidad del agua (Toma de muestra y análisis de laboratorio)	\$ 700	₡ 371.000
Reporte de perforación (armado del pozo, litología, análisis de prueba de bombeo)	\$ 700	₡ 371.000
Trámite ante la SETENA de la viabilidad ambiental para la concesión de agua	\$ 1.800	₡ 954.000
COSTO TOTAL	\$ 14.900	₡ 7.897.000

A este costo se le debe agregar el costo de la tubería de conducción hacia el beneficio y el costo del sistema de bombeo. En la tabla 43 se muestran los diámetros determinados para el sistema de conducción.

Tabla 43. Sistema de conducción del pozo

Característica	Diámetro (38 mm)	Diámetro (50 mm)
Diámetro interno SDR 26 (mm)	44,6	55,7
Diámetro externo SDR 26(mm)	48,3	60,3
F_{interno}	0,06	0,055
L (m)	131,5	88,9
hf (m)	24,8	5,1
Cantidad de tubos	22	15

En el anexo G.3 se muestra la curva característica de la bomba seleccionada. Es una bomba sumergible trifásica modelo 4SR45G/75, con una potencia de 5,5 kW y 7,5 hp. En la tabla 44 se indican los componentes del sistema de bombeo.

Tabla 44. Descripción del sistema de bombeo sumergible para el pozo

Descripción	P (kW)	P (hp)	Voltaje (V)	Corriente
Bomba sumergible Pedrollo 4SR45G/75	5,5	7,5	220	Trifásica
Motor sumergible Pedrollo 4PD7,5/2	5,5	7,5	220	Trifásica
Tablero control para un motor de 7,5 hp	5,5	7,5	230	Trifásica

En el anexo G.4 se muestra, detalladamente, todos los costos de la utilización de un pozo. Se incluyen la perforación; precios del sistema de conducción (tubería SDR 26); sus accesorios; el costo del sistema de bombeo; zanja para la colocación de la tubería; y además de la suma de un 20% del costo del sistema de conducción y bombeo en su instalación. El costo final de la implementación de un pozo para obtener el volumen de agua utilizado en el beneficiado húmedo en Coopetilangosta R.L., es de $\text{C}\$9.837.467$.

La inversión para realizar un pozo, resulta más barato que el sistema de cosecha de agua de lluvia, pero los beneficios ambientales y sostenibles que tiene la cosecha de agua de lluvia la hace mucho más viable.

4.6.4 Flujo de caja

4.6.4.1 Ingresos

Los ingresos se calcularon, al determinar la cantidad de café oro que se obtiene del total recibido en la cosecha. El beneficio Coopetilangosta R.L cuenta con un rendimiento de 89 libras de café oro por cada fanega de café, fruta recibida. De esa cantidad de café obtenido, el 85 %, es café de exportación y el 15 % de café para venta nacional.

En la tabla 45 se da la estimación de la cantidad de café con el incremento del 2%, para el horizonte de evaluación de 10 años.

A sabiendas de que el precio de venta de exportación se mantendrá constante en \$205.00 por cada 46 kg, que equivale a ¢ 2.353 por cada kilogramo de café oro y ¢1.200 por cada kilogramo de café para venta nacional. En el anexo H.1 se proporciona el ingreso que se obtiene en cada año para el horizonte de evaluación.

Tabla 4536. Cantidad de café para cada año con un incremento del 2 %.

Concepto	Horizonte de evaluación									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cantidad de café (fanegas)	3322	3322	3402	3483	3567	3652	3740	3830	3922	4016

4.6.4.2 Egresos

4.6.4.2.1 Costo de beneficiado de café

Se tomaron como referencia los informes anuales del Icafé, sobre el costo del beneficiado de café. Se agregan 11 rubros y se emplea el valor promedio en cada rubro que es calculado para el procesamiento de un saco de 46 kg de café oro.

4.6.4.2.1.1 Planillas de patio y maquinaria

Se refiere al recurso humano utilizado por el sector beneficiador en el procesamiento parcial o total de los granos de café. Este insumo o recurso genera costos por concepto de mano de obra mediante el pago de salarios que incluyen los peones y operarios (aquí se agrupan todos los colaboradores fijos y ocasionales que brindan sus servicios para la planta del beneficio, así como los encargados de medir y acarrear el café fruta recibido por la firma beneficiadora). Sumado a lo anterior, una característica particular de estos trabajadores es que, por lo general, perciben salarios por unidad de tiempo laborado (horas, tardes o días). Se añaden el costo de mano de obra del personal administrativo.

Se estiman los costos por producción por casa saco de 46 kg de café oro.

4.6.4.2.1.2 Cuotas patronales

Se refiere a los egresos y provisiones realizadas por el sector beneficiador para contribuir al régimen de seguridad social de sus trabajadores. Esto, de acuerdo con lo establecido por la legislación laboral costarricense: cargas sociales; garantías sociales; y el seguro de riesgos profesionales. Según establece la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de Todas las Actividades Económicas (CIIU 3), los beneficios de café se clasifican en la Sección D; división 15, grupo 154; y clase 1549 denominada "Elaboración de otros productos alimenticios n.c.p."

4.6.4.2.1.3 Energía eléctrica

Se estima la cantidad de energía eléctrica utilizada para la producción de un saco de 46 kg de café oro, donde se obtienen los valores promedios que se muestran en la tabla 46. Debido que para este valor influyen el costo de volumen de producción y el costo unitario de la energía eléctrica por cada proveedor.

4.6.4.2.1.4 Combustibles y lubricantes

En este factor se incluye la leña. Esta es la segunda fuente de energía utilizada en el proceso de beneficiado de café y los hidrocarburos que involucra los egresos en combustibles derivados del petróleo (diésel, gasolina); así como lubricantes (aceites y grasas) empleados para el adecuado funcionamiento de la maquinaria de la planta del beneficio, o bien, para la movilización interna de insumos (sacos, leña u otros) al igual que al mismo café del beneficiado.

4.6.4.2.1.5 Sacos

El material de empaque más común, usado para la comercialización del café oro en Costa Rica, es el saco de kenaf o yute para el café de exportación. Para el embalaje del café de consumo nacional. Los sacos más utilizados son los de polipropileno, aunque también se emplean sacos de kenaf o yute. Los sacos de kenaf o yute que se utilizan para transportar café con destino para exportación, tienen una capacidad de embalaje de 69 kg, es decir, 1.5 veces la unidad de medida oficial (46 kg) y para consumo nacional el café que se comercializa o transporta desde la planta del beneficio en sacos de 46 kg, independientemente del tipo de saco que se utilice para su embalaje. El costo de los sacos para venta nacional como de exportación, se muestra en la tabla 46.

4.6.4.2.1.6 Cáñamo, brochas y tinta

Son los materiales utilizados en los beneficios para el adecuado empaque del producto. Además, como complemento de los sacos utilizados para el embalaje del café. En la tabla 46 se detalla su costo, en el transcurso de los años.

4.6.4.2.1.7 Preparación de café en beneficio seco

El servicio de preparación o alistado final del café, es el que comprende una serie de labores que el grano requiere una vez que ha salido de la fase seca del proceso de beneficiado. El propósito es darle el acabado final y cumplir con los estándares de calidad exigidos por los compradores de café nacionales y especialmente, extranjeros. Su costo en el período de la cosecha 2008-2009 a 2013-2014 se muestra en la tabla 46.

4.6.4.2.1.8 Transporte de café beneficiado

En este rubro se contempla el costo promedio en el que incurre una firma beneficiadora para transportar el café beneficiado, desde la planta del beneficio hasta el lugar de entrega. Ya sea convenido dentro del territorio nacional, para su exportación; venta local; o almacenaje en beneficios secos u otras bodegas. Además, su costo es variable según el sector donde se encuentra el beneficio. Su costo promedio desde la cosecha 2008-2009 a la cosecha 2013-2014 se señala en la tabla 46.

4.6.4.2.1.9 Seguro del café

La Ley N° 2762, sus reformas y su reglamento, reconocen como gasto aceptado, dentro del costo de beneficiado, los seguros. Entre ellos se señalan: el seguro de incendio para la protección de la agroindustria, en este existen diferentes coberturas; y el seguro de transporte interior, que también existen diferentes coberturas. En la tabla 46 se presenta el costo promedio del seguro para el café.

4.6.4.2.1.10 Tasas e impuestos pagados

Este gasto comprende erogaciones de dinero por concepto de pagos por cánones de agua e impuestos municipales. El costo de este rubro varía dependiendo de la zona de beneficiado, se presenta un valor promedio para la obtención de un saco de 46 kg de café oro, como se muestra en la tabla 46.

4.6.4.2.1.11 Tratamiento de aguas y desechos

En este rubro se toma en cuenta el costo del tratamiento de las aguas residuales. En el caso del beneficio Coopetilangosta R.L. utiliza el sistema de laguna anaeróbicas con un costo de ¢118 por cada saco de 46 kg de café oro procesado en la cosecha 2013-2014 y el costo del

transporte y tratamiento de la broza, depende de la distancia del transporte de la broza. Se da como resultado que en el beneficio Coopepilangosta R.L su distancia es menor a 1 km, por lo que, su costo promedio es de ¢379. Por ello, se presenta un costo total en este rubro, para la cosecha 2013-2014, de ¢ 497.

4.6.4.2.1.12 Costos totales del beneficiado

En la tabla 46 se muestran los costos unitarios por cada rubro del costo en el beneficiado de café de un saco de 46 kg de café oro; en el período de las cosechas 2008-2009 a la 2013-2014. Se observa como fluctúa año a año los precios de los rubros del costo del beneficiado, tanto en alza como en disminución, ya que los precios dependen de muchos factores económicos del país y del ámbito internacional.

Tabla 46. Comportamiento histórico del costo de beneficiado de Café. Costo aceptado por Ley No 2762. Promedio nacional de la cosecha 2008-2009 a 2013-2014

Rubro del costo	Año de la cosecha					
	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
1. Planillas de patio y maquinaria	¢2.303	¢2.614	¢2.816	¢2.849	¢3.091	¢3.252
2. Cuotas patronales y seguros de empleados	¢1.037	¢1.177	¢1.281	¢1.296	¢1.406	¢1.479
3. Energía eléctrica	¢1.255	¢1.413	¢1.413	¢1.393	¢1.602	¢1.634
4. Combustibles y lubricantes	¢330	¢331	¢390	¢426	¢425	¢494
5.1 Sacos exportación	¢672	¢757	¢1.204	¢1.130	¢1.007	¢1.372
5.2 Sacos consumo nacional	¢203	¢248	¢112	¢197	¢243	¢267
6. Cábamo, brochas y tinta	¢7	¢8	¢16	¢13	¢9	¢8

Tabla 46. Continuación de la tabla anterior: Comportamiento histórico del costo de beneficiado de Café. Costo aceptado por Ley No 2762. Promedio nacional de la cosecha 2008-2009 a 2013-2014

Rubro del costo	Año de la cosecha					
	2008-2009	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
7. Preparación de café en beneficios secos	¢573	¢629	¢1.091	¢798	¢610	¢995,5
8. Transporte de café beneficiado	¢529	¢609	¢664	¢652	¢636	¢676
9. Seguro del café	¢312	¢245	¢360	¢247	¢133	¢88
10. Tasas e impuestos pagados	¢130	¢161	¢170	¢182	¢141	¢208
11. Tratamiento aguas y desechos	389	498	392	381	487	498
Costo total de beneficiado (CRC/46KG)	¢7.737	¢8.689	¢10.034	¢9.705	¢9.897	¢11.214

4.6.4.2.2 Liquidación al productor por pago de la cosecha

En este factor se ven involucrados tanto los ingresos que se obtienen por la venta del café oro y de los costos que involucran su procesamiento en el beneficio. Este valor se muestra en el flujo de caja (anexo H.4), donde año a año varía, por los factores antes mencionados.

4.6.4.2.3 Préstamo

Para la realización del Proyecto, en los dos escenarios de su implementación, se recurre a un préstamo del 80 % del costo total en cada escenario. El préstamo se realizará con INFOCOOP, que dispone de una tasa de interés bonificada anual del 12 %, para las cooperativas. En el anexo H2 y H3 se detalla el préstamo que se debe realizar para el escenario N°1 y N°2 respectivamente, determinado su interés y amortización.

4.6.4.3 Evaluación del flujo de caja

4.6.4.3.1 Escenario N°1

Al evaluar el Proyecto en el escenario N°1 (correspondiente al sistema de cosecha de agua de lluvia, con un reservorio impermeabilizado con geomembrana) se obtuvo que el flujo de caja dio como resultado que el proyecto es una inversión viable, debido a que el valor actual neto (VAN) es positivo y que la tasa interna de retorno (TIR) es un valor alto que indica la rentabilidad del estudio. En la tabla 47, se muestra los resultados obtenidos por la realización del flujo de caja del escenario N°1.

Tabla 47. Resultados del flujo de caja Escenario N°1

Tasa Corte	20%	Inversión Viable
VNA	¢43.297	
VAN	¢17.549	
TIR	54%	

4.6.4.3.2 Escenario N°2

En el escenario N°2 corresponde a un sistema de almacenamiento impermeabilizado con geomembrana y un sistema de protección con sarán para evitar en un mínimo el 75 % de pérdidas por evaporación. Sin embargo, con un valor de la tasa interna de retorno inferior, que indica que el proyecto es menos rentable que en el escenario N°1, como se muestra en la tabla 48.

Tabla 48. Resultados del flujo de caja Escenario N°2

Tasa Corte	20%	Inversión Viable
VNA	¢ 42.872.780	
VAN	¢ 15.144.929	
TIR	48%	

CONCLUSIONES

El beneficio utiliza algunas tecnologías y prácticas acordes para la disminución del consumo de agua en el proceso, como lo es la recirculación completa en todo el proceso, el transporte del grano de forma mecánica y el despulpado en seco.

El beneficio Coopepilangosta R.L cuenta con todas las condiciones para la implementación del sistema propuesto. Entre estas condiciones destaca: las áreas de techos disponibles y las condiciones climáticas y geográficas del sitio.

La implementación de este sistema adaptaría a las industrias ante el cambio climático que traerá competencia por las fuentes de agua convencionales y el uso de una tecnología eficiente que permita la continuación del proceso, por el agua acumulada en época lluviosa. Además de que la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, impacta positivamente hacia el medio ambiente y convierte a la industria, con sus estructuras de techos, en autosuficientes en el consumo de agua para el proceso. La utilización de estos sistemas puede ser aplicado a diversas industrias del sector agrícola, comprobado con este proyecto.

Se determinó que con la inversión del avance tecnológico, donde se incorpore el desmucilaginado mecánico con un costo de ¢ 6.078.835, el beneficio Coopepilangosta R.L. reducirá al menos en un 40 % el consumo de agua utilizado actualmente. Obteniendo que con el modelo de la desmucilaginadora analizada, se llegaría a un consumo de agua de 285 litros por fanega de café fruta procesada. Obteniendo que el beneficio hubiera consumido un volumen de agua en la cosecha 2014-2015 de 924 m³. Se determina que el cambio tecnológico en el beneficio que reduzca su consumo de agua, es lo primero que se debe realizar en el beneficio, debido a que es la obra de menor costo y origina una reducción considerablemente en el gasto de agua.

Se determina que un reservorio impermeabilizado, y con una cubierta de sarán que proteja totalmente el área del reservorio y no permita ningún tipo de ingreso de contaminantes al reservorio (basura, hojas, animales), para que no se dé la proliferación de algas y mantener la calidad de agua que ingreso al reservorio, además de que disminuye en un 75 % la evaporación del agua del reservorio, es la opción que se debe implementar en el beneficio con un costo total de ¢15.404.361, obteniendo que en el análisis de precipitación más crítico del caso N°1, con afectación del fenómeno El Niño, este sistema planteado tendría la capacidad para procesar 1.215 fanegas de café fruta procesadas equivalentes a un 37 % de la cosecha 2014-2015, y con la precipitación del caso N°2, si se podría beneficiar hasta 1.895 fanegas de café, equivalentes al 58 % de café procesado en la cosecha 2014-2015. Además si se le adiciona el cambio tecnológico, que reduce el consumo de agua, se hubiera podido procesar toda la cosecha 2014-2015 con agua de lluvia.

Se determinó que la realización de un pozo profundo de 50 m, que tiene un costo total de ¢9.837.467, es una opción también que cuenta el beneficio debido a que actualmente no se tiene ninguna restricción para sus construcciones en la zona, pero se encuentran dos pozos registrados y varios pozos artesanales para el uso de riego y ganadería que podría estar ocasionando un consumo muy alto del acuífero subterráneo de la zona, y esto podría ocasionar un mayor control del caudal que se le facilita en la concesión del pozo, donde se podría dar un caudal inferior al que ocupa el beneficio para su operación del beneficiado.

Finalmente, se obtiene, en el flujo de caja, para los dos escenarios analizados, que económicamente también es viable realizar el proyecto de cosecha de agua de lluvia para el beneficiado de café. De este modo, se confirma la importancia y validez del proyecto realizado para la protección de los recursos actuales convencionales con la utilización de alternativas sustentables con el tiempo y ambientalmente 100 % viables, ya que ocasiona que la agroindustria sea autosuficiente y se adapte a los fuertes consecuencia del cambio climático que han afectado a nivel mundial y nivel nacional en el Pacífico Norte, zona del proyecto con grandes sequías.

RECOMENDACIONES

Realizar la inversión para cambiar la forma en que se realiza la remoción del mucílago. Se aconseja realizar el cambio al desmucilaginado mecánico y así reducir el consumo de agua en al menos un 40 %.

Clasificar el café. Se debe utilizar al menos una pila de clasificación más, de las siete disponibles. Utilizar un sistema de lavado de presión, que ocasione una disminución en el consumo de agua del lavado de los equipos.

Revisiones periódicas del ajuste de las cuchillas de los despulpadores, para controlar la cantidad de café sin despulpar que se observó en la cosecha 2014-2015.

Utilizar, en otra etapa del proyecto, el 100 % de los techos del beneficio, lo cual provocaría un aumento del volumen de agua a capturar y disponible para el beneficiado húmedo.

Realizar un mantenimiento preventivo de las estructuras del sistema de captación de agua de lluvia, para aumentar su vida útil y funcionamiento. También, realizar un mantenimiento a los techos: limpieza constante; y si es necesario aplicar una capa protectora.

Aplicar el sistema de captación de agua de lluvia, para el uso del agua en los servicios sanitarios de la empresa. Además, si se aumenta el volumen de agua capturada, entonces realizar obras de movimientos de tierra, para aumentar el volumen del reservorio inicial del proyecto.

Se recomienda que el beneficio realice estudios sobre cómo se encuentra el nivel freático de los acuíferos subterráneos de la zona, para ver si es factible ambientalmente realizar la obra de un pozo en la zona, para que abastezca en su totalidad el gasto de agua de la cosecha.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aladenola, O. O., & Adeboye, O. B. (2009). Assessing the Potential for Rainwater Harvesting. *Water Resources Management*, 24(10), 2129–2137. doi:10.1007/s11269-009-9542-y
- Alvarez, V. M., Baille, A., Martinez, J. M. M., & Gonzalez-Real, M. M. (2006). Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 4(4), 280–288.
- Anacafe. (2005). *Manual de beneficiado húmedo de café*. Guatemala: Anacafe, 2005.
- Anaya, M. (1998). *Sistema de captación de agua de lluvia para uso domestico en América Latina y el Caribe*.
- Avallone, S., Guiraud, J. ., Guyot, B., Olguin, E., & Brillouet, J. . (2001). Fate of Mucilage Cell Wall Polysaccharides during Coffee Fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5556–5559. doi:10.1021/jf010510s
- Bertrand-Krajewski, J.-L. L., Chebbo, G., & Saget, A. (1998). Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. *Water Research*, 32(8), 2341–2356. doi:10.1016/s0043-1354(97)00420-x
- Brando, C. (2004). *Nuevas Tecnologías para el proceso de cafés especiales*. Boletín PROMECAFE. Guatemala.
- Brando, C., & Brando, M. F. (2014). Methods of Coffee Fermentation and Drying. In *Cocoa and Coffee Fermentation* (pp. 367–396).
- Canelo, M. J. (2006). *Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuenca del río Aguas Calientes, Nicaragua*. CATIE. Tesis de maestría no publicada, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Revisado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0994e/A0994e.pdf>
- CEMEDE. (2010a). *D-02. Caracterización biofísica de las zonas definidas para la implementación de la opciones de cosecha de agua*. Consultoría SP-16-2009. Nicoya, Costa Rica: Universidad Nacional, CEMEDE 2010.
- CEMEDE. (2010b). *D-03. Identificación de los aspectos ambientales, legales, sanitarios que establezcan regulaciones en cosecha de agua*. Consultoría SP-016-2009. Nicoya ,

Costa Rica.

- Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada*. (McGRAW-HILL, Ed.). Santafé de Bogota, Colombia.
- CIDECALLI-CP. (2007). *Sistema de Captación del Agua de Lluvia para Uso Doméstico y Consumo Humano (Colpos 1), a nivel de familia*. Mexico.
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de Riego y drenaje*. San Luis Potosí. Revisado de <http://ingenieria.uaslp.mx/web2010/Estudiantes/apuntes/Apuntes de Riego y Drenaje v.2.pdf>
- Cleves, R. (1995). *Tecnología en Beneficiado de café*. San Jose, Costa Rica.
- COENOS. (2014). *Clima extremo* (Vol. 1). San Jose, Costa Rica.
- CONSULTANTOS S.R.L. (2010). *Manual de buenas practicas de manufactura en el beneficiado Bio café oro de Tarrazu S.A.* San Marcos de Tarrazú. Revisado de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/bibliotecavirtual/a00205.pdf
- CPC-NOAA. (2015). Cold y Warm Episodes by Season. 2015. Revisado Febrero 2, 2015, de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- Doyle, K. C. (2008). *Sizing the First Flush and its Effect on the Storage-Reliability- Yield Behavior of Rainwater Harvesting in Rwanda*. Villanova University. Revisado de http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student Theses/Rwanda/KellyDoyleThesis_Final.pdf
- FAO. (1994). Recycling of Water, 1–7. Revisado de http://www.fao.org/waicent/faoinfo/food-safety-quality/cd_hygiene/cnt/cnt_en/sec_3/docs_3.3/Recycling of Water.pdf
- FAO. (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia experiencias en América Latina. Serie: Zonas Áridas y Semiaridas No 13*. Santiago, Chile. Revisado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf>
- FAO. (2013a). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. FAO, Roma. Revisado de <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>
- FAO. (2013b). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la*

agricultura familiar en America Latina y el Caribe. FAO, Santiago de Chile.

- Farreny, R., Morales-Pinzón, T., Guisasola, A., Tayà, C., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2011). Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*, 45(10), 3245–3254. doi:10.1016/j.watres.2011.03.036
- Gamboa, L. F. (2013). *Posible escenario futuro de la amenaza climática en el clima mundial durante las fases extremas del fenómeno. Taller sobre sequías en Mexico, Centroamérica y el Caribe*. Antigua Guatemala.
- Gikas, G. D., & Tsihrintzis, V. a. (2012). Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. *Journal of Hydrology*, 466-467, 115–126. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.08.020
- Grijalba, M. (2012). *Análisis de viabilidad de un sistema de cosecha de agua de lluvia en el cantón Los Chiles, Alajuela*. Tesis de Licenciatura no publicada, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Guzman, M. A. (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua. Una contribución a la seguridad alimentaria y la adopción al cambio climático* (Donaldo Cá.). Tegucigalpa, Honduras: Asociacion Mundial para el Agua, capitulo Centroamerica (GWP Centroamérica). Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Revisado de <http://www.fao.org/3/a-i3442s.pdf>
- IICA. (2010). *Guia técnica para el café protegido bajo una indicación geográfica o denominación de origen*. Guatemala. Revisado de <https://bootcoffee.com/wp-content/uploads/2014/10/Guia-Tecnica-de-Beneficiado.pdf>
- Ilán, J. A. A., Gabriela, C., & Bojali. (2008). *Manual de Captacion de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos*. Mexico. Revisado de http://static1.squarespace.com/static/540e331ee4b0fc69cb710ac9/t/54766b77e4b08c38dd21604b/1417046903041/manual_captacion_aguas_lluvias_centros_urbanos.pdf
- IMN. (2015a). Componentes del Enos. 2015. Revisado febrero 2, 2015, de <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/2-Componentes+del+ENOS.pdf/395efbee-9fde-43c9-ad09-8ad631c29dbe>
- IMN. (2015b). El Niño: Fase cálida del Enos. 2015. Revisado Febrero 2, 2015, de https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/5-EL+NIÑO_FASE_CALIDA_ENSO.pdf/218b0b44-31f1-48fe-92fa-4853c6beab46

- Kinkade, H. (2013). Rainwater Harvesting and Stormwater Reuse for Arid Environments. In *Design with the Desert Conservation and Sustainable Development* (pp. 365–384). doi:10.1201/b14054-26
- Lee, J. Y., Bak, G., & Han, M. (2012). Quality of roof-harvested rainwater - Comparison of different roofing materials. *Environmental Pollution*, 162, 422–429. doi:10.1016/j.envpol.2011.12.005
- Linsley, R. K. (1984). *Hidrología para Ingenieros* (Segunda ed.). D.F Mexico: Editorial McGraw-Hill D.F Latinoamericana, S.A.
- Mendez, C. B., Klenzendorf, J. B., Afshar, B. R., Simmons, M. T., Barrett, M. E., Kinney, K. a., & Kirisits, M. J. (2011). The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*, 45(5), 2049–2059. doi:10.1016/j.watres.2010.12.015
- Morales, A., Vargas, L. A., Zamora, P., Jimenez, O., Chanto, L. F., & Mora, D. (2010). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones* (Segunda ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- Ordaz, J. L., Ramirez, D., Mora, J., Acosta, A., & Serna, B. (2010). *Costa Rica: Efectos del cambio climático sobre la agricultura* (CEPAL.). Mexico, D.F.: CEPAL, 2010. Revisado de <http://www.cepal.org/es/publicaciones/25921-costa-rica-efectos-del-cambio-climatico-sobre-la-agricultura>
- Oweis, T., & Hachum, A. (2006). Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa. *Agricultural Water Management*, 80(1-3), 57–73. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.004
- Oweis, T., Prinz, D., & Hachum, A. (2012). *Rainwater Harvesting for Agriculture in the Dry Areas*. CRC Press. doi:10.1201/b12351
- Oweis, Theib; Hachum, Ahmed; Kijne, J. (1999). Water Harvesting and Supplemental Irrigation for Improved Water Use Efficiency in Dry Areas. In *SWIM Paper 7*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- PNUMA. (2007). *GEO-4. Perspectivas del medio ambiente mundial. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO 4: medio ambiente para el desarrollo*. Revisado de http://www.unep.org/geo/geo4/report/geo-4_report_full_es.pdf
- Quintero, G. I. (2006). Buenas Prácticas Agrícolas para el Café. *CENICAFE*. Revisado de

<http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0349.pdf>

- Raghavan, B., & Ramalakshmi, K. (2003). Coffee. In *Handbook of Postharvest Technology* (pp. 697–739). CRC Press. doi:10.1201/9780203911310.pt6
- Retana, J., Araya, C., Sanabria, N., Alvarado, L., Solano, J., Barrientos, O., ... Araya, D. (2011). *Análisis del riesgo actual del sector hídrico de Costa Rica ante el cambio climático*. San Jose, Costa Rica.
- Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S. P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., ... Qiang, Z. (2010). Managing water in rainfed agriculture-The need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*, 97(4), 543–550. doi:10.1016/j.agwat.2009.09.009
- Rodríguez, R., Morales, D., & Obando, L. (2010). D-08. *Propuesta de estrategia nacional de desarrollo de las opciones técnicas para la cosecha de lluvia y su utilización en sistemas de riego*. Consultoría SP-016-2009. Nicoya, Costa Rica: Universidad Nacional, CEMEDE 2010.
- Saldarriaga, J. G. (1998). *Hidráulica de tuberías*. (E. A. H, Ed.). Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
- Salinas, A., Rodríguez, R., & Morales, D. (2010). D-06. *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización*. Consultoría SP-16-2009. Nicoya: Universidad Nacional, CEMEDE 2010.
- Schwan, R., Silva, C., & Batista, L. (2012). Coffee Fermentation. In *Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology, Second Edition* (pp. 677–690). CRC Press. doi:10.1201/b12055-49
- Sotelo, G. (1994). Diseño Hidráulico de Estructuras. *Apuntes de Hidráulica II*. Revisado de http://www.ingenieria.unam.mx/~deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/C8.pdf
- Soto, B. (2013). *Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en Costa Rica*. Costa Rica.
- Spiller, M. (1997). The Coffee Plant and Its Processing. In *Caffeine*. CRC Press. doi:10.1201/9781420050134.ch5
- TCEQ. (2007). *Harvesting, Storing, and Treating Rainwater for Domestic Indoor Use*.

- Texas Commission on Environmental Quality. Revisado de http://rainwaterharvesting.tamu.edu/files/2011/05/gi-366_2021994.pdf
- Trimble, S. (2007). *Encyclopedia of Water Science, Second Edition (Print Version)*. Taipei, Taiwan: CRC Press. doi:10.1201/NOE0849396274
- Turrall, H. (2008). *Climate change, water and food security*. Roma. Revisado de <http://www.fao.org/docrep/014/i2096e/i2096e.pdf>
- UNATSABAR. (2001). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Lima. Revisado de <http://www.aguasinfronteras.org/PDF/AGUA DE LLUVIA.pdf>
- UNATSABAR. (2003). *Especificaciones Técnicas Captación de Agua de Lluvia Para Consumo Humano*. Lima.
- USBR. (1978). *Design of small canal structures*. Denver.
- Vásquez, R. (1993). *Influencia de la recirculación de las aguas del despulpado del café sobre su calidad*. 1993. San Jose, Costa Rica. Revisado de http://www.icafe.go.cr/icafe/cedo/documentos_textocompleto/noticiero_cafe/2488.pdf
- Vásquez, R. (1997). El manejo de efluentes en el beneficiado del café en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 69–76. Revisado de http://www.mag.go.cr/rev_agr/v21n01_069.pdf
- Vásquez, R., & Hidalgo, G. (1990). *Influencia del desmucilaginado mecánico del café y de diferentes periodos de espera al secado sobre la calidad*. San Jose, Costa Rica. Revisado de http://www.icafe.go.cr/icafe/cedo/documentos_textocompleto/noticiero_cafe/2460.pdf
- Velázquez, J. H. (2012). *Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de CD. de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. Revisado de <http://static1.squarespace.com/static/540e331ee4b0fc69cb710ac9/t/54766149e4b033e65e397a08/1417044297973/Captacion-lluvia-tesisHiram-Garcia.pdf>
- Villón, M. (1995). *Hidráulica de Canales*. (Editorial Tecnológico de Costa Rica, Ed.) (1 ed.). Lima, Peru: 1995.

ENTREVISTA

Ing. Wilberth Román Céspedes. Gerente general de Coopopilangosta R.L. 07 de enero 2015.

Ing. Rolando Vásquez. Dirección del Beneficio Las Marías. 13 de agosto 2015.

ANEXOS

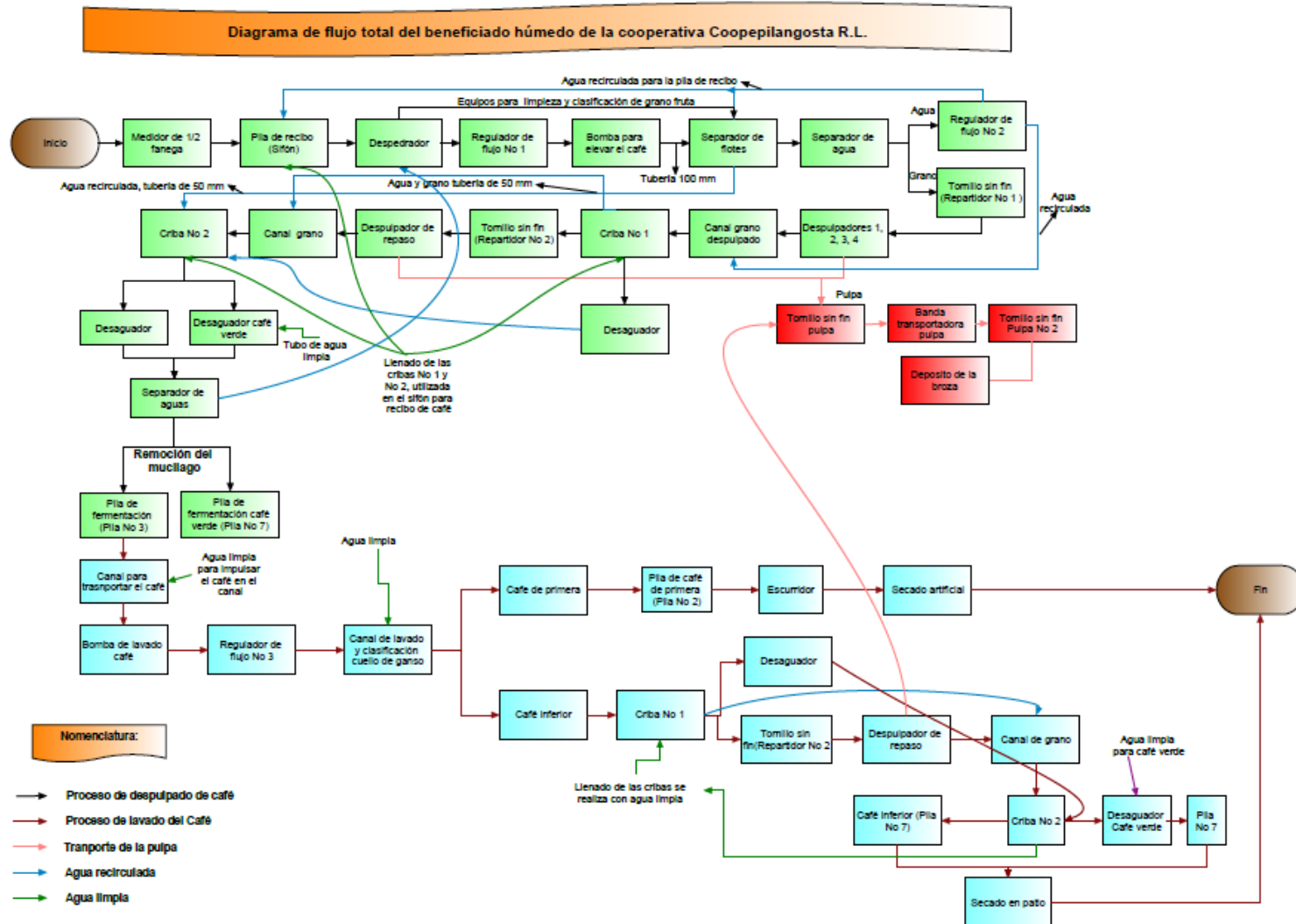
ANEXO A. BENEFICIADO DE CAFÉ

Anexo A.1. Boleta para control del consumo de agua en el beneficiado húmedo del beneficio de Coopepilangosta R.L.

COOPEPILANGOSTA R. L													
Control del tiempo del proceso del beneficiado húmedo													
Despulpado de café							Lavado de café						
Fecha	Cajuelas	Hora inicio	Hora final	Tiempo perdido	Tiempo total	Lectura agua	Fecha	Cajuelas	Hora inicio	Hora final	Tiempo perdido	Tiempo total	Lectura agua

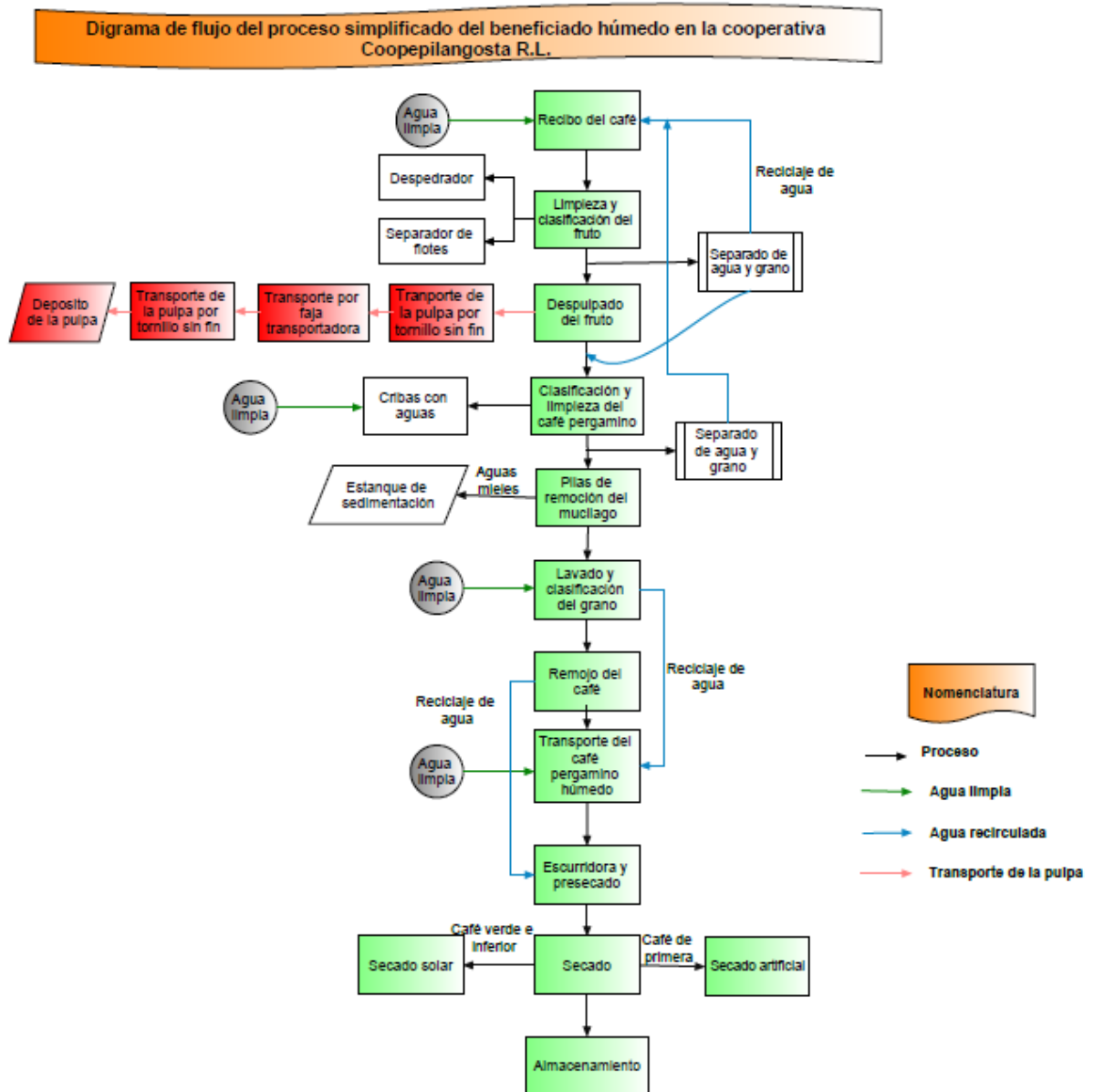
Fuente: Tomado de hoja de control del beneficiado húmedo de Coopepilangosta R.L., 2013

Anexo A.2. Diagrama de flujo total del beneficiado húmedo de la cooperativa Coopepilangosta R.L.



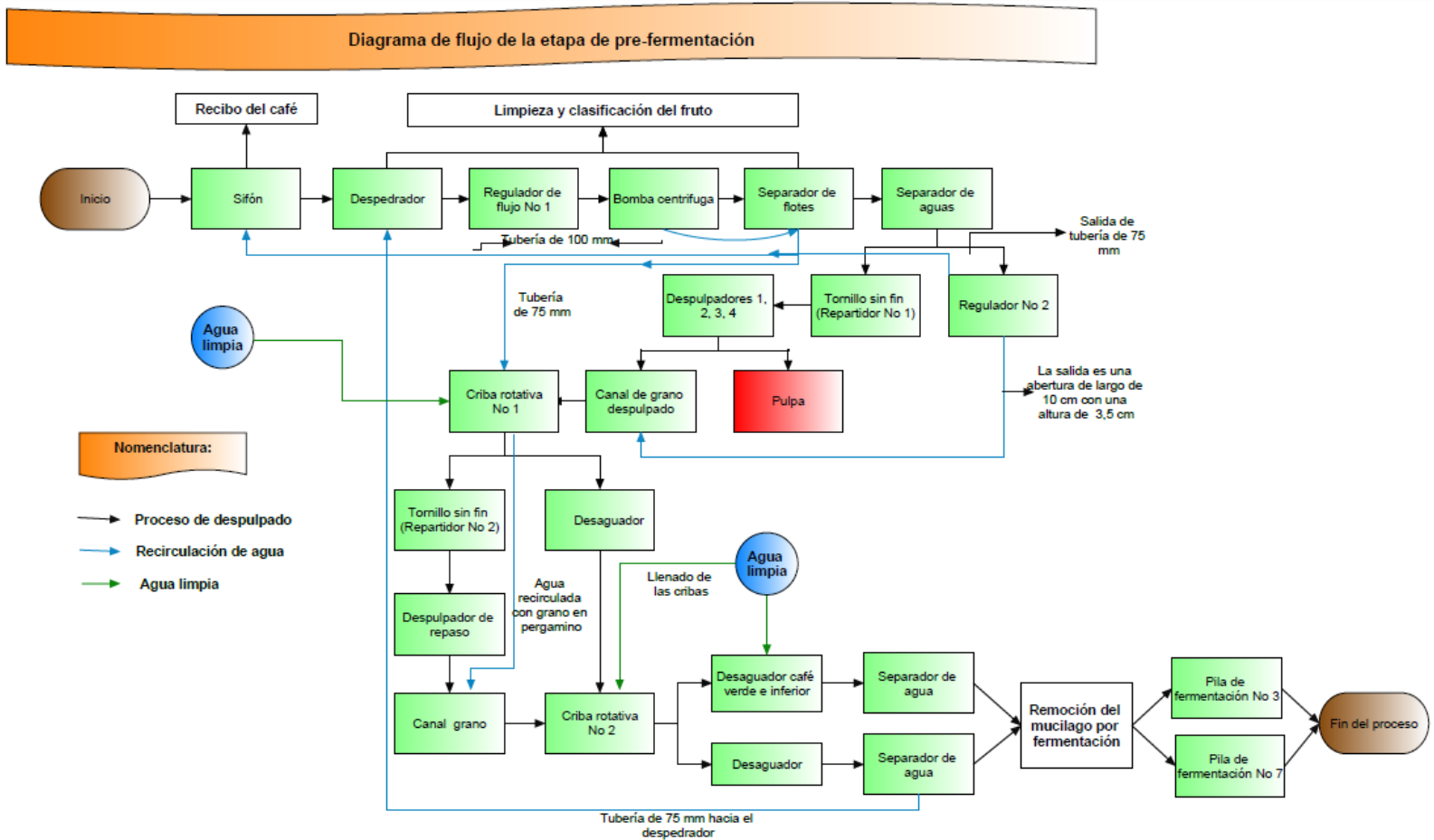
Fuente: Elaboración propia con base en el procedimiento del beneficio de Coopepilangosta R.L.

Anexo A.3. Diagrama simplificado de los procesos en el beneficio Coopetilangosta R.L.



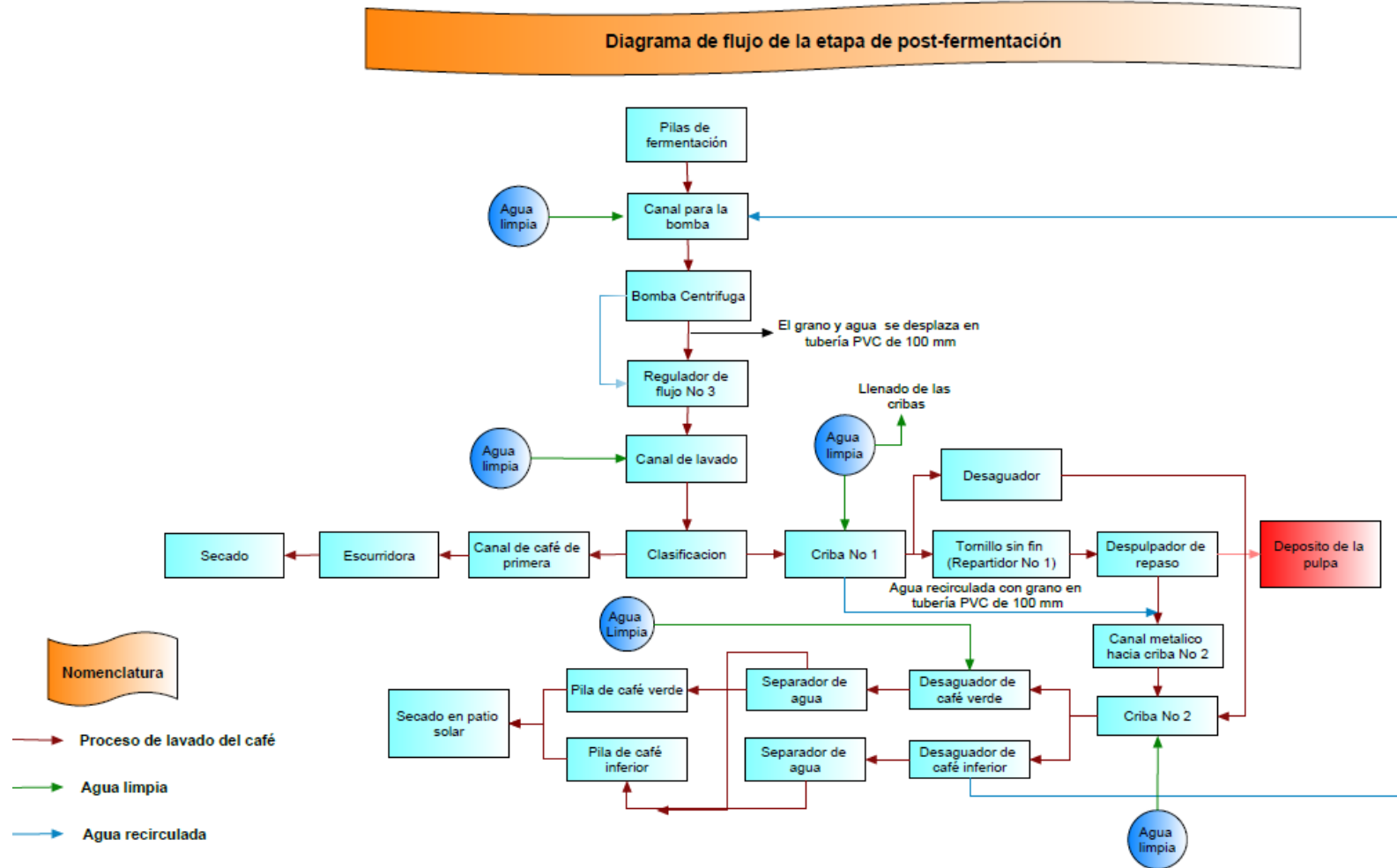
Fuente: Elaboración propia con base en el procedimiento del beneficio Coopetilangosta R.L.

Anexo A.4. Diagrama de flujo de la etapa de pre-fermentación que realiza el beneficio Coopepilangosta R.L.



Fuente: Elaboración propia con base en el procedimiento que realiza el beneficio Coopepilangosta R.L.

Anexo A.5. Diagrama de flujo de la etapa de post-fermentación que realiza el beneficio Coopepilangosta R.L.



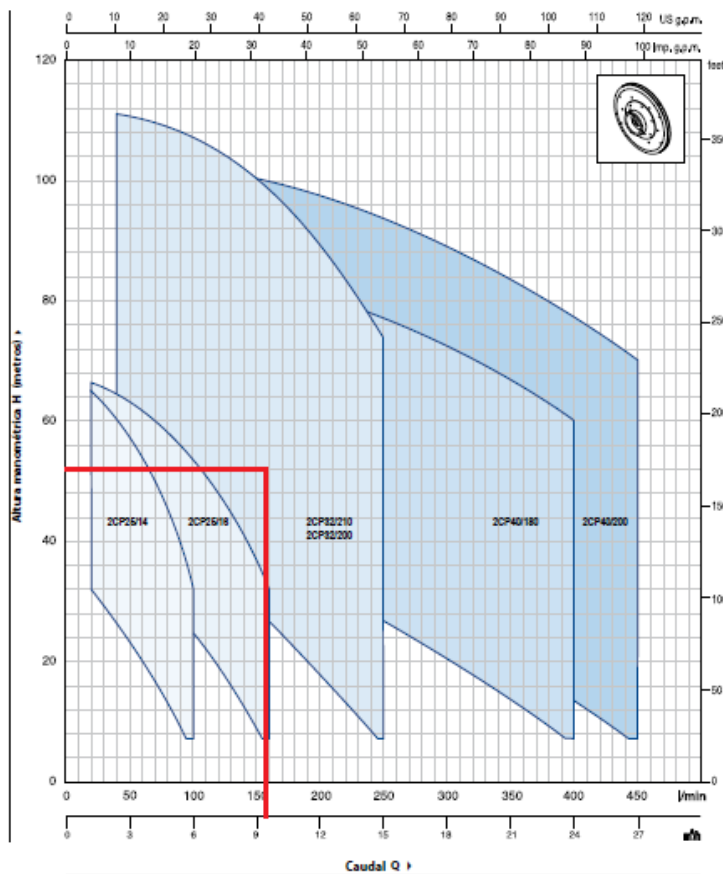
Fuente: Elaboración propia con base en el procedimiento que realiza el beneficio Coopepilangosta R.L.

Anexo A.6. Características técnicas de los despulpadores principales

Despulpador N°1			Despulpador N°2		
Potencia Mecánica	2,9	hp	Potencia Mecánica	2,4	hp
Potencia eléctrica	2,2	kW	Potencia eléctrica	1,8	kW
Voltaje	220/440	V	Voltaje	220/440	V
Corriente	5,5	A	Corriente	3,9/7,8	A
Velocidad angular máxima	1700	r.p.m	Velocidad angular	1720	r.p.m
Frecuencia	60	HZ	Frecuencia	60	HZ
Marca		SITI	Marca		FLENDER HIMMEL
Asíncrono trifásico			Motor trifásico		
Despulpador N°3			Despulpador N°4		
Potencia Mecánica	2,4	hp	Potencia Mecánica	2,4	hp
Potencia eléctrica	1,8	kW	Potencia eléctrica	1,8	kW
Voltaje	220/440	V	Voltaje	220/440	V
Corriente	3,9/7,8	A	Corriente	2,85/5,7	A
Velocidad angular	1720	r.p.m	Velocidad angular	1720	r.p.m
Frecuencia	60	HZ	Frecuencia	60	HZ
Marca		FLENDER HIMMEL	Marca		HIMMELWERK AG
Motor trifásico			Motor trifásico		

ANEXO B. SISTEMA DE BOMBEO PARA ELEVAR EL AGUA DE LLUVIA A LA ZONA DE BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ, ALMACENADA EN EL RESERVORIO.

Anexo B.1. Curva característica de la bomba centrífuga seleccionada para elevar el caudal del reservorio a la zona del tanque de almacenamiento



Anexo B.2. Características de la capacidad de la bomba

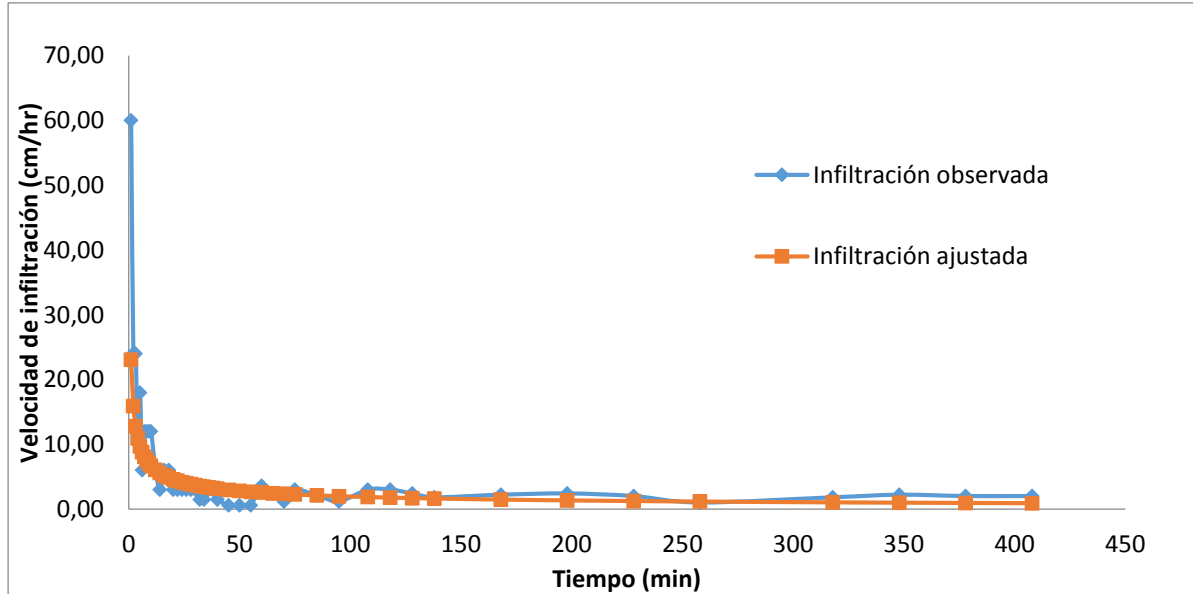
MODELO	POTENCIA		Q	0	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.5	8.4	9.6	10.8	12.0	15.0
	kW	HP		0	40	50	60	70	80	90	100	110	125	140	160	180	200	250
2CP 32/200C	3	4	H metros	70	66.5	65.5	65	64	63	62	60.5	59	57	55	52	49.5	46.5	36

ANEXO C. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

Anexo C.1. Resumen y clasificación de la prueba de infiltración N°1

Característica	Valor experimental	Valor teórico
	Velocidad de infiltración (cm/hr)	Velocidad de infiltración (cm/hr)
Velocidad de infiltración constante	2,00	0,91
Tiempo de infiltración tasa constante	408 minutos	
Clasificación del valor teórico	Lenta, ya que 0,91 está dentro del rango de 0,25 – 1	
Característica	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados.	

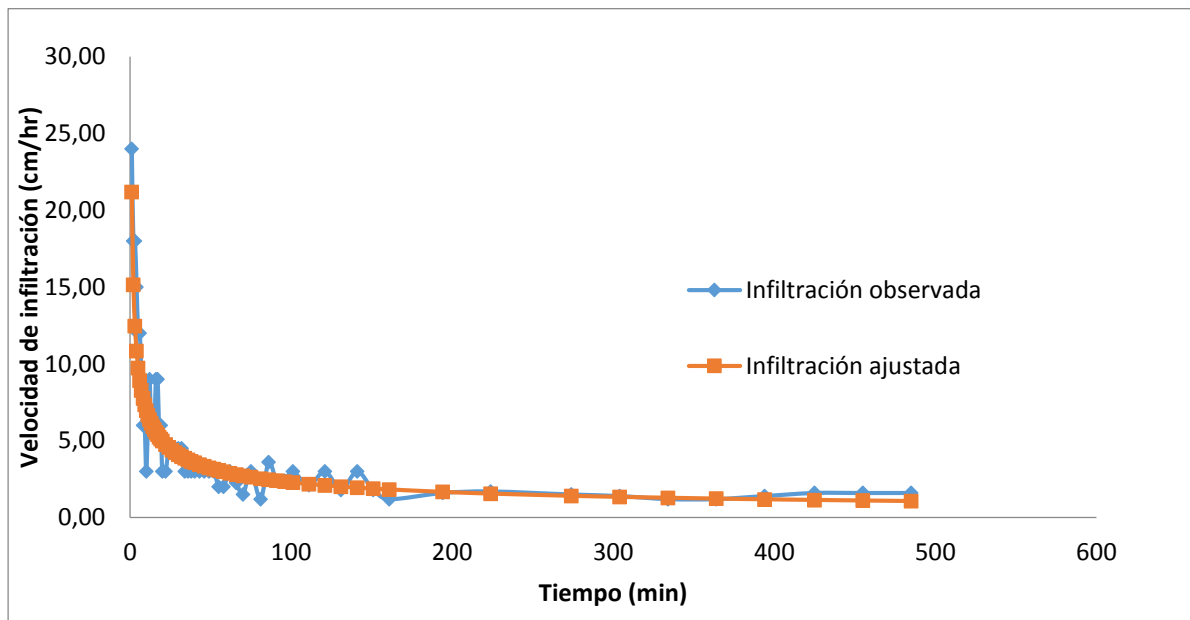
Anexo C.2. Gráfica de velocidad de infiltración experimental y la ajustada con la ecuación de Kostiakow-Lewis N°1



Anexo C.3. Resumen y clasificación de la prueba de infiltración N°2

Característica	Valor experimental	Valor teórico
	Velocidad de infiltración (cm/hr)	Velocidad de infiltración (cm/hr)
Velocidad de infiltración constante	1,60	1,07
Tiempo de infiltración tasa constante	485 minutos	
Clasificación de la velocidad de infiltración ajustada	Lenta, ya que 1,07 está dentro del rango de 0,25 – 1,75	
Característica	Suelos con alto contenido de arcilla, bajo en materia orgánica o suelos delgados.	

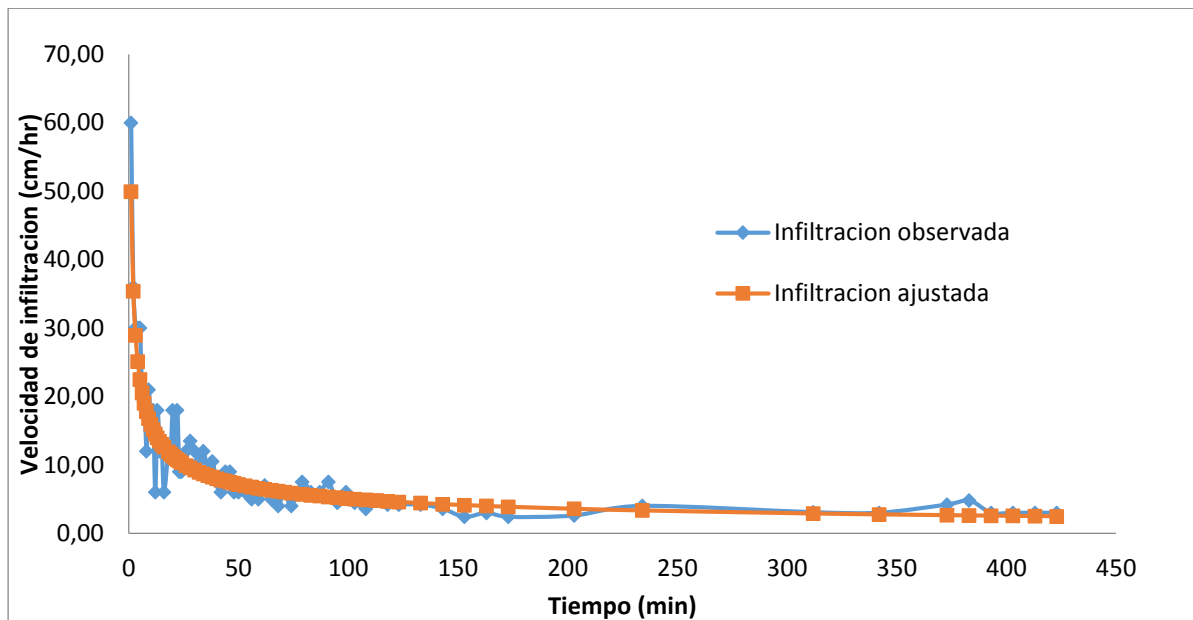
Anexo C.4. Gráfica de velocidad de infiltración experimental y la ajustada con la ecuación de Kostiakov-Lewis de la prueba de infiltración N° 2.



Anexo C.5. Resumen y clasificación de la prueba de infiltración N°3

Característica	Experimental	Ajustada
	Velocidad de infiltración (cm/hr)	Velocidad de infiltración (cm/hr)
Velocidad de infiltración constante	3,00	2,51
Tiempo de infiltración tasa constante	423 minutos	
Clasificación de la velocidad de infiltración ajustada	Es rápida, ya que $2,51 > 2,50$	
Característica	Suelos arenosos, migajones, limosos, profundos y de buena agregación.	

Anexo C.6. Grafica de velocidad de infiltración experimental y la ajustada con la ecuación de Kostiakov-Lewis de la prueba de infiltración N° 3.



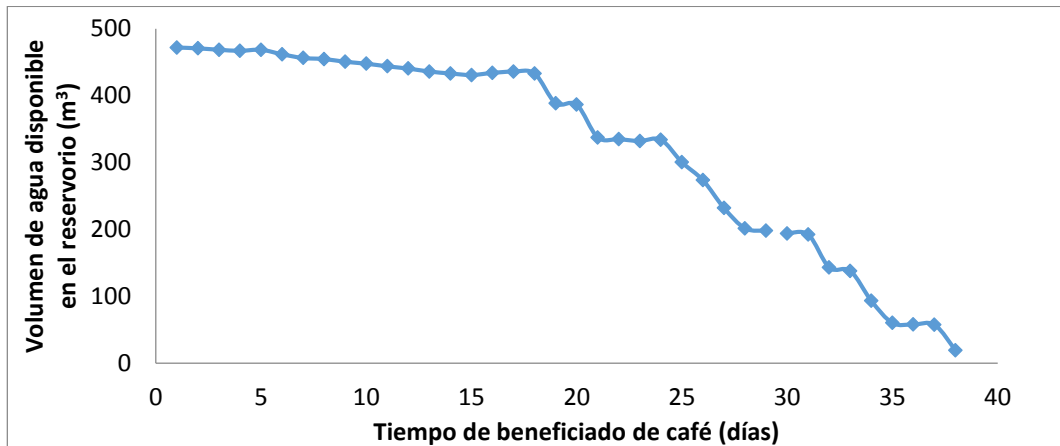
ANEXO D. RESULTADOS DE LA EVAPORACIÓN DE AGUA EN LA ZONA DEL PROYECTO

Anexo D.1. Resultado de la evaporación diaria durante el período de noviembre-enero

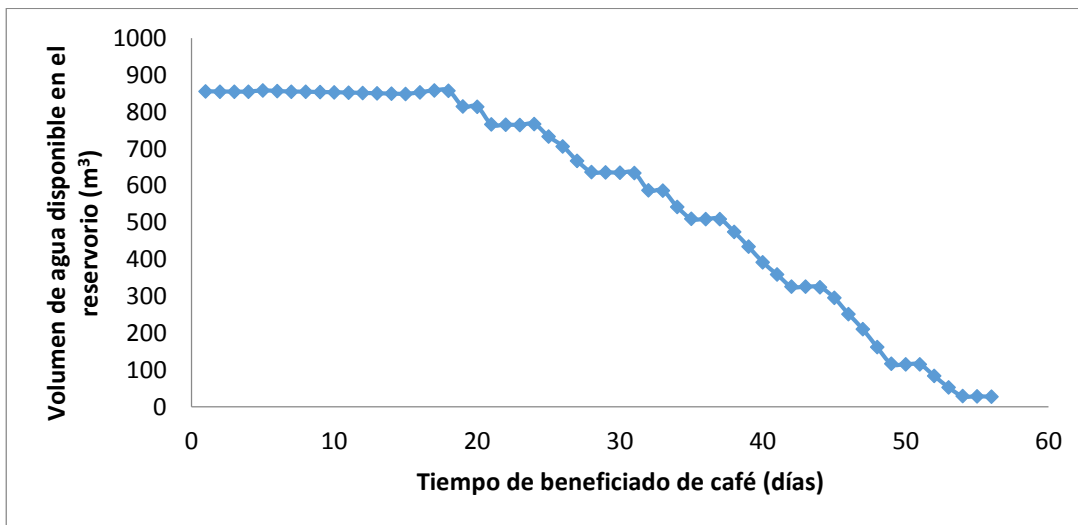
Día	Evaporación (mm/día)		
	Noviembre	Diciembre	Enero
1	1	1	3
2	1	4	4
3	2	5	4
4	3	1	4
5	2	1	4
6	7	2	4
7	6	0	2
8	2	5	4
9	4	4	5
10	4	5	5
11	4	5	4
12	4	3	4
13	5	2	4
14	3	6	5
15	2	4	5
16	1	3	4
17	5	4	4
18	3	5	5
19	3	4	5
20	2	5	4
21	1	3	4
22	3	3	6
23	3	2	5
24	0	3	5
25	1	1	5
26	0	6	4
27	2	5	5
28	0	4	6
29	4	4	4
30	5	6	5
31		5	6

ANEXO E. RESULTADOS DEL BALANCE HÍDRICO DEL RESERVORIO

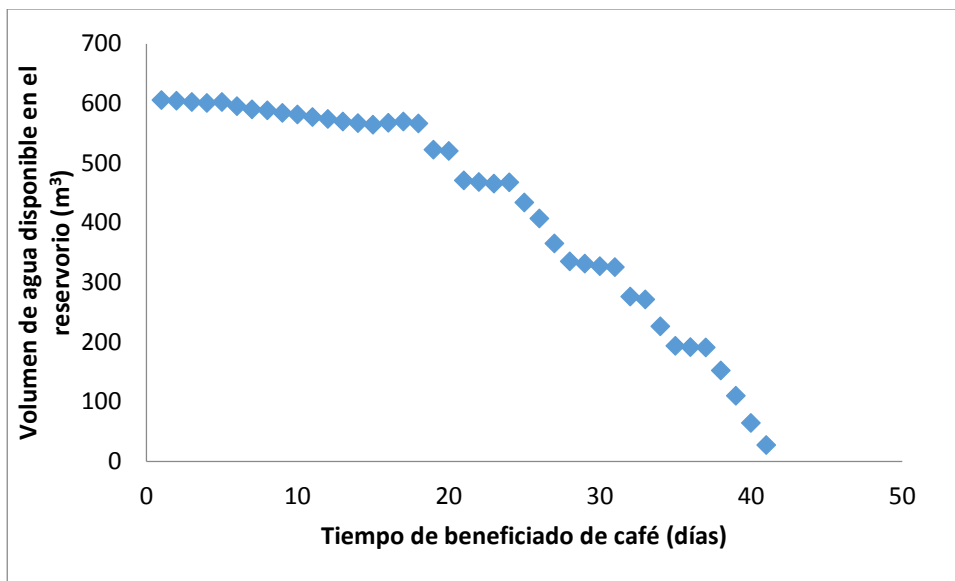
Anexo E.1. Balance del reservorio con la combinación C1:E1



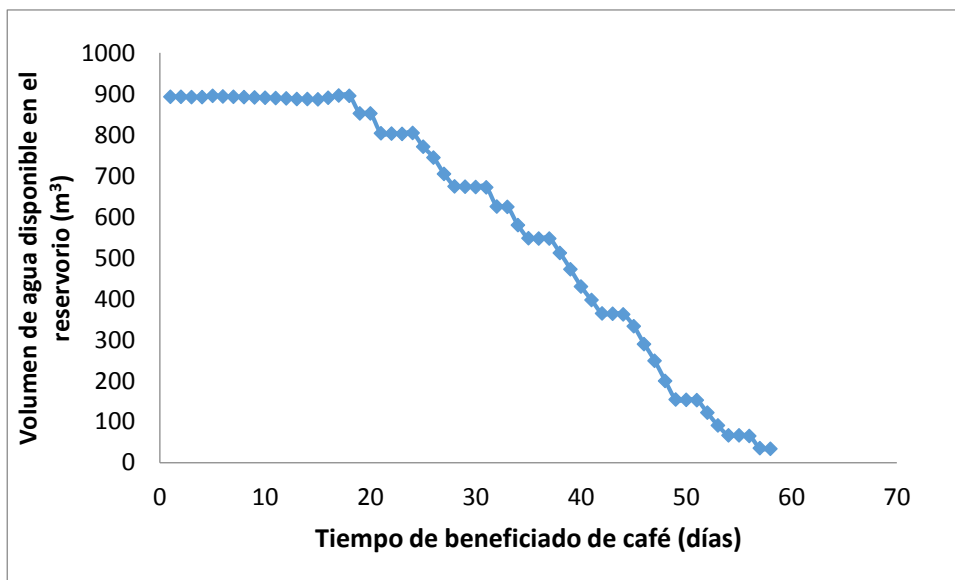
Anexo E.2. Balance del reservorio con la combinación C1:E2



Anexo E.3. Balance del reservorio con la combinación C2:E1



Anexo E.4. Balance del reservorio con la combinación C2:E2



ANEXO F. COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA.

Anexo F.1. Costos generales del proyecto, donde se incluye el impuesto de venta (valores de precios en miles 10³)

Ítem No	Renglón de pago	Cantidad	Unidad (6m)	Precio Unitario (¢)	Monto total (¢)
	Canoa				
1	Canoa de alto caudal (m)	14	m	¢35,1	¢491,4
	SUBTOTAL DE CANOA PVC				¢491,4
2	Accesorios de la canoa				
3	Unión para canoa lisa AC cementada	11	c/u	¢1,2	¢13,4
4	Tapa PVC para Canoa lisa AC cementada	8	c/u	¢1,9	¢15,8
5	Soporte interno liso AC	165	c/u	¢1,1	¢176,1
6	Boquilla lisa AC para terminal redonda de 150 mm	9	c/u	¢5,8	¢51,9
	SUBTOTAL DE ACCESORIOS DE CANOA PVC				¢257,2
	Tubería PVC				
7	Tubo SDR 26 (38 mm)	16	m	¢8,8	¢140,5
8	Tubo SDR 26 (50 mm)	19	m	¢14,2	¢269,9
9	Tubo SDR 41 (100 mm)	19	m	¢27,9	¢530,9
10	Tubo SDR 41 (150 mm)	24	m	¢71,9	¢1.726,7
	SUBTOTAL DE TUBERIA PVC				¢2.668,1
	Accesorios de Tubería PVC				
11	Reducción lisa PVC de 50 mm a 38 mm	1	c/u	¢1,3	¢1,3
12	Reducción lisa PVC de 150 mm a 100 mm	1	c/u	¢13,8	¢13,8
13	Unión de tubo PVC de 38 mm	15	c/u	¢0,53	¢7,9
14	Unión de tubo de PVC de 50 mm	18	c/u	¢0,85	¢15,2
15	Unión de tubo de PVC de 100 mm	18	c/u	¢3,5	¢63,2
16	Unión de tubo de PVC de 150 mm	23	c/u	¢11,7	¢270,1

Anexo F.1. Continuación de la tabla anterior: Costos generales del proyecto, donde se incluye el impuesto de venta (valores de precios en miles 10³).

Ítem No	Renglón de pago	Cantidad	Unidad (6m)	Precio Unitario (¢)	Monto total (¢)
17	Codo de 38 mm (pulg) 90°	3	c/u	¢1,1	¢3,1
18	Codo de 50 mm, 90°	3	c/u	¢1,6	¢4,7
19	Codo de 100 mm, 90°	10	c/u	¢8,4	¢83,8
20	Codo de 150 mm, 90°	6	c/u	¢21,7	¢130,4
21	Codo de 38 mm, 45°	2	c/u	¢1,2	¢2,4
22	Codo de 50 mm, 45°	1	c/u	¢1,4	¢1,4
23	Codo de 100 mm, 45°	2	c/u	¢7,2	¢14,3
24	Codo de 150 mm, 45°	2	c/u	¢31,3	¢62,6
25	Tee Lisa PVC 100 mm	5	c/u	¢11,3	¢56,7
26	Tee Lisa PVC 150 mm	2	c/u	¢37,1	¢74,1
27	Válvulas de compuerta PVC 38 mm	1	c/u	¢11,9	¢11,9
28	Válvulas de bola PVC 50 mm	1	c/u	¢4,1	¢4,1
29	Válvulas check PVC 50 mm	2	c/u	¢65,8	¢131,6
30	Otros accesorios	2	%		¢19,1
SUBTOTAL DE ACCESORIOS TUBERIA PVC					¢971,9
Zanjeo					
31	Tubería por gravedad	13,05	m ³	¢2,0	¢26,1
32	Lomo de tramo 5 de tubería por gravedad	14,4	m ³	¢2,0	¢28,8
33	Tubería por presión	7,37	m ³	¢2,0	¢14,7
34	Cajas de registro	1,5	m ³	¢2,0	¢3,0
SUBTOTAL DE ZANJEJO					¢72,6
Cajas de Registro					
35	Arena	0,5	m ³	¢2,0	¢1,0
36	Piedra	0,9	m ³	¢8,0	¢7,2
37	Cemento Cemex verde	8	c/u	¢6,8	¢54,0
38	Varilla #3 (3/8 pulg)	38	c/u	¢1,5	¢56,8
39	Alambre	3,5	kg	¢0,53	¢1,8
SUBTOTAL DE CAJA DE REGISTRO					¢120,8
40	Vertedero y canal	1	c/u		¢25,0
SUBTOTAL DE VERTEDERO DE EXCEDENCIAS					¢25,0

Anexo F.1. Continuación de la tabla anterior: Costos generales del proyecto, donde se incluye el impuesto de venta (valores de precios en miles 10³).

Ítem No	Renglón de pago	Cantidad	Unidad (6m)	Precio Unitario (¢)	Monto total (¢)
	Sistema de pre-limpieza				
41	Filtro WFF 150	9	c/u	¢391,2	¢3.521,2
SUBTOTAL DEL SISTEMA DE PRE-LIMPIEZA					¢3.521,2
	Bomba de agua				
42	Bomba centrífuga de agua	1	c/u	¢513,7	¢513,7
43	Caja de arranque Pedrollo	1	c/u	¢387,8	¢387,8
44	Cable # 14	100	m	¢0,164	¢16,4
SUBTOTAL BOMBA CENTRIFUGA					¢917,9
45	Limpieza del reservorio con tractor	4	horas	¢20,0	¢80,0
SUBTOTAL LIMPIEZA DEL RESERVORIO					¢80,0
SUBTOTAL DEL SISTEMA DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA					¢9.126,3
46	Costos de la mano de obra para todas las obras del proyecto	20	%		¢1.825,3
47	Costos para imprevistos en toda la construcción de la obra	5	%		¢456,3
TOTAL					¢11.407,9

ANEXO G. ESTUDIOS PARA LA REALIZACION DE UN POZO PROFUNDO

Anexo G.1. Reporte de pozos por cuadrantes de 1.000 m con las coordenadas de la hoja cartográfica Matambú X: 382400; Y: 228450 del beneficio.



Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
Unidad de Gestión Hídrica

Reporte de Pozos por Cuadrante

Hay 2 pozos Ubicados a 1000 metros o menos para las coordenadas: X = 382400 Y = 228450

Pozo	PPP	INV	X	Y	Propietario	Distancia	P.Bombeo
MT-369			382810	228760	CARLOS L.SANCHEZ AGUILAR	514	SI
MT-402			382721	229239	CARLOS A.RODRIGUEZ BOGANTES	851.8	NO

Hay 0 pozos Cerrados ubicados a 1000 metros o menos para las coordenadas:

X = 382400
Y = 228450

Pozos Cerrados

Pozo	PPP	INV	X	Y	Propietario	Distancia	P.Bombeo
------	-----	-----	---	---	-------------	-----------	----------

Hay 2 Nacientes Ubicadas a 1000 metros o menos para las coordenadas:

X = 382400 | Y = 228450

Nacientes Encontradas

No. pozo	X	Y	Propietario	Distancia
NAC-101	381850	228850		680.07
NAC-102	382150	229200		790.57

La información consignada en la base de datos es para consulta de los usuarios y se basa en información reportada por los perforadores, pero la misma no ha sido validada por el SENARA.



Anexo G.2. Descripción de los pozos que se encuentran ubicados a 1000 m o menos de la zona del beneficio Coopepilangosta R.L.



Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento
 Dirección de Investigación y Gestión Hídrica
 Unidad de Gestión Hídrica

Reporte de Pozos de SENARA

Latitud 228450 - 229450
 Longitud 382400 - 383400

No. POZO	INV	PPP	X	Y	PROPIETARIO	QFIN	N.EST.	PROF.	USO	LITO.
MT-369			382810	228760	CARLOS L.SANCHEZ AGUILAR	1.75	7	30	DOMEST-RIEGO	SI
MT-402			382721	229239	CARLOS A.RODRIGUEZ BOGANTES		7.8	45	Doméstico-Riego	SI
NAC-101			381850	228850		NI	NI	NI	DOMESTICO	NO
NAC-102			382150	229200		NI	NI	NI	DOMESTICO	NO

NI = No hay Información
 Informe de la Base de Datos de pozos del 09/05/2016

Nombre del Funcionario de Senara

Takuy Aguilas

Firma y Sello

Anexo G.3. Características de la bomba sumergible para la propuesta de selección de pozo profundo

MODELO		POTENCIA		Q	H						
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m ³ /h	2.4	4.8	7.2	9.6	12.0	14.4
				l/min	0	40	80	120	160	200	240
4SR45Gm/10	4SR45G/10	0.75	1	H metros	30	28	26	24	20	15	6
4SR45Gm/15	4SR45G/15	1.1	1.5		40	39	36	33.5	28.5	20	9
4SR45Gm/20	4SR45G/20	1.5	2		61	57	54	50	42.5	31.5	12
4SR45Gm/30	4SR45G/30	2.2	3		79	76	73	65	55	41.5	19
-	4SR45G/50	3.7	5		131	126	120	107	91	67	34
-	4SR45G/75	5.5	7.5		210	204	191	173	149	109	54
-	4SR45G/100	7.5	10		270	262	249	226	192	140	76

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

Anexo G.4. Costos de la realización de un pozo (Valores de los costos en miles 10³)

Ítem No	Renglón de pago	Cantidad	Unidad (6m)	Precio Unitario	Monto total
PERFORACION POZO					
1	Trámite del permiso de perforación y concesión de agua ante la Dirección de Agua del MINAE				¢530,0
2	Perforación y construcción de un pozo	50	m	¢100,7	¢5.035,0
3	Costo adicional de los primeros 20 m por condiciones desfavorables de perforación				¢530,0
4	Prueba de bombeo	8	horas	¢79,5	¢636,0
5	Análisis de calidad del agua				¢371,0
6	Reporte de perforación				¢371,0
7	Trámite ante la SETENA de la Viabilidad Ambiental para la concesión de agua				¢954,0
Subtotal perforación pozo Aragón profundidad 50 m					¢7.897,0
Tubería PVC					
8	Tubo SDR 26, 38 mm	22	m	¢8,8	¢193,2
9	Tubo SDR 26, 50 mm	15	m	¢14,2	¢213,1
Subtotal de tubería PVC					¢ 406,3
Accesorios de tubería PVC					
10	Reducción lisa PVC de 50 mm a 38 mm	1	c/u	¢1,3	¢1,3
11	Unión de tubo PVC de 38 mm	15	c/u	¢0,53	¢7,9
12	Unión de tubo de PVC de 50 mm	18	c/u	¢0,85	¢15,2
13	Codo de 38 mm, 90°	4	c/u	¢1,0	¢4,0
14	Codo de 50 mm, 90°	3	c/u	¢1,6	¢4,7
15	Codo de 38 mm, 45°	2	c/u	¢1,2	¢2,4
16	Codo de 50 mm 45°	1	c/u	¢1,4	¢1,4
17	Válvulas de compuerta PVC 38 mm	1	c/u	¢11,9	¢11,9
18	Válvulas de bola PVC 50 mm	1	c/u	¢4,1	¢4,1
19	Válvulas check PVC 50 mm	2	c/u	¢65,8	¢131,6
20	Otros accesorios	2	%		¢3,7
Subtotal de accesorios tubería PVC					¢188,4

Anexo G.4. Continuación de la tabla anterior: Costos de la realización de un pozo (Valores de los costos en miles 10³)

Ítem No	Reglón de pago	Cantidad	Unidad (6m)	Precio Unitario	Monto total
	Zanqueo				
21	Zanja de tubería por presión	7,72	m ³	¢2,0	¢15,4
Subtotal de zanqueo PVC					¢15,4
	Bomba de agua				
22	Bomba sumergida	1	c/u	¢220,6	¢220,6
	Motor	1	c/u	¢359,9	¢359,9
23	Tablero de control	1	c/u	¢626,5	¢626,5
24	Cable # 14	200	m	¢0,164	¢32,8
Subtotal bomba centrífuga					¢1.239,7
25	Costos de la mano de obra para todas las obras del proyecto	20	%		¢370,0
26	Costos para imprevistos en toda la construcción de la obra	5	%		¢92,5
TOTAL					¢9.746,9

ANEXO H. PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL FLUJO DE CAJA

Anexo H.1. Ingresos que se obtienen por la venta de café nacional y de exportación (valores en miles 10³)

Horizonte de evaluación (años)						
INGRESOS	0	1	2	3	4	5
Café exportación						
Precio de venta exportación (kg)		¢2,3	¢2,3	¢2,3	¢2,3	¢2,3
Cantidad (kg)		112,90	115,60	118,40	121,30	124,10
Ingreso venta exportación		¢265.662,2	¢265.403,0	¢271.772,7	¢278.295,2	¢284.974,3
Café nacional						
Precio de venta consumo nacional (kg)		¢1,2	¢1,2	¢1,2	¢1,2	¢1,2
Cantidad (kg)		19,90	20,40	20,90	21,40	21,90
Ingreso venta nacional		¢23.908,6	¢24.482,4	¢25.069,9	¢25.671,6	¢26.287,7
TOTAL		¢289.570,8	¢289.885,4	¢296.842,6	¢303.966,9	¢311.262,1
INGRESOS		6	7	8	9	10
Café exportación						
Precio de venta exportación (kg)		¢2,3	¢2,3	¢2,3	¢2,3	¢2,3
Cantidad (kg)		127,10	130,20	133,30	136,50	139,80
Ingreso venta exportación		¢291.813,7	¢298.817,2	¢305.988,9	¢313.332,6	¢320.852,6
Café nacional						
Precio de venta consumo nacional (kg)		¢1,2	¢1,2	¢1,2	¢1,2	¢1,2
Cantidad (kg)		22,40	23,00	23,50	24,10	24,70
Ingreso venta nacional		¢26.918,6	¢27.564,7	¢28.226,2	¢28.903,7	¢29.597,4
TOTAL		¢318.732,4	¢326.381,9	¢334.215,1	¢342.236,3	¢350.449,9

Anexo H.2. Préstamo para la implementación del proyecto del escenario N°1 (Valores en miles 10³).

Monto del préstamo con el valor del costo total del escenario N°1 del 80 %: ¢11.443,3					
Interés: 12 %			Anualidad: 10 años		
Horizonte de evaluación					
Descripción	1	2	3	4	5
Cuota	-¢2.025,3	-¢2.025,3	-¢2.025,3	-¢2.025,3	-¢2.025,3
Monto	-¢11.443,3	-¢10.791,2	-¢10.060,9	-¢9.242,9	-¢8.326,8
Interés	-¢1.373,2	-¢1.294,9	-¢1.207,3	-¢1.109,1	-¢999,2
Amortización	-¢652,1	-¢730,3	-¢817,9	-¢916,1	-¢1.026,1
Descripción	6	7	8	9	10
Cuota	-¢2.025,3	-¢2.025,3	-¢2.025,3	-¢2.025,3	-¢2.025,3
Monto	-¢7.862,2	-¢6.624,6	-¢5.238,5	-¢3.686,1	-¢1.947,4
Interés	-¢943,5	-¢794,9	-¢628,6	-¢442,3	-¢233,7
Amortización	-¢1.237,6	-¢1.386,1	-¢1.552,4	-¢1.738,7	-¢1.947,4

Anexo H.3. Préstamo para la realización del proyecto del escenario N° 2 (Valores en miles 10³).

Monto del préstamo con el valor del costo total del escenario N°1 del 80 %: ¢12.323,5					
Interés: 12 %			Anualidad: 10 años		
Horizonte de evaluación					
Descripción	1	2	3	4	5
Cuota	-¢2.181,1	-¢2.181,1	-¢2.181,1	-¢2.181,1	-¢2.181,1
Monto	-¢12.323,5	-¢11.621,2	-¢10.834,7	-¢9.953,8	-¢8.967,2
Interés	-¢1.478,8	-¢1.394,5	-¢1.300,2	-¢1.194,5	-¢1.076,1
Amortización	-¢702,2	-¢786,5	-¢880,9	-¢986,6	-¢1.105,0
Descripción	6	7	8	9	10
Cuota	-¢2.181,1	-¢2.181,1	-¢2.181,1	-¢2.181,1	-¢2.181,1
Monto	-¢7.862,2	-¢6.624,6	-¢5.238,5	-¢3.686,1	-¢1.947,4
Interés	-¢943,5	-¢794,9	-¢628,6	-¢442,3	-¢233,7
Amortización	-¢1.237,6	-¢1.386,1	-¢1.552,4	-¢1.738,7	-¢1.947,4

Anexo H.4. Flujo de caja total. Escenario N°1 con valores en miles

ITEM	Horizonte de evaluación (valores en miles 10 ³)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
INGRESOS												
Café exportación												
Precio de venta exportación (kg)		€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3
Cantidad (kg)		112,90	115,60	118,40	121,30	124,10	127,10	130,20	133,30	136,50	139,80	
Ingreso venta exportación		€265.662,2	€265.403,0	€271.772,7	€278.295,2	€284.974,3	€291.813,7	€298.817,2	€305.988,9	€313.332,6	€320.852,6	
Café nacional												
Precio de venta consumo nacional (kg)		€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2
Cantidad (kg)		19,90	20,40	20,90	21,40	21,90	22,40	23,00	23,50	24,10	24,70	
Ingreso venta consumo nacional		€23.908,6	€24.482,4	€25.069,9	€25.671,6	€26.287,7	€26.918,6	€27.564,7	€28.226,2	€28.903,7	€29.597,4	
TOTAL INGRESOS		€289.570,8	€289.885,4	€296.842,6	€303.966,9	€311.262,1	€318.732,4	€326.381,9	€334.215,1	€342.236,3	€350.449,9	
EGRESOS												
Costos fijos												
Planillas de patio y maquinaria		-€9.857,9	-€10.601,8	-€11.399,2	-€12.253,8	-€13.177,7	-€14.167,8	-€15.233,2	-€16.379,2	-€17.611,8	-€18.932,1	
Cuotas patronales y seguros de empleados		-€4.483,4	-€4.821,7	-€5.184,3	-€5.572,9	-€5.993,2	-€6.443,5	-€6.927,9	-€7.449,2	-€8.009,8	-€8.610,2	
Pago al productor		-€220.189,1	-€237.803,6	-€243.510,9	-€249.355,1	-€255.339,7	-€261.467,8	-€267.743,0	-€274.168,9	-€280.748,9	-€287.486,9	
Costos Variables												
Energía eléctrica		-€4.953,2	-€5.327,0	-€5.727,6	-€6.157,0	-€6.621,3	-€7.118,8	-€7.654,0	-€8.229,9	-€8.849,2	-€9.512,6	
Combustibles y lubricantes		-€1.500,3	-€1.613,5	-€1.734,9	-€1.864,9	-€2.005,6	-€2.156,2	-€2.318,4	-€2.492,8	-€2.680,4	-€2.881,3	
Sacos de café exportación		-€3.537,3	-€3.803,5	-€4.090,6	-€4.396,9	-€4.728,9	-€5.083,1	-€5.466,7	-€5.878,0	-€6.318,8	-€6.793,5	
Saco de café venta nacional		-€121,5	-€130,8	-€140,4	-€151,0	-€162,3	-€174,7	-€187,6	-€201,7	-€217,2	-€233,3	
Cañamo, brochas y tinta		-€24,7	-€26,5	-€28,5	-€30,7	-€33,0	-€35,5	-€38,1	-€41,0	-€44,1	-€47,4	
Preparación de café beneficiado seco		-€3.017,8	-€3.245,6	-€3.489,7	-€3.751,3	-€4.034,1	-€4.337,2	-€4.663,3	-€5.014,2	-€5.391,5	-€5.795,7	
Transporte de café beneficiado		-€2.049,2	-€2.203,8	-€2.369,6	-€2.547,2	-€2.739,3	-€2.945,1	-€3.166,5	-€3.404,8	-€3.661,0	-€3.935,4	
Seguro del café		-€266,8	-€286,9	-€308,5	-€331,6	-€356,6	-€383,4	-€412,2	-€443,2	-€476,6	-€512,3	
Tasas e impuestos pagados		-€631,8	-€679,5	-€730,6	-€785,4	-€844,6	-€908,1	-€976,3	-€1.049,8	-€1.128,8	-€1.213,4	
Tratamientos de aguas y desechos		-€2.237,1	-€2.405,9	-€2.586,9	-€2.780,8	-€2.990,5	-€3.215,2	-€3.457,0	-€3.717,0	-€3.996,8	-€4.296,4	
Depreciaciones												
Sistema de conducción PVC	20	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4
Cajas de registro	40	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0
Filtros WISY	10	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1
Bomba elevadora de agua	10	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8
Geomembrana	20	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0
Valor en Libro												
Sistema de conducción PVC												-€2.194,3
Cajas de registro												-€90,7
Filtros WISY												€0,0
Bomba elevadora de agua												€0,0
Geomembrana												-€1.419,7

Anexo H.4. Continuación de la tabla anterior: Flujo de caja total. Escenario N°1 con valores en miles

ITEM	Horizonte de evaluación (valores en miles 10 ³)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Interés bancario		-C1.373,2	-C1.294,9	-C1.207,3	-C1.109,1	-C999,2	-C876,1	-C738,2	-C583,7	-C410,7	-C217,0
TOTAL EGRESOS		-C255.051,8	-C275.053,4	-C283.317,3	-C291.896,2	-C300.834,3	-C310.120,8	-C319.790,9	-C329.861,7	-C340.354,0	-C354.980.665,7
Utilidad Bruta		C34.519,0	C14.832,0	C13.525,3	C12.070,6	C10.427,7	C8.611,5	C6.591,0	C4.353,4	C1.882,3	-C4.530.732,3
Impuesto (30%)		-C10.355,7	-C4.449,6	-C4.057,6	-C3.621,2	-C3.128,3	-C2.583,5	-C1.977,3	-C1.306,0	-C564,7	C0,0
Utilidad Neta		C24.163,3	C10.382,4	C9.467,7	C8.449,4	C7.299,4	C6.028,1	C4.613,7	C3.047,4	C1.317,6	-C4.530.732,3
Depreciaciones											
Sistema de conducción PVC		C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,430,9
Cajas de registro		C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3.024,1
Filtros WISY		C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352.123,2
Bomba elevadora de agua		C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91.789,3
Geomembrana		C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C141.971,5
Valor en Libros											
Sistema de conducción PVC											C2.194,3
Cajas de registro											C90,7
Filtros WISY											C0,0
Bomba elevadora de agua											C0,0
Geomembrana											C1.419,7
Costo de Inversión del proyecto											
Sistema de conducción PVC		-C4.388,62									
Cajas de registro		-C120,96									
Filtros WISY		-C3.521,23									
Bomba elevadora de agua		-C917,89									
Geomembrana		-C2.839,43									
Otras Obras		-C2.516,01									
Préstamos		-C11.443,31									
Amortización			-C652,1	-C730,3	-C818,0	-C916,1	-C1.026,1	-C1.149,2	-C1.287,1	-C1.441,6	-C1.614,5
Flujo Caja		-C25.747,50	C24.319,56	C10.460,37	C9.458,07	C8.341,64	C7.081,68	C5.687,20	C4.134,93	C2.414,19	-C1.825,9
Tasa Corte		20%	FINANCIERAMENTE VIABLE								
VNA		C43.296,90									
VAN		C17.549,44									
TIR		54%									

Anexo H.5. Flujo de caja total. Escenario N° 2 con valores en miles

ITEM	Horizonte de evaluación (valores en miles 10 ³)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
INGRESOS												
Café exportación												
Precio de venta exportación (kg)		€2,4	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3	€2,3
Cantidad (kg)		112,90	115,60	118,40	121,30	124,10	127,10	130,20	133,30	136,50	139,80	
Ingreso venta exportación		€265.662,2	€265.403,0	€271.772,7	€278.295,2	€284.974,3	€291.813,7	€298.817,2	€305.988,9	€313.332,6	€320.852,6	
Café nacional												
Precio de venta consumo nacional (kg)		€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2	€1,2
Cantidad (kg)		19,9	20,4	20,9	21,4	21,9	22,4	23,0	23,5	24,1	24,7	
Ingreso venta consumo nacional		€23.908,6	€24.482,4	€25.069,9	€25.671,6	€26.287,7	€26.918,6	€27.564,7	€28.226,2	€28.903,7	€29.597,4	
TOTAL INGRESOS		€289.570,8	€289.885,4	€296.842,6	€303.966,9	€311.262,1	€318.732,4	€326.381,9	€334.215,1	€342.236,3	€350.449,9	
EGRESOS												
Costos fijos												
Planillas de patio y maquinaria		-€9.858	-€10.602	-€11.399	-€12.254	-€13.178	-€14.168	-€15.233	-€16.379	-€17.612	-€18.932	
Cuotas patronales y seguros de empleados		-€4.483	-€4.822	-€5.184	-€5.573	-€5.993	-€6.444	-€6.928	-€7.449	-€8.010	-€8.610	
Pago al productor		-€220.189	-€237.804	-€243.511	-€249.355	-€255.340	-€261.468	-€267.743	-€274.169	-€280.749	-€287.487	
Costos Variables												
Energía eléctrica		-€4.953,2	-€5.327,0	-€5.727,6	-€6.157,0	-€6.621,3	-€7.118,8	-€7.654,0	-€8.229,9	-€8.849,2	-€9.512,6	
Combustibles y lubricantes		-€1.500,3	-€1.613,5	-€1.734,9	-€1.864,9	-€2.005,6	-€2.156,2	-€2.318,4	-€2.492,8	-€2.680,4	-€2.881,3	
Sacos de café exportación		-€3.537,3	-€3.803,5	-€4.090,6	-€4.396,9	-€4.728,9	-€5.083,1	-€5.466,7	-€5.878,0	-€6.318,8	-€6.793,5	
Saco de café venta nacional		-€121,5	-€130,8	-€140,4	-€151,0	-€162,3	-€174,7	-€187,6	-€201,7	-€217,2	-€233,3	
Cañamo, brochas y tinta		-€24,7	-€26,5	-€28,5	-€30,7	-€33,0	-€35,5	-€38,1	-€41,0	-€44,1	-€47,4	
Preparación de café beneficiado seco		-€3.017,8	-€3.245,6	-€3.489,7	-€3.751,3	-€4.034,1	-€4.337,2	-€4.663,3	-€5.014,2	-€5.391,5	-€5.795,7	
Transporte de café beneficiado		-€2.049,2	-€2.203,8	-€2.369,6	-€2.547,2	-€2.739,3	-€2.945,1	-€3.166,5	-€3.404,8	-€3.661,0	-€3.935,4	
Seguro del café		-€266,8	-€286,9	-€308,5	-€331,6	-€356,6	-€383,4	-€412,2	-€443,2	-€476,6	-€512,3	
Tasas e impuestos pagados		-€631,8	-€679,5	-€730,6	-€785,4	-€844,6	-€908,1	-€976,3	-€1.049,8	-€1.128,8	-€1.213,4	
Tratamientos de aguas y desechos		-€2.237,1	-€2.405,9	-€2.586,9	-€2.780,8	-€2.990,5	-€3.215,2	-€3.457,0	-€3.717,0	-€3.996,8	-€4.296,4	
Depreciaciones												
Sistema de conducción PVC	20	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4	-€219,4
Cajas de registro	40	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0	-€3,0
Filtros WISY	10	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1	-€352,1
Bomba elevadora de agua	10	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8	-€91,8
Geomembrana	20	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0	-€142,0
Sarán	5	-€95,0	-€95,0	-€95,0	-€95,0	-€95,0	€0,0	€0,0	€0,0	€0,0	€0,0	€0,0
Soporte sarán	15	-€35,0	-€35,0	-€35,0	-€35,0	-€35,0	-€35,0	-€35,0	-€35,0	-€35,0	-€35,0	-€35,0

Anexo H.5. Continuación de la tabla anterior: Flujo de caja total. Escenario N°2 con valores en miles

ITEM	Horizonte de evaluación (valores en miles 10 ³)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Valor en Libro												
Sistema de conducción PVC												-C2.194,3
Cajas de registro												-C90,7
Filtros WISY												C0,0
Bomba elevadora de agua												C0,0
Geomembrana												-C1.419,7
Sarán												C0,0
Soporte sarán												-C175,0
Interés bancario		-C1.478,8	-C1.394,5	-C1.300,2	-C1.194,5	-C1.076,1	-C943,5	-C795,0	-C628,6	-C442,3		-C233,7
TOTAL EGRESOS		-C255.287,4	-C275.283,1	-C283.540,2	-C292.111,6	-C301.041,2	-C310.223,2	-C319.882,7	-C329.941,6	-C340.420,6		-C355.207,4
Utilidad bruta		C34.283,3	C14.602,3	C13.302,4	C11.855,3	C10.220,8	C8.509,1	C6.499,2	C4.273,5	C1.815,7		-C4.757,4
Impuesto (30%)		-C10.285,0	-C4.380,7	-C3.990,7	-C3.556,6	-C3.066,3	-C2.552,7	-C1.949,8	-C1.282,1	-C544,7		C0,0
Utilidad Neta		C23.998,3	C10.221,6	C9.311,7	C8.298,7	C7.154,6	C5.956,4	C4.549,5	C2.991,5	C1.271,0		-C4.757,4
Depreciaciones												
Sistema de conducción PVC		C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4	C219,4
Cajas de registro (26 años)		C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0	C3,0
Filtros WISY		C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1	C352,1
Bomba elevadora de agua		C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8	C91,8
Geomembrana		C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0	C142,0
Sarán		C95,0	C95,0	C95,0	C95,0	C95,0	C0,0	C0,0	C0,0	C0,0	C0,0	C0,0
Soporte sarán		C35,0	C35,0	C35,0	C35,0	C35,0	C35,0	C35,0	C35,0	C35,0	C35,0	C35,0
Valor en Libros												C0,0
Sistema de conducción PVC												C2.194,3
Cajas de registro												C90,7
Filtros WISY												C0,0
Bomba elevadora de agua												C0,0
Geomembrana												C1.419,7
Sarán												C0,0
Soporte sarán												C175,0

Anexo H.5. Continuación de la tabla anterior: Flujo de caja total. Escenario N°2 con valores en miles

ITEM	Horizonte de evaluación (valores en miles 10 ³)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Costo de Inversión del proyecto												
Sistema de conducción PVC	-¢4.388,6											
Cajas de registro (26 años)	-¢121,0											
Filtros WISY	-¢3.521,2											
Bomba elevadora de agua	-¢917,9											
Geomembrana	-¢2.839,4											
Sarán	-¢475,2											
Soporte sarán	-¢525,0											
Otras Obras	-¢2.616,0											
Préstamos	-¢12.323,5											
Amortización		-¢702,2	-¢786,5	-¢880,9	-¢986,6	-¢1.105,0	-¢1.237,6	-¢1.386,1	-¢1.552,4	-¢1.738,7	-¢1.947,4	
Flujo Caja	-¢27.727,9	¢24.234,5	¢10.373,5	¢9.369,2	¢8.250,5	¢6.988,0	¢5.562,1	¢4.006,7	¢2.282,4	¢375,6	-¢1.981,7	
Tasa Corte	20%	Viable Financieramente										
VNA	¢42.872,8											
VAN	¢15.144,9											
TIR	47,53%											