



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO
UBICADA EN LA COSTA SUR DE GUATEMALA Y SU APOORTE EN EL IMPACTO
AMBIENTAL**

Jonás Andrés Rodríguez Monroy

Asesorado por la Ingeniera Norma Ileana Sarmiento Zeceña

Guatemala, julio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO
UBICADA EN LA COSTA SUR DE GUATEMALA Y SU APOORTE EN EL IMPACTO
AMBIENTAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JONÁS ANDRÉS RODRÍGUEZ MONROY

ASESORADO POR LA INGENIERA NORMA ILEANA SARMIENTO ZECEÑA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Aldo Ozaeta Santiago
EXAMINADORA	Inga. Suriel Cristina Aballi Herwing
EXAMINADORA	Inga. Mibian Kattina Mendoza Méndez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO
UBICADA EN LA COSTA SUR DE GUATEMALA Y SU APORTE EN EL IMPACTO
AMBIENTAL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 5 de mayo de 2020.

Jonás Andrés Rodríguez Monroy

Guatemala abril del 2021

Ingeniero

César Ernesto Urquizú Rodas

Director de Escuela

Ingeniería Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable ingeniero Urquizú:

Reciba un cordial saludo. Por este medio me complace informarle que doy por **APROBADO** el trabajo de graduación del estudiante Jonás Andrés Rodríguez Monroy que se titula “**APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO UBICADA EN LA COSTA SUR DE GUATEMALA Y SU APORTE EN EL IMPACTO AMBIENTAL**”, el estudiante se identifica con el Registro Académico No. 201603015 de la carrera de Ingeniería Industrial y documento de identificación No. 3001 54194 0101,

sin otro particular, me suscribo de usted.

atentamente



Norma Ileana Sarmiento Zeceña
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4319

Norma Ileana Sarmiento Zeceña

Ingeniera Industrial

Colegiado No. 4,319



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.096.021

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO UBICADA EN LA COSTA SUR DE GUATEMALA Y SU APOORTE EN EL IMPACTO AMBIENTAL**, presentado por el estudiante universitario **Jonás Andrés Rodríguez Monroy**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Inga. Miriam Patricia Rubio Contreras
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2021.

Miriam Patricia Rubio Contreras
INGENIERA INDUSTRIAL
COL. 4074

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LNG.DIRECTOR.145.EMI.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO UBICADA EN LA COSTA SUR DE GUATEMALA Y SU APORTE EN EL IMPACTO AMBIENTAL**, presentado por: **Jonás Andrés Rodríguez Monroy**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”




Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial


Guatemala, julio de 2022.

LNG.DECANATO.OI.488.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FABRICA DE PAPEL RECICLADO UBICADA EN LA COSTA SUR DE GUATEMALA Y SU APORTE EN EL IMPACTO AMBIENTAL**, presentado por: **Jonás Andrés Rodríguez Monroy**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, julio de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Quien fue en el que siempre creí a pesar de las dificultades y por quien estoy agradecido infinitamente por todas las oportunidades que me ha dado.

Mis padres

Dorian Rodríguez y Miriam Monroy, quienes me apoyaron incondicionalmente en todos los sentidos a lo largo de la carrera y los que me dieron ánimo para siempre seguir en la lucha.

Mi hermana

Yasmin Rodríguez, quien ha sido mi ejemplo de constante lucha y perseverancia.

Mi familia

Familia Rodríguez y familia Monroy. Tíos, primos, quienes saben de la constante lucha y sacrificios que se hicieron para sacar adelante este plan de vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Siempre me sentiré orgulloso de pertenecer a la primera universidad fundada de Guatemala y la tercera de Hispanoamérica. La universidad estatal, del pueblo y para el pueblo. ¡ld y enseñad a todos!
Facultad de ingeniería	Por darme la oportunidad de enseñarme y brindarme conocimientos profesionales, de la mano de excelentes catedráticos.
Compañía de Cartones Reciclados de Centroamérica	Empresa que me abrió sus puertas para desarrollar mi trabajo de graduación. Siempre estaré agradecido con los grandes profesionales que laboran en la empresa, por su paciencia y ayuda.
Mi asesora	A la excelente persona y profesional Inga. Norma Sarmiento, gracias por su paciencia y por compartirme sus conocimientos en materia ambiental. Gracias por cada minuto que tomó de su tiempo para asesorarme.

	1.2.3.2.	Aguas cafés.....	11
	1.2.3.3.	Aguas negras	11
1.2.4.		Tratamiento de aguas industriales	12
	1.2.4.1.	Tipos	12
	1.2.4.2.	Mantenimiento de espacios de tratamiento	14
		1.2.4.2.1. Tipos	14
		1.2.4.2.2. Características	15
1.2.5.		Desarrollo hídrico	17
	1.2.5.1.	Sustentabilidad y sostenibilidad	17
1.3.		Papel reciclado.....	17
	1.3.1.	Historia	18
	1.3.2.	La fibra de celulosa	18
		1.3.2.1. Historia	19
		1.3.2.2. Formas de obtención.....	20
		1.3.2.3. Características	20
	1.3.3.	Materias primas.....	21
		1.3.3.1. Pacas OCC	22
		1.3.3.2. Pacas DKL	22
	1.3.4.	Tipos de papel reciclado.....	23
		1.3.4.1. Clasificación por calibres.....	23
1.4.		La Costa Sur de Guatemala.....	24
	1.4.1.	Generalidades	24
		1.4.1.1. Etnias	24
		1.4.1.2. Idiomas.....	24
		1.4.1.3. Cultura.....	26
	1.4.2.	Recursos naturales	30
	1.4.3.	Geografía	32
		1.4.3.1. Delimitación.....	37

	1.4.3.2.	Hidrografía.....	37
	1.4.4.	Industria.....	40
	1.4.4.1.	Tipos.....	40
	1.4.4.2.	Uso de recursos.....	43
	1.4.5.	Cambio climático	44
1.5.		Política de producción más limpia	45
	1.5.1.	Visión.....	45
	1.5.2.	Propósito.....	46
	1.5.3.	Objetivos.....	46
	1.5.4.	Herramienta técnica para la competitividad y la gestión ambiental preventiva	46
2.		DIAGNÓSTICO SITUACIONAL	49
	2.1.	Descripción del proceso	49
	2.1.1.	Descripción área de molinos.....	50
	2.1.2.	Descripción del área de formadores	51
	2.1.3.	Descripción área de secadores	51
	2.1.4.	Diagrama de flujo de proceso	52
	2.2.	Fuentes de agua empleadas	53
	2.2.1.	Pozos industriales.....	54
	2.2.2.	Laguna.....	56
	2.3.	Registros del recurso hídrico	56
	2.3.1.	Servicios básicos	56
	2.3.1.1.	Consumo	57
	2.3.2.	Área de molinos.....	58
	2.3.2.1.	Caudal de entrada	58
	2.3.2.2.	Caudal de salida	59
	2.3.3.	Área de formadores	60
	2.3.3.1.	Caudal de entrada	60

	2.3.3.2.	Caudal de salida.....	62
2.3.4.		Plantas de tratamiento	62
	2.3.4.1.	Caudal de entrada.....	63
	2.3.4.2.	Caudal de salida.....	64
2.4.		Costos actuales.....	65
2.4.1.		Agua productiva	66
	2.4.1.1.	Costos de extracción y de conducción de agua	66
2.4.2.		Agua de servicios básicos.....	68
2.4.3.		Mantenimiento y operación de plantas de tratamiento	68
2.5.		Prácticas de manejo del agua.....	69
2.5.1.		Reciclado.....	69
	2.5.1.1.	Diagrama.....	69
2.5.2.		Desperdicio del recurso hídrico	71
	2.5.2.1.	Análisis causa-efecto	71
2.5.3.		Tipo de tratamiento aplicado a aguas desechadas.....	73
3.		PROPUESTA PARA EL CORRECTO APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO.....	75
3.1.		Comparativa de fuentes de alimentación del recurso hídrico pozos-laguna.....	75
	3.1.1.	Media de cantidad extraída	75
	3.1.2.	Aspectos para tomar en cuenta.....	76
	3.1.3.	Descripción de métodos extractivos.....	77
3.2.		Reintroducción de recurso hídrico desechado en área de formadores	77
	3.2.1.	Medición de caudal desechado	78

3.2.2.	Explicación de diseño	78
3.2.3.	Aspectos para tomar en cuenta	80
3.3.	Reciclaje de recurso hídrico de proceso con fibra de celulosa	81
3.3.1.	Descripción	81
3.3.2.	Proceso de captación	82
3.3.2.1.	Diagrama	84
3.3.3.	Beneficios de captación	86
3.3.3.1.	Cantidad captada.....	86
3.4.	Reciclaje de recurso hídrico de proceso sin fibra de celulosa	87
3.4.1.	Descripción	88
3.4.2.	Proceso de eliminación de fibra de celulosa.....	89
3.4.2.1.	Formas	89
3.4.3.	Equilibrio hídrico	92
3.4.3.1.	Disminución de extracción de agua de pozos	92
3.5.	Sistema de aguas pluviales	92
3.5.1.	Descripción de sistema de captación	93
3.5.2.	Cantidad recolectada.....	94
3.5.3.	Beneficios	95
3.6.	Indicadores de nivel de aprovechamiento	95
3.6.1.	Propuesta	96
3.6.2.	Alcance.....	97
3.6.3.	Implicaciones.....	97
3.7.	Aprovechamiento del recurso hídrico con fibra de celulosa por otro tipo de industrias ubicadas en las cercanías.....	98
3.7.1.	Ubicación.....	98

3.7.2.	Industria azucarera y su relación con el recurso hídrico.....	98
3.7.3.	La fibra de celulosa en la captación de los suelos de la agroindustria azucarera	99
3.8.	Otras formas de aprovechamiento de la fibra de celulosa producto del recurso hídrico en la fábrica	100
3.8.1.	Reciclaje del recurso hídrico con fibra de celulosa para riego de áreas verdes.....	100
3.8.2.	Fibra de celulosa deshidratada para el abono de tierras	100
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	101
4.1.	Empleo de fuentes de recurso hídrico pozos-laguna	101
4.1.1.	Diagrama de causa y efecto.....	101
4.1.2.	Análisis beneficio-costos.....	103
4.2.	Aprovechamiento de agua desechada de área de formadores	107
4.2.1.	Optimización del desecho	107
4.2.2.	Cambio de práctica de desechar por reciclar	109
4.3.	Captación de fibra de celulosa	109
4.3.1.	Formas	109
4.3.2.	Reintroducción al proceso	110
4.3.3.	Análisis de beneficios.....	110
4.3.3.1.	Toneladas fabricadas	111
4.4.	Uso de agua sin fibra de celulosa	112
4.4.1.	Manejo de fibra de celulosa obtenida del proceso de eliminación	112
4.4.2.	Reemplazamiento de fuente de alimentación de regaderas	112

4.4.3.	Programa intercalado de uso de fuentes de alimentación de regaderas	113
4.5.	Aprovechamiento de las aguas pluviales.....	113
4.5.1.	Abastecimiento de aguas pluviales en temporadas de lluvia.....	114
4.5.2.	Descarga del recurso hídrico como medida de mitigación de la extracción de pozos	114
4.5.3.	Formas de optimización.....	114
4.6.	Cálculo de indicadores del recurso hídrico	116
4.6.1.	Metros cúbicos reciclados.....	116
4.6.2.	Toneladas de fibra de celulosa recuperadas	116
4.6.3.	Mejoramiento de metros cúbicos desechados.....	117
4.6.4.	Metros cúbicos utilizados en el área de regaderas.....	117
4.6.5.	Porcentaje del ciclo cerrado del agua.....	117
4.7.	Uso del desecho de recurso hídrico con fibra de celulosa en otros tipos de industria.....	118
4.7.1.	Identificación de oportunidades	118
4.7.2.	Recolección y transporte	119
4.8.	Obtención y gestión de la fibra de celulosa para su aprovechamiento de otras formas	119
4.8.1.	Recolección para uso de riego	119
4.8.2.	Separación de la fibra de celulosa del recurso hídrico.....	120
5.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	121
5.1.	Legislación ambiental del recurso hídrico.....	121
5.1.1.	Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia.....	121

5.1.2.	Política nacional de cambio climático	123
5.1.3.	Política nacional de producción más limpia.....	124
5.1.4.	Constitución Política de la República de Guatemala.....	125
5.1.5.	Reglamento de descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, acuerdo gubernativo 236-2006	126
5.1.6.	Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental, acuerdo gubernativo 23-2003	127
5.1.7.	Acuerdo ministerial 239-2005, Ministerio de Ambiente y de Recursos Naturales	128
5.1.8.	Política nacional de producción más limpia, Ministerio de Ambiente y de Recursos Naturales..	128
5.1.9.	Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, decreto 68-86	129
5.1.10.	Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, acuerdo gubernativo 63-2007	130
5.2.	Estudio de impacto ambiental	131
5.2.1.	Estructuración del estudio de impacto ambiental por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)	131
5.2.1.1.	Nombre de la actividad sometida al proceso de evaluación	132
5.2.1.2.	Dirección del lugar de estudio	132
5.2.1.3.	Actividades colindantes	132
5.2.1.4.	Descripción de las operaciones.....	133
5.2.1.5.	Tipo de impacto ambiental	133

5.2.1.6.	Áreas específicas de generación de impacto ambiental.....	134
5.2.1.7.	Potencial de impacto ambiental	135
5.2.1.7.1.	Cuantificación.....	135
5.2.2.	Medidas de mitigación	136
5.2.2.1.	Reducción de extracción del recurso hídrico de fuentes naturales.....	136
5.2.2.2.	Prevención de descarga de aguas con material orgánico a afluyente.....	136
6.	SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA	139
6.1.	Producción más limpia como estrategia	139
6.1.1.	Análisis FODA	139
6.1.2.	Aprovechamiento del recurso hídrico	143
6.1.2.1.	Proyección del reciclaje de recurso hídrico.....	143
6.2.	Criterios para la medición.....	144
6.2.1.	Porcentaje del ciclo cerrado del agua.....	144
6.2.2.	Metros cúbicos reciclados.....	145
6.2.3.	Toneladas de fibra de celulosa recuperadas	145
6.3.	Asignación de recursos apropiados.....	145
6.3.1.	Evaluación de necesidades	145
6.3.2.	Criterios para la asignación	146
6.3.3.	Rendimiento esperado.....	147
6.4.	Capacitación sobre el mejoramiento del aprovechamiento del recurso hídrico en una fábrica de papel reciclado	147
6.4.1.	Delimitación del personal objetivo	149
6.4.2.	Contenido y temas.....	149
6.4.3.	Alcance de la capacitación	150

6.5.	Coordinación de esfuerzos dentro de la organización para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico	150
6.5.1.	Análisis del tamaño de acciones	150
6.5.2.	Análisis de complejidad	151
6.5.3.	Diferencia de roles entre departamentos	152
6.6.	Obtención de resultados	153
6.6.1.	Interpretación	153
6.6.2.	Evaluación.....	154
6.6.3.	Conclusión.....	155
CONCLUSIONES.....		157
RECOMENDACIONES		159
BIBLIOGRAFÍA.....		161
ANEXOS.....		163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la Compañía de Cartones Reciclados de Centroamérica.....	6
2.	Organigrama del departamento de producción.	7
3.	Pacas OCC	22
4.	Pacas DKL	23
5.	Diagrama de flujo del proceso de pasta de celulosa	52
6.	Dibujo de entrada de molinos.....	59
7.	Dibujo de salida de molinos	59
8.	Planta de tratamiento de aguas negras.....	63
9.	Entrada de planta de tratamiento	64
10.	Salida de planta de tratamiento.....	65
11.	Diagrama de bloques de lazo cerrado del reciclaje de recurso hídrico	70
12.	Diagrama de Ishikawa del desecho de proceso	72
13.	Medición de caudal de salida de aguas productivas	78
14.	Dibujo de espacio de tratamiento para la reintroducción del recurso hídrico	79
15.	Dibujo de vista longitudinal de sedimentador	83
16.	Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de recurso hídrico con fibra de celulosa	85
17.	Análisis de agua de producción	87
18.	Boquillas de regaderas a alta presión	88
19.	Dibujo de filtro de arena	90

20.	Dibujo de pileta de floculación y sedimentador	91
21.	Sistema de captación de aguas pluviales	93
22.	Plano de conducción de aguas pluviales	94
23.	Vista de planta de tanque de aguas pluviales.....	95
24.	Diagrama de causa-efecto de las fuentes de abastecimiento de recurso hídrico	102
25.	Sistema de optimización de aguas de producción.....	108
26.	Mejora del sistema de captación de aguas pluviales	115
27.	Toma satelital de alrededores a la planta	132
28.	Tipo de impacto ambiental de CESRCA	134
29.	Matriz FODA	141

TABLAS

I.	Distribución en porcentajes de idiomas y etnias en departamentos de la Costa Sur, sobre poblaciones totales.....	25
II.	Fiestas patronales de Retalhuleu.....	27
III.	Fiestas patronales de Escuintla	28
IV.	Fiestas patronales de Suchitepéquez	29
V.	Cuencas hidrográficas por departamento	33
VI.	Pendientes agrupadas según metodología USDA.....	34
VII.	Temperaturas promedio por año	35
VIII.	Geología por departamento	36
IX.	Área y disponibilidad de cuencas de Retalhuleu	38
X.	Estimaciones del sistema hidrográfico de Escuintla	39
XI.	Estimaciones del sistema hidrográfico de Suchitepéquez	39
XII.	Consumo anual de agua para uso industrial por departamento	43
XIII.	Uso de tierras por departamento y porcentajes (hectáreas)	44
XIV.	Promedio mensual de horas efectivas de fábrica	55

XV.	Cálculo aproximado de agua utilizada de servicio de sanitarios	57
XVI.	Cálculo aproximado de agua utilizada de servicio de lavamanos	58
XVII.	Desglose de caudal de entrada.....	61
XVIII.	Costos de preparación	66
XIX.	Costo mensual de operación de bombas de planta	67
XX.	Costos del recurso hídrico de servicios básicos.....	68
XXI.	Costo de operación de planta de tratamiento.....	68
XXII.	Promedio aproximado de extracción	75
XXIII.	Resumen de indicadores.....	97
XXIV.	Datos para el análisis de beneficio-costos	105
XXV.	Programa de empleo de fuentes de recurso hídrico	113

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
°C	Grados centígrados
J	Joule
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
m²	Metros cuadrados
m³	Metros cúbicos
m³/h	Metros cúbicos por hora
mg/L	Miligramos por litro
%	Por ciento

GLOSARIO

6M	Método, máquina, mano de obra, medio ambiente, materia prima, medición.
CAPEX	<i>Capital Expenditure.</i>
CESRCA	Compañía de Cartones Recicladados de Centroamérica.
DKL	<i>Double Kraft Liner.</i>
FODA	Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas.
IPCA	Industria Papelera Centroamericana.
KPI	<i>Key Performance Indicator.</i>
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
OCC	<i>Old Corrugated Container.</i>
PIB	Producto Interno Bruto.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
PVC	Policloruro de vinilo.

RAS2000	Reglamento técnico de agua y saneamiento.
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
TPM	Mantenimiento Productivo Total.
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos.

RESUMEN

La Compañía de Cartones Reciclados de Centroamérica produce cartón reciclado con un alto involucramiento de recursos naturales en materiales directos y materias primas. Según estudios, la fabricación de papel y cartón reciclado es de las principales actividades productivas que demandan recurso hídrico en su proceso productivo con un promedio de utilización de 54 m³ por tonelada producida.

El recurso hídrico es de los principales componentes del proceso, actualmente se encuentra en evaluación y desarrollo un proyecto de construcción de una planta de tratamiento para mejorar las condiciones del recurso hídrico antes de ser vertido al afluente, lo que genera un impacto ambiental negativo. La gerencia de la compañía está comprometida con un programa de manejo ambiental a través de políticas y recursos para su desarrollo.

Actualmente se vierte agua de producción no tratada, por consiguiente, se pierde la oportunidad de reciclar el agua. En el presente trabajo de graduación se proponen acciones para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico en la producción, la más importante propone implementar una planta de tratamiento para reciclar el recurso hídrico con o sin fibra de celulosa y se presentan alternativas respecto a su manejo.

Mejorar el aprovechamiento de recurso hídrico en la planta involucra mitigar la explotación de la fuente de abastecimiento, mejorar el agua de proceso por medio de tratamiento, recapturar fibra de celulosa, mitigar el impacto ambiental que puede generarse y aumentar el porcentaje del ciclo cerrado de agua.

OBJETIVOS

General

Aprovechar el recurso hídrico de una fábrica de papel y cartón reciclado que se ubica en la costa sur de Guatemala para el aporte en el impacto ambiental.

Específicos

1. Determinar un porcentaje de reutilización del recurso hídrico por medio de una razón entre el caudal de agua en proceso que se desecha y el caudal de agua que entra al proceso, para tener una métrica más precisa que aporte al cumplimiento de metas.
2. Proponer un plan para evitar la pérdida de agua útil por medio de formas que permitan introducir de nuevo el agua con fibra de celulosa desperdiciada al proceso después de ser limpiada y así mejorar la eficiencia del recurso hídrico.
3. Proponer un plan de limpieza del agua, donde por medio de un proceso físico como la filtración, se logren remover las fibras de celulosa en suspensión en el agua, para introducirlo a las regaderas y mitigar la extracción de agua de los pozos.
4. Exponer acciones que, por medio de la mitigación del uso del recurso hídrico requerido de los pozos, disminuya el impacto y asegure sostenibilidad.

5. Demostrar por medio de un análisis beneficio-costos que el adoptar acciones que aporten a una producción más limpia, por medio de aumentar la reutilización del agua de proceso y disminuir la extracción del agua de los pozos, es obtener ventaja competitiva de mercado y de gestión ambiental preventiva.
6. Proponer un programa de capacitación sobre la concientización del uso y manejo del agua, capaciten e informen más al personal de todos los niveles de la planta sobre la mitigación del impacto que las operaciones tienen, en el medio ambiente, para la mejora continua.
7. Mencionar otras formas en que se puede aprovechar la fibra de celulosa en una fábrica de papel reciclado, por medio de un enfoque específico hacia la fibra de celulosa para mitigar el aporte de material orgánico a los afluentes y disminuir los costos de tratamiento.

INTRODUCCIÓN

Conforme transcurre el tiempo y la tecnología, la industria con sus diferentes rubros fortalecen más acciones que ayudan a conservar el equilibrio ecológico por medio de procesos sustentables. La industria de pulpa de papel y cartón reciclado no es la excepción, el diseño de producción de cartón reciclado contempla la utilización de grandes cantidades de recurso hídrico a lo largo de todo el proceso.

La dirección de la compañía vela por la protección del medio ambiente en todos sus procesos productivos, cumple con las normativas legales vigentes en materia medio ambiental, está comprometida en reducir significativamente el consumo de recursos, así también, posee un programa de educación al personal en los aspectos medio ambientales de manera que sean participantes activos en el compromiso del respeto y cuidado del medio ambiente.

La extracción y utilización del recurso hídrico es constante y permanente, la relación que se tiene con el medio ambiente debe de ser equilibrada porque hoy en día el cambio climático amenaza con variabilidades que pueden afectar la disponibilidad de los recursos en la tierra. El impacto ambiental que genera la fábrica puede ser mitigado, se propone mejorar el aprovechamiento de los recursos.

En el primer capítulo se presentan generalidades de la empresa que aportan al conocimiento del lector, como historia, misión, visión y estructuras organizativas. Además, se amplían definiciones de recurso hídrico, papel reciclado y aspectos generales de la Costa Sur de Guatemala.

El segundo capítulo se enfoca en realizar un diagnóstico situacional que describen las principales áreas de producción, se da una breve explicación de las fuentes de agua que la fábrica explota, y principalmente se diagnostica el consumo del recurso hídrico en general. De igual manera se hace un diagnóstico de las prácticas actuales de manejo de agua de la fábrica.

El tercer capítulo propone mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico mediante la implementación de un sistema de tratamiento que se basa en procesos físicos como la sedimentación y filtración, se presenta una estrategia de gestión de la planta de tratamiento que se lleva a cabo con indicadores numéricos y otras formas de aprovechar el recurso hídrico con la fibra de celulosa.

El cuarto capítulo describe acciones claves para implementar un sistema de tratamiento para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico en la fábrica, también se explica el cálculo de los indicadores que son cruciales para un seguimiento adecuado de lo implementado.

El capítulo de estudio de impacto ambiental hace una breve descripción y extracción de contenido aplicable de lo propuesto sobre legislación del medio ambiente del país, incluye un estudio de impacto ambiental por medio de una estructura general de las medidas de mitigación de la propuesta.

Para el seguimiento y mejora continua se describe en el capítulo sexto un análisis y desarrollo de las ventajas de una producción más limpia como estrategia, además se presenta un plan que sigue un ordenamiento lógico, donde se contemplan criterios como la asignación de recursos futuros que el sistema de tratamiento pueda necesitar, un plan de capacitación de personal para obtener

mejores resultados, se analizan los esfuerzos para asegurar el adecuado funcionamiento y la obtención de resultados.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Generalidades de la empresa

La Compañía de Cartones Recicladados de Centroamérica es una empresa líder en Guatemala en la fabricación de papel y cartón reciclado que vende a distintos tipos de industrias, con clientes a lo largo y ancho de la región centroamericana, Estados Unidos y algunos países de Suramérica y del Caribe.

1.1.1. Historia

En la década de 1930, arribó a Guatemala una familia extranjera emprendedora que comenzó con la administración y gestión de pequeños negocios. Años después, con mayor poder adquisitivo compraron diferentes fábricas con la visión de formar una corporación de la misma línea de negocio. En la década de los setenta, en el kilómetro 65 del departamento de Escuintla operó la Industria Papelera Centroamericana que fue una fábrica bastante sólida.

El inicio de CESRCA se remonta al año de 1993, cuando IPCA decide terminar su operación en el país por complicaciones, por lo que la familia decide comprar la empresa. Con el cambio de propietarios, se optó por la diversificación añadiendo a la producción cartón chip reciclado y se comenzó con clientes de mercados en Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica. Para el año de 2001, la capacidad instalada de la fábrica llegó a su máximo, por ello se compró nueva maquinaria logrando producir un promedio de 1 500 toneladas por mes.

En 2004 se modernizó y produjo una diversificación en la cartera de productos. En los últimos años se han conseguido logros como la diversificación de exportaciones a mercados del Sur de América, Centroamérica, México y República Dominicana.

1.1.2. Ubicación

CESRCA está ubicada en la Finca Los Campos Km. 81 Litoral Pacifico, en el departamento de Escuintla, Guatemala.

1.1.3. Valores

- Integridad: creemos en ser honestos y transparentes, protegiendo el bienestar y la reputación de la compañía y de aquellos que la conforman.
- Creatividad: creemos en aplicar creatividad a todos los aspectos del negocio, a través de la búsqueda constante de innovación y mejora para nuestros productos y procesos.
- Orientación al cliente: creemos en establecer relaciones permanentes con los clientes, poniendo a su disposición nuestra experiencia y recursos para ser un factor en su éxito y crecimiento.
- Lealtad: creemos en fomentar un sentido de responsabilidad, compromiso y confianza en nuestro personal, brindando oportunidades para que cada uno desarrolle su potencial al máximo.
- Responsabilidad social: creemos en un compromiso continuo con la sociedad y el medioambiente, contribuyendo activamente a su mejora.¹

1.1.4. Misión

“Mantener niveles de crecimiento y ganancias sostenibles, impulsados por un profundo entendimiento de las necesidades cambiantes de nuestros clientes y por los niveles más altos de innovación, flexibilidad y eficiencia en costos.”²

¹ Compañía de cartones reciclados de Centroamérica. *Nuestra empresa*. p. 5.

² Ibid. p. 6.

1.1.5. Visión

“Ser reconocidos por nuestros clientes como proveedores de las soluciones más innovadoras y valiosas para proteger, transportar y vender sus productos integrándonos a su cadena de valor.”³

1.1.6. Compromiso con el medio ambiente

El proceso de elaboración de cartón reciclado se diseñó de manera que la mayor parte del suministro de materia prima provenga del reciclaje. Una porción de la materia prima que llega a la fábrica son desechos de cartón generados por empresas de la corporación a la que pertenece. Gran parte del recurso hídrico que se extrae es reutilizado y por su localización estratégica se debería invertir en la reducción de contaminantes que se desechan en afluentes cercanos.

1.1.6.1. Objetivos y metas

Toda planeación se debe de realizar en función de los objetivos y metas. En esta sección se presentan los objetivos y metas de la Compañía de Cartones Reciclados de Centroamérica, estos se relacionan con el medio ambiente y apoyan acciones para mitigar el impacto ambiental negativo.

- **Objetivos**
 - Promover la consciencia social y ambiental entre nuestros clientes y proveedores.
 - Educar a nuestros colaboradores acerca de la importancia del cuidado al medio ambiente y el buen uso de los recursos.
 - Reducir el impacto ambiental de nuestros empaques, por medio de procesos productivos eco amigables.⁴

³ Compañía de cartones reciclados de Centroamérica. *Nuestra empresa*. p. 6.

⁴ Ibid. p. 7.

- Metas
 - Incrementar el tratamiento de nuestras aguas residuales, cuyo fin es eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso industrial.
 - Impartir un curso formativo del manejo adecuado y manipulación de químicos, utilizando la metodología de interpretación de las MSDS (Material Safety Data Sheet) y la lectura del rombo de la NFPA, para prevenir daños a la salud y al medio ambiente.
 - Crear conciencia ambiental entre nuestros colaboradores, cada año celebramos en junio el mes del medio ambiente. Decoramos nuestras oficinas con manualidades que elaboramos con materiales reciclados y, como símbolo y recordatorio de nuestro compromiso con el medio ambiente.⁵

1.1.7. Estructura organizacional

La estructura organizacional permite conocer de manera amplia y general la empresa para entender mejor sus funciones y la manera en que se relacionan.

CESRCA es miembro de una corporación y está bajo la supervisión de una persona asignada. En el nivel más alto se encuentra el gerente de operaciones encargado de supervisar la operación de la fábrica y tiene a su cargo un gerente de producción, un gerente de ventas, un analista de costos y un coordinador TPM. Al gerente de producción le reporta un jefe de control de calidad, el gerente de mantenimiento, los supervisores de producción, el jefe de planificación, un jefe de despacho, el jefe de producción y el centro de acopio.

El jefe de producción tiene bajo su mando tres supervisores y un jefe de control de procesos. A los supervisores de la maquina IV le reportan 2 operarios de molinos, 2 operarios de control de consistencias, un montacarguista de materia prima, 2 operarios de la maquina IV y un operario de la máquina que enrolla las bobinas de cartón chip. La estructura organizacional es vertical o funcional, esto quiere decir que cada área o departamento es especialista en sus

⁵ Compañía de cartones reciclados de Centroamérica. *Nuestra empresa*. p. 7.

tareas asignadas y cada departamento toma sus decisiones. La organización se forma por tres tramos de control amplios. El primero es el que se ubica debajo del gerente de operaciones, el segundo el que está debajo del gerente de producción y el último es el que está bajo los supervisores de producción.

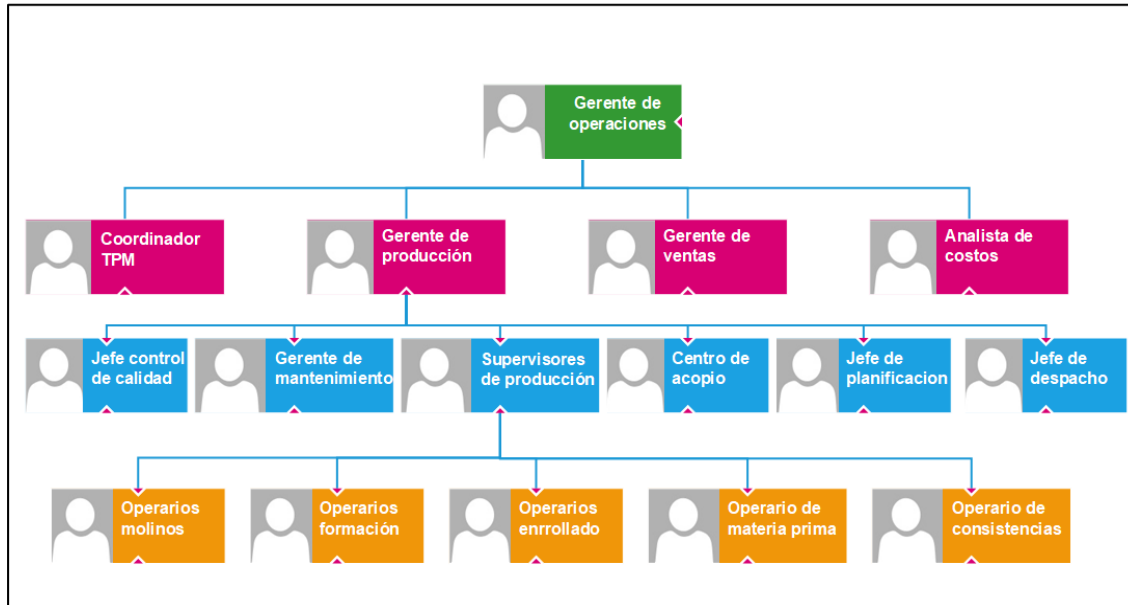
La comunicación interna horizontal es clave, ya que existe interrelación del proceso entre departamentos o áreas. Esta comunicación se da a partir del tramo de control debajo del gerente de producción y en el tramo de control que coordinan los supervisores de producción. La comunicación interna vertical escala desde la base del organigrama, por ejemplo, el último tramo de control se comunica con los supervisores, luego los supervisores lo hacen con el gerente de producción y finalmente el gerente de producción se comunica con el gerente de operaciones.

El gerente de operaciones es el encargado de asegurarse que se cumplan las metas y objetivos de la corporación, el gerente de producción es el encargado de que todos los procesos de la producción sean ejecutados correctamente. El jefe de producción se concentra en que la materia prima sea utilizada de una manera eficiente y que los trabajadores sean administrados de la manera más óptima acorde con el plan de producción. Los supervisores se aseguran de que los cartones sean producidos conforme la calidad y especificaciones fijadas, también dirigen grupos de operarios que se especializan en una función o área.

1.1.7.1. Organigrama

A continuación, se presenta el organigrama vertical y funcional con tramos de control amplios.

Figura 1. **Organigrama de la Compañía de Cartones Reciclados de Centroamérica**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

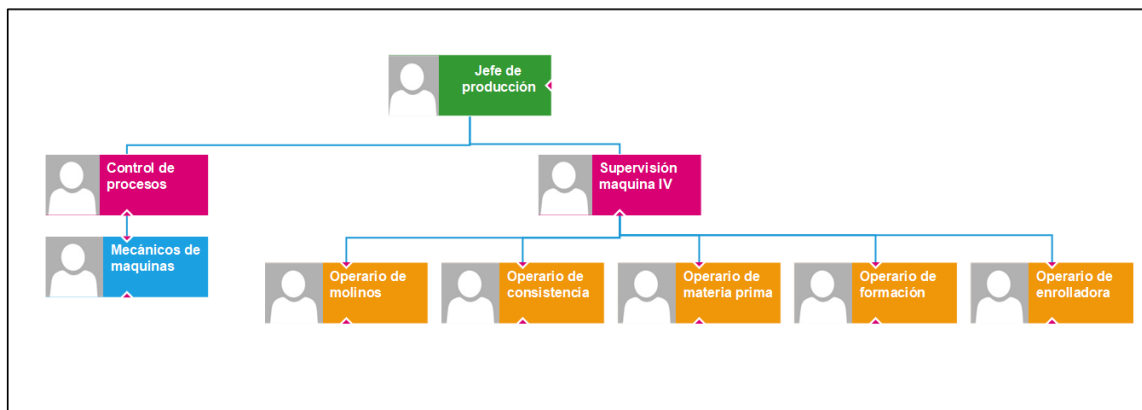
1.1.7.2. Organigrama departamento de producción

Al jefe de producción le reportan los supervisores de la maquina IV y el encargado de control de procesos. Los supervisores de la maquina IV tienen bajo su cargo 2 operarios de molinos, 2 operarios de control de consistencias, un montacarguista de materia prima, 2 operarios de la máquina IV y un operario de la máquina que enrolla las bobinas de cartón chip. El encargado de control de procesos coordina 4 mecánicos de máquinas.

La función principal de los encargados de control de procesos es coordinar y velar por que cualquier tipo de mantenimiento sea hecho correctamente. La de

los mecánicos es dar asistencia técnica y solución a desperfectos mecánicos de las máquinas que se presenten en cualquier momento.

Figura 2. **Organigrama del departamento de producción**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

1.2. **Recurso hídrico**

El recurso hídrico es un recurso natural renovable, en la mayoría de los casos se denomina como bien porque satisface necesidades del ser humano, es importante en varias actividades económicas y su disponibilidad es estratégica para mantener el equilibrio de muchos procesos ecológicos. Su disponibilidad es variable en ciertas regiones de tierras por las condiciones, esto lo convierte en un bien sujeto a gobernanza para asegurar y regular que todas la personas, industrias y actividades económicas tengan acceso justo y equitativo al recurso.

Principalmente el recurso hídrico de tipo superficial se capta mediante de precipitaciones pluviales y se almacena en los distintos cuerpos de agua superficiales que existen, como: ríos, lagos, lagunas, estanques, mares, pantanos, entre otros. El segundo tipo de recurso hídrico es el subterráneo, no

evapotranspira y logra pasar los subsuelos infiltrándose hasta llegar a una parte hueca del subsuelo donde se forman los acuíferos. También se puede clasificar el recurso hídrico por su composición química, como agua dulce y agua salada. Del total de agua disponible en el planeta tierra el 96,5 % es agua salada y tan solo un 3,5 % es dulce.

Según la Política Nacional del Agua de Guatemala y su estrategia, en Guatemala se estima que un 77 % del total de la demanda hídrica se destina al sector agropecuario, el uso doméstico demanda 16 % y el sector industrial un 7 %. La relación que el agua tiene con la economía del país se mide por el nivel de aprovechamiento, se calcula que el recurso hídrico está involucrado en el 70 % de las actividades económicas que forman el PIB del país, dejando como valor agregado un aproximado de un 5,6 % del PIB que son Q 13 400 millones anuales. Aprovechar el recurso hídrico beneficia industrias y sociedades, pero desechar aguas residuales también conlleva responsabilidad, se estima que en el país tan solo un 5 % de las aguas residuales generadas al año reciben algún tipo de tratamiento.⁶

El agua de la Tierra se encuentra naturalmente en varias formas y lugares: en la atmósfera, en la superficie, bajo tierra y en los océanos. El agua dulce representa sólo el 2 5% del agua de la Tierra, y se encuentra en su mayoría congelada en glaciares y casquetes glaciares. El resto se presenta principalmente en forma de agua subterránea, y sólo una pequeña fracción se encuentra en la superficie o en la atmósfera.⁷

1.2.1. Definición técnica

El recurso hídrico es una sustancia que está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, se puede encontrar en estado líquido, sólido o gaseoso. Su disponibilidad está sujeta total o parcialmente en cantidad y calidad suficientes, en un tiempo o lugar adecuado cuya utilización está destinada a satisfacer una demanda potencial de uso doméstico, industrial o agropecuario. Su importancia radica en la dependencia que las sociedades tienen, el sector

⁶ COLOM DE MORÁN, Elisa; MORALES-DE LA CRUZ, Marco. *Política Nacional del Agua de Guatemala y su estrategia*. p. 4.

⁷ Organización de Naciones Unidas. *Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. p. 11.

agropecuario de todos los países demanda la mayor porción de la demanda hídrica total y el sector agropecuario es el rubro responsable de la producción de una gran parte de alimentos.

El sector industrial es la parte encargada de promover el crecimiento y desarrollo de las economías de los países, sin el recurso hídrico las operaciones de las industrias que dependen del recurso no podrían ser realizadas. El abastecimiento y aprovechamiento del recurso hídrico para uso doméstico es crucial en toda sociedad y país, el ser humano no podría vivir sin el agua.

Se debe tener en cuenta que el volumen y la diversidad de ocurrencia del agua subterránea en la Tierra es elevado, por lo que el agua subterránea presenta condiciones excepcionales de aprovechamiento y usos múltiples. La importancia de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento doméstico, industrial y agrícola, en comparación con las aguas superficiales, ha sido creciente en todo el mundo.⁸

1.2.2. Características y propiedades

Es importante conocer las principales características y propiedades del recurso hídrico para tener el conocimiento mínimo de su comportamiento cuando esté funcionando bajo diferentes procesos y principios, estas se describirán a continuación:

- **Características**
 - **Color:** el agua pura no es incolora, tiene un tinte azul verdoso en grandes volúmenes. El color afecta estéticamente a la potabilidad de las aguas y afecta como colorante de ciertos productos cuando se utiliza en su fabricación.

⁸ Universidad Autónoma del Estado de México. *Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica.* p. III-3.

- Turbidez: es la dificultad del agua para transmitir la luz de los materiales en suspensión, coloidales o muy finos. Son materiales difíciles de decantar y filtrar.⁹
 - Olor: se puede usar de manera subjetiva para describir de manera cualitativa, su calidad, estado o procedencia.¹⁰
 - Temperatura: la temperatura de un agua se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido.¹¹
- **Propiedades**
 - Densidad: la densidad del agua es 1 (exactamente 0,9999 a 20° C). La congelación del agua es bastante distinta a la de otros líquidos. Los puentes de hidrógeno producen un reordenamiento cristalino que hace que el hielo se expanda más allá del volumen del líquido original, de forma que su densidad resulta menor y flota.
 - Viscosidad: es la propiedad que tiene el agua de oponer resistencia a todo movimiento, ya sea interno o global del flujo. Es un papel fundamental de las pérdidas de carga y por tanto juega un papel fundamental en el tratamiento del agua. Disminuye cuando aumenta la temperatura.
 - Calor específico: es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 Kg de agua en 1°C. Es la sustancia que posee mayor calor específico (4,180 J/Kg/°C). Varía en función de la temperatura y presenta un mínimo a 35°C.
 - Calor latente: cantidad de calor necesaria para efectuar el cambio de estado de la unidad de masa previamente llevada a la temperatura que corresponda a la tensión reinante.
 - Tensión superficial: es la fuerza de tracción que se ejerce sobre la superficie del líquido. El agua tiene una tensión superficial muy elevada debido a los puentes de hidrógeno. La tensión superficial disminuye al aumentar la temperatura.¹²

1.2.3. Tipos de recurso hídrico

Existen varios tipos de recurso hídrico y el enfoque que se le dará en esta sección es según su uso. El agua clara es la que demandan los sectores de uso doméstico, industria y del sector agropecuario por su pureza y limpieza. El agua negra es la que ya fue utilizada y aprovechada, son aguas de desecho y también

⁹ CEUPE. *El agua. Sus características y propiedades*. <https://www.ceupe.com/blog/el-agua-sus-caracteristicas-y-propiedades.html>. Consulta: 29 de octubre de 2020.

¹⁰ Universidad Francisco José De Caldas. *Determinación de propiedades físicas del agua*. p. 3.

¹¹ GALVÍN, Marín. *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. p. 3.

¹² CEUPE. *El agua. Sus características y propiedades*. <https://www.ceupe.com/blog/el-agua-sus-caracteristicas-y-propiedades.html>. Consulta: 29 de octubre de 2020.

se conocen por aguas residuales, se considera que después de su desecho recibirán algún tipo de tratamiento. El término de agua café se utiliza en la fábrica de CESRCA para referirse al agua de proceso, es el recurso hídrico que contiene y transporta la materia prima.

1.2.3.1. Aguas claras

Es agua pura o virgen, no se ha utilizado, no tiene contaminantes, son las que llegan directamente de la empresa encargada de la recolección y distribución municipal de aguas, o se extrae directamente de pozos, la fuente de abastecimiento de CESRCA de agua clara proviene de dos pozos naturales y de una laguna.

1.2.3.2. Aguas cafés

Es la que se utiliza y es producto del proceso de producción, la compone contaminantes, sedimentos o partículas propias de los papeles y cartones, normalmente está en constante circulación dentro del departamento de producción y el sistema está diseñado para reutilizarla. El agua café que se desecha contiene fibra de celulosa, químicos que han sido añadidos como aditivos y metales de las tintas de la materia prima.

1.2.3.3. Aguas negras

Agua producto de uso humano, de servicios básicos que contiene un alto porcentaje de material orgánico como heces, jabones, desinfectantes, entre otros. Se caracteriza por tener mal olor y un color que resalta. El agua negra de la fábrica es tratada con especial énfasis porque la fábrica desecha el agua como

afluente ya que no existe conexión con una red de drenaje por su ubicación que es retirada y lejana.

1.2.4. Tratamiento de aguas industriales

El objetivo que se desea alcanzar al invertir recursos en la operación de plantas de tratamiento es remover los materiales identificados como contaminantes, se pueden presentar como partículas disueltas o en suspensión. Se busca una limpieza lo más óptima posible para su reutilización o reincorporación a los receptores naturales o al sistema de drenajes.

1.2.4.1. Tipos

La clasificación de los tratamientos de aguas se identifica por fases (pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento terciario) o por principios. En esta sección se abordarán generalidades de los principios de tratamiento químicos, físicos y biológicos de los distintos tratamientos como un único sistema que funciona con diferentes pasos para obtener la limpieza del agua tratada.

- Tratamiento fisicoquímico

Este tipo de tratamiento se basa en una gran cantidad de principios, el más utilizado en la industria es el de coagulación-floculación. Esta planta de tratamiento funciona con un principio bastante sencillo, se escoge cuando las partículas contaminantes del agua son demasiado pequeñas y no pueden ser eliminadas por otros procesos. Como: el filtrado, el decantado o la flotación. El tratamiento se divide en dos principales etapas: la coagulación y el floculado. En la etapa de coagulación el agua pasa por una cámara donde se añade un

coagulante para facilitar la atracción de las partículas dando como resultado flóculos, se mezcla para una mejor disolución.

En una segunda cámara se mezcla más lento y se consigue que los flóculos aumenten de volumen y de peso, en la última cámara el agua llega a un clarificador donde las partículas se sedimentan y se forma un lodo, se finaliza con un filtrado. Las principales ventajas de esta planta de tratamiento es que es bastante adaptable en cuanto a diseño y del uso de coadyuvantes que se eligen por el tipo de partículas de los procesos. Existe una variación más sencilla que se basa en la floculación-cloración, se emplea más en industrias de países en vías de desarrollo.

- Tratamiento biológico

La operación de esta planta de tratamiento funciona con microorganismos, son los encargados de eliminar los contaminantes disueltos en el agua. Los microorganismos desarrollan su crecimiento gracias a nutrientes como el fósforo y el nitrógeno presentes en el agua para mejorar su capacidad de flocular la materia orgánica del agua que con una masa grande se decanta. Es importante mencionar que el tratamiento biológico puede ser de tipo aerobio o anaerobio, factor que repercute en el diseño y funcionamiento de las plantas de tratamiento. La sencillez de los principios de operación y el bajo costo de operación de estas plantas de tratamiento las convierte en ventajas para elegir las en las industrias.

Los diseños de las plantas de tratamiento biológicas son parecidos a las plantas de tratamiento fisicoquímico, el primer espacio de la planta es donde se sedimentan los sólidos grandes. El espacio siguiente es donde el agua recibe el tratamiento biológico aerobio o anaerobio, después del tratamiento biológico se

encuentra un espacio diseñado para que se sedimente el material degradado por las bacterias, para finalizar se clarifican las aguas mediante químicos especiales.

1.2.4.2. Mantenimiento de espacios de tratamiento

En función del uso de los espacios y maquinaria que participan en el tratamiento del recurso hídrico desechado de los procesos es el grado de desgaste. Es necesario dar mantenimiento adecuado para que la maquinaria trabaje a niveles óptimos, se mejoren los niveles de calidad de las aguas tratadas y reducir costos de operación de las plantas. Se presentan implicaciones técnicas generales de mantenimientos preventivos y no correctivos.

1.2.4.2.1. Tipos

Los espacios de tratamiento fisicoquímicos requieren de un mantenimiento como control constante del proceso. Las plantas fisicoquímicas se caracterizan por recibir aguas con altas cargas de sólidos suspendidos, su mantenimiento se enfocará en la correcta y suficiente extracción del lodo que se sedimenta en las distintas etapas del proceso de clarificación por la acción de los coagulantes y floculantes.

El mantenimiento de los espacios de tratamientos biológicos puede ser de varias maneras, como parte del control se debe de revisar que los niveles de oxigenación sean los adecuados si fuera el caso de tratamiento biológico de tipo aerobio. Si es de tipo anaerobio, se debe de lavar el material especial que mantiene y les da vida a las bacterias. En general, también se debe de extraer el exceso de lodos acumulados en todas las cámaras de la planta de tratamiento.

1.2.4.2.2. Características

Es importante conocer de manera específica aspectos técnicos que, a pesar de ser sencillos, se deben de tomar en cuenta ya que su mal funcionamiento puede afectar el flujo completo de tratado. Los mantenimientos tienen como objetivo global conseguir mejores resultados y prevenir errores en el proceso de tratamiento.

- Mantenimiento a plantas de tratamiento fisicoquímico

El mantenimiento por lo general comienza con la extracción de los sólidos grandes retenidos en el espacio diseñado para su detención, como en las rejillas de cribado. Los sólidos suspendidos en el agua que se sedimentan en una cámara especializada por la acción de coagulantes deben de ser extraídos por una empresa especializada y certificada debido a que se requiere un manejo y desecho cuidadoso por su alto contenido orgánico. En la sección donde se clarifican las aguas normalmente existe un dispositivo especial que controla la dosificación de diferentes químicos, este dispositivo deber ser revisado periódicamente para evitar obstrucciones o concentración excesiva del químico aplicado.

Estas plantas de tratamiento también funcionan con filtros de aire para evitar la salida de malos olores, por lo que se debe considerar el cambio de filtros cada cierto tiempo. Las plantas de tratamiento fisicoquímico pueden operar con una cámara que involucre filtros biológicos anaerobios sencillos, como materiales de polipropileno que ayudan a la proliferación y mantenimiento de bacterias que son las encargadas de degradar la materia orgánica que no se puede eliminar por medio de procesos físicos sencillos como la sedimentación o floculación. Los materiales de los filtros biológicos deben de ser limpiados, dependiendo de las

necesidades, solo con agua, ningún tipo de jabón o limpiador debe de emplearse porque podría matar las bacterias.

- Mantenimiento a plantas de tratamiento biológicas

Las plantas de tratamiento biológicas funcionan en varias fases, entre las que se pueden mencionar: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamiento de filtración y etapa de desinfección. El mantenimiento del pretratamiento consiste en remover los sólidos grandes que han quedado retenidos en las distintas rejillas de cribado que componen esta fase, para la limpieza del tratamiento primario se extraen los lodos que son producto de la sedimentación de los sólidos suspendidos, también se desechan las natas y los objetos que flotan.

La etapa biológica de la planta de tratamiento puede operar con varios principios, el principio más utilizado es el proceso aerobio de lodos activados. Para la etapa biológica aerobia o secundaria se necesita dar mantenimiento a los sopladores que son los encargados de alimentar de oxígeno al recurso hídrico, después de degradada la materia orgánica por las bacterias es frecuente utilizar un espacio para una segunda sedimentación donde de nuevo se retiran los lodos que se sedimentan y los objetos que flotan. En la etapa de filtración normalmente se cambian los materiales filtrantes dependiendo de su vida útil, como por ejemplo la arena de sílice de los filtros.

Es frecuente que la fase de desinfección sea en espacios clarificadores donde se le da mantenimiento al clarificador, se asegura que no existan obstrucciones o que haya exceso del químico encargado de desinfectar las aguas tratadas.

1.2.5. Desarrollo hídrico

La utilización y extracción del agua como material indirecto clave en la fabricación de papeles y cartones debe de contemplar técnicas que aseguren el abastecimiento futuro del recurso. Se alcanza un desarrollo hídrico óptimo al emplear y mejorar acciones que aporten a mantener el equilibrio de explotación de las fuentes naturales que abastecen al proceso.

1.2.5.1. Sustentabilidad y sostenibilidad

Cuando se habla de recursos naturales es frecuente leer los términos: sustentable y sostenible, muchas veces se crea confusión. La sustentabilidad es la utilización eficiente de los recursos que no deja un impacto negativo en la naturaleza y no daña la capacidad del recurso para regenerarse. La sostenibilidad de los recursos se da cuando se satisfacen las necesidades sociales, de industrias y económicas de un medio ambiente ideal y saludable sin comprometer a las generaciones futuras.

1.3. Papel reciclado

La variedad de productos que se fabrican de los papeles y cartones reciclados son elementos que se utilizan en la agricultura, en el embalaje para la protección de productos sensibles al deterioro y en el campo del diseño. Con el paso de los años se ha descubierto que los papeles y cartones disponen de una larga vida útil, esto mejora el aprovechamiento y reciclaje.

1.3.1. Historia

Para comprender la historia de la fabricación de los papeles y cartones reciclados antes se debe conocer la historia que dio origen a la fabricación de papeles. En 1800 el inglés Matthias Koops patentó el destintado de materiales y el empleo de madera como materia prima para fabricar papel, fue bastante aceptado por la sociedad de industrias del papel. Niels Flindt Dahl fue el inventor del proceso Kraft en Alemania en el año de 1879, inicialmente propuso extraer la fibra de celulosa a partir de trozos de madera mediante un método que emplea químicos como el sulfuro y el hidróxido sódico para obtener la pulpa de celulosa, se observó que la pasta era consistente por lo que el método de Dahl revolucionó la fabricación de papel.

Lo que hoy se conoce como la industria de papel reciclado tuvo sus orígenes y principal desarrollo en Estados Unidos. En el año de 1690 se construyó el primer molino de reciclaje para la fabricación de papel en el estado de Filadelfia, operaba con residuos textiles de algodón y trapos de lino como materias primas. Para la primera guerra mundial se invirtió una gran cantidad de esfuerzos para fomentar la práctica de reciclar, pero no fue hasta que se creó el Servicio de Recuperación de Residuos que fue una clase de incentivo del gobierno federal para aumentar el reciclaje y disminuir los costos de las materias primas necesarias en la guerra.

Eventos como la crisis mundial de 1929 obligó a las fábricas a buscar maneras de reducir los costos de producción, las fábricas de papeles y cartones buscaron materias primas más baratas para reemplazar la madera. Fue en 1988 cuando el estado de California normó que la compra de cartones y papeles fueran de productos hechos con al menos un 50 % de reciclaje. En el año de 1993 la mayoría de los estados habían adoptado políticas semejantes por lo que la producción de papel y cartón reciclado se volvió popular y conocido. Utilizar materia prima reciclada es una práctica bastante común que reduce los gastos de fabricación y aporta a preservar recursos del medio ambiente.¹³

1.3.2. La fibra de celulosa

Es un material que se encuentra en recursos vegetales, maderas, desechos agrícolas y productos de papel. La fibra de celulosa en la fabricación de papel y cartón reciclado toma distintas formas y consistencias. El fundamento principal es desintegrar la fibra de celulosa de las materias primas para después poder volver a unirlos en longitudes más largas o cortas, dependiendo de las necesidades de producción conocidas como la pasta celulósica.¹⁴

¹³ Buenas tareas. *La historia del reciclaje del papel*. <https://www.buenastareas.com/ensayos/La-Historia-Del-Reciclaje-Del-Papel/70224814.html>. Consulta: 29 de octubre de 2020.

¹⁴ ASPAPEL. *El papel/Cómo se hace*. <http://www.aspapel.es/el-papel/como-se-hace>. Consulta: 29 de octubre de 2020.

1.3.2.1. Historia

El uso de la fibra de celulosa como principal materia prima se remonta a tiempos en que las antiguas civilizaciones como la egipcia, tuvieron la necesidad de tener un espacio físico y práctico para plasmar diferentes escritos, lo que se conoce como pergaminos y papiros. Se hacía con raíces de juncos que proliferaban en las orillas del río Nilo, la fibra de celulosa no se extraía de las raíces, estas se tejían para poder formar un espacio uniforme y apto para aplicar distintos tipos de tintas.

El invento del papel se le atribuye al ministro chino T' sai lun. Se sabe que utilizó desechos de fibras vegetales y capullos de seda, los introdujo dentro de un marco de madera hasta que se secaran. El conocimiento de la fibra vegetal para fabricar papel se extendió a lo largo del imperio de China, lo que después ocasionó disputas entre civilizaciones de la ruta de la seda para obtener el secreto. Los árabes más adelante capturaron a los artesanos chinos para conocer las materias primas del papel.

En lo que hoy se conoce como Afganistán se construyó el primer molino de papel porque existían condiciones óptimas de abastecimiento de agua. Los árabes introdujeron importantes aportes, como el uso de energías hidráulicas en los molinos, almidón como pegamento y cal como blanqueador de la fibra de celulosa. Al conquistar España en el año 1 000, los árabes heredaron los conocimientos mejorados de la fabricación de papel. Años después, en países como Italia y Francia se construyeron los primeros molinos de papel que desintegraban la fibra de celulosa de formas más novedosas que la del primer molino en Afganistán.

Al pasar de los siglos, con la expansión de países europeos a muchas partes del mundo, también lo hizo el papel. Desde los inicios del papel hasta el año de 1843 se utilizaban textiles y otros desechos vegetales como fuente principal de fibra vegetal. Este año le pone un nuevo inicio a la era de papel y cartón porque Friedrich Gottlob Keller crea la máquina desfibradora que hace posible procesar la madera, esto facilita el abastecimiento de la creciente demanda y se cambia la fibra vegetal por la fibra de celulosa.

Hoy en día los principios y materias primas no han variado de forma considerable. En los molinos de papel y cartón se busca obtener la pasta celulósica que se obtiene a partir de maderas conocidas como softwood, hardwood o material reciclado. Desde el año de 1990 ha aumentado la presión hacia los molinos para que la materia prima sea reciclada. La fibra de celulosa obtenida del reciclaje es un proceso menos dañino para el medio ambiente, porque se emplean menos productos químicos y no se deforesta.¹⁵

¹⁵ DOKUDEKANA. *El origen del papel (Parte I)*. <https://archivisticafacil.com/2016/02/15/el-origen-del-papel-parte-1/>. Consulta: 29 de octubre de 2020.

1.3.2.2. Formas de obtención

La fibra de celulosa se puede obtener de distintos tipos de materia prima. Si la materia prima proviene de la naturaleza como troncos de árboles, el proceso deberá de ser o químico o mecánico. En cambio, si la materia prima es material de reciclaje, el diseño del proceso de obtención será totalmente distinto.

- **Reciclaje:** es el proceso en que las pacas de papel y cartón se juntan con grandes cantidades de recurso hídrico en molinos donde es triturado. Después, pasa por una gran cantidad de filtros y maquinaria centrífuga que separa las impurezas y basura de la pasta. Para finalizar, se refinan las fibras de celulosa, es decir, por medio de cuchillas se separan y se les da distintas longitudes, dependiendo de las necesidades de producción.
- **Proceso químico:** en este proceso la materia prima son troncos de madera que primeramente son triturados en trozos pequeños, después pasan a una cocción con químicos que se encargan de separar la lignina de la celulosa. Se pueden aplicar varios químicos para la cocción en función de las necesidades del fabricante. El proceso finaliza cuando la pasta se muele para obtener una mejor consistencia.

1.3.2.3. Características

Las características funcionales del cartón reciclado son puestas a prueba según los distintos tipos de uso, dependiendo de las necesidades del cliente. Los cartones chip cumplen funciones importantes una vez están en uso, como en el transporte y embalaje, refrigeración, empaques y soporte de cargas, por lo que conocer sus características es importante para entender mejor el proceso.

- Resistencia: con varios reciclados la fibra va perdiendo su resistencia final. La resistencia depende de cuantas veces se haya reciclado la fibra, también de las fuentes de reciclado que determinan la calidad y clase del papel fabricado. Las fibras secundarias se diferencian de las vírgenes porque las fibras secundarias se forman de varias clases de fibras de celulosa que han sido secadas varias veces, las fibras vírgenes no presentan envejecimiento.
- Flexibilidad: esta característica se pone a prueba cuando el cartón se somete a cargas sin que se rompa. También depende del número de veces que las fibras han pasado por procesos mecánicos y químicos.
- Resistencia a la humedad: es la capacidad que el cartón tiene de interactuar con agua sin que este se deshaga o pierda su forma original, esta característica depende de la refinación de la pulpa y de la aplicación de químicos como colofonia y sulfato de aluminio.
- Gramaje: en la industria se define gramaje como la densidad superficial o la multiplicación de la masa por unidad de área.

1.3.3. Materias primas

La materia prima que se emplea en CESRCA es totalmente reciclada. Se reúne en un centro de acopio que compra el material a cualquier persona, se ubica en la ciudad capital. Los desechos que se generan en tres empresas que fabrican cartón corrugado de la misma corporación también aportan al abastecimiento de materia prima.

1.3.3.1. Pacas OCC

La forman tipos de cartón que ya han recibido más de algún uso y según su estado, son de primera o de segunda. Las pacas OCC pueden tener los siguientes elementos: cartón corrugado, revistas, cartón micro corrugado, periódicos, hojas de impresión, cajas de jugos, entre otros.

Figura 3. **Pacas OCC**



Fuente: Pacas OCC. *Prensa de balas para cartón corrugado.*

https://www.techgene.com.tw/es/applications/Prensa-de-balas-para-carton-corrugado/corrugated_cardboard.html. Consulta: 18 de mayo de 2020.

1.3.3.2. Pacas DKL

Las pacas de este tipo están hechas de pedazos o trozos de cartón corrugado del proceso de troquelado y corte de bobinas en fábricas de cartón corrugado, o pueden ser cajas enteras que han sido rechazadas por los departamentos de calidad dentro de las plantas. El cartón que entra en esta clasificación no tiene ningún tipo de contaminación o no ha recibido algún uso.

Figura 4. **Pacas DKL**



Fuente: Pacas DKL. *Paca de papel*. <https://www.alamy.es/imagenes/paca-de-papel.html>.

Consulta: 18 de mayo de 2020.

1.3.4. Tipos de papel reciclado

De la línea de producción salen principalmente bobinas y rodajas, en otra área las bobinas se convierten en pliegos, su principal demanda es para uso de oficina y didáctico. Las rodajas se convierten en esquineros principalmente para uso logístico, los esquineros conservan el buen estado de los productos que transportan. De las rodajas se obtienen tubos de papel higiénico y tubos para formar las bobinas que se fabrican en la planta.

1.3.4.1. Clasificación por calibres

Los calibres de cartón chip que se fabrican en CESRCA se clasifican por los anchos que son: 12, 20, 30, 40 y 50 milésimas de pulgada. Es importante mencionar que no existe capacidad instalada para fabricar calibres mayores a las 50 milésimas de pulgada, pero si alternativas como unir mediante el pegado de dos pliegos, a esto se le conoce como conversión. Con la conversión se pueden producir calibres de 60, 70, 80, 100 y 120 milésimas de pulgada.

1.4. La Costa Sur de Guatemala

Es una región formada por tres departamentos que comparten la colindancia con el océano pacífico, el clima árido-tropical, las altas temperaturas y las grandes precipitaciones anuales de lluvias. En la Costa Sur de Guatemala se realizan actividades que promueven el desarrollo económico del país como el turismo y la industria que aprovechan los recursos naturales que ofrece esta región.

1.4.1. Generalidades

Es importante conocer los aspectos generales para mejorar la comprensión de la función que tienen las empresas en esta parte del país.

1.4.1.1. Etnias

Guatemala es un país multiétnico y pluricultural, esto se evidencia en las 25 etnias que habitan en el país, las cuales 22 se identifican como mayas y las demás como Ladina, Xinka y Garífuna¹⁶.

1.4.1.2. Idiomas

Aún existe presencia de ladinos en la región de la Costa Sur¹⁷, el idioma español es hablado por una parte pequeña de la población con una afluencia mayor en las cabeceras departamentales. Una gran cantidad de la población habla idiomas mayas. A continuación, se presenta un desglose específico en

¹⁶ Ministerio de Cultura y Deportes. *El rostro y el ser de los cuatro pueblos de Guatemala*. p. 7.

¹⁷ Ibid.

porcentajes de personas hablantes del idioma y de los grupos étnicos que pertenecen.

Tabla I. **Distribución en porcentajes de idiomas y etnias en departamentos de la Costa Sur, sobre poblaciones totales**

	Departamento de Escuintla	Departamento de Retalhuleu	Departamento de Suchitepéquez
Poqomam	28 %	0 %	0 %
Mam	9 %	37 %	0 %
Kaqchikel	21 %	3 %	10 %
K'iche'	1 %	56 %	68 %
Ixil	1 %	0 %	0 %
Chalchiteka	4 %	1 %	0 %
Awakateka	1 %	0 %	0 %
Akateka	1 %	0 %	0 %
Achí	3 %	0 %	0 %
Poqomchi'	1 %	0 %	0 %
Q'anjob'al	1 %	0 %	0 %
Q'uechi'	3 %	0 %	0 %
Tz'utujil	1 %	0 %	18 %
Total	75 %	97 %	96 %

Fuente: elaboración propia, empleando información del INE, 2018. XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda.

1.4.1.3. Cultura

La cultura de cada departamento relaciona tradiciones y costumbres parecidas entre sí por la colindancia y la caracterización de la región. En muchas de las tradiciones y costumbres se mencionan los recursos naturales que cada departamento posee.

- Retalhuleu

Las principales expresiones y patrones culturales de sus pobladores descienden de raíces como la ladina y la maya, su sentido de pertenencia se refleja en la frase que dice que el departamento de Retalhuleu es la capital de mundo, por su maravillosa naturaleza, la amplia variedad de sus recursos y por la atención especial de sus pobladores hacia el turismo. En el departamento se pueden observar varios comportamientos divididos entre su población, en la cabecera departamental son más las actividades de tipo metrópoli, en espacios donde predomina la población indígena se conservan actividades como: fiestas patronales, actividades religiosas, cofradías, pedidas de novia y la preparación de platos típicos.

En municipios donde la mayoría es población indígena como: El Asintal, San Sebastián y en las alturas de San Andrés Villa Seca aún se usa el traje típico formado por una blusa blanca y trajes bordados. Existen actividades culturales que están comenzando a tomar mayor relevancia en el departamento como la fiesta patronal de San Sebastián que se celebra el 19 de enero, cientos de visitantes y turistas asisten a comer chojín que es el plato principal. En la época de Semana Santa se elaboran alfombras en las calles de los municipios, se comen platos típicos de temporada y turistas visitan sus principales playas. A

continuación, se presentan las celebraciones a los patronos del departamento por municipio y fechas.

Tabla II. **Fiestas patronales de Retalhuleu**

Municipio	Fiesta patronal	Fecha
Retalhuleu	San Antonio de Padua Virgen de concepción	13 de junio Del 8 al 12 de diciembre
San Sebastián	San Sebastián Mártir	Del 15 al 22 de enero
Santa Cruz Muluá	Niño Jesús de Atocha	1 semana antes del miércoles de ceniza
San Martín Zapotitlán	San Martín Obispo	Del 9 al 13 de noviembre
San Felipe	San Felipe Apóstol Santa Catalina de Alejandría	11 de mayo 25 de noviembre
San Andrés Villa Seca	San Andrés Apóstol	30 de noviembre
Champerico	Jesús Salvador del Mundo	Del 2 al 7 de agosto
Nuevo San Carlos	San Carlos de Borromeo Virgen de concepción	4 de noviembre Del 29 de diciembre al 2 de enero
El Asintal	Patriarca San José	Del 17 al 20 de marzo

Fuente: SEGEPLAN. *Plan de desarrollo departamental de Retalhuleu*. p. 17.

- **Escuintla**

El departamento de Escuintla ofrece principalmente tradiciones orales, actividades religiosas y la música vernácula. La tradición oral del departamento se practica en

actividades como velorios y cabos de novenas, se utilizan como diversión o distracción por ser practicadas en cafetales, ingenios y cañaverales. Las personas que mantienen esta tradición se les nombra Aj Q'ij en Palín y Ajtzij en Winäq en los altos de Santa Lucía Cotzumalguapa de herencia Kaqchikel. Las actividades religiosas de este denso departamento denotan la idiosincrasia de los habitantes del departamento.

En el contexto de la cultura religiosa, se derivan las danzas características que hacen referencia a las raíces religiosas y de mística espiritual como el baile de los moros, Rey Azarías, La Conquista, El Rey David, Napoleón y Don Fernando, se bailan en el puerto de San José, Siquinalá, Palín y La Gomera. El departamento de Escuintla no posee un platillo típico, pero es tradición comer carne guisada en el municipio de Palín. El departamento por su cercanía con el mar y disponer de un sistema variado de cuerpos de agua se acostumbra a que parte de la cultura gastronómica sean mariscos.¹⁸

Tabla III. **Fiestas patronales de Escuintla**

Municipio	Fiesta patronal	Fecha
Guanagazapa	San Lorenzo	15 de febrero
La Democracia	San Benito de Palermo	4 de abril
Palín	San Cristóbal	30 de julio
Escuintla (Cabecera)	Virgen de Concepción	8 de diciembre
San Vicente Pacaya	San Vicente Mártir	22 de enero
San José	San José	19 de marzo
Siquinalá	Santa Catalina de Alejandría	25 de noviembre
Santa Lucía Cotzumalguapa	Santa Lucía	13 de diciembre

Fuente: elaboración propia.

¹⁸ Gastro y festividades. *Festividades y gastronomía departamento de Escuintla*. <http://gastroyfestividades.blogspot.com/2016/06/escuintla-honor-la-inmaculada.html>. Consulta: 18 de mayo de 2020.

- Suchitepéquez

El departamento ofrece como parte de su cultura tradiciones orales, danzas tradicionales, música y fiestas patronales. Las danzas tradicionales representan la mística que engloba a su cultura. Las danzas más famosas son: Moros y cristianos y su variante Los doce pares de Francia, Los Tucunes, La Conquista y La Vaca Mora. La música está relacionada con las danzas, toman como fundamento rítmico el corrido y el son, el son se acompaña de marimba, chirimía, pito y tambor, el corrido con canto y guitarra. Por la parte de las tradiciones orales, los cuenteros y narradores son los encargados de mantener viva la tradición relatando cuentos y leyendas.

Tabla IV. **Fiestas patronales de Suchitepéquez**

Municipio	Fiesta patronal	Fecha
Cuyotenango	Cristo negro de Esquipulas	15 de enero
Pueblo Nuevo	Cristo negro de Esquipulas	15 de enero
Patulul	Santa María Magdalena	25 de enero
San Pablo Jocopilas	San Pablo Apóstol	25 de enero
Río Bravo	Virgen de Candelaria	2 de febrero
San Lorenzo	Virgen de Candelaria	2 de febrero
San José el ídolo	San José	19 de marzo
San Gabriel	San Gabriel Arcángel	24 de marzo
San Bernardino	San Bernardino de Siena	20 de mayo
San Antonio Suchitepéquez	San Antonio de Padua	13 de junio
San Juan Bautista	San Juan Bautista	24 de junio

Continuación de la tabla IV.

San Miguel Panán	San Miguel Arcángel	29 de septiembre
Santo Domingo Suchitepéquez	Santo Domingo	4 de agosto
Zunilito	Santa Catarina de Alejandría	25 de noviembre

Fuente: elaboración propia.

1.4.2. Recursos naturales

Los suelos de Guatemala se dividen en tierras bajas de Petén, tierras de la cordillera central, tierras de provincia volcánica y la planicie costera del Pacífico, se hará énfasis en las tierras de planicie costera del Pacífico junto a los suelos de la cadena de volcanes. Los bosques de Guatemala son característicos por su posición geográfica, la variación de alturas y las precipitaciones pluviales, los bosques son entes que regulan los ecosistemas y los recursos como el agua. Mas de un tercio del territorio del país son bosques. Guatemala es un país rico de recurso hídrico, se estima que el país cuenta con 97 mil millones de metros cúbicos de agua, cantidad siete veces mayor a la cifra de riesgo hídrico conocida internacionalmente.

- **Suelos**

Según el plan de desarrollo departamental, para el departamento de Retalhuleu, la Llanura Costera del Pacífico abarca 30 kilómetros de ancho que abarca todo el litoral, tiene una pendiente decreciente del 0,5 % y se ubica al Sur del departamento. Los suelos con pendientes volcánicas crecientes se dirigen hacia las faldas de la Sierra Madre con una pendiente de 15 % de inclinación. Escuintla cuenta con tierras altas volcánicas con un área total 5 kilómetros cuadrados, estos tipos de suelos se encuentran al norte de Retalhuleu.

En Suchitepéquez los suelos de montañas volcánicas inclinadas abarcan el 2,02 % total de su territorio, esta área está poco cultivada dado que existe mucha erosión de los suelos. Los suelos con declive hacia el pacífico son las tierras más prósperas y productivas por su fácil drenado y por su composición de materiales volcánicos, en estas tierras se cultiva maíz, café y una gran parte de caña de azúcar, representan el 49,97 % del territorio. Los suelos del litoral del pacífico son planicies que abarcan 40 kilómetros de ancho como máximo y que forman el 45,97 % del territorio. Las clases misceláneas de terrenos las cuales no tienen ningún valor agrícola o productivo están compuestas por material arenoso por el paso de ríos, son el 2,68 % del territorio de Suchitepéquez.

El departamento de Escuintla se forma por suelos con declive hacia el pacífico poco profundos con varias clases de materiales volcánicos y con inclinación considerable. Los suelos del litoral del pacífico que van en descenso hasta llegar al mar, son suelos arenosos con una inclinación media del 1 % y con drenaje variable. En los suelos misceláneos de Escuintla no domina ninguna clase de suelo, son muy inclinados y con muchas quebradas, existe muy poca vegetación y son suelos poco productivos.¹⁹

- **Bosques**

El plan de desarrollo departamental estima que Retalhuleu está formado por bosques secos tropicales, bosques muy húmedos subtropicales y bosques húmedos tropicales. La localización de los bosques depende de la fisiografía del departamento y de su cercanía con el mar, en los últimos años, los bosques de Retalhuleu se han visto muy comprometidos por la agricultura para la exportación y por los contaminantes de las poblaciones colindantes y de la agroindustria.

Los bosques del departamento de Suchitepéquez dependen en gran mayoría de la cantidad de humedad presente, se dividen en bosques muy húmedos subtropicales y en bosques húmedos subtropicales cálidos, abarcan un 81,25 % del territorio, la cantidad de humedad en cada tipo de bosque es determinada por la cantidad de precipitación pluvial que se cae anualmente.

Escuintla es un departamento muy pobre en bosques, cuenta con solo 4,12 % de bosques sobre el total de extensión territorial, un 3,28 % corresponde al bosque de tipo latifoliado y 0,84 % a bosques de mangle. Los bosques de Escuintla se han visto dramáticamente amenazados y depredados por la creciente expansión de la agroindustria y monocultivos, también por la acción de las poblaciones.²⁰

¹⁹ SEGEPLAN. *Tercer año cumpliendo*. p. 99.

²⁰ *Ibid.* p. 100.

- **Recurso hídrico**

Los departamentos de Retalhuleu, Suchitepéquez y Escuintla cuentan con una gran riqueza de recurso hídrico por su colindancia con el litoral del Pacífico, sus ríos son alimentados por varios afluentes a lo largo y ancho de la región de la costa sur. Las aguas subterráneas son utilizadas para la alimentación de pozos artesanales y mecánicos para consumo humano o para uso de la industria, en la parte del sur de la región donde el manto freático es superficial. La mayoría de recurso hídrico de la región se destina para actividades agrícolas.

1.4.3. Geografía

La sección de geografía describe la superficie terrestre de la Costa Sur de Guatemala. Se reseña la geografía con las cuencas hidrográficas, el nivel de pendiente de los suelos, las temperaturas promedio, la composición de piedras de los suelos por medio de geología. El contenido que compone esta sección apoya a la comprensión del comportamiento del recurso hídrico y del nivel de captación del recurso hídrico de los suelos.

Una cuenca hidrográfica es un tramo en el cual se drena agua de manera natural, tiene como única desembocadura un punto en común, en esta región es el Océano Pacífico. El desglose específico de cada cuenca que recorre los departamentos de la región apoya a formar una idea de la cantidad de recurso hídrico que se dispone de manera directa o indirecta. En la siguiente tabla se presentan las principales cuencas, su área y el porcentaje de territorio que ocupan para cada departamento.

Tabla V. **Cuencas hidrográficas por departamento**

Retalhuleu			Suchitepéquez			Escuintla		
Cuenca	área (km ²)	área (%)	Cuenca	área (km ²)	área (%)	Cuenca	área (km ²)	área (%)
Río Ocosito	1 166	58,75	Río Madre Vieja	182	7,82	Río María Linda	1 259	28,00
Río Samalá	414	24,42	Río Coyolate	171	7,15	Río Achiguate	890	19,78
Río Sis-Icán	116	6,82	Río Samalá	120	5,03	Río Coyolate	857	19,05
Río Naranjo	0	0,003	Río Nahualate	1 121	46,95	Río Acomé	805	17,91
			Río Sis - Icán	794	33,26	Río Madre Vieja	373	8,29
						Río Nahualate	313	6,97
Total	1 696	100,00		2 388	100,00		4 497	100,00

Fuente: MAGA. *Atlas temático de la república de Guatemala.*

<https://www.maga.gob.gt/download/atlas-tematico.pdf>. Consulta: 31 de agosto del 2020.

Se define pendiente por el número de metros de caída por cada 100 metros de terreno. La pendiente de los suelos es importante en la valoración de los suelos y es clave en procesos físicos, biológicos y socioeconómicos. Asimismo, aporta a la comprensión de comportamiento del recurso hídrico, el nivel de permeabilidad y captación. Mientras mayor sea la pendiente, la erosión es más fuerte, suelos con erosión son poco usados para la agricultura. Se puede dar erosión y movimientos en masa desde un 12 % de inclinación. Los suelos más productivos son los que tienen pendiente menor a 25 %, tierras con inclinación mayor a 50 % no se usan para fines agropecuarios y normalmente se dejan para conservación.

Los suelos con pendiente mayor a 50 % deben de estar cubiertos por vegetación de bosque permanente. Se observa que los suelos de los

departamentos que forman la región tienen pendiente en su mayoría menores del 25 %, una parte grande de los departamentos se utilizan para el sector agropecuario. La metodología USDA se basa en un sistema de evaluación de capacidad de uso de los suelos analizando su aptitud, fue desarrollada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). A continuación, se presenta un desglose de pendientes agrupadas por distintos porcentajes de inclinación en porcentajes, su área en kilómetros cuadrados y su porcentaje de ocupación, para cada departamento.

Tabla VI. **Pendientes agrupadas según metodología USDA**

Retalhuleu					
Pendiente	<4 %	4 a 8 %	8 a 16 %	16 a 32 %	>32 %
Descripción	Plano	Suavemente Inclinado	Moderadamente Inclinado	Inclinado	Fuertemente inclinado
Área	152 338	9 351	5 156	2 404	737
Área (%)	89,62	5,50	3,03	1,41	0,43
Suchitepéquez					
Pendiente	<4 %	4 a 8 %	8 a 16 %	16 a 32 %	>32 %
Descripción	Plano	Suavemente Inclinado	Moderadamente Inclinado	Inclinado	Fuertemente inclinado
Área	170 175	33 023	18 320	12 407	5 445
Área (%)	71,09	13,80	7,65	5,18	2,27
Escuintla					
Pendiente	<4 %	4 a 8 %	8 a 16 %	16 a 32 %	>32 %
Descripción	Plano	Suavemente Inclinado	Moderadamente Inclinado	Inclinado	Fuertemente inclinado
Área	367 100	23 134	20 994	26 352	13 152
Área (%)	81,45	5,13	4,66	5,85	2,91

Fuente: MAGA. *Atlas temático de la república de Guatemala*.

<https://www.maga.gob.gt/download/atlas-tematico.pdf>. Consulta: 31 de agosto del 2020.

La renovación del recurso hídrico está ligado a las temperaturas. La lluvia que es una de las fases del ciclo hidrológico depende de las temperaturas, la humedad atmosférica y la presión atmosférica. Una atmosfera más cálida tiene capacidad de contener mayor humedad, el vapor de agua aumenta 7 % por cada

grado centígrado. Es importante entender las temperaturas de esta región para tener una idea clara del comportamiento de los afluentes, de cómo se alimentan y renuevan. A continuación, se muestran las temperaturas promedio de los departamentos, el área y el porcentaje de área que cubre cada temperatura.

Tabla VII. **Temperaturas promedio por año**

Retalhuleu			Suchitepéquez			Escuintla		
Temperatura (°C)	Área (Km ²)	Área (%)	Temperatura (°C)	Área (Km ²)	Área (%)	Temperatura (°C)	Área (Km ²)	Área (%)
18	1	0,03	12	1	0,04	10	2	0,04
19	1	0,05	13	1	0,06	11	2	0,05
20	2	0,11	14	5	0,25	12	3	0,07
21	8	0,45	15	7	0,30	13	4	0,08
22	7	0,98	16	7	0,30	14	4	0,10
23	27	1,82	17	0	0,37	15	15	0,55
24	39	2,31	18	11	0,45	16	18	0,38
25	127	7,48	19	13	0,58	17	19	0,43
26	149	8,77	20	54	2,28	18	21	0,47
27	952	58,14	21	83	2,85	19	25	0,54
28	374	22,85	22	74	3,09	20	118	2,83
			23	88	3,58	21	112	2,48
			24	92	9,37	22	138	3,08
			25	416	17,45	23	158	3,48
			26	385	15,27	24	180	3,55
			27	582	24,77	25	934	20,78
			28	590	24,59	26	893	19,94
						27	1 137	25,28
						28	732	16,28

Fuente: MAGA. *Atlas temático de la república de Guatemala.*

<https://www.maga.gob.gt/download/atlas-tematico.pdf>. Consulta: 31 de agosto del 2020.

Las rocas sedimentarias son las que se componen de distintos tipos de sedimentos producto del transporte de agua, hielo o viento, se sometieron a procesos físicos y químicos para pasar a estado sólido. Las rocas ígneas son las que se formaron por el magma que se enfrió y solidificó. Las rocas metamórficas se forman cuando se someten las rocas sedimentarias o ígneas a períodos largos de calor, presión o humedad. Las rocas son elementos que forman parte del ciclo

hidrológico, influyen en la composición hidro química del recurso hídrico subterráneo y definen el tipo de acuífero según su composición.

Un acuífero es la formación de rocas que contienen y proveen recurso hídrico. La porosidad es la propiedad de almacenar agua en las rocas, la permeabilidad es la propiedad de ceder lo almacenado. Los acuíferos de rocas ígneas y metamórficas son poco permeables. La permeabilidad de los acuíferos de rocas sedimentarias puede ser muy baja, pero poseen muy buena porosidad. La tabla que se presenta a continuación ayuda a tener una mejor idea del comportamiento general del agua subterránea de la región y los tipos de acuíferos.

Tabla VIII. **Geología por departamento**

Retalhuleu			
Tipo de roca	Roca sedimentaria	Rocas ígneas y metamórficas	Total
Área (km ²)	1 451	243	1 686
Área (%)	85,57	14,43	100,00
Suchitepéquez			
Tipo de roca	Roca sedimentaria	Rocas ígneas y metamórficas	Total
Área (km ²)	1 871	550	2 421
Área (%)	77,28	22,72	100,00
Escuintla			
Tipo de roca	Roca sedimentaria	Rocas ígneas y metamórficas	Total
Área (km ²)	3 715	782	4 497
Área (%)	82,8	17,2	100,00

Fuente: MAGA. *Atlas temático de la república de Guatemala.*

<https://www.maga.gov.gt/download/atlas-tematico.pdf>. Consulta: 31 de agosto del 2020.

1.4.3.1. Delimitación

La Costa Sur está delimitada por los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu, tiene una extensión territorial total de 8 750 kilómetros cuadrados. El departamento de Retalhuleu colinda al Norte con Quetzaltenango, al Sur con el océano pacífico, al Este con Suchitepéquez, al Oeste con Quetzaltenango y San Marcos. Suchitepéquez, al Norte colinda con los departamentos de Quetzaltenango, Sololá y Chimaltenango, al Este con el departamento de Escuintla, al Sur con el océano pacífico y al Oeste con Retalhuleu. Escuintla colinda con Chimaltenango y Sacatepéquez, al Sur con el océano pacífico, al Este con Santa Rosa y al Oeste con el departamento de Suchitepéquez.²¹

1.4.3.2. Hidrografía

En el departamento de Retalhuleu pasan cuatro cuencas principales que se forman en las alturas de otros departamentos y terminan su recorrido en el litoral del Pacífico, los ríos son: río Ocosito, río Samalá, río Sis-Icán y el río Naranjo. El río Sis-Icán cuando no es alimentado por las lluvias disminuye su caudal porque es utilizado por los ingenios Tululá y El Pilar. El río Ocosito conforme va descendiendo el departamento se aprovecha para el riego de cultivos de banano y palma de aceite causando su sequia casi total. El río Samalá es el más importante, pero representa riesgo para varias cabeceras municipales y puentes, al juntarse con el río Nimá y Tambor se alimenta con material del volcán Santiaguito. El río Samalá es utilizado para riego en el municipio de San Andrés Villa Seca.²²

²¹ SEGEPLAN. *Tercer año cumpliendo*. p. 83.

²² Ibid. p. 92.

Tabla IX. **Área y disponibilidad de cuencas de Retalhuleu**

Cuenca	Área (Km²)	Disponibilidad anual, en millones (m³)
Ocosito	92,9	2 207,46
Samalá	368	1 330,38
Sis-Icán	11,34	1 063,71
Total	472,24	4 601,55

Fuente: SEGEPLAN. *Plan de desarrollo departamental de Retalhuleu*. Consulta: 04 de septiembre de 2020.

En Escuintla pasan los ríos María Linda, Achíguate, Acomé, Madre Vieja y Coyolate, se forman a una altura aproximada de 3 000 msnm, poseen pendientes bastante pronunciadas en sus inicios, al llegar a Escuintla se encuentran con la planicie costera. El sistema hidrográfico de este departamento está expuesto a inundaciones con crecidas instantáneas en un intervalo de tiempo corto, los daños e inundaciones en la planicie costera son frecuentes. Los ríos tienen un promedio de longitud de 110 kilómetros, acarrear escorias y material volcánico porque pasan por la cadena de volcanes de Escuintla. En los últimos años los cuerpos de agua de Escuintla han sido afectados por desviaciones, descargas residuales e industriales y por la agricultura intensiva de la caña de azúcar.²³

A continuación, se presenta la información individual de cada cuenca que forma el sistema hidrográfico de Escuintla.

²³ SEGEPLAN. *Tercer año cumpliendo*. p. 115.

Tabla X. **Estimaciones del sistema hidrográfico de Escuintla**

Cuenca	Área total estimada (km²)	Caudal total promedio (m³/segundo)
María Linda	7 379,00	349,00
Achíguate		
Acomé		
Coyolate		
Madre Vieja		

Fuente: SEGEPLAN. *Plan de desarrollo departamental de Escuintla*. Consulta: 05 de septiembre de 2020.

El departamento de Suchitepéquez cuenta con cinco ríos que pasan por los departamentos limítrofes de la región de la costa Sur. Los ríos son: Sis Icán, Coyolate, Nahualate, Madre Vieja y Samalá, nacen en la parte norte que colinda con el departamento de Sololá. Se detalla información de caudal y área total del sistema hidrográfico del departamento, a continuación:

Tabla XI. **Estimaciones del sistema hidrográfico de Suchitepéquez**

Cuenca	Área total estimada (km²)	Caudal total promedio (m³/segundo)
Sis Icán	6 946,00	127,10
Coyolate		
Nahualate		
Madre Vieja		
Samalá		

Fuente: SEGEPLAN. *Plan de desarrollo departamental de Suchitepéquez*. Consulta: 06 de septiembre de 2020.

Las principales cuencas del departamento de Suchitepéquez se ven amenazadas por factores como: acumulación de basura, contaminación de

productos de la población urbana, desechos de industria y agricultura, la deforestación, la reducción de mangle al sur del departamento y la erosión.²⁴

1.4.4. Industria

La industria de la Costa Sur de Guatemala dinamiza la economía del país debido a que se aprovechan los recursos que esta región ofrece, aportan al desarrollo de los principales y distintos rubros que convierten a la economía como la más fuerte de la región Centroamericana.

1.4.4.1. Tipos

Los sectores de producción clasifican la economía y su aporte en función del proceso productivo de cada uno. Cada departamento del país posee cierto nivel de desarrollo o presencia de cada sector, dependiendo de la disponibilidad de recursos y posibilidades de crecimiento o expansión.

- Sector primario

Según el plan de desarrollo departamental, el sector agrícola del departamento de Retalhuleu es bastante variado, sus principales cultivos se dividen en anuales y perennes. Los cultivos anuales son granos como el maíz blanco y amarillo, ajonjolí y tomate. Los cultivos perennes son: caña de azúcar, banano, plátano, café, cacao, macadamia, naranja, limón, piña. En los últimos años el cultivo de caña de azúcar ha aumentado de manera que ha desplazado a los otros cultivos de granos básicos que se cultivan. Según la encuesta nacional agropecuaria del año 2008 hecha en el departamento de Retalhuleu por el Instituto Nacional de Estadística, se reportan 119 438 manzanas dedicadas a

²⁴ SEGEPLAN. *Tercer año cumpliendo*. p. 118.

cultivos, un hato total de 139 493 cabezas, una piara de 15 219 cerdos y 144 660 aves.²⁵

Suchitepéquez se considera uno de los departamentos con mayor diversidad de cultivos agrícolas en el país, entre los cuales figuran: banano, palma africana, etanol, caña de azúcar, café, plátano, maíz blanco, cacao y hule. La encuesta nacional agropecuaria del año 2007 revela que el departamento aportó un 7,06 % de la producción nacional de maíz blanco y crió un total de 3 261,177 cabezas de ganado bovino. Para el año 2009 Suchitepéquez participó en la producción nacional de hule Hevea con un porcentaje de 55,97 %. La producción de caña de azúcar del departamento aporta anualmente un 7,36 % de la producción nacional, según cifras aproximadas.²⁶

Escuintla es un departamento bastante complejo y dinámico, con uno de los tres mayores PIB del país, con Q25 126,60 per cápita. En Escuintla se desarrollan actividades agroindustriales, agrícolas y ganaderas, como actividades agroindustriales están los siguientes cultivos: plátano, banano, legumbres, granos básicos, café, hules, palma africana y caña de azúcar. La caña de azúcar es el cultivo que más beneficio genera para el departamento, se estima que en el período de zafra se crean un aproximado de 200 000 empleos. El departamento de Escuintla se divide en cuatro principales territorios conformados por diferentes municipios, que son: territorio Madre Vieja, territorio Litoral Pacífico, territorio Azucarero y el territorio Pacaya.²⁷

²⁵ INE. *Censo 2008*. p. 3.

²⁶ Ibid.

²⁷ SEGEPLAN. *Tercer año cumpliendo*. p. 122.

- Sector secundario

En el departamento de Retalhuleu opera el ingenio El Pilar que se dedica a producir y transformar azúcar, el ingenio Tulumá produce alcohol y genera energía eléctrica. Asimismo, operan las siguientes plantas industriales: empacadoras de mango y camarón para la exportación, fábricas de baterías para automotores, hielo, de concentrado para animales y de block, una embotelladora de bebidas carbonatadas, una distribuidora de cerveza y una planta recicladora de papeles y cartones.

El departamento de Suchitepéquez cuenta con el ingenio Palo Gordo que transforma azúcar y una fábrica de bebidas carbonatadas (Pepsi Cola). La industria de manufactura es bastante variada para el departamento, entre los cuales destacan: procesamiento de pollo, pirotecnia, fabricación de materiales para la construcción, tejidos de algodón, productos metálicos, cuero, escobas y trenzas, productos plásticos. Como empresas procesadoras de la agroindustria están: envasadoras de vegetales, procesadoras de látex y descortezadoras de semillas de ajonjolí.²⁸

Escuintla cuenta con gran cantidad de ingenios de azúcar con reputación en Latinoamérica y en el Istmo, así como fábricas de papeles y cartones. En el municipio de Tiquisate se ha desarrollado la industria de químicos y las empacadoras de vegetales. En el territorio de azúcar se encuentran varias industrias avícolas.²⁹

²⁸ SEGEPLAN. *Tercer año cumpliendo*. p. 72.

²⁹ *Ibid.*

1.4.4.2. Uso de recursos

A continuación, se presenta un desglose específico de la utilización de recurso hídrico de la región, por tipo de industria medido en metros cúbicos anuales.

Tabla XII. **Consumo anual de agua para uso industrial por departamento**

		Retalhuleu	Suchitepéquez	Escuintla
Tipo de Industria				
Agroindustrial	Consumo (m ³)	229 975	1 314,141	3 942,424
	Empleados (No.)	112	642	1927
Embotelladoras y alimentos	Consumo (m ³)	26 534,821	37 112,332	45 488,264
	Empleados (No.)	12 971	18 142	22 236
Textiles	Consumo (m ³)			133 436
	Empleados (No.)			2 477
Otras empresas	Consumo (m ³)	8 122,167	11 359,886	13 923,715
	Empleados (No.)	9375	13 113	16 072
Consumo anual (m ³)		34 886,963	49 786,359	63 487,839

Fuente: IARNA, URL. *Perfil ambiental de Guatemala 2006*. Consulta: 10 de septiembre de 2020.

En la siguiente tabla se presenta la utilización de las tierras de la región por departamento en números, clasificación por categoría de uso, dimensiones de hectáreas y porcentaje de área que ocupa para cada departamento.

Tabla XIII. **Uso de tierras por departamento y porcentajes (hectáreas)**

Categoría	Retalhuleu		Suchitepéquez		Escuintla	
	Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje	Área (ha)	Porcentaje
Centros Poblados	514,65	0,59 %	856,49	0,36 %	2 193	0,49 %
Zonas Industriales	621,57	0,71 %			458,31	0,10 %
Agricultura limpia anual	17 420,18	19,82 %	63 721	26,62 %	83 332,22	18,49 %
Café	10 965,36	12,48 %	42 708	17,84 %	20 771	4,61 %
Caña			45 966	19,20 %	235 569	52,26 %
Otros cultivos	27 897,40	31,74 %	14 277	5,97 %	1 029,22	0,23 %
Pastos cultivados	1 675,71	1,91 %	48 438	20,24 %	38 732,61	8,59 %

Fuente: MAGA, UPGGR. *Atlas temático de la república de Guatemala*. Consulta: 18 de septiembre de 2020.

1.4.5. Cambio climático

El cambio climático es la alteración del sistema climático terrestre que está formado por la hidrosfera, atmósfera, criósfera, litosfera y la biósfera, el cambio es a largo plazo hasta que el sistema vuelve a recuperar su equilibrio. En los últimos 20 años, Guatemala ha sido afectada por 15 tormentas extremas dejando pérdidas millonarias para los sectores productivos, así como pérdidas humanas. Para finales del siglo se espera que las temperaturas aumenten para el país de 3 a 6 grados centígrados, y que la precipitación a nivel nacional disminuya entre un 10 % a 30 %.

El recurso hídrico está involucrado en 70 % de las actividades que forman el producto interno bruto del país, es un recurso indispensable. El cambio climático atenta contra la disponibilidad en cantidad y calidad del agua para

consumo humano. Los países deben de desarrollar políticas públicas que tomen en cuenta la adecuada actualización, planificación y gestión que apoye la seguridad hídrica para la población y los sectores productivos. Desarrollar programas para la inversión en el manejo y conservación del recurso hídrico son objetivos que deben de ser perseguidos, como el tratamiento y reúso de las aguas residuales en general.

Recientemente los componentes del sistema climático como son la temperatura de la superficie de la tierra y los océanos, y la distribución de la precipitación, han cambiado aceleradamente, al grado en que se observan cambios en períodos de décadas; a este fenómeno se le conoce como “cambio climático.”³⁰

1.5. Política de producción más limpia

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la producción más limpia es la aplicación de una estrategia que integra la prevención ambiental en los procesos, productos o servicios para reducir los riesgos a los seres humanos y medio ambiente. La introducción de la producción más limpia en el diseño del proceso y distribución consigue ahorrar materias primas, reduce la cantidad de residuos y elimina las materias peligrosas para el medio ambiente.³¹

1.5.1. Visión

“La Visión de la política es: La implementación de Producción Más Limpia como una herramienta de la competitividad y gestión ambiental preventiva.”³²

³⁰ Centro Mario Molina. *¿Qué es el cambio climático?* p. 1.

³¹ Ibid.

³² Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política Nacional de producción más limpia.* p.16.

1.5.2. Propósito

Contribuir a mejorar la gestión ambiental introduciendo patrones de producción y consumo más amigables y en armonía con el ambiente, utilizando Producción Más Limpia como una herramienta eficaz que apoya, alinea y coordina las acciones de los sectores público y privado para alcanzar el desarrollo sostenible, a través de acciones de promoción y prevención para sustentar el crecimiento económico sostenible de Guatemala.³³

1.5.3. Objetivos

Los objetivos de la política son los siguientes:

- Promover la aplicación de Producción Más Limpia en la fabricación y generación de productos y la prestación de servicios, contribuyendo al uso integral de los bienes y servicios naturales, la disminución de la generación de desechos y emisiones, y el cumplimiento de la regulación ambiental.
- Contribuir a mejorar la competitividad del sector productivo guatemalteco a través de la implementación de Producción Más Limpia, mejorando su desempeño tecnológico, económico y socioambiental.³⁴

1.5.4. Herramienta técnica para la competitividad y la gestión ambiental preventiva

Uno de los beneficios de aplicar una estrategia de producción más limpia es mejorar la competitividad de la empresa. La producción más limpia fundamenta conceptos en la competitividad porque añade valor agregado al producto. Los factores en que se basa la competitividad empresarial son: económicos, ambientales, socioculturales, políticos, legales y tecnológicos. Al mejorar el factor ambiental se equilibra el uso de los recursos con la contaminación ambiental producida y otros elementos del desarrollo sostenible.

³³ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política Nacional de producción más limpia*. p.16.

³⁴ *Ibid.* p.18.

El desarrollo sostenible es una necesidad imperante para el crecimiento de la empresa. Así, cada vez más empresarios y gestores asumen que, para mantener la rentabilidad económica de sus actividades productivas, es necesario contemplar nuevos conceptos de riesgo y de oportunidad, asociados a los aspectos medioambientales y al impacto social de la producción o a la calidad de las relaciones laborales, entre otras cuestiones.³⁵

³⁵ COSENZA, José Paulo. *Los cambios climáticos y la gestión empresarial: un estudio de caso*. p. 484.

2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

2.1. Descripción del proceso

El proceso comienza en el área de molinos. Esta área la forman dos molinos, los molinos son cilindros que están enterrados al suelo, cada uno al fondo tiene cuchillas rotatorias de 42 pulgadas de diámetro. En el área labora una persona que es la encargada de abastecer de materia prima a los molinos, los demás trabajadores se dedican a la supervisión del correcto funcionamiento de los molinos y se aseguran de que las consistencias estén en el rango correcto. En el área funciona un depurador ciclónico, zaranda, Belcor, dos despastilladores, un refinador de discos, un refinador de conos y tres tanques de control de consistencias de capacidad de 45 m³ cada uno, más adelante se explica la funcionalidad de cada uno.

Una vez terminado el proceso del área de molinos, la pasta pasa al área de formación. El área se conoce como formadores o máquina IV, la máquina formadora tiene 30 metros de largo y 5 metros de ancho. Debajo de la máquina formadora está un tanque que almacena temporalmente el exceso de recurso hídrico y lo recicla. En la misma área está una caja de distribución sobre 10 metros del suelo, es la encargada de recibir la pasta del área de molinos y repartirla a los ocho cilindros formadores, también es donde se aplican los químicos que le dan las propiedades y características al cartón reciclado.

Después de la máquina IV está el área de secadores. El área de secado está formada por un total de 66 cilindros, estos cilindros se pueden ver como una sola máquina. Los cilindros de secado abarcan 36 metros de largo y 4 metros de

ancho. Cuando el cartón termina de secarse pasa al área de cortado y bobinado que ajusta las medidas necesarias.

2.1.1. Descripción área de molinos

El proceso del área de molinos comienza cuando las pacas DKL y OCC se juntan con agua café y clara, se trituran en los molinos hasta que se alcanza una consistencia del 12 %. La pasta sale del molino de cartón hacia una trampa magnética que captura los objetos metálicos, después la pasta se depura de los objetos pesados en el depurador ciclónico y es almacenada en el primer tanque. La pasta del molino de papel no pasa por ningún tipo de máquina o de proceso, se almacena también en el primer tanque. Si la pasta tiene una consistencia del 4 % o 5 %, se lleva al sistema Belcor que elimina los residuos de mediano peso que no fueron removidos en el depurador ciclónico.

Tras ser extraídos los residuos medianos, la pasta pasa por dos despastilladores que disgregan e individualizan las fibras de la pasta, su función es disociar mejor las fibras de los molinos. La pasta se almacena de nuevo en un tanque de almacenamiento, si la pasta tiene consistencia entre el 4 % o 5 % pasa al refinador de discos y refinador de conos. En el refinador de discos la pasta se somete a un efecto abrasivo, se desgastan las capas exteriores de las fibras, al desgaste de las capas exteriores de las fibras se conoce como refinado y es lo que permite a la máquina formadora unir las fibras para formar el cartón.

El refinador cónico se utiliza para refinar las fibras finas y gruesas, asimismo es adecuado para procesar las fibras largas porque se cortan a la misma longitud. Después de pasar cualquiera de los dos refinadores la pasta se almacena en otro tanque, si la consistencia sigue siendo de 4 % o 5 %, la pasta pasa al área de formación.

2.1.2. Descripción del área de formadores

El proceso de formación de los cartones se divide por niveles. En el primer nivel de la máquina formadora es donde comienza el proceso, existen ocho cilindros formadores. Antes de cada cilindro formador existe un espacio donde la caja de distribución introduce la pasta y se inunda con agua fresca, al rotar el cilindro formador inferior se adhiere la fibra de celulosa a su superficie y al fieltro transportador. El cilindro superior exprime el fieltro transportador y también succiona el exceso de agua, después de adherir la fibra al fieltro, una regadera de alta presión limpia el cilindro con agua clara, este proceso se repite ocho veces hasta alcanzar el calibre del cartón deseado.

Después del último cilindro formador, se exprime el cartón y pasa a un segundo nivel donde sigue una trayectoria lineal hasta llegar a tres cilindros prensadores, su función es compactar el cartón para mejorar la dureza. Tras pasar el último par de cilindros prensadores se separa el cartón y el fieltro comienza de nuevo el circuito del primer nivel.

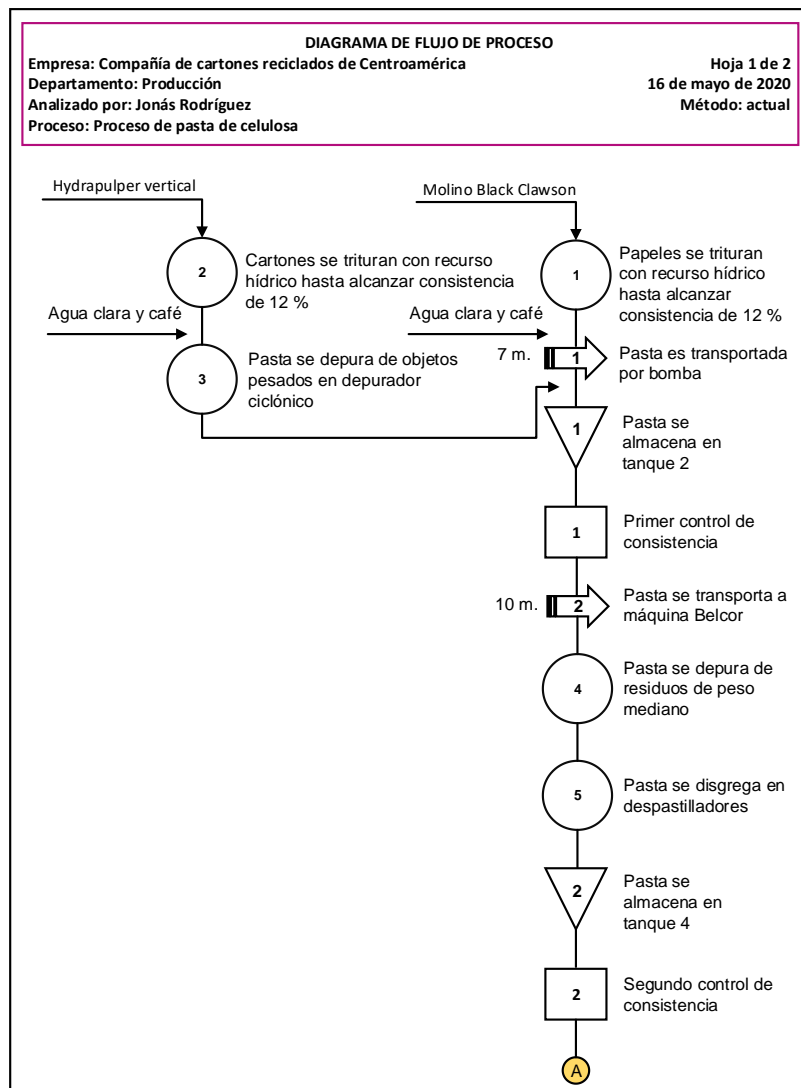
2.1.3. Descripción área de secadores

En la primera área se aplica un secado con una presión de 30 libras por pulgada cuadrada máximo, en la segunda área se seca a un total de 75 libras por pulgada cuadrada máximo y la última con 125 libras por pulgada cuadrada. Los cilindros están distribuidos de manera que el cartón siga una ruta en zigzag. El secado del cartón debe ser gradual y en aumento, de otra manera, el cartón se tuesta y presenta una coloración oscura. El principio de los cilindros es el sistema de secado en cascada que hace que el vapor se condense antes varias veces.

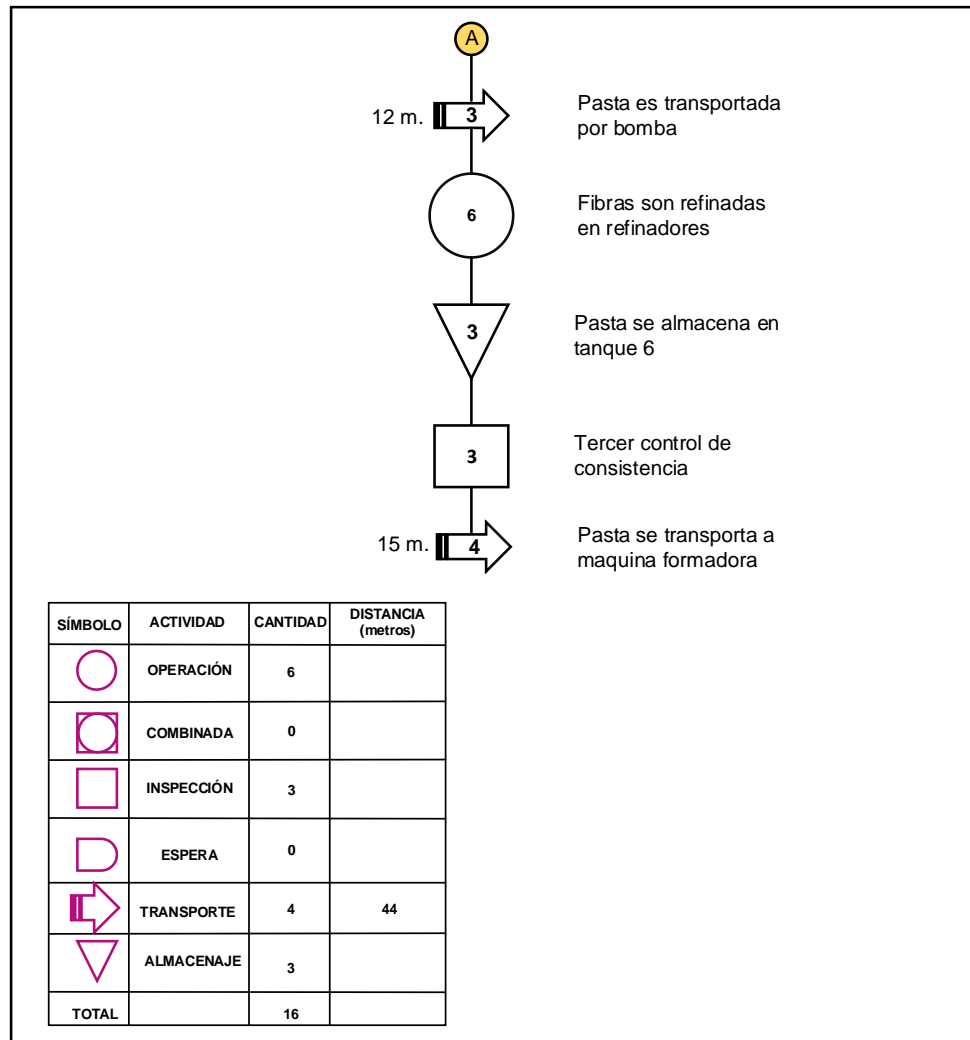
2.1.4. Diagrama de flujo de proceso

Para mejorar la comprensión del proceso de las tres áreas, se utilizará un diagrama de flujo de proceso el cual ayuda a describir el proceso de transformación de materia prima gráficamente. A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso de formación de cartón reciclado.

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de pasta de celulosa



Continuación de la figura 5.



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

2.2. Fuentes de agua empleadas

El proceso dispone de dos principales fuentes de aguas claras naturales para abastecerse, su uso se alterna por variabilidades de costos y mantenimiento. El agua que se extrae se almacena en un tanque de captación

dentro de la planta que tiene una capacidad de almacenamiento de 580 m³. La fuente de agua principal son los pozos, tienen dos años de estar siendo explotados y han dado buenos resultados, la calidad del agua que se extrae es buena y no necesita de preparación para su uso ni demanda de excesivos costos.

La laguna es una fuente secundaria de recurso hídrico que la planta utiliza, se forma por un nacimiento natural de agua, es un cuerpo de agua del que se beneficia flora y fauna originaria del lugar, así como la fábrica. Drenar y utilizar recurso hídrico de la laguna es un reto mayor para la fábrica.

2.2.1. Pozos industriales

Se poseen dos pozos hincados con una capacidad total de extracción de 500 galones por minuto que se realiza de forma simultánea. Cada pozo cuenta con una bomba de extracción que conduce el recurso hídrico hacia el tanque de captación. Actualmente no se tienen contadores instalados que brinden datos exactos, por lo que la determinación de la cantidad extraída del recurso hídrico mensual estimada de los pozos se obtendrá con un promedio del registro de las horas reales efectivas de trabajo del año de la máquina formadora de cartones, que es la que demanda el uso del agua.

En la siguiente tabla se muestra un desglose para calcularlas. Las horas efectivas es el tiempo medido sin interrupciones de cualquier tipo. Las horas mensuales disponibles son resultado de las tres jornadas de trabajo diario. Se tienen tres tipos de mantenimiento: el correctivo, preventivo y operativo. El mantenimiento correctivo es el que responde al fallo, el preventivo es prever fallos para evitar que sucedan y el operativo es el que los operarios practican. La falla en operación es la que hace que el proceso en general se detenga, reportando pérdidas de todo tipo. El arranque de formadora es el tiempo que toma preparar

la máquina para comenzar a fabricar, como la revisión general del correcto funcionamiento y la espera que los componentes toman para funcionar.

El cambio de fabricación son todos los reajustes que se aplican a los componentes de la máquina, se dan cuando se comienza a fabricar distintos calibres de cartones. Un paro programado es el tiempo que fue planificado para pausar la operación de la fábrica. A las horas disponibles mensuales se le resta todo lo anterior mencionado para obtener las horas reales efectivas de trabajo de la fábrica. El propósito del cálculo es establecer un promedio de consumo de recurso hídrico de la fábrica. Se presenta un desglose de los meses de enero a septiembre de 2020 para calcular un promedio y evitar una desviación de datos.

Tabla XIV. Promedio mensual de horas efectivas de fábrica

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Horas mensuales disponibles	744,0	696,0	744,0	720,0	726,6	720,0	744,0	744,0	744,0
Fallas	22,1	21,3	31,0	22,4	37,1	18,6	24,6	42,3	31,0
Mant. correctivo	0,0	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mant. preventivo	71,5	74,0	0,0	101,0	0,0	105,2	81,0	48,7	71,5
Mant. operativo	0,0	7,1	0,0	8,7	14,1	0,0	0,0	12,9	0,0
Falla en operación	4,2	6,2	3,9	6,2	5,1	4,5	6,9	5,5	4,2
Arranque de formadora	3,2	1,4	2,9	3,5	3,1	1,5	0,9	2,7	3,2
Cambio de fabricación	1,2	2,0	3,9	1,1	1,9	2,6	2,4	1,9	1,2
Paros programados	149,3	173,9	46,7	5,0	254,5	215,0	134,0	168,0	149,3
Horas efectivas	491,9	393,5	655,4	571,7	410,6	371,7	494,0	461,7	491,9
Promedio de horas efectivas	482,5								

Fuente: Departamento de producción, CESRCA.

2.2.2. Laguna

La laguna es otra fuente natural de recurso hídrico que la planta utiliza, cumple con la función de abastecer el proceso y equilibrar el ecosistema que se encuentra en los alrededores. Conservar las condiciones para extraer recurso hídrico de la laguna requiere de un alto y costoso mantenimiento anual que evita el drenado excesivo de tierra hacia el tanque de captación. La extracción de agua de la laguna se encuentra inactiva desde hace dos años aproximadamente debido a que necesita de una alta inversión para que vuelva a funcionar porque se dejó de darle el mantenimiento por varios años.

2.3. Registros del recurso hídrico

El agua extraída de los pozos se almacena en el tanque de captación, después pasa a un segundo tanque con menor capacidad. El tanque de agua fresca abastece de recurso hídrico limpio a las siguientes áreas de la planta: la red contra incendios, servicios básicos, máquina formadora y ambos molinos.

2.3.1. Servicios básicos

Los servicios básicos de la planta son: servicios sanitarios y servicio de lavado de manos. En total hay 22 sanitarios y 17 lavamanos distribuidos en diferentes partes, es importante mencionar que actualmente no existen contadores de ningún tipo, por lo que el cálculo de consumo se deberá hacer mediante cálculos aritméticos.

2.3.1.1. Consumo

La capacidad de descarga se obtuvo revisando, es la misma para todos los sanitarios ya que son de la misma marca y diseño de dos piezas. En el departamento de producción y en la mayoría de la planta laboran trabajadores masculinos, por lo que se estableció un número coherente de descargas por trabajador de los servicios sanitarios. El cálculo diario total de agua se obtiene al multiplicar la capacidad de los depósitos, las descargas por persona, el número de trabajadores y el número de sanitarios.

Tabla XV. **Cálculo aproximado de agua utilizada de servicio de sanitarios**

Capacidad de depósito de sanitarios (m ³)	Descargas por persona	Número de trabajadores	Numero de sanitarios	Total (m ³)
0,005	2	45	22	9,90

Fuente: elaboración propia.

El total de agua diaria utilizada de los lavamanos se calcula con la multiplicación del aforo de los lavamanos, el tiempo coherente de lavado de manos, el número de trabajadores y el número de lavamanos. El caudal es el mismo para todos los lavamanos que son de la misma marca y diseño, se obtuvo aforando. El tiempo de utilización es el tiempo recomendado que los expertos recomiendan para desinfectar correctamente las manos.

Tabla XVI. **Cálculo aproximado de agua utilizada de servicio de lavamanos**

Aforo de lavamanos (m ³ /s)	Utilización de lavamanos	Número de trabajadores	Numero de lavamanos	Total (m ³)
6,25 x 10 ⁻⁵	20 segundos	45	17	0,96

Fuente: elaboración propia.

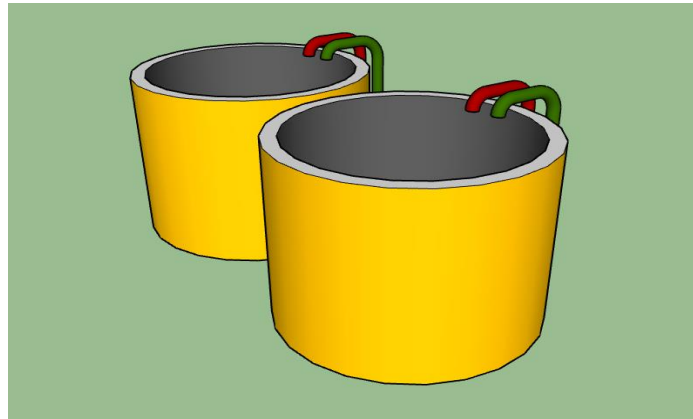
2.3.2. Área de molinos

Los dos molinos reciben agua café y clara, el agua clara llega del tanque de agua fresca y el agua café del sistema de reciclaje. Se asume que sale la misma cantidad de recurso hídrico de la que entra. En esta parte ni en ninguna varía la cantidad de agua que se utiliza por el tipo de producción, ya que el consumo de agua clara es el mismo.

2.3.2.1. Caudal de entrada

El molino Black Clawson trabaja a su capacidad máxima de 1800 libras de peso de materia prima y agua, la consistencia final que se obtiene es de 14 % entre pulpa y agua, lo que da por resultado que entra 0 70 m³ de recurso hídrico por molienda. El molino vertical opera a una capacidad de 3000 libras de peso con la misma consistencia de mezcla, entra al sistema 117 m³ de recurso hídrico por molienda.

Figura 6. **Dibujo de entrada de molinos**

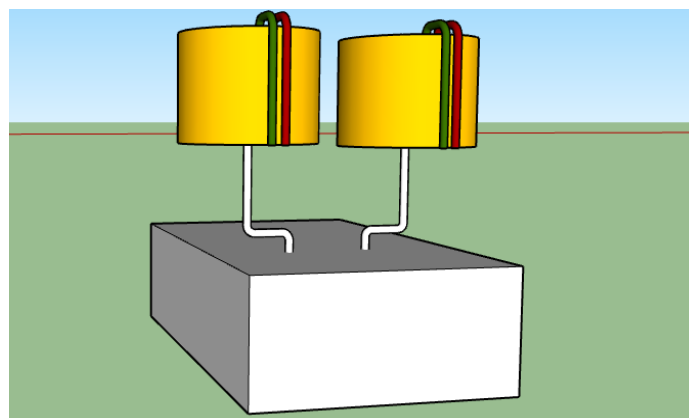


Fuente: elaboración propia, empleando Google SketchUp.

2.3.2.2. **Caudal de salida**

De ambos molinos salen $1,87 \text{ m}^3$ de recurso hídrico en pasta por molienda, después de varios procesos se almacena en el tanque 2.

Figura 7. **Dibujo de salida de molinos**



Fuente: elaboración propia, empleando Google SketchUp.

2.3.3. Área de formadores

El área de formadores es donde se utiliza la mayor cantidad de recurso hídrico. El uso que genera los formadores es por las regaderas que están repartidas en distintas partes.

2.3.3.1. Caudal de entrada

Para cada cilindro formador hay una regadera formada por 22 boquillas, las regaderas remueven las fibras de celulosa que se quedan pegadas al cilindro para que se puedan adherir más fibras después de rotar en la pasta, esto con cada rotación. Las regaderas de inundación se sitúan al principio de la máquina antes de los cilindros formadores, su función es humectar el fieltro para que cuando pase por las cajas de vacío sea succionado con más facilidad cualquier residuo y exceso de agua. El exprimidor también es un cilindro y se encuentra al final de la máquina, su función es exprimir el exceso de recurso hídrico del cartón, su regadera lava los restos que el cartón deja en la malla del exprimidor.

En el proceso de formación es frecuente que se vayan pegando bultos de pasta al cartón, las regaderas de los fieltros inferiores y superiores cumplen con la función de lavar y desprender estos bultos que provocan irregularidades. Al final de la tabla se muestran los güizaches totales, los güizaches se ubican en las orillas de todos los cilindros formadores, expulsan agua a presión alta y su función es cortar y definir los anchos de los cartones en las mallas de los cilindros formadores. Para obtener el total mensual por cada regadera, se multiplica el número de boquillas y su aforo para obtener el total por cada regadera, luego se multiplica por el promedio de horas efectivas de trabajo para obtener un total mensual por regadera.

Por último, se hace una sumatoria para saber el consumo mensual aproximado de la máquina formadora. A continuación, se muestra la tabla con el desglose y cálculos mencionados.

Tabla XVII. **Desglose de caudal de entrada**

	Número de boquillas por regadera	Aforo por boquilla (m ³ /hora)	Total de regaderas (m ³ /hora)	Promedio de horas efectivas de trabajo al mes	Total mensual (m ³)
Formador 2	22	0,216	4,752	482,50	2 292,840
Formador 3	22	0,186	4,092		1 974,390
Formador 4	22	0,204	4,488		2 165,460
Formador 5	22	0,240	5,280		2 547,600
Formador 6	22	0,228	5,016		2 420,220
Formador 8	22	0,216	4,752		2 292,840
Formador 9	22	0,216	4,752		2 292,840
Exprimidor	22	0,216	4,752		2 292,840
Inundación inferior	33	0,252	8,316		4 012,470
Filtro inferior	12	0,216	2,592		1 250,640
Inundación superior	16	0,420	6,720		3 242,400
Filtro superior	10	0,228	2,250		1 085,625
	Número de güizaches	Aforo por güizache (m ³ /hora)	Total de güizaches (m ³ /hora)		Promedio de horas efectivas de trabajo por mes
Formador 2	22	2,88	63,36	482,50	30 571,200
Total					58 441,365

Fuente: Departamento de mantenimiento, Compañía de cartones reciclados de Centroamérica.

2.3.3.2. Caudal de salida

En esta parte del proceso entra más agua de la que sale, por la razón que el diseño del proceso recicla cierta porción del recurso hídrico. En esta área no todo el volumen de agua se recicla porque debe de existir una salida de recurso hídrico que mantenga la cantidad de agua que el diseño del sistema admite. El agua café que se desecha en esta parte del proceso se desecha en forma de afluyente, lo que significa una pérdida significativa de recurso hídrico con fibra de celulosa. Se realizó un monitoreo de las aguas de desecho por un laboratorio especializado, se fijó como promedio que se desechan 49,32 metros cúbicos por hora, en el siguiente capítulo se amplía con detalles y figuras.

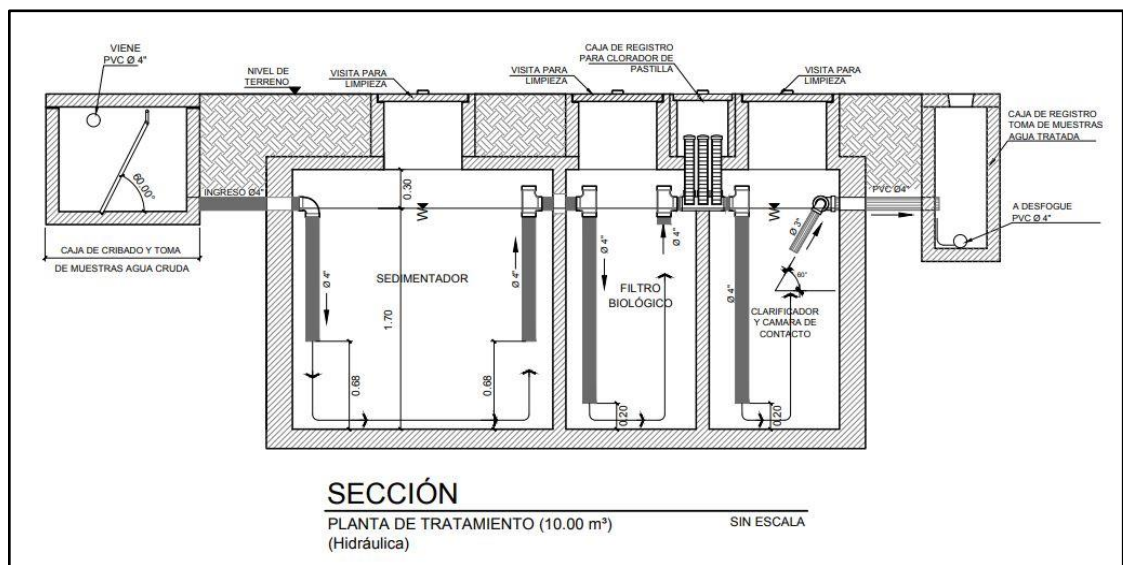
2.3.4. Plantas de tratamiento

Actualmente se cuenta con una planta de tratamiento biológica de tipo anaeróbica de 10 m³ de capacidad, la cual trata únicamente el agua negra de los servicios básicos. La planta de tratamiento integrada para aguas residuales (PTAR) fue diseñada en función de la normativa RAS2000 y de las necesidades de la planta. La planta de tratamiento está formada por tres cámaras, cada una cumple distintas funciones. Antes de ingresar a la primera cámara hay una rejilla de cribado que es la que detiene el ingreso de desechos de tamaño grande, este espacio también se utiliza para la toma de muestras de agua cruda. Al final de la planta de tratamiento se construyó una caja de registro para tomar muestras.

La primera cámara es un sedimentador cuya función es casi la misma que la de una fosa séptica donde se sedimentan todos los sólidos suspendidos, alcanza una eficiencia de tratamiento de hasta el 40 %. La segunda cámara es de tratamiento biológico, las bacterias proliferan y descomponen la materia orgánica, esta parte de la cámara está compuesta por polipropileno y el agua

pasa por flujo ascendente hacia la próxima cámara con una mejora de hasta un 85 %. La última cámara es donde se clarifica y se terminan de sedimentar las partículas más pequeñas por medio de un hipoclorador, el agua sale de esta cámara por flujo ascendente. Las aguas tratadas son de alta calidad con bajo contenido en bacterias coliformes y están listas para incorporarse de nuevo a cualquier afluente sin causar un desequilibrio.

Figura 8. **Planta de tratamiento de aguas negras**

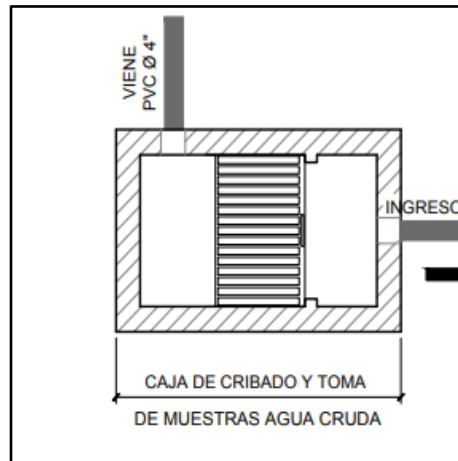


Fuente: Departamento de seguridad industrial, CESRCA.

2.3.4.1. Caudal de entrada

La caja de cribado y de toma de muestras es la entrada a la planta de tratamiento, tiene una capacidad de 0 48 m³. La caja de entrada se debe de renovar un aproximado de veinte veces para mantener el flujo constante de operación de la planta de tratamiento, que es de 10 m³.

Figura 9. **Entrada de planta de tratamiento**

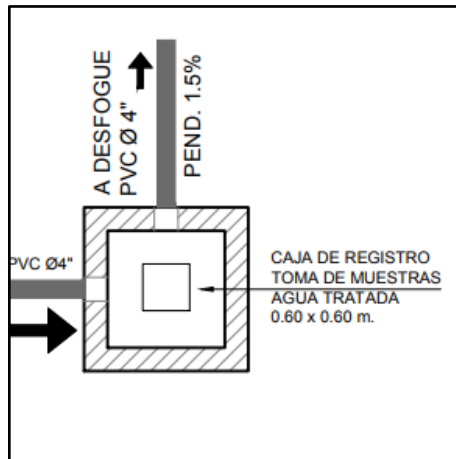


Fuente: Departamento de seguridad industrial, CESRCA.

2.3.4.2. Caudal de salida

La salida de la planta de tratamiento es un espacio para tomar muestras de controles de calidad del agua tratada, este espacio tiene 0 19 m³ de capacidad. El agua sale por un tubo de 0 10 metros de diámetro y se incorpora a un afluente de agua.

Figura 10. **Salida de planta de tratamiento**



Fuente: Departamento de seguridad industrial, CESRCA.

2.4. **Costos actuales**

A pesar de que las fuentes que abastecen de recurso hídrico pertenecen a la planta, se necesita de un sistema y de infraestructura para poder ingresar y preparar el agua para su uso, esto demanda de varios costos. Los costos aproximados que se presentan a continuación son mensuales y anuales, el análisis de los costos será por el tipo de utilización que son tres: el recurso hídrico para producción, el de servicios básicos y el de la planta de tratamiento. El agua para producción o agua productiva es la que mayor relevancia toma, dado por la preparación, manejo y cantidad a extraer.

El agua de servicios básicos contempla la preparación porque el manejo es el mismo que el agua de producción, es decir, la red de agua de producción es la misma que la de servicios básicos. El recurso hídrico de la planta de tratamiento debe ser tratada y demanda de varios costos de igual manera que la

de producción, la mayoría de los costos de la planta de tratamiento es por servicios tercerizados.

2.4.1. Agua productiva

El agua productiva de la planta es el agua clara que se utiliza en la máquina formadora, el recurso hídrico en este punto hace posible la adherencia de la pasta a la cinta transportadora para comenzar a formar los cartones de distintos calibres. En la siguiente tabla se muestra el único costo de preparación que es la aplicación de hipoclorito de sodio, la principal función de su aplicación es que previene el crecimiento bacteriano o de algas en toda la red de tuberías de la planta o en las tuberías de las máquinas, este costo es mensual.

Tabla XVIII. **Costos de preparación**

Elemento	Costo
Cloración de aguas claras (hipoclorito de sodio, cloro líquido 10%)	Q 8900,00
Total	Q 8900,00

Fuente: elaboración propia.

2.4.1.1. Costos de extracción y de conducción de agua

Las bombas son las que hacen posible el abastecimiento, circulación, reciclaje y extracción del recurso hídrico, son necesarias para la operación de la fábrica. Su clasificación comienza con las de extracción que son las que abastecen a la fábrica del recurso, las bombas generales son las que distribuyen

recurso hídrico a la máquina formadora, molinos, servicios básicos, red contra incendios, es decir, a toda la planta. Las bombas de alta presión son las que abastecen a las regaderas de toda la máquina formadora, la presión alta es importante para lavar los diferentes componentes de la máquina para que puedan volver a captar la fibra. La bomba de agua café es la encargada de reciclar el excedente que se genera en el área de formación.

Los costos de utilización de las bombas es la multiplicación de las potencias, las horas promedio de trabajo mensual efectivo que se calculó anteriormente y la tarifa de kilowatt-hora. El costo de mantenimiento de las bombas es importante incluirlo, se obtuvo de un porcentaje asignado para las bombas sobre el total del presupuesto de mantenimiento de la planta.

Tabla XIX. **Costo mensual de operación de bombas de planta**

Tipos	Potencias (kW)	Horas promedio de trabajo mensual efectivo de máquina formadora	Costo de kilowatt-hora	Total
Bombas de inyección de pozos (dos bombas)	16,78	482,50	Q0,60	Q9 715,62
Bombas de agua general (dos bombas)	37,28			Q21 585,12
Bombas de alta presión (dos bombas)	37,28			Q21 585,12
Bomba de agua café	22,37			Q6 476,12
Mantenimiento de bombas				Q 62 400,00
Total				Q121 761,98

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Agua de servicios básicos

En la siguiente tabla se muestra el único costo relacionado a la utilización de agua para los servicios básicos de la planta, no se incluye costo por conducción por la razón que es la misma que la del agua productiva.

Tabla XX. **Costos del recurso hídrico de servicios básicos**

Elemento	Costo
Cloración de agua de servicios básicos	Q 1 500,00
Total	Q 1 500,00

Fuente: elaboración propia.

2.4.3. Mantenimiento y operación de plantas de tratamiento

Actualmente, funciona la planta de tratamiento para tratar el agua negra de servicios básicos. Los costos son anuales por la razón que las contrataciones de terceros deben de hacerse una vez al año, se muestran a continuación.

Tabla XXI. **Costo de operación de planta de tratamiento**

Elemento	Costo aproximado
Mantenimiento de clorador de pastillas	Q10 992,00
Contratación para la extracción de lodos	Q 2 000,00
Contratación para limpieza de material filtrante de la segunda cámara	Q 1 500,00
Total	Q14 492,00

Fuente: elaboración propia.

2.5. Prácticas de manejo del agua

La producción de cartón reciclado necesita que cientos de metros cúbicos de recurso hídrico sean extraídos diariamente y que estén en circulación en el sistema. Gracias al diseño del proceso se recicla la mayor parte, es importante mencionar prácticas que aportan a dejar un mayor beneficio para la empresa y para el medio ambiente, las cuales se muestran a continuación:

2.5.1. Reciclado

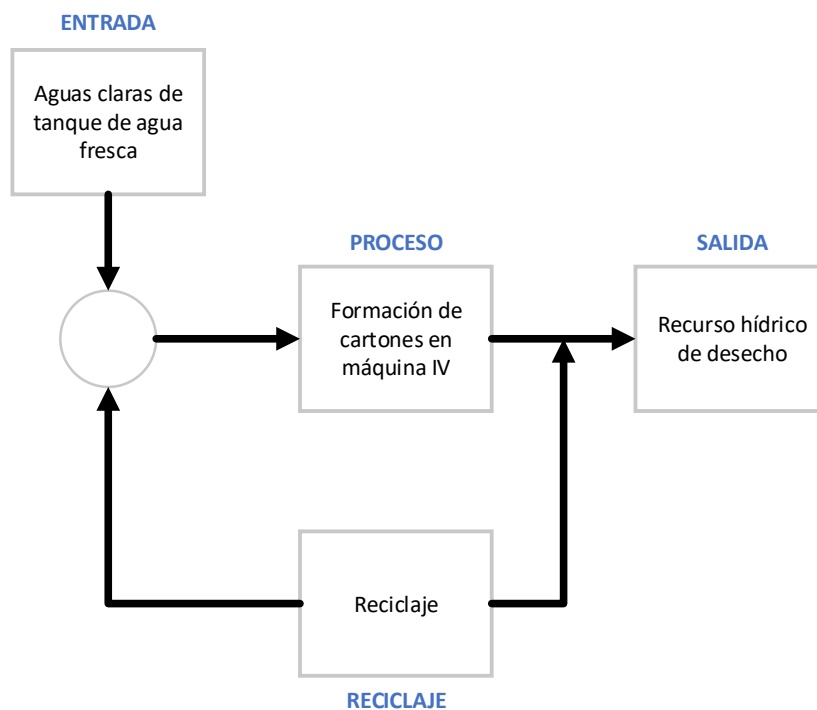
El agua café que circula en la producción del cartón chip transporta decenas de toneladas de fibra de celulosa, la materia prima que hace posible formar el cartón. En el área de formación es donde se utiliza el agua clara que se extrae de los pozos. Debajo del área de formación existe un tanque que almacena el excedente y una bomba la transporta al sistema Sade Hill. Este sistema es una rampa inclinada, en la parte alta el agua café cae por gravedad a través de él y en las mallas se capta la fibra de celulosa.

2.5.1.1. Diagrama

El diagrama de bloques es una herramienta gráfica adecuada para poder visualizar el reciclaje del recurso hídrico como un sistema porque define pasos, una entrada y salida. La entrada de aguas claras es la cantidad extraída de los pozos, se origina del tanque de agua fresca. El proceso de formación es donde se utiliza toda la cantidad de agua limpia de la fábrica, se emplea en las regaderas de alta presión, inundación y de los fieltros, que son para limpiar los distintos componentes.

En esta parte se utilizan 58 441 m³ de agua clara por mes, según cálculos hechos anteriormente. Como salida del sistema se tiene la porción de recurso hídrico que es desechada de la máquina formadora, la cantidad de agua con fibra de celulosa que se desecha para mantener balanceada la cantidad de recurso hídrico en el sistema. El reciclaje del proceso se da cuando el agua que no se desecha se almacena en el tanque que está debajo de la máquina formadora, este tanque envía el agua captada a la rampa *Sade Hill*. En la rampa se capta fibra de celulosa y el recurso hídrico se dirige a la caja de distribución de la máquina formadora y a molinos, donde de nuevo genera una entrada al sistema. A continuación, se presenta el diagrama de bloques del reciclaje:

Figura 11. **Diagrama de bloques de lazo cerrado del reciclaje de recurso hídrico**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

2.5.2. Desperdicio del recurso hídrico

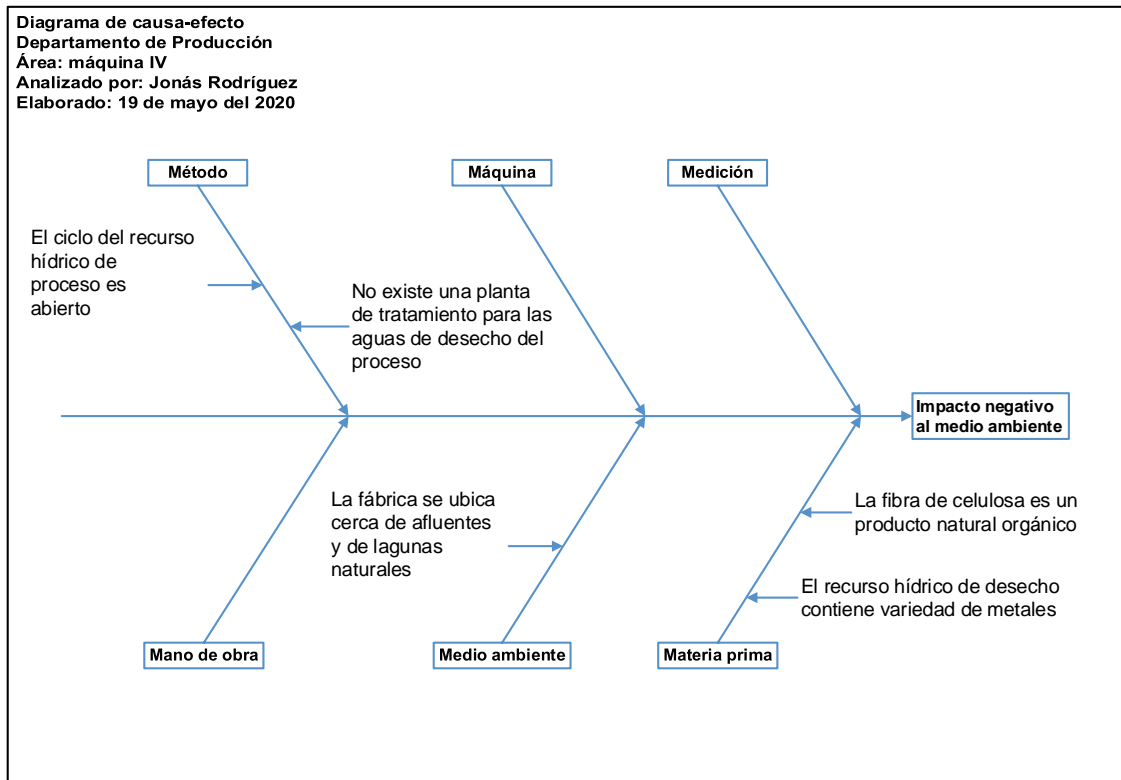
En el área de formación se desecha EL recurso hídrico que contiene fibra de celulosa, la cual puede ser aprovechada con los medios necesarios. Este desperdicio implica una pérdida considerable de costos que la fábrica invirtió. Actualmente no existe infraestructura de captación y reciclado para mejorar el aprovechamiento y el porcentaje de reutilización total.

2.5.2.1. Análisis causa-efecto

Se analiza la situación actual por medio de un diagrama de Ishikawa que es una herramienta que clasifica las causas por la técnica de las 6 m. Todos los hallazgos se obtuvieron por medio de la técnica de observación y de investigación. La primera causa para método, el ciclo del recurso hídrico de proceso se considera abierto por el hecho que el proceso no incluye una planta de tratamiento, la segunda es que no existe una planta de tratamiento, por ende, no se recicla y se desecha material orgánico.

Para medio ambiente, se toma en cuenta que la fábrica está rodeada de ambientes naturales, por esta razón el desecho puede contaminar cuerpos de agua cercanos. Las causas para la sección de materia prima son: la fibra de celulosa es un producto natural totalmente orgánico, esto afecta a los cuerpos receptores con la eliminación de oxígeno cuando el material se oxida o se consume. La segunda causa se presenta con la presencia de metales en el agua de desecho, los metales se originan en las tintas que son empleadas de los diferentes papeles y cartones que sirven como materia prima del proceso.

Figura 12. Diagrama de Ishikawa del desecho de proceso



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

El sistema necesita que exista una salida de cierta porción de recurso hídrico, por lo que desechar agua de proceso no es el principal problema. La principal causa raíz es la inexistencia de una planta de tratamiento para mejorar la calidad del agua que se desecha. El empleo de un tratamiento adecuado puede mejorar la calidad del agua antes de ser desechada para no generar un impacto negativo al medio ambiente por la alta carga orgánica y de sólidos suspendidos, se ampliará en el siguiente capítulo.

2.5.3. Tipo de tratamiento aplicado a aguas desechadas

Actualmente el agua que se desecha no recibe ningún tipo de tratamiento. La fábrica tiene en consideración varios proyectos de construcción de una planta de tratamiento para minimizar la descarga de contaminantes de alta carga orgánica para cumplir con la legislación ambiental vigente del país y del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

3. PROPUESTA PARA EL CORRECTO APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO EN UNA FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO

3.1. Comparativa de fuentes de alimentación del recurso hídrico pozos-laguna

Es importante conocer de los aspectos técnicos de ambas fuentes que se encargan de abastecer al proceso de producción y a la planta en general para mejorar la comprensión de las implicaciones y beneficios de cada una.

3.1.1. Media de cantidad extraída

Las dos fuentes de recurso hídrico no trabajan de manera simultánea, hace dos años atrás que se explotan solamente los pozos para abastecer de recurso a la planta, depende de la situación y circunstancias para decidir cuál de las dos fuentes emplear.

Tabla XXII. Promedio aproximado de extracción

	Caudal de extracción (m ³ /h)	Horas promedio efectivas mensuales	Total extraído (m ³)
Pozos hincados	113,56	482,50	54 792,00
Laguna	102,21		49 316,33

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Aspectos para tomar en cuenta

El recurso hídrico que se extrae de los pozos es agua de buena calidad para el proceso de producción, para mantener la calidad del agua existen varios aspectos a tomar en cuenta. Los pozos se deben de someter a un mantenimiento preventivo una vez al año, como parte del mantenimiento se debe de limpiar el pozo extrayendo los residuos que cayeron a lo largo de su operación, se revisa que las bombas y tuberías estén funcionando a niveles óptimos, se hace una revisión preventiva o correctiva del revestimiento de las paredes del pozo y de la estructura. Se asume que cualquier tipo de fisura en el revestimiento puede provocar contaminación en el agua como materiales de las distintas capas del suelo y del subsuelo.

El agua de los pozos cumple con los requerimientos de la planta a bajo costo. La laguna es otra fuente que se utilizó por muchos años, de igual manera, necesita de un mantenimiento anual que consiste en remover el exceso de lodos sedimentados que es una alta carga orgánica y genera crecimiento de microalgas. Dado que se dejó de darle este mantenimiento por años, se necesita de una alta inversión que involucra procesos físicos, químicos y biológicos para que el agua vuelva a ser apta para la producción de cartón reciclado.

La utilización del agua de la laguna involucra problemas como el excesivo drenado de material arenoso, lo que requiere de un mantenimiento más frecuente de la presa de captación, también las bombas se obstruyen con las microalgas ocasionando mayores costos por reparaciones. Es importante mencionar que últimamente el problema de las microalgas se ha agudizado, factores como el aumento de la presencia de fósforo y nitrógeno en la laguna por los fertilizantes utilizados en los alrededores, temperaturas altas en las temporadas de calor de

la región y la poca circulación de oxígeno en la laguna han contribuido a su aumento.

3.1.3. Descripción de métodos extractivos

Se extrae agua de la laguna por medio de la acumulación en la parte más estrecha de la laguna, donde se construyó una presa por gravedad, el agua fluye por un canal estrecho y entra a un tanque donde toda el agua captada es enviada por dos bombas hacia el tanque de captación a unos 200 metros de distancia. Como se explicó anteriormente, al utilizar la laguna como fuente de abastecimiento se arrastra material arenoso, por esto el tanque de captación sirve como un espacio de sedimentación para evitar obstrucciones en los filtros más adelante del proceso.

El segundo método de extracción es el que actualmente abastece de recurso hídrico a la fábrica. Los pozos son hincados, es decir, se perforaron con la ayuda de tubos puntiagudos hasta encontrar el nivel acuífero. El agua se extrae con la ayuda de dos bombas de 15 y 7,5 caballos de fuerza, con tubería PVC que dirige el recurso hacia el tanque de captación.

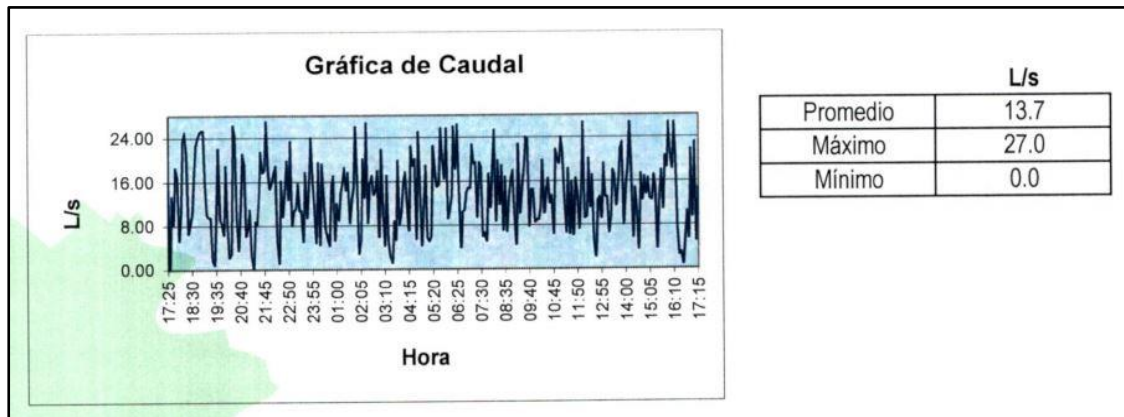
3.2. Reintroducción de recurso hídrico desechado en área de formadores

El objetivo de reintroducir el agua que se desecha en el área de formadores es aumentar el porcentaje de reciclaje y cerrar más el ciclo del recurso hídrico del diseño inicial de proceso.

3.2.1. Medición de caudal desechado

Un laboratorio monitoreó el 28 y 29 de septiembre de 2020 el caudal de salida del agua de proceso por un periodo de 24 horas, se midió el caudal a cada hora con un desfase de cinco minutos. Con las 24 mediciones se calculó un promedio de desecho de 13,7 litros por segundo o 49,32 metros cúbicos por hora, este rango se puede elevar hasta 97 2 metros cúbicos por hora dependiendo de la temporalidad de producción. El caudal se midió con el equipo ISCO modelo 4 250 y con un vertedero rectangular de 0,40 metros de altura.

Figura 13. Medición de caudal de salida de aguas productivas



Fuente: Departamento de Seguridad Industrial, CESRCA.

3.2.2. Explicación de diseño

El agua que se desecha se genera en la máquina formadora de cartón, recorre bajo suelo hasta finalizar la delimitación de la fábrica. El desecho se junta con el agua tratada de servicios básicos y se desecha como afluente, es reducido el espacio en el lugar de desecho, razón por la cual se descarta como propuesta

de área de tratamiento. Se propone otra área lo más cercana posible donde se dispone de espacio suficiente, sin afectar la operación de la fábrica. Es importante mencionar que la ruta de reintroducción del recurso hídrico tratado no se contempla en el diseño, ya que puede variar, dependiendo si es con o sin fibra de celulosa por la razón que son diferentes tanques en los que se puede almacenar.

A continuación, se presenta un mapa del Departamento de Producción, el espacio donde se desecha y el espacio propuesto para tratar el agua de producción.

Figura 14. **Dibujo de espacio de tratamiento para la reintroducción del recurso hídrico**



Fuente: Departamento de Mantenimiento, CESRCA.

El espacio de tratamiento se escogió debido a que no existe otro lugar físico en la planta, este lugar es conveniente por su cercanía a los tanques, factor que puede reducir los costos de reintroducción. Actualmente, cierta parte de este espacio se utiliza para almacenar temporalmente el desperdicio de producción.

3.2.3. Aspectos para tomar en cuenta

Existen varios aspectos que se deben de tomar en cuenta para el planteamiento del diseño general. Si la reintroducción se hace con fibra de celulosa, el diseño específico de los espacios de tratamiento exigirán menor nivel de dificultad y de menores costos, en cambio, si el agua que se requiere es sin fibra de celulosa será más complejo el diseño del tratamiento y los costos mayores. También es importante tomar en cuenta que la planta en la actualidad opera a casi la totalidad de su capacidad de espacio, lo que quiere decir que el diseño original no estimó cambios o acciones que ayuden a mitigar el impacto ambiental de la operación.

Otro aspecto importante para considerar es por la constante extracción de recurso hídrico, el sistema debe de tener una salida y como parte del diseño de la planta de tratamiento se contemplará que la salida de agua sea donde exista una baja carga orgánica para reducir el impacto al medio ambiente. La calidad del recurso hídrico tratado también puede variar debido a que cada opción está en función de las necesidades. Lo que se asegura es la reducción de la descarga de carga orgánica al afluente con cualquiera de las alternativas, si el recurso hídrico a reciclar es sin fibra de celulosa se mitiga la extracción de los pozos.

El diseño del sistema debe de considerar la velocidad de tratamiento del agua para su reutilización en el proceso. Para compensar la velocidad de tratamiento se pueden diseñar espacios de tratamiento lo suficientemente amplios o se pueden emplear floculantes para acelerar la sedimentación de la fibra de celulosa como se propondrá más adelante.

3.3. Reciclaje de recurso hídrico de proceso con fibra de celulosa

En esta sección se presenta un componente que forma parte del diseño de la planta de tratamiento capaz de reducir la carga orgánica y reciclar fibra.

3.3.1. Descripción

Como primer paso se debe de tratar y luego volverla a introducir al proceso. El agua que se desecha como excedente en el área de formadores no debería de presentar fibras porque completó el ciclo del proceso, sin embargo, contiene fibras de celulosa grandes y finas.

El objetivo de reciclar las fibras finas es aprovecharlas para mejorar el relleno y uniformidad final de los cartones, también para mejorar la propiedad de resistencia, aunque parezca que no son de utilidad. Las partículas grandes serán nuevamente captadas para seguir formando cartón reciclado, se puede reciclar agua con fibra de celulosa en puntos del proceso donde circule agua café como se explicó en el capítulo anterior, en el área de molinos o de formación.

Un sedimentador simple es un espacio adecuado para la correcta clasificación de fibras de celulosa finas y grandes. El diseño de un sedimentador primario debe de tomar en cuenta muchos aspectos como: tiempo de retención, velocidad de arrastre, características fisicoquímicas del agua, tiempo de llenado, área, profundidad y el tipo de sedimentación. Los sedimentadores simples pueden ser rectangulares o circulares, para los rectangulares se recomienda una relación longitud-ancho que sea entre 3:1 y 5:1, dependiendo de las necesidades. De igual manera se recomienda que la longitud no exceda los 90 metros, que la profundidad sea mayor a 2 metros, que el ancho sea de 3 a 24 metros y que el

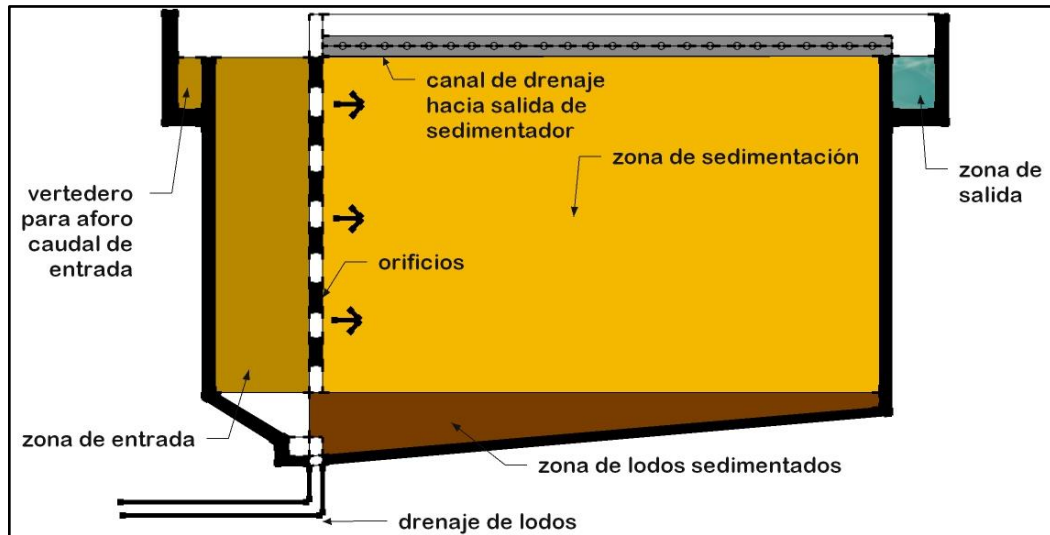
fondo tenga una pendiente entre 1 % y 2 % para el deslizamiento de los sólidos sedimentados.

La sedimentación de la fibra de celulosa no provoca cambios en sus propiedades físicas como tamaño, forma y peso específico, lo que se conoce como una sedimentación discreta. Con los cálculos correctos debe de resultar un diseño de sedimentador primario de grandes dimensiones, debido a que funciona con cierto parámetro de tiempo que retiene a las partículas de fibra hasta que se sedimenten. En esta parte del proceso de tratamiento debe de existir una salida del exceso de agua, esta salida compensa el sistema y mantiene el balance porque expulsa el exceso de desecho del sistema. La principal ventaja de desechar el agua en el sedimentador es que la carga orgánica de sólidos suspendidos por turbidez se reduce.

3.3.2. Proceso de captación

El recurso hídrico con fibra de celulosa llega al vertedero de entrada, en esta parte se puede aforar el caudal de ingreso para llevar mejor control de la operación del sedimentador, luego el agua pasa por rebalse a la zona de entrada para evitar un llenado agresivo. Posteriormente, pasa a la zona de sedimentación por medio de orificios para obtener una distribución uniforme de flujo, lo que evita una turbulencia innecesaria. En la zona de sedimentación el recurso hídrico presenta dos tipos de fibra de celulosa, las partículas finas y las grandes. En poco tiempo las partículas grandes se sedimentan por acción de la gravedad, las fibras finas necesitan más tiempo para sedimentarse.

Figura 15. **Dibujo de vista longitudinal de sedimentador**



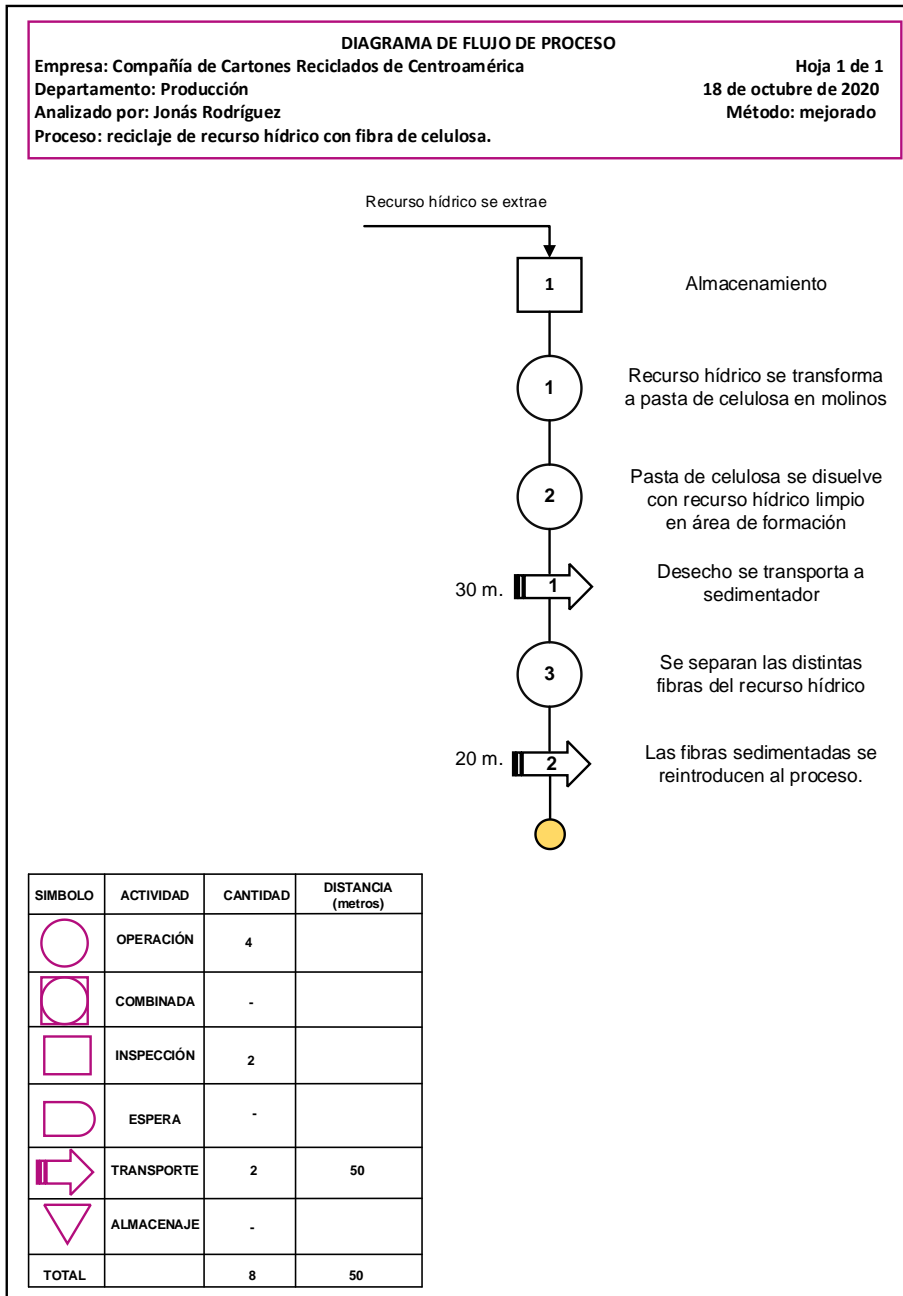
Fuente: elaboración propia, empleando Google SketchUp.

Los lodos sedimentados se deslizan al fondo del sedimentador por la pendiente hasta el punto donde existe una tubería que por extracción mecánica son retirados, esto puede ser de manera fija o intermitente. El agua en la zona de sedimentación se comienza a filtrar por las rejillas del canal de drenaje que desemboca en la salida, dando por finalizado su paso por el sedimentador. Los lodos se drenan a la caja de distribución, que es la encargada de distribuir la pasta en cada uno de los cilindros de formación. El agua que se recicla en esta parte del proceso de tratamiento puede contener fibras finas y dependerá del tiempo de retención, entre más tiempo se retenga el agua más fibras serán sedimentadas, en este punto se fija una salida de agua del sistema donde la carga orgánica por sólidos en suspensión es mínima.

3.3.2.1. Diagrama

La propuesta de reciclar modifica el final del circuito del recurso hídrico en la planta. Como primeros pasos la materia prima sufre varias transformaciones, la primera es cuando se tritura la materia prima y se transforma en pasta en los molinos, la segunda es cuando se disuelve en mayor cantidad de agua en el proceso de formación. El desecho que se genera en la formación de cartón se transporta al sedimentador, dentro de este se separan las fibras finas y gruesas, las fibras sedimentadas se reciclan y cierta porción del agua tratada se desecha. A continuación, se presenta lo mencionado como un diagrama de flujo, las distancias que se incluyen en los transportes son aproximadas.

Figura 16. Diagrama de flujo del proceso de reciclaje de recurso hídrico con fibra de celulosa



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

3.3.3. Beneficios de captación

Los principales beneficios de la captación de las fibras de celulosa finas y gruesas consisten básicamente en tres principales aspectos. El primer aspecto es que las fibras de celulosa finas mejoran la uniformidad y la resistencia del cartón. Estas propiedades son imperceptibles ante una simple inspección visual, pero con el uso de un microscopio se puede notar la diferencia.

El segundo aspecto se basa en aumentar la cantidad total de materia prima en el sistema por el reciclaje de fibra, en el siguiente inciso se amplía. El último aspecto es que se desecharía el agua tratada, con esto se cumple el acuerdo gubernativo 236-2006 y se reduce el impacto negativo al medio ambiente.

3.3.3.1. Cantidad captada

A continuación, se presenta un monitoreo de muestras tomadas del agua de desecho de producción del mes de septiembre del 2020.

Figura 17. **Análisis de agua de producción**

Análisis	Dimensional ⁽¹⁾	Límite de Detección	Resultados	Método de análisis ⁽²⁾
Caudal Promedio	L/s	---	13.72	---
Carga de DBO	Kg/día	---	442.3	---
Cianuro ⁽³⁾	mg/L - CN ⁻	0.022	< 0.022	Spectroquant® Merck 09701
Color ⁽³⁾	u Pt-Co	2	127	STM 2120 C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L - O ₂	4	373	COGUANOR NTG 29014h7
Demanda Química de Oxígeno ⁽³⁾	mg/L - O ₂	4	698	COGUANOR NGO 29014h8
Relación DQO/DBO	---	---	1.9	---
Fósforo Total ⁽³⁾	mg/L - P	0.02	3.60	Spectroquant® Merck 14848
Grasas y Aceites	mg/L	5	10	COGUANOR NTG 77002h1
Materia Flotante	---	Presente/Ausente	Ausente	Organoléptico
Nitrógeno Total ⁽³⁾	mg/L - N	0.23	12.80	Spectroquant® Merck 14773
pH (in-situ)	---	0.01	7.54	STM 4500-H ⁺ B
Sólidos Sedimentables	mL/L	0.1	18.0	STM 2540 F
Sólidos Suspendidos ⁽³⁾	mg/L	2.60	190.0	STM 2540 D

Fuente: departamento de seguridad industrial, CESRCA.

Según el análisis, por cada metro cúbico se desechan 0.19 kilogramos de fibra, al hacer cálculos estequiométricos se obtiene que para captar una tonelada de fibra de celulosa se deben de tratar 526 316 m³ de recurso hídrico. El caudal de desecho de 49,32 m³/h puede aumentar a 97,2 m³/h, por lo que la cantidad a captar también puede aumentar en un sentido positivo, sin embargo, implica mayores retos para diseñar y dimensionar la planta de tratamiento.

3.4. Reciclaje de recurso hídrico de proceso sin fibra de celulosa

En esta sección se presenta la propuesta de un segundo componente de filtrado para la planta de tratamiento que sea capaz de remover fibras de celulosa finas o de cualquier tamaño que no hayan sido captadas en la sedimentación.

3.4.1. Descripción

Tratar para remover por completo las fibras aumenta el grado de exigencia de limpieza y de purificación que se le debe de dar al recurso hídrico, antes de ser reutilizada. El agua que pase la filtración debe de ser utilizada en las regaderas. Las regaderas son las encargadas de lavar los cilindros, debido que están en permanente rotación las fibras se adhieren. Las fibras finas necesitan de un medio mecánico poroso para poder ser removidas, lo que se conoce como filtración.

Las regaderas necesitan de agua limpia porque a través de ellas fluyen altas presiones y la reducida área de salida expulsa a gran velocidad el agua. Si el agua con que se alimentan las regaderas contiene fibras finas, las boquillas de las regaderas se obstruirían. A continuación, se presenta la fotografía de las boquillas de las regaderas para mejorar la comprensión.

Figura 18. **Boquillas de regaderas a alta presión**



Fuente: Difusores de agua. boquilla de alta presión.

<http://www.difusoresdeagua.com/blog/aspersion-fina-boquillas-bajo-consumo/>. Consulta: 26 de noviembre de 2020.

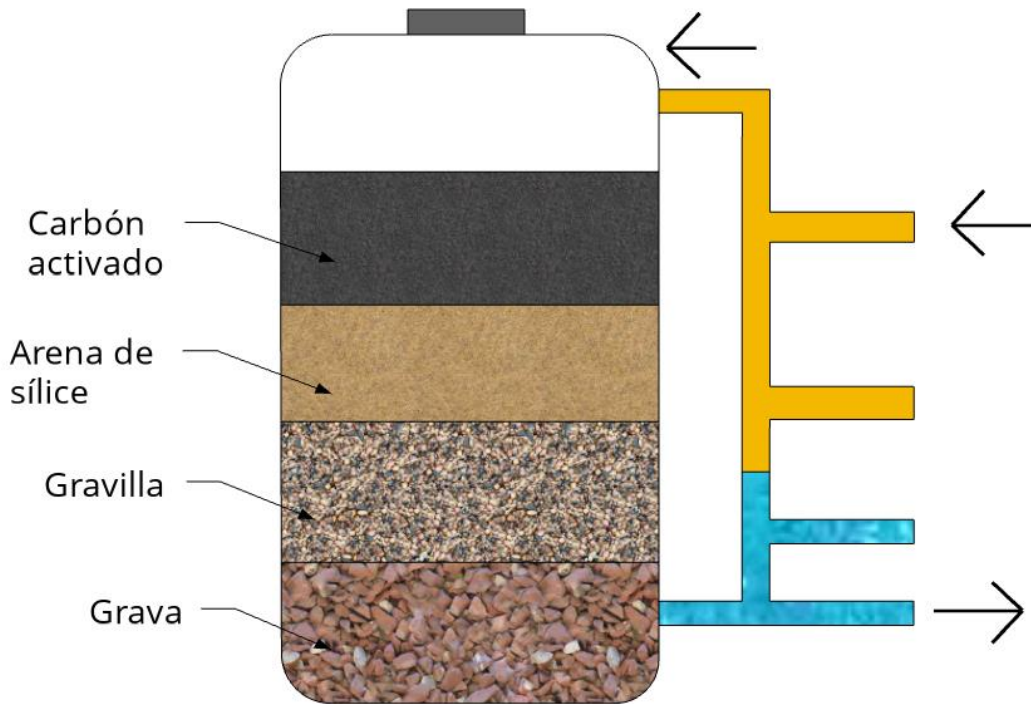
3.4.2. Proceso de eliminación de fibra de celulosa

La remoción total de las fibras finas suspendidas en el recurso hídrico dependerá de dos pasos básicamente, el primer paso debe de ser el sedimentado y el segundo, la filtración. La microfiltración se define como la etapa donde se retienen los sólidos suspendidos de un fluido en un medio micro poroso, el tamaño de los poros puede variar desde la 0.1 hasta 1 micras. Es importante mencionar que, dependiendo de las necesidades del micro filtrado, la unidad puede trabajar a presiones atmosféricas o a presiones fijadas.

3.4.2.1. Formas

La filtración por arena industrial es una manera correcta de eliminar las fibras finas de celulosa que no fueron removidas en la sedimentación. Es un método bastante sencillo de comprender y de explicar, ya que básicamente consiste en que el filtro retiene los sólidos, turbidez y materia orgánica del agua con cada capa que esta va pasando. Generalmente estos filtros tienen un lecho filtrante que se forma de carbón activado en la parte superior, seguido de arena de sílice, gravilla y grava. Los filtros de arena son diseñados en función de las necesidades de filtrado, como velocidad de filtrado, caudal, tipo y cantidad de partículas a filtrar, altura del lecho filtrante.

Figura 19. **Dibujo de filtro de arena**



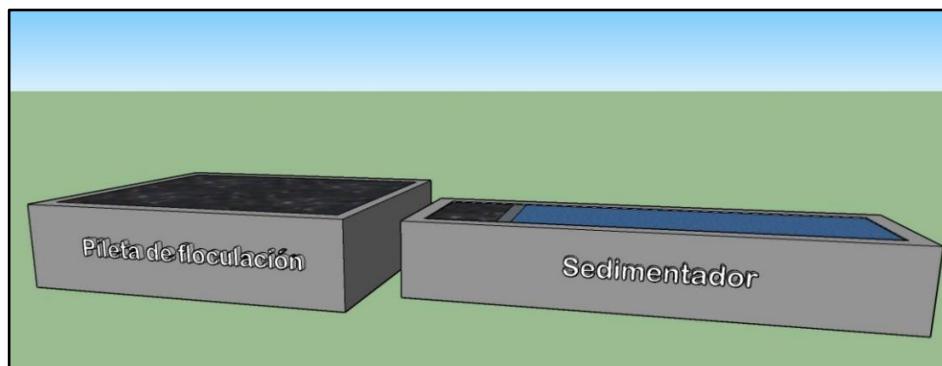
Fuente: elaboración propia, empleando Google SketchUp.

Para filtrar el ritmo de desecho que genera la planta se recomienda un filtro de arena vertical que normalmente filtra caudales medianos y altos en distintas industrias. El mantenimiento de este filtro se conoce como retro lavado, consiste en insertar agua en la dirección contraria de flujo lo que consigue expulsar todas las impurezas retenidas por un período de tiempo fijado. Se debe de hacer una evaluación completa de necesidades para realizar un diseño adecuado de la unidad filtrante como caudal a filtrar por unidad de tiempo y el período mínimo de mantenimiento.

Una forma alternativa para mejorar la eliminación de las fibras finas del agua se logra con adicionar químicos floculantes. El proceso de floculación consiste en emplear un químico como sílice activada u otros minerales que generan atracción entre las partículas suspendidas, lo que genera que aumenten su peso y se sedimenten más rápido. Esto significaría una ligera modificación al proceso de tratamiento, es decir, se agregaría una pileta de floculación antes del sedimentador.

La pileta de floculación funciona con un agitador mecánico ubicado estratégicamente que es asistido por un eje de rotación con hélices que agitan levemente para diluir el floculante. A continuación, se presenta una imagen que retrata la incorporación de la pileta de floculación al proceso de tratamiento.

Figura 20. **Dibujo de pileta de floculación y sedimentador**



Fuente: elaboración propia, empleando Google SketchUp.

Cualquiera de las alternativas es correcta para tratar el agua de producción. La variabilidad entre ambas opciones básicamente consiste en los costos que cada opción implica y su complejidad, por ejemplo, se sabe que los costos de operación y mantenimiento de una unidad floculante es mayor que la de un filtro

vertical de arena. La pileta de floculación puede sustituir a los filtros verticales de arena, queda a criterio de la fábrica su elección en función de las necesidades y de estudios más específicos.

3.4.3. Equilibrio hídrico

Las acciones propuestas en la presente sección aportan a equilibrar la cantidad de extracción de agua de los pozos con su tiempo de recarga.

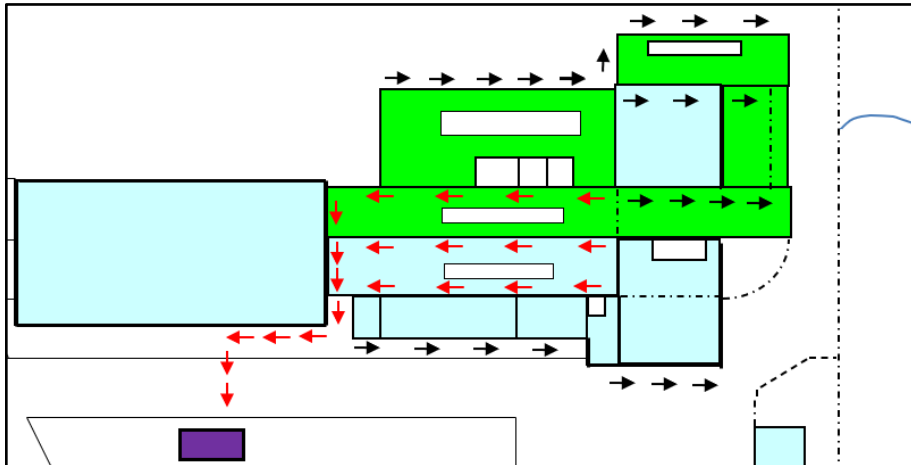
3.4.3.1. Disminución de extracción de agua de pozos

Con un diseño adecuado de la planta de tratamiento y de sus elementos, se podría mitigar una buena parte de cantidad de agua que se extrae mensualmente de los pozos. Con la creación de un cronograma que se presentará más adelante, se puede alternar el abastecimiento de agua de la planta con la utilización de los pozos.

3.5. Sistema de aguas pluviales

La nave industrial de la planta está cubierta por techos industriales de dos aguas. Los techos de dos aguas en la época de lluvia facilitan la recolección de aguas pluviales por medio de canales de drenaje instalados en las orillas. De la totalidad de la nave industrial, solo una fracción del agua pluvial recolectada se utiliza para el aprovechamiento y reciclaje, en la siguiente imagen se presenta una vista general de la planta, las flechas rojas representan el agua pluvial que se aprovecha, el resto se desecha.

Figura 21. **Sistema de captación de aguas pluviales**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketch Up.

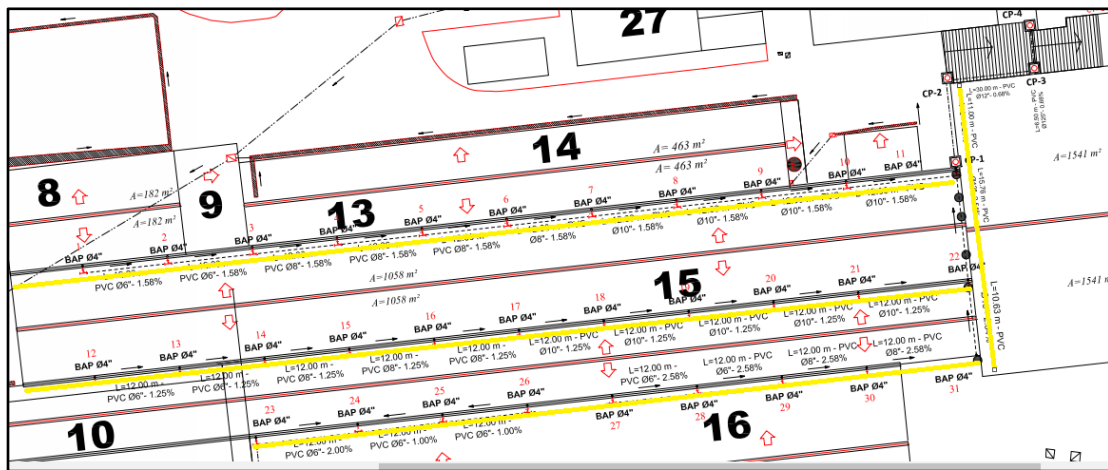
3.5.1. Descripción de sistema de captación

El sistema de captación de aguas pluviales está formado por tres hileras que recolectan el agua que se desliza del techo industrial de dos aguas, que cubre a un área total de 2 116 m² en el área de la máquina número uno. La primera hilera tiene un largo total de 120 metros lineales y está dividida por tres secciones con diámetros variables de la tubería, en el primer tramo es de 24 metros de longitud con tubería de 0,15 metros de diámetro, el segundo tramo es de 48 metros de longitud y la tubería tiene un diámetro de 0,20 metros, el último tramo también tiene 48 metros de longitud y la tubería es de 0,25 metros de diámetro. A lo largo de toda esta hilera existe una pendiente de 1,58 % sobre la horizontal.

La segunda línea es igual con la variante que existe un tramo menos de tubería de 0,20 metros de diámetro y un tramo más con tubería de 0,25 metros de diámetro, la pendiente en esta hilera es de 1,25 % sobre la horizontal. La

tercera hilera se forma por 60 metros lineales de tubería de 0,15 metros de diámetro y termina con 24 metros con tubería de 0 20 metros de diámetro, la inclinación en los primeros 60 metros es de 2 % y en el resto de 2,58 %. Las tres hileras se encuentran con una tubería formando un ángulo recto, esta tubería recorre 37,39 metros hasta que dobla a la derecha 30 metros y encuentra desembocadura con el tanque de agua clara.

Figura 22. **Plano de conducción de aguas pluviales**

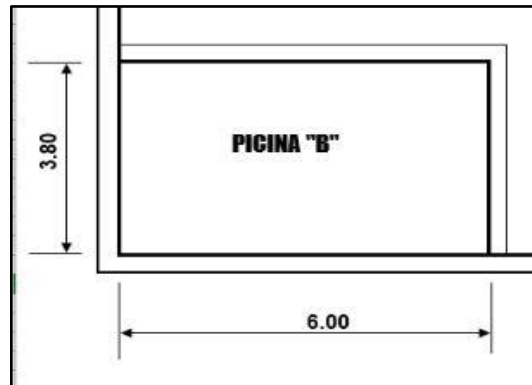


Fuente: Departamento de seguridad industrial, CESRCA.

3.5.2. Cantidad recolectada

El agua pluvial que se recolecta desemboca por medio de una bajada pluvial hacia un tanque de 6 metros de ancho, 3,80 metros de largo y altura de 2,40 metros. La cantidad que se recolecta es de 54,72 m³, a continuación, se muestra un dibujo del tanque de almacenamiento.

Figura 23. **Vista de planta de tanque de aguas pluviales**



Fuente: Departamento de seguridad industrial, CESRCA.

3.5.3. Beneficios

Debido a que la precipitación de agua pluvial en la región de la Costa Sur es alta, como se explicó en el primer capítulo, su recolección incide en mitigar la extracción de recurso hídrico de los pozos durante la temporada de lluvia. Se recomienda rediseñar el sistema actual de agua pluvial de la nave industrial para poder obtener una estimación volumétrica de recolección basada en unidad de tiempo.

3.6. Indicadores de nivel de aprovechamiento

Los indicadores de aprovechamiento permitirán evaluar el rendimiento y desempeño de la planta de tratamiento, se proponen varios indicadores medibles de datos del proceso de tratamiento del agua que se desecha.

3.6.1. Propuesta

Se propone utilizar los siguientes indicadores para la gestión del proceso de tratamiento: metros cúbicos reciclados, toneladas de fibra de celulosa recuperadas, porcentaje del ciclo cerrado del agua y metros cúbicos utilizados en el área de regaderas.

Para el cálculo de los metros cúbicos reciclados bastará con instalar caudalímetros en la salida del sedimentador o del filtro vertical de arena, para su seguimiento se deberá de realizar una lectura mensual. Se propone la instalación de un contador volumétrico en el vertedero de entrada del sedimentador para calcular las toneladas de fibra de celulosa que se recuperan, debido a que aumenta la entrada de materia prima al proceso, la cantidad de toneladas recuperadas se interpreta como una posible modificación a la productividad del proceso.

El cálculo del porcentaje del ciclo cerrado del agua también necesitará de la instalación de caudalímetros en las bombas de extracción de los pozos y de la instalación de un caudalímetro en el punto de descarga directo de las plantas de tratamiento, con ambos datos el cálculo será el cociente del volumen de agua que se desecha entre la cantidad de agua que se extrae mensualmente. El indicador de mejoramiento de los metros cúbicos desechados consistirá en la lectura de los caudalímetros de salida, ya sea del sedimentador o del filtro vertical de arena, dependiendo de la decisión de la fábrica. A continuación, se detalla cada indicador con su dimensional de lectura.

Tabla XXIII. **Resumen de indicadores**

Indicador	Dimensional
Metros cúbicos reciclados	m ³
Fibra de celulosa recuperada	toneladas
Mejoramiento de metros cúbicos desechados	m ³
Ciclo cerrado del agua	%

Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Alcance

La gestión de los indicadores de aprovechamiento del agua tendrá como objetivo general registrar métricas claras y sencillas que permitan conocer el desarrollo de la estrategia de mejora del aprovechamiento del recurso hídrico en la planta. Los indicadores son una herramienta de registro que darán información sobre el estado y funcionamiento del proceso de tratamiento del agua que se desecha, por medio de indicadores específicos, perfectamente medibles, realistas y con un período de tiempo definido.

3.6.3. Implicaciones

La primera implicación de la propuesta es que los indicadores son específicos, cada indicador dará a conocer información específica del desempeño de cada elemento de la planta de tratamiento, pueden ser sobre el sedimentador o los filtros verticales de arena. Una segunda implicación es que los indicadores podrán ser interpretados en función de objetivos como el cumplimiento de reglamentos ambientales, costos justificables y mejora del aprovechamiento. Como tercera implicación, se puede mencionar que, al ser indicadores por tiempo, se deberá mantener una constante lectura y mantenimiento de los caudalímetros.

Una última implicación es sobre la comunicación de resultados, el desempeño logrado en el proceso de tratamiento se podrá comunicar con mayor rapidez, transparencia y comprensión para justificar su operación.

3.7. Aprovechamiento del recurso hídrico con fibra de celulosa por otro tipo de industrias ubicadas en las cercanías

La localización donde se ubica la planta es estratégica por la disponibilidad de agua, de igual manera, el ingenio aprovecha la disponibilidad de recursos naturales que su proceso requiere. La cercanía se puede aprovechar para que el desecho que se genera en la planta sea reciclado por el ingenio y así, contar con otras formas de manejo responsable del desecho, se adjunta a la sección de anexos un artículo de la revista internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública que amplía.

3.7.1. Ubicación

Kilómetro 81 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, interior Finca Los Campos, Escuintla.

3.7.2. Industria azucarera y su relación con el recurso hídrico

La industria de azúcar es bastante extensa hablando en términos generales, se puede dividir por fábricas de azúcar cruda y refinerías de azúcar. La fabricación de cualquier forma de azúcar necesita de cantidades grandes de recurso hídrico. Existen al menos 14 puntos directos del proceso productivo que trabajan con recurso hídrico y 7 puntos indirectos al proceso de producción, a esto se le añade el riego permanente que se le debe de dar a los sembradíos de

caña de azúcar para poder mantener vivas las plantaciones en climas calurosos como los de la Costa Sur de Guatemala.

El promedio que la industria utiliza para producir 1 kilogramo de azúcar refinada es de aproximadamente 1 500 litros de agua. La industria de azúcar pertenece al rubro de los alimentos, un elemento que genera una huella ecológica grande al igual que la industria de papel y cartón. El agua que se desecha de fábricas de azúcar contiene sólidos en suspensión como partículas de bagazo y caña triturada, contenido de alta carga orgánica.

Es imprescindible que, al igual que en la fabricación de papel y cartón reciclado se tomen acciones para minimizar el impacto ecológico negativo. Se debe de enfocar la gestión ambiental en reducir la descarga de contaminantes y reciclar la mayor cantidad posible de agua.

3.7.3. La fibra de celulosa en la captación de los suelos de la agroindustria azucarera

Transferir el desecho que se genera a los sembradíos de caña de azúcar cercanos a la fábrica es una excelente alternativa de aprovechamiento. Se ha demostrado en diversos estudios que el residuo de las fábricas de papel y cartón puede ser utilizado para fertilizar sembradíos, por el contenido de contenido orgánico que neutraliza la acidez de los suelos, incrementa la materia orgánica y aporta otros nutrientes esenciales. Se propone trasladar el desecho como otra forma de aprovechamiento mediante la construcción de canales que lo conduzcan hasta un punto medio estratégico para ponerlo a disposición del ingenio. La principal ventaja es evitar que el desecho tenga contacto con cuerpos receptores de agua.

3.8. Otras formas de aprovechamiento de la fibra de celulosa producto del recurso hídrico en la fábrica

Por su alto contenido orgánico, el desecho que se produce puede ser reciclado de varias formas que principalmente son aprovechadas por los suelos, o convertirse en materia prima de productos de la agricultura.

3.8.1. Reciclaje del recurso hídrico con fibra de celulosa para riego de áreas verdes

Las áreas verdes son una parte importante de la fábrica, dan presentación a la vista de toda persona que la visita. Para aprovechar el desecho de forma interna sería necesaria la construcción de un espacio para que se almacene. El riego es bastante frecuente por las altas temperaturas que inciden sobre la vegetación. Actualmente, en las instalaciones existen pocas áreas verdes, disponer de mayor cantidad de recurso para regar debería incentivar a la administración a expandir las áreas verdes ya que se dispone de espacio suficiente.

3.8.2. Fibra de celulosa deshidratada para el abono de tierras

En el mundo de la agricultura se utilizan una gran cantidad de abonos, entre ellos, la pasta de celulosa destaca entre los mejores. Abonar con fibra de celulosa deshidratada genera ventajas en la tierra como: disminuir los desprendimientos y erosión ante condiciones climatológicas desfavorables, aporta materia orgánica, evita la rápida evaporación del agua en los suelos y aporta a que la estructura superficial de las tierras se mantenga igual. Al abono de la fibra de celulosa deshidratada se le conoce como mulch de celulosa y es una excelente oportunidad de negocio para la fábrica de convertirse en proveedor.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Empleo de fuentes de recurso hídrico pozos-laguna

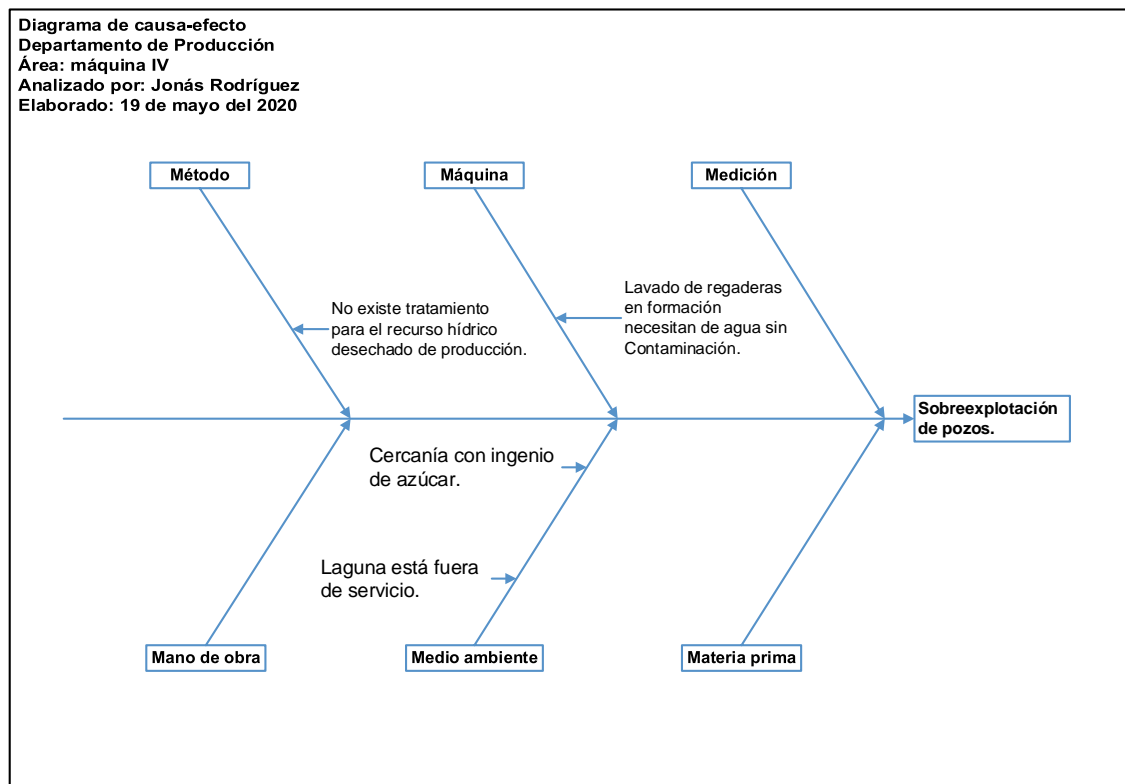
Para comprender mejor cómo se mantienen los pozos y la laguna, es necesario saber que un acuífero los alimenta. Explotar las fuentes naturales de agua en la fábrica es imprescindible, pero puede conllevar algunas consecuencias si no se implementan acciones que mitiguen la extracción del recurso, como la sobreexplotación de los acuíferos. Los acuíferos dependen de la rapidez de su recarga natural, hay consecuencias negativas cuando se extrae más cantidad de la que puede infiltrar el suelo en cierto periodo de tiempo, es posible que el acuífero que se explota en la fábrica sea el mismo que el del ingenio por su colindancia y cercanía.

4.1.1. Diagrama de causa y efecto

Se encontraron cuatro hallazgos para tres categorías principales de la técnica de las 6M, los hallazgos se obtuvieron por la técnica de investigación y observación. Para la categoría de máquina, la alta demanda de recurso hídrico que las regaderas necesitan para lavar los cilindros de formación contribuye a una extracción permanente de los pozos. Para la categoría de medio ambiente, a causa de que laguna no está en condiciones de aportar recurso hídrico a la fábrica, la carga hídrica aumenta para los pozos.

Un último hallazgo para la categoría de medio ambiente es la cercanía que tiene la fábrica con el ingenio de azúcar, por ser dos de las industrias que más consumen agua en sus procesos, existe una alta probabilidad que extraigan agua del mismo acuífero por su cercanía. Para método, no se puede reciclar agua si existe carencia de un tratamiento adecuado. En la siguiente figura se clasifican gráficamente los hallazgos, para las categorías de materia prima, mano de obra y medición no se encontraron hallazgos.

Figura 24. **Diagrama de causa-efecto de las fuentes de abastecimiento de recurso hídrico**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

La sobreexplotación de los pozos se puede prevenir, la causa raíz de este análisis es que no existe ninguna planta de tratamiento actualmente. Implementar un tratamiento para el recurso hídrico que se desecha puede reducir una porción considerable de la cantidad total que se necesita extraer al mes.

4.1.2. Análisis beneficio-costo

Un análisis beneficio-costo es una herramienta que facilita la toma de decisiones, analiza y compara si los costos asociados de un proyecto de cualquier tipo se justifican con los beneficios esperados. Actualmente el proyecto de implementar una planta de tratamiento se encuentra en los primeros pasos, por tanto, ya se cuenta con una empresa contratista para ejecutar el proyecto. No se revelará el nombre de la empresa por confidencialidad, CESRCA brindó datos como caudal de desecho, los contaminantes presentes del agua, localización física en planta y ritmo de producción.

Se planteó la propuesta de implementar un sedimentador, filtros verticales de arena y una pileta de floculación en la planta de tratamiento. La inversión inicial es de Q 1 643 000,00, la planta de tratamiento deberá trabajar con alta eficiencia, es decir, tratará el agua y captará toda la cantidad de fibra de celulosa que se desecha.

El costo de mantenimiento es elevado por el caudal de desecho y gran parte recae en los filtros verticales de arena, que por su nivel de uso requieren mantenimiento permanente. La pileta de floculación también figura en el costo de mantenimiento por el químico floculante. El costo de mantenimiento es aproximado y es de Q 13 691,67, es mensual y corresponde al 10 % del monto de la inversión inicial, según información del contratista. Todo flujo de efectivo se financia con una tasa de interés de 9 %.

El beneficio monetario que se obtiene es mediante la recuperación de fibra de celulosa que se capta de la planta de tratamiento. Si se multiplican las horas promedio de trabajo efectivo que se calcularon en el segundo capítulo, el caudal de desecho, doce meses del año y se divide entre los 5263 m³ que se deben de tratar para obtener una tonelada de fibra de celulosa, da por resultado que se pueden recuperar un aproximado de 54 toneladas de materia prima al año, cada tonelada de materia prima en proceso que se desecha se valora en Q 3250 00 según el Departamento de Costos.

La rentabilidad de los proyectos de inversión internos de la empresa, según el Departamento de Costos, se calcula dividiendo los beneficios que se esperan obtener entre el capital invertido. La rentabilidad se calcula dividiendo la valuación monetaria de las 54 toneladas que se esperan reciclar en los cinco años de evaluación entre el monto de inversión inicial. La rentabilidad da por resultado 0,53.

El valor actual del ingreso se calcula dividiendo el total de toneladas de fibra de celulosa valuadas en unidades monetarias, entre la suma de uno más la tasa de rentabilidad expresada en decimales elevada a los cinco años de estimación. El valor actual del costo se calcula dividiendo el total de costos que se esperan tener, incluyendo la inversión inicial más el costo por mantenimiento de los cinco años, entre la suma de uno más la tasa de interés expresada en decimales elevada a los cinco años de evaluación.

Tabla XXIV. **Datos para el análisis de beneficio-costo**

Datos	Monto
Inversión inicial	Q 1 643,000,00
Costo anual de mantenimiento	Q 164 300,00
Beneficio monetario por tonelada captada	Q 3 250,00
Toneladas captadas por año	54
Total de ingresos	Q 877 500,00
Total de costos	Q 2 464,500,00
Valor actual de ingresos (VAI)	Q 104 662,23
Valor actual de costos (VAC)	Q 990 427,28
Beneficio-costo (VAI/VAC)	0,10

Fuente: elaboración propia.

La inversión no demuestra ser rentable porque está por debajo de la unidad. El bajo resultado del análisis se interpreta de manera que el proceso no desecha suficientes toneladas para igualar los altos costos de inversión inicial y de mantenimiento de la planta de tratamiento. Las toneladas captadas son resultado de un pronóstico que se calculó en el tercer capítulo y están sujetas a variabilidades, es decir, pueden aumentar o disminuir.

Tratar el agua de producción no dejaría beneficio económico para la empresa como se demostró, pero si existe beneficio de tipo social y para el medio ambiente. Para demostrar esto, se debe de escoger un criterio cuantitativo para evaluar el proyecto desde una perspectiva social, entre estos se puede mencionar: el valor actual neto social, la razón beneficio-costo, la tasa interna social de retorno, o el periodo de recuperación del capital. Para el presente análisis se escogió la razón beneficio-costo social nuevamente, los beneficios se miden cuantitativamente como un beneficio directo que el proyecto dejaría. De acuerdo con Nassir Sapag en su libro de Preparación y Evaluación de Proyectos

segunda edición³⁶, un beneficio directo social se mide por el aumento que el proyecto provocará en el ingreso nacional mediante la cuantificación monetaria, en este caso, de cada metro cúbico tratado.

En muchos estudios es un reto valuar los recursos naturales, dado que carecen de un precio de mercado. Según la Política Nacional de Agua de Guatemala publicada por el Gabinete Especifico del Agua en 2011, el agua participa en 70 % de las actividades que conforman el PIB nacional, y mediante diversos estudios se determinó que el agua genera un valor agregado directo equivalente al 5.6 % del PIB, o Q. 13 400 millones anuales³⁷. La misma política estima que Guatemala posee un aproximado de 97 120 millones de metros cúbicos disponibles para uso agropecuario, industrial o para uso doméstico.

Para valuar monetariamente lo que representa un metro cúbico para el país, se divide la cantidad aproximada de agua que el país posee entre los Q 13 400 millones que aportan a la economía nacional. El valor que un metro cúbico de agua representa para el país es de Q7,24. Para saber el beneficio social que generaría implementar una planta de tratamiento en la fábrica, se multiplica el caudal de desecho 49,32 m³/h, las 482,5 horas promedio de trabajo mensuales calculadas en el segundo capítulo, los doce meses del año por Q7,24, esta operación da por resultado que la planta de tratamiento beneficiaría a la sociedad con Q2 067 474 anuales. Se debe de actualizar la cifra evaluada en un periodo de 5 años debido a que es el período de evaluación que la empresa establece.

Para actualizar los beneficios se divide el beneficio monetario social estimado para cinco años entre uno más una tasa social del 12 % elevado a cinco años. Una tasa social es un concepto que se utiliza en el análisis beneficio-costos

³⁶ SAPAG CHAIN, Nassir. *Preparación y evaluación de proyectos*. p. 112.

³⁷ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política Nacional de producción más limpia*. p.16.

de implementar obras o de protección ambiental que favorezcan a la sociedad a partir de una inversión, según SEGEPLAN en el Marco Conceptual de Inversión Pública, sugiere que debido a que no existen precios sociales calculados para Guatemala, se debe de usar una tasa social de descuento referencial del 12 %. El valor actual del beneficio social de cinco años es de Q5 865701,35.

La cifra actualizada del costo para cinco años se calculó en el análisis anterior, la división da por resultado 5,92. Del análisis se interpreta que por cada quetzal que se invierte en la planta de tratamiento, la sociedad y medio ambiente reciben Q 5,92 en promedio figurados en recurso hídrico apto para ser reciclado por alguna otra actividad cercana a la fábrica o que simplemente aporta al bienestar de los ecosistemas. Se demuestra que el recurso hídrico es un recurso natural importante que aporta un alto valor agregado y desarrolla los diferentes rubros económicos de un país, como es el rubro industrial de cartón reciclado.

4.2. Aprovechamiento de agua desechada de área de formadores

A pesar de considerarse desecho, emplear un proceso de tratamiento ofrece formas de aprovechar el desperdicio junto a otros beneficios, sin necesidad de modificar el proceso de producción.

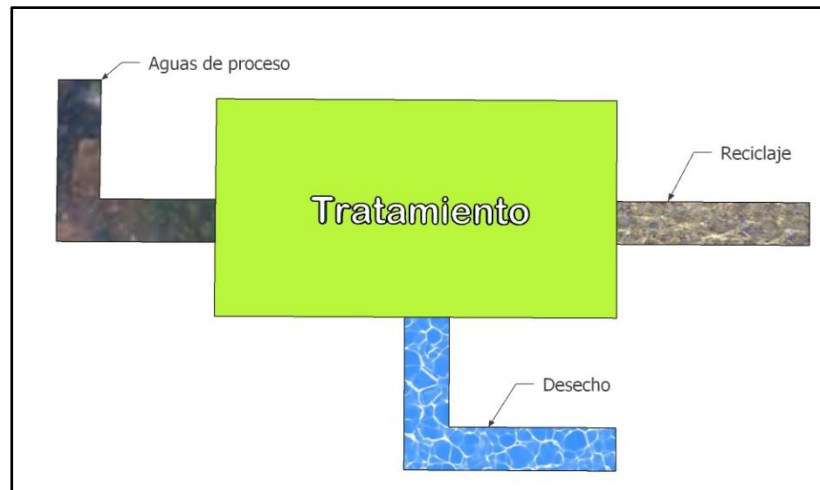
4.2.1. Optimización del desecho

Optimizar el desecho es un sistema que cuenta con una única entrada y dos salidas, la primera salida es la que se recicla y la segunda es la que se desecha. Debido a que hay varias maneras de optimizar el desecho que fueron explicadas en el capítulo anterior, la fábrica debe de elegir cuál es más viable tomando en cuenta los objetivos que se deseen cumplir, lo que se asegura con cualquiera de

las alternativas de tratamiento es mejorar el aprovechamiento y la relación con el medio ambiente.

En el siguiente dibujo se explica el parque de tratamiento como un sistema representado gráficamente.

Figura 25. **Sistema de optimización de aguas de producción**



Fuente: elaboración propia, empleando Google SketchUp.

La entrada de aguas de proceso es el recurso hídrico con fibra de celulosa, el desecho es la descarga al afluente y es con sólidos suspendidos al mínimo, no se contempla un desecho completamente limpio que pase por los filtros verticales de arena dado que implicaría un aumento de costos para la fábrica. La salida de reciclaje puede ser con o sin fibra de celulosa, si es con fibra de celulosa solo operaría el sedimentador y si es sin fibra de celulosa, al sedimentador se le añade los filtros verticales de arena o el tanque floculante que se explicaron en el capítulo anterior.

4.2.2. Cambio de práctica de desechar por reciclar

La incorporación del reciclaje de aguas con previo tratamiento al proceso es un desafío que conlleva muchos retos para todo nivel de la empresa. Cambiar la práctica de desechar por reciclar necesita de las etapas de propuesta, evaluación, diseño, construcción, capacitación y más. Actualmente, la fábrica se encuentra al 90 % de su capacidad, por lo que la dificultad en la etapa de diseño y construcción es mayor. La práctica de reciclar conlleva gastos fijos y aumento de carga de trabajo para algunos puestos, pero es algo que beneficia a varias partes y que agrega valor agregado a los productos.

El sistema se debe de diseñar de manera que los factores como el tiempo de retención y el porcentaje de retirada de los lodos, sea el más acorde para mantener el paso de producción y tratar la mayor cantidad de recurso hídrico posible, esto se determina con estudios bastante específicos de la rama de ingeniería civil e ingeniería ambiental.

4.3. Captación de fibra de celulosa

El empleo de la sedimentación es un proceso de tratamiento sencillo que la planta puede utilizar para optimizar la calidad del desecho y captar fibra de celulosa para mejorar su aprovechamiento.

4.3.1. Formas

La manera conveniente de captar la fibra de celulosa para la fábrica es por medio de la sedimentación. Se deben de efectuar estudios para definir el tamaño promedio de las fibras de celulosa desechadas, si su diámetro es mayor a 10^{-4} cm se toma como una sedimentación simple. La sedimentación simple se da por

la simple acción de la gravedad, si los diámetros de las fibras son menores a 10^{-6} cm se recomienda que previo al proceso de sedimentación se añada una piletta floculante para facilitar y apresurar el proceso, a causa del pequeño tamaño de las fibras. También se debe de establecer mediante estudios de laboratorio el peso específico promedio de las fibras y de la temperatura del agua que se desecha, esto para fijar tiempos promedio de sedimentación.

4.3.2. Reintroducción al proceso

Durante todo el proceso la pasta de celulosa toma varias consistencias, la consistencia depende de la cantidad de recurso hídrico que contiene. Los lodos que se sedimentan poseen una baja consistencia, es decir, es mayor la cantidad de agua. Por esta razón, se debe de reintroducir la fibra de celulosa recuperada del desecho en el tanque que se ubica previo a la rampa *sade hill*. Se justifica el lugar de reintroducción debido a que se separa la pasta del agua y se envía a la caja de distribución, sin necesidad de volver a invertir recursos en repetir el proceso completo.

4.3.3. Análisis de beneficios

Con la implementación de una planta de tratamiento se obtienen los beneficios de una producción más limpia. La captación de fibra de celulosa puede ser aprovechada de dos principales formas y dependerá de los intereses de la fábrica, si se recicla aumenta la entrada de materia prima al proceso, debido a esto es probable generar un leve aumento de la productividad del proceso. La segunda forma es comercializarla, con esto se espera recuperar los costos invertidos y generar cierto margen de ganancia. Cualquiera de los dos beneficios demuestra la optimización del proceso y de los recursos.

Los beneficios medio ambientales son los más importantes, se desecha cierta parte de las aguas de producción con carga reducida de contaminantes. El principal contaminante que se remueve es la fibra de celulosa suspendida, lo que significa que la demanda biológica de oxígeno, la demanda química de oxígeno, los sólidos en suspensión y la carga orgánica disminuyen considerablemente. Las acciones implementadas aportan a cumplir el parámetro de sólidos suspendidos del reglamento de aguas residuales planteado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, este beneficio evidencia el cumplimiento de los requisitos ambientales de la empresa y permitir su desarrollo sostenible.

El segundo beneficio medio ambiental se logra mediante los filtros verticales de arena que mitigan la extracción de recurso de los pozos. La mitigación beneficia a los pozos porque disminuye la cantidad total de extracción y permite al acuífero que alimenta los pozos mejorar su recarga. Para poder llevar a cabo esto, se deben de concentrar los esfuerzos en la planta de tratamiento debido a que será la que suministre una parte considerable de agua limpia a la fábrica.

4.3.3.1. Toneladas fabricadas

Como se muestra en el estudio de laboratorio del capítulo anterior, por cada metro cúbico que se trata se espera captar 0 19 kilogramos de fibra de celulosa en el sedimentador. Según la gerencia se producen en promedio 55 toneladas diarias, implementar el tratamiento de agua de desecho puede modificar el patrón de producción aumentándolo.

Se interpreta como un ligero cambio en la productividad que modifica y aumenta la entrada de materia prima. Otro principio de producción más limpia se cumple, utilizar los insumos y materias primas de manera óptima minimizando los residuos del proceso.

4.4. Uso de agua sin fibra de celulosa

Implementar un elemento de filtrado para el proceso de tratamiento de acuerdo con lo que fue propuesto en el capítulo anterior hará posible alimentar a las regaderas de formación sin necesidad de explotar las fuentes del recurso que la planta posee.

4.4.1. Manejo de fibra de celulosa obtenida del proceso de eliminación

El manejo que la fábrica decida emplear puede variar, como se explicó anteriormente, la fibra de celulosa sedimentada se recicla en el proceso introduciéndola en el tanque que se encuentra previo a la rampa que la separa del agua para que siga el proceso de producción. La fibra sedimentada en el tratamiento también puede ser comercializada, en este caso se recomienda construir un tanque especial de almacenamiento temporal, la extracción y mantenimiento del tanque deberá ser planificado por la planta.

4.4.2. Reemplazamiento de fuente de alimentación de regaderas

Después de reducir las fibras suspendidas en el sedimentador, el agua pasa a ser filtrada en los filtros verticales de arena. Tras ser filtrado, el recurso hídrico es capaz de reemplazar la extracción de los pozos. La salida del agua filtrada se debe de dirigir a la presa de captación, una vez el sensor de nivel de agua detecte el máximo almacenamiento este deberá de pausar el funcionamiento de los filtros verticales de arena.

4.4.3. Programa intercalado de uso de fuentes de alimentación de regaderas

Se presenta un desglose para intercalar las fuentes de agua dividido en turnos de ocho horas. Cuando los pozos están antes de la planta de tratamiento (PTAR) se interpreta que el desecho de los turnos previos alimenta al sedimentador hasta llenarlo. El sedimentador se vacía cuando los filtros de arena abastecen a la fábrica, y comienza de nuevo el proceso. En la siguiente tabla se detalla lo explicado.

Tabla XXV. Programa de empleo de fuentes de recurso hídrico

Turno/día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Uno	Pozos	PTAR	Pozos	Pozos	PTAR	PTAR
Dos	Pozos	Pozos	PTAR	Pozos	Pozos	-
Tres	PTAR	Pozos	Pozos	PTAR	Pozos	-

Fuente: elaboración propia.

Se decide intercalar las fuentes de recurso por ser una práctica totalmente nueva, lo que quedará bajo evaluación por un periodo de tiempo. Después, se puede extender el tiempo que la planta de tratamiento abastece al proceso.

4.5. Aprovechamiento de las aguas pluviales

Según el Atlas Temático de la República de Guatemala, en la región norte del departamento de Escuintla donde se ubica la fábrica se precipita un promedio de 2 500 a 3 000 milímetros por año de lluvias. Contar con un sistema capaz de captar agua pluvial es imprescindible para mejorar el aprovechamiento del recurso y mitigar la extracción.

4.5.1. Abastecimiento de aguas pluviales en temporadas de lluvia

La forma en que se abastece el sistema es mediante un techo industrial de dos aguas, el agua resbala hacia los canales y estos conducen el recurso hacia el tanque de almacenamiento especial para agua pluvial. La precipitación y el nivel de captación no pueden ser fijados por una cifra específica debido a que las lluvias varían todos los años y los promedios son diferentes.

4.5.2. Descarga del recurso hídrico como medida de mitigación de la extracción de pozos

Un adecuado sistema de captación aporta a reducir cierta porción de recurso hídrico que se necesita extraer. De esta forma, se afirma que el agua pluvial contribuye a mitigar la extracción debido a que aporta 54,72 m³ de agua limpia multiplicado por el número de veces que el tanque se renueva en la época de lluvia comprendida por el periodo de mayo a octubre. De igual manera que los filtros verticales de arena, el agua que se recolecta se transporta al tanque de captación, esta pausa la extracción de los pozos en el momento que el sensor de agua detecta la capacidad máxima del tanque de captación encargado de abastecer al proceso.

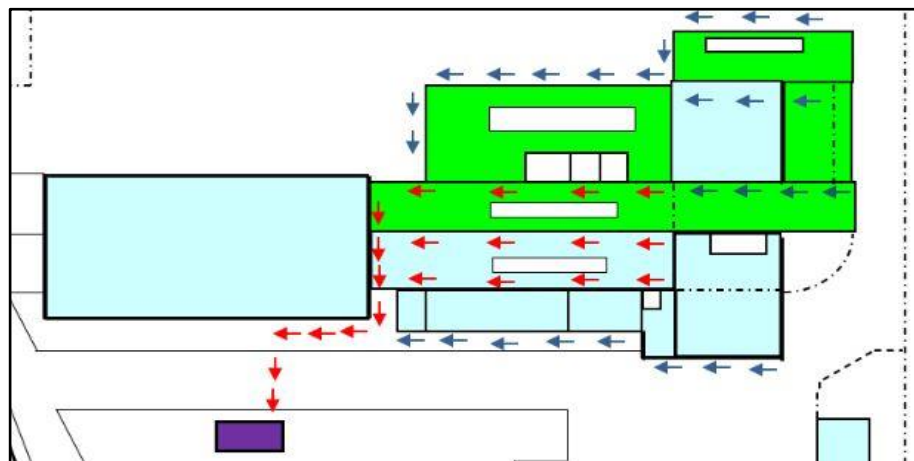
4.5.3. Formas de optimización

Actualmente no todo el sistema de captación del techo industrial es aprovechado, es decir, una parte se desecha. Es necesario para la fábrica realizar un rediseño al sistema para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico, se necesita de la contratación de una empresa especializada tomando en cuenta la inversión necesaria. En el nuevo diseño se añaden dos hileras extras

de canales de recolección. La temporada de lluvia en la región de la Costa Sur es extensa y abundante, por esta razón implementar la mejora al sistema de captación y conducción de agua pluvial aporta a mejorar el aprovechamiento.

En la siguiente imagen se presenta la nave industrial completa, las flechas indican la ruta del sistema de agua pluvial, las flechas azules simbolizan la modificación para mejorar el sistema, el cuadro morado es el tanque donde se almacena el agua que se recolecta.

Figura 26. **Mejora del sistema de captación de aguas pluviales**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Sketch Up.

Para poder mejorar el control se debe de instalar un contador de agua volumétrico en la entrada al tanque que almacena el agua pluvial. La instalación del contador volumétrico del sistema servirá para implementar y calcular los indicadores.

4.6. Cálculo de indicadores del recurso hídrico

Parte de implementar los indicadores es su cálculo mediante operaciones aritméticas sencillas que darán resultados de cifras interpretables y medibles relacionadas a las acciones tomadas para mejorar el aprovechamiento del recurso.

4.6.1. Metros cúbicos reciclados

Este indicador dependerá de la alternativa que la fábrica implemente, si decide reciclar agua de proceso con fibra de celulosa bastará con la lectura del contador instalado en la salida del sedimentador. En cambio, si se recicla recurso hídrico sin fibra de celulosa deberá de ser la lectura del contador de los filtros de arena. Independiente de cuál de las dos alternativas sea, en la temporada de lluvia se debe de sumar la lectura del contador instalado en la salida de la caja de agua pluvial porque también aporta al reciclaje de recurso hídrico.

4.6.2. Toneladas de fibra de celulosa recuperadas

Como se explicó en el capítulo anterior, en el vertedero de aforo de entrada al sedimentador está instalado un contador volumétrico. En la figura 19, se muestra el análisis que se realizó al agua de producción, lo que muestra que cada litro tiene 190 miligramos de fibra de celulosa. Realizando cálculos estequiométricos se obtiene que por la entrada de 5 263,16 metros cúbicos de agua de producción al sedimentador se capta una tonelada de fibra de celulosa aproximadamente. El cálculo se debe realizar con la lectura total del contador y dividirlo entre 5 263,16 para obtener las toneladas de fibra de celulosa recicladas.

4.6.3. Mejoramiento de metros cúbicos desechados

Mejorar el agua de proceso se interpreta por la reducción de la carga orgánica presente en el agua que se desecha, es decir, la remoción de fibra de celulosa suspendida. Como se explicó, dentro del sedimentador debe de existir un diferencial que es el agua que se desecha del proceso, por lo que su cálculo se obtiene con la resta de la lectura del contador de salida menos la lectura del contador del vertedero de entrada del sedimentador. Con esto, se obtienen los metros cúbicos tratados que se desechan.

4.6.4. Metros cúbicos utilizados en el área de regaderas

Los metros cúbicos utilizados en regaderas es la lectura del contador de salida de los filtros verticales de arena, es el volumen total reciclado que mitiga directamente la extracción de los pozos.

4.6.5. Porcentaje del ciclo cerrado del agua

El porcentaje se calcula con la cantidad desechada dividida la cantidad calculada de entrada de la tabla XVII, la cantidad desechada será la lectura del contador de salida de desecho del sedimentador y la cantidad de entrada será la misma. Actualmente, la cantidad que se desecha son 23 830,68 m³, esta cantidad se calcula del caudal promedio del análisis de aguas de producción de la figura 19, que son 13,72 litros por segundo, se convierte a metros cúbicos por hora y se multiplica por la cantidad promedio de horas de trabajo calculadas de la tabla XIV. La cantidad que entra es la que se calculó de la tabla XVII, que son 58 441,37 m³. La división del agua que se desecha entre la que entra da como resultado 0,4077, multiplicándolo a porcentaje es 40,77 %.

El porcentaje del ciclo cerrado del agua también puede ser interpretado como el nivel de reciclaje del recurso hídrico que posee la fábrica. Los metros cúbicos tratados en los filtros verticales de arena aumentan el porcentaje debido a que se reduce la cantidad de extracción, se debe de restar la lectura del contador de los filtros de arena al valor del denominador que es el valor de entrada de recurso hídrico de los pozos. La interpretación de la resta es que conforme se recicla se reduce la cantidad de extracción de los pozos, así mientras el denominador se hace más pequeño el porcentaje aumenta.

4.7. Uso del desecho de recurso hídrico con fibra de celulosa en otros tipos de industria

Identificar oportunidades es esencial cuando se proponen alternativas, se divide en tres partes que son: la propuesta de solución, la deseabilidad de este para suplir necesidades y la lógica de negocio que le da atractivo y valor.

4.7.1. Identificación de oportunidades

Se ofrece el desecho de proceso por varias razones, la primera es para evitar el vertido de alto contenido orgánico al afluyente cercano a la planta, el contenido orgánico no daña el suelo, pero en cuerpos de agua provoca ciclos que afectan su equilibrio. La segunda propuesta de solución se presenta con la intención de mitigar la explotación del acuífero que probablemente ambas industrias emplean en sus procesos por la cercanía.

Después de la industria de papel y cartón, la industria de azúcar es la segunda que consume recurso hídrico en gran cantidad. La necesidad es inminente, el recurso hídrico se acerca a convertirse en materia prima para ambos procesos. El principal valor es la fibra de celulosa, una gran cantidad de

estudios han demostrado que mejora la calidad nutricional de los suelos. Se reconoce una buena oportunidad de negocio, uno de los objetivos es recuperar cierto margen del costo de producción.

4.7.2. Recolección y transporte

Preliminar a realizar el proyecto de transportar el desecho se deben de ejecutar varios estudios y planificaciones. La mejor alternativa de infraestructura es trasladarla mediante canales de riego con capacidad de transportar un caudal de 49,32 m³/h. Un canal de riego conduce el agua a donde sea utilizado para regar los cultivos, es una obra civil de considerable complejidad, generalmente se aprovechan las curvas de nivel de los terrenos y de la geometría adecuada para generar un flujo adecuado. El ingenio y la fábrica deberán de definir la forma y la cantidad de recursos a asignar para la construcción del canal de riego que beneficiaría a ambas industrias.

4.8. Obtención y gestión de la fibra de celulosa para su aprovechamiento de otras formas

El residuo generado de la producción de cartón reciclado se caracteriza por tener una vida útil extensa y ha demostrado ser altamente reciclable. Se pueden implementar procesos internos para obtener fibra de celulosa seca.

4.8.1. Recolección para uso de riego

Se debe de construir un tanque especial para que almacene el agua de proceso desechada. La infraestructura necesaria y el sitio de construcción del tanque de almacenamiento deberá de ser evaluado por la planta. Debido a que la cantidad de residuo es alta y las áreas verdes pocas, se debe de considerar

que cierta porción se deseche. Se estima que la implementación de la alternativa incentive a mejorar las áreas verdes existentes.

4.8.2. Separación de la fibra de celulosa del recurso hídrico

La separación se debe de realizar mediante un proceso de secado. El secado *flash* es conveniente para la pasta de celulosa porque emplea el principio de secado aire-partícula. Se inicia el proceso con un generador de aire caliente de tipo directo que capta aire del exterior y lo mezcla con gases de combustión que aumentan su temperatura, las fibras de la pasta son divididas por la acción de separación ciclónica. La pasta húmeda ingresa al sistema mediante una banda hasta llegar a la columna de secado que es donde se encuentra la pasta y el flujo de aire caliente, la dirección del aire caliente ascendente hace que la pasta se mueva en sentido vertical.

El secador puede ser diseñado a la medida de la exigencia del proceso por lo que las dimensiones pueden variar, el secador no necesita de obra civil porque puede funcionar a la intemperie sin dañarse. El secador no necesita de alta mano de obra lo que se traduce a bajos costos de operación. La fábrica posee la oportunidad de negocio de convertirse en proveedor de materia prima de mulch de celulosa, con buen desempeño de los procesos se pueden obtener hasta cinco toneladas de fibra de celulosa al mes. Es posible justificar la compra del secador con un estudio de mercado que demuestre que existe un mercado que satisfacer.

5. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

5.1. Legislación ambiental del recurso hídrico

La legislación ambiental del país directa o indirectamente trata sobre directrices generales que conllevan al desarrollo de temas importantes del recurso hídrico como: distribución, manejo en la industria, prevención y manejo de residuos, procesos de evaluación y seguimiento del recurso, entre otros.

5.1.1. Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia

El recurso hídrico es un recurso natural que debe de estar sujeto a gobernanza, distribución equitativa y justa entre distintos sectores de la sociedad. Se estima que Guatemala dispone de 97 120 millones de metros cúbicos anuales, cantidad siete veces mayor a la considerada como riesgo hídrico para un país. El país dispone en abundancia del recurso, sin embargo, Guatemala es un país susceptible a variabilidades climatológicas. Por estas razones en el año 2008 el gobierno de transición prioriza el tema del recurso hídrico y crea el Gabinete Especifico del Agua por medio de un acuerdo gubernativo, uno de sus objetivos es la creación de la política nacional de agua, en ese entonces inexistente.³⁸

La Política Nacional del Agua es un documento de 41 páginas que se forma por dos capítulos principales cuyo enfoque principal es la gestión y manejo para garantizar el agua potable a la población, a pesar de que el tema de la presente

³⁸ La Hora. *La crisis del recurso hídrico en Guatemala*. <https://lahora.gt/salud/publicaciones/publico-en-general-publicaciones/wpcomvip/2020/10/14/la-crisis-del-recurso-hidrico-en-guatemala/>. Consulta: 12 de septiembre de 2020.

tesis sea sobre agua de desecho de la industria, varios principios y objetivos de la política son válidos y aplicables. El primer capítulo son generalidades sobre el recurso hídrico del país y se divide por hallazgos, objetivos, principios y orientaciones. La política cuenta con cinco objetivos específicos y el segundo es válido dado que habla sobre la contribución a la adaptación nacional al cambio climático mediante la conservación, protección y mejoramiento de las fuentes de agua.³⁹

Las variabilidades climatológicas pueden afectar la disponibilidad del recurso en los acuíferos por lo que se deben de implementar acciones para la adaptabilidad y mitigación de la extracción de recurso hídrico por medio del tratamiento de aguas de producción en las principales industrias que dependen del agua, como en CESRCA. La política contiene cinco principios, destaca el principio de sostenibilidad ambiental que propone basar las acciones en el aprovechamiento y medidas para conservar el recurso para las generaciones futuras y los ecosistemas. Para las orientaciones, la política propone que el Estado sea el que establezca las condiciones a los distintos usuarios, trabajar como sistemas autorregulables para asumir retos de aprovechamiento y reducir el impacto que se genera.

El circuito del recurso hídrico de la planta puede convertirse en un sistema autorregulable con la infraestructura y condiciones correctas. El segundo capítulo de la política es la estrategia y se divide en cuatro líneas, la segunda línea estratégica habla sobre el logro de una sustentabilidad ambiental mediante la recuperación de la calidad del agua tras su utilización en cualquier sector de la sociedad como industria, individuos y comunidades.

³⁹ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Política Nacional de producción más limpia*. Consulta: 12 de septiembre de 2020.

5.1.2. Política nacional de cambio climático

La política nacional de cambio climático fue redactada por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) con participación de varios sectores de la sociedad, la política se dio a conocer ante el Congreso por el acuerdo gubernativo 329-2009 el 9 de diciembre de 2009. Es un documento de 23 páginas, el fin último de la política es reducir los daños ante los eventos climatológicos extremos, mejorar la capacidad de adaptación ante el cambio climático y aprovechar oportunidades para reducir los gases de efecto invernadero.⁴⁰

La política se divide en justificación, fundamentos, objetivos, áreas de incidencia, principios rectores y su fundamento legal, como se mencionó, tratar y reciclar el agua de desecho en la fábrica significa accionar contra posibles cambios en el clima que alteren las recargas naturales de los acuíferos que se utilizan para extraer el recurso. En las áreas de incidencia, parte de desarrollo de capacidades nacionales numeral 1 inciso b, se habla sobre las prácticas productivas apropiadas e insta que los diferentes sectores productivos del país apliquen tecnologías apropiadas, limpias y amigables con el medio ambiente tomando en cuenta las características según la región del país en que se encuentre.

En la reducción de vulnerabilidad y mejoramiento de adaptación de áreas de incidencia, se habla sobre la gestión integrada de los recursos hídricos enfocada en el mejoramiento de la calidad del agua tras su aprovechamiento en cualquiera de los siguientes sectores: consumo humano, agropecuario, industrial, generación de energía y protección ecológica. En los principios rectores inciso k

⁴⁰ MARN. *Acuerdo gubernativo 329-2009. Política Nacional de Cambio Climático*. Consulta: 12 de septiembre de 2020.

se enfatiza en la adopción integrada de los recursos hídricos y priorizar la protección de los cuerpos de agua.

5.1.3. Política nacional de producción más limpia

La política nacional de producción más limpia fue redactada principalmente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, también se conoce por acuerdo gubernativo 258-2010.⁴¹ La importancia de la política radica en ser un instrumento ambiental de política ambiental que se enfoca en la prevención de la generación de residuos que se centra en la modificación de patrones de producción para reducir el deterioro ambiental y asegurar sustentabilidad. Es un documento que contiene visión, misión, propósitos, objetivos, principios, identificación de actores, estrategias propuestas de producción más limpia, seguimiento y mejora continua.

La política enfatiza que los problemas ambientales pueden ser prevenidos, debido a que no solo deterioran el medio ambiente, también agotan los recursos y representan pérdida de ingresos para los distintos sectores. Implementar acciones que mejoren el aprovechamiento del recurso hídrico en la fábrica también beneficia el aprovechamiento de la materia prima en la fábrica, esto se refiere al principio de eficiencia de la política. Desechar agua sin residuos de la fábrica igualmente se relaciona al principio de prevención, el principio habla sobre evitar generar impactos negativos hacia el medio ambiente por la generación de productos y prestación de servicios.

⁴¹ MARN. *Acuerdo gubernativo 258-2010. Política Nacional de Producción Más Limpia*. Consulta: 12 de septiembre de 2020.

La propuesta del presente trabajo destaca con el primer objetivo específico que es la reducción de contaminantes y el cumplimiento de la regulación ambiental ya que actualmente no se cumple con ciertos parámetros.

5.1.4. Constitución Política de la República de Guatemala

La Constitución Política de la República de Guatemala es la ley suprema de la República de Guatemala y fue promulgada en el año de 1985. La constitución no es una ley que rige el recurso hídrico del país, pero si dicta horizontes generales sobre su importancia. El artículo 97 se titula como Medio ambiente y equilibrio ecológico, el artículo habla sobre la importancia que tiene el Estado, las municipalidades y habitantes del país de contribuir al desarrollo social, tecnológico y económico con especial énfasis en la prevención de la contaminación del medio ambiente para mantener el equilibrio ecológico. Establece que se crearán las leyes necesarias para asegurar que la utilización y aprovechamiento de la flora, fauna, tierra y del recurso hídrico sea racional para evitar la depredación.⁴²

El artículo 121 se titula Bienes del estado y se forma por ocho incisos. El inciso b dice que las aguas de zona marítima de las costas del territorio, ríos navegables, lagos, vertientes y arroyos que sirven como delimitación del territorio nacional de la República, las caídas y nacimientos de aprovechamiento hidroeléctrico, aguas subterráneas y otras que sean regulables por la ley, son bienes del estado.⁴³

Más adelante, el artículo 127 también habla sobre la importancia del recurso hídrico, se titula Régimen de aguas, establece que todas las aguas son

⁴² Congreso de Guatemala. *Constitución Política de la República de Guatemala*. Consulta: 14 de septiembre de 2020.

⁴³ Ibid.

inalienables e imprescriptibles, el aprovechamiento, goce y uso se regirá por una ley específica, dependiendo del interés social.⁴⁴

La constitución del país no especifica normas sobre la gestión general del recurso hídrico, pero si resalta la importancia del recurso y habla sobre leyes específicas para el manejo de cada situación, en el año de su creación no existían dichas leyes y muchas de ellas se desarrollan en la presente parte de legislación ambiental.

5.1.5. Reglamento de descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, acuerdo gubernativo 236-2006

El acuerdo gubernativo 236-2006 fue creado para hacer cumplir el artículo 97 de la constitución del país, la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente y para ser aplicado como un instrumento normativo moderno. Es un reglamento que fue aprobado en el año 2006 que contiene 76 artículos, los primeros dos capítulos habla sobre generalidades, campo de aplicación y definiciones para mejorar la comprensión del lector. El tercer capítulo establece generalidades sobre el estudio técnico que se debe de realizar antes de someterse a la aplicación del reglamento, su contenido, instrumentos de medición, vigencia, evaluación, entre otros. Después, el reglamento informa sobre el estudio que se debe presentar características de lodos, aguas residuales generadas y afluente receptor.⁴⁵

⁴⁴ Congreso de Guatemala. *Constitución Política de la República de Guatemala*. Consulta: 14 de septiembre de 2020.

⁴⁵ Presidencia de la República. *Acuerdo gubernativo 236-2006*. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Congreso de Guatemala. *Constitución Política de la República de Guatemala*. Consulta: 14 de septiembre de 2020.

Del capítulo cinco al capítulo nueve se habla sobre los parámetros, límites máximos permisibles de las aguas residuales y parámetros para los lodos, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno permitidas. El capítulo nueve se titula seguimiento y evaluación, habla sobre las generalidades más importantes a considerar para llevar a cabo la toma de muestras que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá de realizar. El capítulo diez establece toda prohibición y sanción sobre la descarga de lodos en aguas residuales.

El reglamento es una herramienta bastante útil, su objetivo es proteger, mejorar la gestión y el manejo de descarga de lodos en cuerpos naturales receptores o alcantarillado público. Su aplicación aporta a realizar un diagnóstico situacional, especifica los límites máximos permisibles y ofrece alternativas del manejo de los lodos.

5.1.6. Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental, acuerdo gubernativo 23-2003

Este reglamento funciona y existe para hacer cumplir el artículo 183 inciso e) de la constitución de la república y a lo establecido de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales mediante la Dirección General de Gestión Ambiental se encargan de velar por su cumplimiento. El reglamento norma los procesos que conllevan la evaluación, control y seguimiento ambiental de todo proyecto, industria, obra o actividad, que por su tipo de actividad se considera que deteriora los recursos naturales, al ambiente o modifica las condiciones del paisaje.⁴⁶

⁴⁶ MARN. *Acuerdo gubernativo 23-2003. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.* Congreso de Guatemala. *Constitución Política de la República de Guatemala.* Consulta: 18 de septiembre de 2020.

El presente reglamento se aplica para empresas e industrias nuevas o ya existentes, deberán de ser sometidas a un proceso de evaluación, control y seguimiento por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

5.1.7. Acuerdo ministerial 239-2005, Ministerio de Ambiente y de Recursos Naturales

El acuerdo ministerial 239-2005 acuerda la creación de unidades técnicas específicas para velar por el correcto cumplimiento de las normas ambientales vigentes en general, incluyendo las que regulan el recurso hídrico por medio del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Entre las unidades mencionadas se encuentran, la unidad de recursos hídricos, unidad de cuencas y unidad de calidad ambiental, las funciones más importantes aplicables al presente trabajo de graduación son la concesión de licencias para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores, concesión de licencias para el reúso de aguas residuales, la inscripción de aprovechamiento del recurso hídrico y cualquier cambio o actualización que se realice.⁴⁷

5.1.8. Política nacional de producción más limpia, Ministerio de Ambiente y de Recursos Naturales

La política nacional de producción más limpia es un trabajo de 50 páginas que fue formulado y promovido por el MARN junto a varios sectores de la sociedad privados y públicos incluyendo el Centro Guatemalteco de Producción más Limpia. La política fue dada a conocer mediante el acuerdo gubernativo 258-2010, la política presenta generalidades al principio como visión, misión, propósito y objetivos. La estructuración y lógica de la política comienza con la

⁴⁷ MARN. *Acuerdo gubernativo 239-2005. Reglamento Orgánico Interno del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales*. Consulta: 18 de septiembre de 2020.

identificación de los actores a participar en la implementación de las actividades propuestas, después, se encuentra la sección de estrategias que incluye cinco principales estrategias, cada una contiene una breve explicación y las principales actividades que se deben de realizar con la participación de todos los actores para la implementación de la política.⁴⁸

Para la sostenibilidad de la política se designa al MARN como ente encargado del aseguramiento de la coordinación y verificación de la política, para finalizar, se aclara que el comité organizador de la Producción Más Limpia deberá de formular un sistema de seguimiento y evaluación. La política actualmente cursa la fase de implementación, es esencial la participación de los actores y del compromiso de estos para llevarla a cabo de manera correcta, su objetivo principal es modificar los patrones de producción para generar menos desechos y no tener que invertir en la gestión y manejo de los desechos al final del proceso.

5.1.9. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, decreto 68-86

La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se remonta al año de 1986 con su creación como instrumento legal especial y la creación de la entidad específica para el logro de los propósitos, la Comisión Especial del Medio Ambiente. La primera parte designa funciones esenciales y generales a entidades como el gobierno y la Comisión Especial del Medio Ambiente. El principal objetivo de la ley es velar por el equilibrio ecológico y calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país por medio de acciones concretas que eviten la contaminación del sistema atmosférico, hídrico, lítico, edáfico y de sistemas bióticos.⁴⁹

⁴⁸ MARN. Política Nacional de Producción más limpia. Consulta: 24 de septiembre de 2020.

⁴⁹ Congreso de la República. *Decreto 68-86. Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. Consulta: 24 de septiembre de 2020.

Del sistema hídrico se establece que el gobierno velará por el mantenimiento del agua para consumo humano y de otras actividades, mediante disposiciones y reglamentos. Entre las principales acciones nombradas de la conservación del sistema hídrico nacional están: evaluar la calidad de las aguas y sus formas de aprovechamiento, controlar que las actividades de aprovechamiento no causen deterioro ambiental, investigar cualquier fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación, entre otras. La ley finaliza con un capítulo único de infracciones y sanciones para quienes cometiesen actos que van en contra de la ley.

5.1.10. Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, acuerdo gubernativo 63-2007

La Política Nacional de Conservación, Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente es un trabajo de 61 páginas, comienza con consideraciones generales, visión, propósitos, objetivos y principios. El cuerpo de la política se divide por dos líneas principales que son: uso y manejo del ambiente y sus recursos naturales, y desarrollo de mecanismos e instrumentos ambientales para la producción y gestión de la calidad ambiental. De cada línea se derivan programas, de los programas se originan estrategias para el correcto cumplimiento de los programas. El siguiente capítulo es sobre el Sistema Nacional de Gestión Ambiental, es la entidad encargada de coordinar la aplicación correcta de la política, contiene generalidades como objetivos, ejes de acción, entre otros.⁵⁰

La política finaliza con un capítulo de seguimiento, monitoreo y evaluación, la política es un instrumento de implementación que busca encaminar a la sociedad guatemalteca con sus principales sectores económicos a mejorar la

⁵⁰ MARN. *Acuerdo gubernativo 63-2007. Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente*. Consulta: 24 de septiembre de 2020.

competitividad guardando y valorizando los recursos naturales para mejorar el desarrollo sostenible del país. En la primera línea de uso y manejo del medio ambiente se encuentra la estrategia de manejo integral del recurso hídrico que establece que se crearán estrategias para el desarrollo integral de los recursos hídricos, valoraciones, indicadores de calidad del agua y normas que regulen el aprovechamiento del agua.

5.2. Estudio de impacto ambiental

Un estudio de impacto ambiental es esencial debido a que se considera un instrumento para la revisión detallada de la actividad sometida bajo estudio, también describe el impacto ambiental para poder tomar acción sobre este al aceptarlo, rechazarlo o mitigarlo.

5.2.1. Estructuración del estudio de impacto ambiental por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

Una estructura básica de un estudio de impacto ambiental se debe de dar acorde a lo dictado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, como se muestra a continuación.

- Nombre de la actividad
- Dirección del lugar de estudio
- Actividades colindantes
- Descripción de las operaciones
- Tipo de impacto ambiental
- Áreas específicas de generación de impacto ambiental
- Potencial de impacto ambiental

5.2.1.1. Nombre de la actividad sometida al proceso de evaluación

Fabricación de papeles y cartones con materia prima reciclada es la actividad que se somete a evaluación.

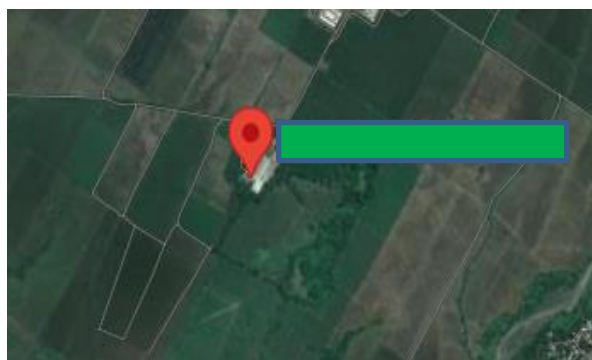
5.2.1.2. Dirección del lugar de estudio

La planta se ubica en la Finca Los Campos Km. 81 Litoral Pacífico, en el departamento de Escuintla, Guatemala.

5.2.1.3. Actividades colindantes

En los alrededores de los cuatro puntos cardinales de la fábrica se cosecha caña de azúcar por el ingenio Concepción. A continuación, se adjunta una toma satelital donde se aprecia claramente la única presencia de la fabricación de papeles y cartones reciclados por CESRCA, de lo contrario, los campos rectangulares son utilizados para la agroindustria.

Figura 27. **Toma satelital de alrededores a la planta**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth.

5.2.1.4. Descripción de las operaciones

Se fabrican papeles y cartones de distintos calibres, la materia prima que se utiliza para su fabricación es totalmente reciclada, para transformar la materia prima reciclada a cartón se necesitan de varios procesos mecánicos explicados en el segundo capítulo del presente trabajo de graduación. Según cálculos aproximados, se estima que la fábrica extrae un total de 58 441 m³ de recurso hídrico mensualmente para el proceso de fabricación de cartón reciclado, toda el agua que se extrae sigue un circuito del cual una porción se recicla, alrededor de un 40,77 %, según cálculos realizados.

La operación de la fábrica sigue tres grandes pasos, el área de molienda de la materia prima, el área de formación de los cartones y el área de secado. En el área de formación es donde se emplea la mayor parte de agua que se extrae, el sistema debe de tener una salida de desecho de recurso hídrico para mantener el balance del sistema para el que fue diseñado en un principio. El recurso hídrico que se desecha contiene fibra de celulosa y se incorpora a un afluyente en el exterior de la fábrica.

5.2.1.5. Tipo de impacto ambiental

Según el listado taxativo de proyectos, obras, industrias o actividades, acuerdo ministerial No. 199-2016 del MARN para la valoración del impacto ambiental en función de las operaciones, la operación de la fábrica se ubica como: diseño, construcción y operación de empresas relacionadas con la eliminación de la tinta y fabricación de pasta de desechos de papel, se ubica en el puesto 157 de la lista, división 17 y clase de fabricación de papel y productos de papel. La lista esta dividida por cuatro columnas donde se clasifica el tipo de impacto ambiental, de derecha a izquierda se ubican las letras C, B2, B1 y A que

significan: de bajo impacto ambiental potencial, de moderado a bajo impacto ambiental potencial, de alto a moderado impacto ambiental potencial y de alto impacto ambiental potencial o riesgo ambiental.⁵¹

La fabricación de pasta de desechos de papel y eliminación de tinta es clasificada por el MARN como clasificación B1 o de alto a moderado impacto ambiental potencial. A continuación, se presenta la clasificación de la operación de CESRCA dentro del listado.

Figura 28. Tipo de impacto ambiental de CESRCA

CATEGORIAS DE PROYECTOS, OBRAS, INDUSTRIAS O ACTIVIDADES			A	B1	B2	C
No	DESCRIPCIÓN	CLASE	De Alto Impacto Ambiental Potencial o Riesgo Ambiental	De Alto a Moderado Impacto Ambiental Potencial	De Moderado a Bajo Impacto Ambiental Potencial	De Bajo Impacto Ambiental Potencial
DIVISIÓN 17		CLASE	FABRICACIÓN DE PAPEL Y DE PRODUCTOS DE PAPEL			
GRUPO 1701, 1702, 1709						
155	Diseño, construcción y operación de empresas relacionadas con la fabricación de pasta de madera blanqueada, semiblanqueada o sin blanquear mediante procesos mecánicos, químicos (con o sin disolución) o semiquímicos.	1701	Todas			
156	Diseño, construcción y operación de empresas relacionadas con la fabricación de pasta de borra de algodón.	1701		Todas		
157	Diseño, construcción y operación de empresas relacionadas con la eliminación de la tinta y fabricación de pasta de desechos de papel.	1701		Todas		

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Formulario de impacto ambiental*. p. 3.

5.2.1.6. Áreas específicas de generación de impacto ambiental

La primera área específica donde se genera el impacto ambiental como se ha explicado anteriormente, es el área donde se ubica la máquina formadora de

⁵¹ MARN. Acuerdo Ministerial 199-2016. *Reglamento de Evaluación, Control y Seguimiento Ambiental*. Consulta: 15 de octubre de 2021.

cartones, porque se desechan 49,32 m³ por hora con una carga de sólidos suspendidos de 0,19 kilogramos por m³, actualmente no se trata el agua antes de ser desechado. El segundo impacto se identifica en la extracción de recurso hídrico de los pozos.

5.2.1.7. Potencial de impacto ambiental

Para saber el potencial que generan las actividades de fabricación de cartones es importante identificar cada tipo de impacto ambiental. El impacto de desechos de agua de proceso sin un tratamiento previo se clasifica como un impacto ambiental negativo, ya que se clasifica en función del efecto resultante en el ambiente. El segundo impacto que causa la extracción de recurso hídrico se clasifica como un impacto continuo que se genera por el permanente lavado de piezas de la máquina formadora. El potencial de desechos de agua de proceso con fibra de celulosa es bastante alto para el cuerpo receptor porque aumenta las demandas de oxígeno en el cuerpo receptor, esto genera una reducción de la calidad del agua y alteración en sus ciclos.

El potencial del segundo impacto es incurrir en una sobreexplotación de los pozos, a pesar de que la extracción sea menor o igual al aforo de capacidad de los pozos, se debe de tomar en cuenta que existen variabilidades como el cambio climático que pueden afectar el nivel de recarga de los acuíferos.

5.2.1.7.1. Cuantificación

El impacto de desechos de agua con fibra de celulosa se cuantifica al multiplicar las horas promedio de trabajo calculadas en la tabla XIV con el aforo de desecho medido y la carga de fibra de celulosa por m³, se calcula que se desechan 4 521,41 kilogramos de fibra de celulosa mensualmente. La cuantificación del

impacto que genera extraer recurso hídrico da como resultado 58 441 m³ mensuales, dato de la tabla XVII.

5.2.2. Medidas de mitigación

Con lo descrito en el presente capítulo, se plantean acciones que ya fueron explicadas en capítulos anteriores, cuyo único fin es mitigar el impacto ambiental generado por la operación de la fábrica.

5.2.2.1. Reducción de extracción del recurso hídrico de fuentes naturales

Con la implementación de un tratamiento que incluya un proceso de filtrado mediante filtros verticales de arena como se sugirió, el objetivo es proveer de recurso a las regaderas de la máquina formadora, la cual reduce la cantidad total de extracción de los pozos. Un adecuado diseño que satisfaga el ritmo de producción puede abastecer de recurso hídrico limpio. No se puede especificar la cantidad a mitigar hasta que se realicen estudios y diseños de campo más específicos por entidades especializadas en el ramo.

5.2.2.2. Prevención de descarga de aguas con material orgánico a afluyente

El proceso de tratamiento propuesto remueve el contenido orgánico suspendido y evita su desecho. El empleo del sedimentador en el proceso asegura la extracción de fibra de celulosa en función de las dimensiones y del número de sedimentadores que se implementen. Si es necesario para acelerar el proceso y mejorar la captación en el sedimentador, se puede añadir al proceso una pileta floculante que se encuentre antes del sedimentador para aumentar la

cantidad removida de contenido orgánico gracias al empleo de químicos floculantes. Esta parte del proceso de tratamiento reduce la carga orgánica presente en el agua y evita su desecho.

6. SEGUIMIENTO Y MEJORA CONTINUA

6.1. Producción más limpia como estrategia

Ante un mercado competitivo que cada día considera más la comercialización de productos amigables con el medio ambiente, es importante centralizar esfuerzos para no generar residuos y evitar invertir recursos en su manejo, como lo establece la política de producción más limpia. Implementar una producción más limpia puede conducir a la empresa a mejorar su imagen, a optimizar procesos y recursos, y aportar para cumplir la normativa ambiental vigente en el país.

6.1.1. Análisis FODA

El análisis FODA es una herramienta que se utiliza en la fase de planeación estratégica la cual permite analizar y evaluar proyectos de empresas a cualquier nivel. Es preciso conocer la situación de la empresa para poder aportar recomendaciones acordes que toman en cuenta factores internos y externos. Para las fortalezas, el liderazgo de la empresa genera ventas sólidas a nivel nacional y regional.

La industria de cartón es amplia y existen varios diseños de proceso, la planta produce a partir de materia prima reciclada, esto se considera como una fortaleza debido a que su impacto ambiental negativo es menor. La administración está comprometida a mejorar la relación con el medio ambiente, por esta razón se justifica la propuesta de implementar un diseño de tratamiento para el agua de producción. Otra fortaleza es la localización de la fábrica, su

localización ofrece recurso hídrico en grandes cantidades a bajo precio y facilita la logística de exportación por su cercanía con Puerto Quetzal y con la frontera de México, Honduras y el Salvador, que mejora tiempos de entrega y reduce los costos.

Como oportunidad, las cadenas de suministro han aumentado la exigencia de comercializar productos sustentables, en este sentido, un cartón fabricado con productos reciclados es más competitivo que un cartón que fue hecho con madera virgen y procesos químicos. Actualmente, los esfuerzos por sobrellevar la crisis medioambiental actual han logrado que el patrón de compra de ciertos consumidores cambie, lo que se toma como una segunda oportunidad. En la región centroamericana no existe competencia directa, esto se aprovecha con la continuidad de atención de los clientes habituales sin la necesidad de recurrir a guerras de precios.

En el mercado la demanda de volúmenes de compra pequeños es alta, CESRCA puede atenderlas sin reducir sus márgenes de ganancia. Para las debilidades, la planta se encuentra al límite de su capacidad espacial, en consecuencia, aumenta el grado de dificultad de proyectos que se busquen emprender en el futuro, por ejemplo, la propuesta de tratamiento de agua del presente trabajo de graduación. La capacidad instalada de la fábrica únicamente produce cartón de calibres anchos, no delgados, lo que se interpreta como una debilidad ante la competencia. La fábrica no posee una planta de tratamiento, esto genera que el diseño del proceso no recicle una cantidad considerable de agua y genere un impacto ambiental negativo mayor.

Como se ha explicado, la fábrica depende del suministro del recurso, las variabilidades climatológicas originadas por el cambio climático amenazan al abastecimiento en cantidad y calidad requeridas. La creciente globalización de

tecnologías portátiles y medios informáticos repercuten en el consumo y compra de papel periódico, en los últimos años se ha reportado una mayor dificultad para poder obtenerlas, lo que amenaza a desabastecer de pacas de tipo OCC al proceso. Actualmente no se cumple con el parámetro de sólidos suspendidos del reglamento de aguas residuales, si no se cumple la amenaza es obtener sanciones según lo considere el MARN.

El proceso de secado debe ser alimentado con vapor para 66 cilindros, para conseguirlo se debe de procesar combustible búnker en calderas de vapor, el combustible está sujeto a fluctuaciones de precios de mercado, existen periodos en los cuales el precio aumenta y el margen de ganancia para la fábrica decrece. A continuación, se presenta la matriz con los hallazgos mencionados.

Figura 29. **Matriz FODA**

MATRIZ FODA	<p style="text-align: center;">Fortalezas</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Empresa líder en Centroamérica. 2. Proceso diseñado para producir a partir de material reciclado. 3. Compromiso de la administración con el medio ambiente. 4. Localización estratégica. 	<p style="text-align: center;">Debilidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Poca capacidad espacial de planta. 2. Incapacidad para producir cartones reciclados de calibres delgados. 3. Inexistencia de planta de tratamiento.
<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mercado demanda más productos amigables con el medio ambiente. 2. Cambio en tendencia de compra de consumidores. 3. No existe competencia directa en Centroamérica. 4. Cantidades de compra pequeñas en el mercado no atendidas. 	<p style="text-align: center;">Estrategias (FO)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumentar las ventas en mercados donde exista demanda insatisfecha con inversiones realizadas enfocadas a mejorar la capacidad instalada de la fábrica. 	<p style="text-align: center;">Estrategias (DO)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Certificar la fábrica en la rama de medio ambiente sin aumentar la oferta de producción.

Continuación de la figura 29.

Amenazas	Estrategias (FA)	Estrategias (DA)
1. Variabilidades climatológicas. 2. Desabastecimiento de pacas OCC. 3. Legislación ambiental. 4. Alza de precio de combustible búnker.	1. Implementar una planta para tratar el agua que se desecha del proceso.	1. Evitar el crecimiento de la oferta de producción.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 365.

Como parte de la utilización del análisis FODA, se deben de proponer estrategias cruzadas que permitan reducir o maximizar los distintos hallazgos según su clasificación, ordenados de la siguiente manera: debilidades y amenazas, debilidades y oportunidades, fortalezas y amenazas, y fortalezas y oportunidades. La estrategia para las debilidades y amenazas será evitar nuevos proyectos o mercados que aumenten la demanda de producción por el desabastecimiento de pacas OCC, el alza de precios de búnker y las variabilidades climatológicas que comprometen el abastecimiento de recurso hídrico, así mismo, por la razón que no existe espacio físico en planta y tampoco una planta de tratamiento.

La estrategia que maximiza las oportunidades y mitiga las debilidades es obtener certificados ambientales que aseguren la sustentabilidad del producto y la calidad del proceso, paralelo a continuar atendiendo los clientes habituales sin buscar aumentar la capacidad de producción hasta que no se cuente con proyectos aprobados de inversión que mejoren las condiciones en general.

La estrategia para maximizar las fortalezas debe de ser implementar una planta de tratamiento para tratar el agua que se desecha, esto sigue la lógica de mejorar la relación del diseño de proceso que es amigable con el medio ambiente,

que a su vez mitiga la amenaza de recibir una sanción por legislación ambiental, evitar desperdiciar materia prima por el desabastecimiento de pacas OCC y de recurso hídrico por las variabilidades climatológicas como fue explicado en los hallazgos.

Para maximizar las fortalezas y las oportunidades sería oportuno buscar nuevos mercados donde exista demanda que satisfacer para aprovechar los cambios de mercado que favorecen a los productos amigables con el medio ambiente y la fortaleza del proceso que es emplear materia prima reciclada. Para lograr esto se debe de contemplar una inversión para comprar nueva maquinaria conocida como mesa plana que es un proceso más reciente, permite producir mayor variedad de calibres de cartón y es más eficiente para atender el aumento de demanda que el escenario plantea.

6.1.2. Aprovechamiento del recurso hídrico

El aprovechamiento actual del recurso hídrico en la empresa puede ser mejorado mediante el tratamiento del agua residual que se genera, su implementación se alinea a los principios de la producción más limpia. El final del proceso es ligeramente modificado logrando una optimización desde el punto de vista del recurso hídrico. A comparación de otros procesos es imposible evitar generar residuo de agua en la formación de cartón reciclado, pero es posible mitigar los distintos impactos que han sido explicados.

6.1.2.1. Proyección del reciclaje de recurso hídrico

Siguiendo el programa intercalado que se planteó en el tercer capítulo sobre abastecimiento del recurso hídrico para la fábrica, se estima que la producción pueda ser abastecida de agua limpia durante un turno diario que tiene una

duración aproximada de ocho horas. Si la planta lo considera necesario mediante un dominio del proceso de tratamiento, se puede modificar el tiempo que se recicla el agua hasta abarcar un periodo más extenso para conseguir un mayor indicador de porcentaje de ciclo cerrado del agua.

6.2. Criterios para la medición

Medir es parte crucial del seguimiento para la alta dirección de la fábrica y otras partes interesadas, es importante accionar en función de las métricas que en capítulos anteriores se explicaron y que se presentan en el presente inciso, esto para poder mantener un control adecuado de lo implementado. Los siguientes valores numéricos de cada indicador servirán como criterios para evaluar el desempeño de la planta de tratamiento implementada.

6.2.1. Porcentaje del ciclo cerrado del agua

Este indicador es clave para saber qué tan cerrado está el ciclo del agua con un vertido mínimo de agua de producción. Como se explicó en capítulos anteriores, este indicador se calcula con las lecturas de la cantidad de agua que se recicla y con la cantidad que se extrae de los pozos. La consideración para el recurso hídrico que se extrae es que puede ser variable, debido a que la demanda de los clientes puede cambiar. La segunda consideración para las lecturas de las cantidades recicladas se mantiene constante, siguiendo la programación sugerida en el cuarto capítulo.

Los criterios numéricos que se presentan a continuación son mínimos, puede que, si se desea reciclar más recurso hídrico y captar más fibra de celulosa sea necesario la aplicación de floculantes antes de la sedimentación en el sedimentador para acelerar el proceso, como se explicó en el tercer capítulo.

6.2.2. Metros cúbicos reciclados

Se plantea que idealmente se pueda reciclar toda la cantidad de recurso hídrico que reciba la planta de tratamiento siguiendo el criterio del programa intercalado del cuarto capítulo. Con un caudal promedio de entrada de 49,32 m³ por hora se puede calcular la cantidad reciclada multiplicándolo por las ocho horas de cada turno efectivo de operación de la planta de tratamiento, con esto se pueden reciclar hasta 394 m³ diarios.

6.2.3. Toneladas de fibra de celulosa recuperadas

Basándose en la misma programación, dividiendo la cantidad reciclada con los 5 263,16 m³ necesarios para captar una tonelada de fibra de celulosa, se obtiene que se pueden captar hasta 74 kilogramos diarios de fibra de celulosa.

6.3. Asignación de recursos apropiados

Cada alternativa de limpieza planteada en el tercer capítulo es distinta y exige de diferentes recursos, por lo que es importante prever lo que cada una pueda necesitar.

6.3.1. Evaluación de necesidades

El sistema de tratamiento estará formado dependiendo si se recicla recurso hídrico con o sin fibra de celulosa, por lo que cada componente del sistema puede requerir de distintas necesidades. El escenario de reciclar agua con fibra de celulosa, el sedimentador sería lo único que requiera de recursos, se evacúan y limpian los sedimentos que se adhieren al fondo del sedimentador como un mantenimiento preventivo, el tiempo se establece según lo observado al

comenzar su funcionamiento. De igual manera pudiera necesitar engrasado de válvulas de tuberías, aplicación de pinturas anticorrosivas, entre otros.

Si el sistema de tratamiento es para proveer agua sin fibra de celulosa son mayores las necesidades, para el espacio de floculado se necesitaría de la compra periódica y constante de la sustancia floculante y de mantenimiento mecánico para la hélice giratoria, como se detalló en capítulos anteriores. El sedimentador, necesitaría del mismo mantenimiento periódico de remoción de residuos adheridos. Los filtros de arena son componentes que trabajan bajo grandes presiones, por lo que se considera que se necesite reemplazo cuando cumplan su vida útil piezas como: empaques y juntas de goma, manómetros, válvulas de retrolavado, tubos de observación, entre otros. Se toma en cuenta el gasto fijo de energía eléctrica para el funcionamiento de todos los componentes del sistema de tratamiento.

6.3.2. Criterios para la asignación

Los recursos se asignan bajo el criterio de necesidades de mantenimiento de la maquinaria de la planta de tratamiento. Se ha demostrado que una suficiente asignación de presupuesto para el mantenimiento de maquinaria en general dentro de las fábricas contribuye a aumentar rentabilidad, ingresos y reducir costos, esto con un aumento de la productividad. Se debe de recordar que la planta de tratamiento pasa a ser fuente de abastecimiento del principal material indirecto que más importancia tiene para la producción de cartón reciclado.

Los recursos asignados se justifican como gastos de mantenimiento, estos son la inversión necesaria para cubrir el deterioro de la maquinaria que asegura el tratamiento.

6.3.3. Rendimiento esperado

Con la inversión y asignación de recursos destinados al funcionamiento de la planta de tratamiento, se espera que esta pueda proveer de recurso hídrico a la fábrica de la misma forma que los pozos. Se espera un retorno de funcionamiento sin interrupciones, continuo, productivo y constante, así como también una reducción de costos por mantenimientos o reemplazamientos correctivos que suelen ser más costosos.

6.4. Capacitación sobre el mejoramiento del aprovechamiento del recurso hídrico en una fábrica de papel reciclado

Una capacitación se define como el medio por el cual los colaboradores o empleados de cierta área o de toda la empresa adquieren habilidades, aptitudes y conocimientos en un corto plazo. Una capacitación se divide en las siguientes partes que siguen un orden lógico: detección de necesidades, diseño de la capacitación, ejecución y evaluación. Para un aseguramiento de resultados es necesario capacitar a los empleados del departamento de producción sobre el sistema de tratamiento a implementar para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico en la planta.

Como detección de necesidades, se mencionan las siguientes: los empleados necesitan conocer sobre tratamiento de agua para entender las razones que conllevan implementar un sistema de tratamiento de producción, los empleados necesitan comprender el funcionamiento general de la planta de tratamiento y de sus componentes para poder intervenir cada vez que sea necesario, según se designen tareas para la operación de la planta de tratamiento. Un correcto diseño de capacitación incluye objetivos de la

capacitación, que se dividen en finales y específicos, deben de ser medibles y alcanzables para poder ser evaluados una vez finalizada la capacitación.

Los objetivos finales se definen como la conducta que se espera observar en los trabajadores una vez finalizada la capacitación, se menciona el siguiente objetivo: mantener un porcentaje de ciclo cerrado del recurso hídrico por encima del 49,44 % por medio de la atención y trabajo de los colaboradores asignados al área de tratamiento de aguas de producción. Un objetivo específico de capacitación también se conoce como objetivo operacional, este objetivo se logra conforme el avance de la capacitación y es evaluable. Como objetivo específico de capacitación se menciona: reciclar como mínimo lo establecido en el cronograma del capítulo cuarto por medio de la adaptación gradual de los empleados.

La parte de ejecutar la capacitación se divide de varias etapas de igual manera, la capacitación primeramente debe ser comunicada a los colaboradores y proceder a su ejecución. Debe de adecuarse a la necesidad de la empresa que es mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico, se busca y valora el contenido de la capacitación, el contenido debe de ser síntesis y directrices generales sobre el funcionamiento del sedimentador, los filtros de arena, mantenimientos preventivos y correctivos, y sobre el diseño general del sistema.

Los formadores son las personas encargadas de impartir las capacitaciones, la calidad y su preparación debe de ser alta y de preferencia deben de ser las mismas personas que dirigieron la construcción de la planta de tratamiento o profesionales con especialidad que posean conocimientos profundos como ingenieros ambientales o ingenieros civiles con maestría en plantas de tratamiento. Para finalizar la ejecución se debe de elegir el grupo de trabajadores que van a recibir las capacitaciones, debe de ser un equipo formado

por no más de cinco personas, de preferencia con un encargado, cada trabajador debe cumplir diferentes tareas.

La evaluación del plan de capacitación es el último paso, este busca emitir opiniones sobre los esfuerzos invertidos en la capacitación dada, en base a los objetivos planteados al principio se pueden evaluar los resultados y evaluar desde todas las perspectivas si el plan de capacitación fue eficaz.

6.4.1. Delimitación del personal objetivo

Para delimitar el personal objetivo, se debe de elegir un equipo en cada turno que serán los encargados de que la planta de tratamiento funcione con normalidad, de preferencia en cada equipo debe de elegirse un líder que dirija a los demás trabajadores. Aproximadamente un máximo de 20 operarios serán los que reciban la capacitación por los tres turnos.

6.4.2. Contenido y temas

Se debe de presentar a los colaboradores generalidades de la fibra de celulosa, esto para facilitar la comprensión sobre los procesos físicos que suceden en la planta de tratamiento, características físicas de la fibra de celulosa y detalles de su origen orgánico para comprender el impacto negativo que genera cuando encuentra cuerpos de agua naturales. Además, explicar los procesos físicos que suceden dentro del sedimentador y de los filtros de arena que son: sedimentación por gravedad y la filtración. Para los filtros de arena verticales se debe de explicar generalidades como principios de operación, componentes del sistema y accesorios, programa de mantenimiento recomendado y localización de fallas.

Dado que el proceso de sedimentado es un procedimiento más sencillo, no es necesario ampliar, se pueden mencionar los siguientes: diseño del sedimentador, funcionamiento de los caudalímetros en la entrada y salida, velocidad de sedimentación, descarga de fibra de celulosa sedimentada, mantenimiento recomendado. De ser necesario en la adición de una pileta de floculación se deben de considerar los siguientes temas como parte de la capacitación: generalidades sobre el químico floculante elegido para aplicar, control de dosificación, mantenimiento recomendado y control de fallas.

6.4.3. Alcance de la capacitación

El alcance de la capacitación es asegurar un adecuado funcionamiento del sistema de tratamiento del agua de desecho que busca capacitar empleados con los conocimientos necesarios para su dominio. Mediante la capacitación se buscará alcanzar a mantener cerrado el circuito por encima o igual a un 49 % y reciclar lo establecido por el cronograma propuesto.

6.5. Coordinación de esfuerzos dentro de la organización para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico

Coordinar significa ordenar los esfuerzos por medio de tareas y actividades en un sistema que disponga de sincronización. Mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico implica esfuerzos de varias áreas de la organización, dado que actualmente la fábrica no posee nada de lo planteado en el presente trabajo.

6.5.1. Análisis del tamaño de acciones

Como primera acción, se debe de abocar a una empresa especialista en el diseño de plantas de tratamiento, para poder hacer un estudio profundo y plantear

un diseño de sedimentador que pueda satisfacer el caudal de producción, se considera posible que pueda diseñarse hasta dos sedimentadores, dado que el caudal de desecho es bastante alto, el tamaño de esta acción es bastante pequeña ya que solo se toma en cuenta que se hagan estudios de campo sencillos, que los contratistas conozcan el diseño general del proceso de producción y se lleven a cabo pláticas sobre los montos necesarios de inversión.

Como estudio de campo es posible que el contratista ejecute monitoreos de caudal o toma de muestras para estudiar el comportamiento de la partícula de fibra de celulosa, esto para establecer una velocidad de sedimentado, tiempos de retención, entre otros factores. La segunda acción de igual manera se debe de entablar comunicación con una empresa contratista de filtros de arena industriales para estudiar y proponer un diseño que sea adecuado que filtre el caudal de producción.

Una tercera acción es que la planta debe de establecer tiempos y recursos especiales para darle mantenimiento a los diferentes componentes de la planta de tratamiento, esta acción es mínima ya que se considera que personal interno pueda darles seguimiento a los mantenimientos, con esto se asegura el correcto abastecimiento de reciclaje de agua y evitar la interrupción de suministro.

6.5.2. Análisis de complejidad

La complejidad de la primera acción es bastante alta, la propuesta de un diseño de sedimentador requiere de recursos y trabajo de personas especializadas en el tema. La dificultad se centra en construir un sedimentador que sea capaz de sedimentar las partículas al mismo ritmo que el caudal de producción, para poder diseñarlo se necesitan de varios análisis y monitoreos

para poder establecer velocidad de sedimentación, comportamiento promedio de la partícula de fibra de celulosa, tiempo de retención para sedimentar, entre otras.

Si el sedimentador propuesto no es capaz de sedimentar las partículas en los plazos establecidos se deberá de adicionar la pileta especial de floculación que se propuso en el tercer capítulo, la complejidad de esta decisión es bastante alta ya que solo se puede tomar después de realizados varios estudios de campo.

Proponer el diseño de los filtros de arena que sean capaces de filtrar el caudal que sale del sedimentador también conlleva distintas dificultades, la empresa contratista deberá de realizar varios estudios de campo para determinar cuál es el diseño que se adapta a las necesidades y objetivos de reciclaje de la planta. La primera complejidad es que se debe de establecer una velocidad de filtrado o de tiempo de paso del agua dentro de los filtros, esto se determina con estudios específicos del agua a tratar y las necesidades de la planta de tratamiento, si es mayor la velocidad de filtrado se reduce la capacidad del filtro para eliminar turbidez y los sólidos en suspensión, y viceversa.

El segundo parámetro complejo es la elección de los tamaños correctos de los filtros verticales de arena, el contratista deberá de hacer un estudio de los detalles del lugar a ser instalados y también tomar en cuenta el caudal de filtrado que se necesita. El ultimo parámetro importante es establecer mediante pruebas y características del agua a tratar un periodo de retrolavado debido a que un correcto periodo mantendrá el buen funcionamiento de los filtros.

6.5.3. Diferencia de roles entre departamentos

El Departamento de Mantenimiento al estar dirigido por personas con amplia experiencia en el campo de la mecánica y de maquinaria, sería el

encargado de los mantenimientos preventivos y correctivos, de ser necesario, el encargado del departamento almacena, gestiona y planifica detalles importantes de los filtros de arena, sedimentador o de la pileta de floculación.

El Departamento de Producción sería el encargado de asegurar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento por medio de los indicadores planteados, comunicar lo logrado a otras partes de la organización, gestionar las acciones implementadas con un seguimiento constante, calcular y actualizar los indicadores mensualmente. El Departamento de Ventas sería el encargado de comunicar a los clientes y al mercado los esfuerzos empleados que mitigan el impacto al medio ambiente para producir el cartón reciclado, esto puede hacerse con la presentación de alguno de los indicadores que administra el Departamento de Producción.

6.6. Obtención de resultados

Los resultados representan numéricamente el funcionamiento y la manera en que el proceso de tratamiento se desempeña mediante los indicadores propuestos.

6.6.1. Interpretación

Como se mencionó, los resultados se presentan con los indicadores, si los metros cúbicos reciclados no son los esperados se interpreta que existe un desequilibrio entre el caudal de desecho y la planta de tratamiento, o que la planta de tratamiento no está tratando el ritmo de desecho por inconsistencias en la maquinaria. Si los metros cúbicos reciclados son los esperados significa que el diseño de la planta de tratamiento es el adecuado y que sus componentes son eficientes.

La captación de fibra de celulosa depende del sedimentador, si está por debajo de lo que se espera quiere decir que existe una inconsistencia de diseño en el sedimentador, el tiempo que se retiene es el incorrecto o que la velocidad de sedimentación no es la correcta. Si el diseño contempla una pileta de floculación entonces la dosificación del floculante no es suficiente o se debe de cambiar el floculante. Un resultado positivo de toneladas de fibra de celulosa recuperadas se puede interpretar que se está reduciendo la carga orgánica antes de ser desechada y que la carga para los filtros de arena verticales se reduce gracias a una buena sedimentación.

Independiente si el número es bajo o alto, para el indicador de mejoramiento de metros cúbicos desechados cualquier número por encima de cero es aceptado, ya que se interpreta que se desecha recurso hídrico con poca carga orgánica y que el agua reciclada no generará problemas a las regaderas de la máquina formadora. El indicador de metros cúbicos utilizados en el área de regaderas se interpreta como la cantidad que se mitiga de extracción de los pozos. El porcentaje de ciclo cerrado del agua figura el diseño del proceso, se entiende como la fracción total de recurso hídrico que el diseño recicla o desecha.

6.6.2. Evaluación

Una correcta evaluación es sinónimo de diagnosticar y normalmente se realiza al final de un período predeterminado, evaluar realza las inconsistencias. Existen varias metodologías de evaluación por resultados, sin embargo, es más conveniente seguir una serie de pasos por motivos prácticos.

Como primer paso se recomienda examinar los resultados obtenidos en función de los objetivos específicos fijados desde un principio, el primer objetivo específico es reciclar 394 m³ diarios, volumen que se calcula con el caudal de

desecho multiplicado las ocho horas diarias que el PTAR proveerá de agua al proceso, el segundo es captar como mínimo cuatro toneladas de fibra de celulosa al mes, el tercero será que el parámetro de sólidos suspendidos, este por debajo a lo que dicta el MARN en el acuerdo gubernativo 236-2006, el cuarto reciclar 394 m³ diarios en las regaderas y el último es aumentar el porcentaje del ciclo cerrado del agua por encima de 49,44 %.

Como segundo paso se deben de establecer los criterios de evaluación, los criterios para evaluar permiten determinar cómo deben de ser evaluados los resultados y evitar ambigüedades, el criterio de evaluación es que los resultados sean iguales o mayores a los objetivos específicos planteados. El tercer paso es la elección de los instrumentos adecuados para realizar la evaluación, elegir los instrumentos adecuados conducirá a obtener la información correcta, los instrumentos adecuados para evaluar el mejoramiento del recurso hídrico serán los indicadores que el Departamento de Producción administra.

El cuarto paso es establecer un periodo adecuado para evaluar, que es una vez al mes, el corto período evita ambigüedad y desviación de información. El último paso es utilizar la información evaluada para mejorar y mantener los resultados obtenidos.

6.6.3. Conclusión

Los resultados se evalúan sobre objetivos medibles, en función de los resultados será el tiempo que la planta de tratamiento abastezca al proceso de recurso hídrico limpio. Los resultados deberán de ser evaluados periódicamente y se le debe de dar seguimiento continuo para un aseguramiento de la calidad del proceso de tratamiento en cantidad y calidad suficientes.

CONCLUSIONES

1. El porcentaje de reutilización de recurso hídrico actual es de 40,77 %, por ser un proceso puramente mecánico y no tener procesos químicos en ningún punto, el porcentaje puede elevarse considerablemente con menor grado de dificultad, gracias a que no existen sustancias químicas disueltas en el agua de proceso, y que por esto requiera de tratamientos más exigentes.
2. Se puede reciclar agua de producción con fibra de celulosa mediante la construcción de un sedimentador con capacidad de tratar el ritmo de producción, con un diseño adecuado se puede reciclar una tonelada de fibra de celulosa por 5 263,16 m³ tratados, si se desea aumentar la eficiencia del sedimentador se puede construir una pileta de floculación como paso previo para acelerar el proceso de sedimentación.
3. Con la implementación de filtros verticales de arena será posible remover la contaminación del agua de producción después de ser tratada en el sedimentador, con el número correcto de filtros, tasa de filtración y diseños adecuados se puede reducir el nivel de dependencia que la planta tiene con los pozos.
4. Implementar una planta de tratamiento mitiga la explotación de las fuentes naturales de recurso hídrico propiedad de la fábrica, evita el vertido de materia orgánica presente en el agua de producción y puede aumentar el inventario en proceso hasta en 4 5 toneladas mensuales o Q 14 625,00.

5. Implementar una planta de tratamiento no demuestra ser rentable por el resultado del análisis beneficio-costos de 0,10 que es menor a la unidad. Mejorar la calidad del agua de producción mediante un tratamiento no dejaría beneficio económico, sin embargo, el beneficio que genera es de tipo social porque por cada quetzal que se invierte, el proyecto devuelve Q. 5,92 a la sociedad y medio ambiente, y protege a la fábrica de cualquier sanción económica futura por incumplimiento del reglamento de Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos.
6. La industria de papel y cartón reciclado encabeza los primeros lugares de consumo de recurso hídrico para sus procesos, es imprescindible capacitar de conocimiento a los empleados de la planta de tratamiento para la solución a problemas que se puedan presentar y proponer mejoras en su gestión.
7. La pasta de fibra de celulosa es de origen completamente orgánico, por esta razón puede ser aprovechada por la industria de la agricultura por su alto contenido de nutrientes que puede aportar a la tierra, puede ser comercializada como materia prima del abono de mulch de celulosa o puede ser aprovechada de manera interna para el riego de áreas verdes.

RECOMENDACIONES

1. Instalar contadores volumétricos en las bombas que extraen el recurso hídrico de los pozos representará tener un seguimiento más preciso de la explotación de las fuentes de abastecimiento.
2. Invertir en la renovación de la laguna para que de nuevo este en condiciones para ser utilizada como fuente de recurso hídrico, la cual logrará balancear la extracción entre ambas fuentes del recurso.
3. Acreditarse con certificados ambientales será una ventaja competitiva y de distinción para la empresa en un mundo en que los mercados cada vez dan más importancia a los productos sustentables.
4. Verificar los indicadores propuestos es importante dado que pueden dar información importante como la eficiencia de la planta de tratamiento.
5. El presente trabajo de graduación presenta ideas básicas sobre cómo mejorar el aprovechamiento de recurso hídrico en una fábrica de cartón reciclado, se recomienda que un especialista capacitado en plantas de tratamiento desarrolle propuestas de diseños, dimensiones de planta de tratamiento, velocidades o tasas de tratamiento, tiempo de retención para el sedimentador, entre otros.

6. Antes de ser empleada el agua tratada para regar cultivos de cualquier tipo, el agua que se desecha de los molinos de cartón debe de ser aprobada para cumplir con el parámetro de metales pesados que provienen de las tintas de la materia prima y con otros parámetros.

7. Además de capacitar a los empleados asignados a la operación de las unidades de tratamiento, se recomienda equipar del equipo o insumos necesarios para monitorear el parámetro de sólidos suspendidos para asegurar en tiempo real que el tratamiento genere el menor impacto al ambiente posible.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAJPAI, P., KONDO, R. y BAJPAI, P. *Purification of Process Water in Closed-Cycle Mills*. Springer, 2012. 171 p.
2. BIORESOURCES. *Wastewater treatment and reclamation: A review of pulp and paper industry practices and opportunities*. [en línea]. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2016/08/BioRes_11_3_7953_Hubbe_REVIEW_MHBYHLKKE_Wastewater_Treat_Reclam_Pulp_Paper_Review_9906.pdf>. [Consulta: diciembre de 2020].
3. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH. *Characterization and Feasibility Assessment of Recycled Paper Mill Sludges for Land Application in Relation to the Environment*. [en línea]. <<https://www.mdpi.com/1660-4601/12/8/9314/pdf>>. [Consulta: diciembre de 2020].
4. LÓPEZ, Mónica. *Fabricación de pasta de celulosa Aspectos técnicos y contaminación ambiental*. [en línea]. <<https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/CyT6/6CyT%2005.pdf>>. [Consulta: noviembre de 2020].
5. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. [en línea]. <[https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%20Guida%20para%20el%20dise%20no%20de%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf)

202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf>. [Consulta: noviembre de 2020].

6. REGABER. *Filtro Arena 20", 36" y 48"*. [en línea]. <https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Catalogos/HidraulicaRiegos/RegaberFiltroArena.pdf>. [Consulta: diciembre de 2020].
7. RETEMA. *El agua en la industria de la celulosa y el papel, bajo el signo de la eficiencia*. [en línea]. <<https://www.retema.es/noticia/el-agua-en-la-industria-de-la-celulosa-y-el-papel-bajo-el-signo-de-la-eficiencia-4qkWj>>. [Consulta: noviembre de 2020].
8. WORLD BANK GROUP. *Pulp and Paper Mills*. [en línea]. <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/bfa0c334-a60b-4b7b-b2f9-bd29d0b6ea18/pulp_PPAH.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jkD2451>. [Consulta: noviembre de 2020].
9. WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *A changing future for paper*. [en línea]. <<https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/X136IIED.pdf>>. [Consulta: diciembre de 2020].

ANEXOS

Anexo 1. El reciclaje del papel

Int. J. Environ. Res. Public Health **2015**, *12*, 9314–9329; doi:10.3390/ijerph120809314

OPEN ACCESS

International Journal of
Environmental Research and
Public Health
ISSN 1660-4601
www.mdpi.com/journal/ijerph

Article

Characterization and Feasibility Assessment of Recycled Paper Mill Sludges for Land Application in Relation to the Environment

Rosazlin Abdullah ^{1,*}, Che Fauziah Ishak ², Wan Rasidah Kadir ³ and Rosenani Abu Bakar ²

¹ Institute of Biological Sciences, Faculty of Science, University of Malaya, Kuala Lumpur 50603, Malaysia

² Department of Land Management, Universiti Putra Malaysia, Serdang 43400, Selangor Darul Ehsan, Malaysia; E-Mail: cfauziah@upm.edu.my (C.F.I.); rosenani@upm.edu.my (R.A.B.)

³ Soil Management Branch, Forest Research Institute Malaysia, Kepong 52109, Selangor Darul Ehsan, Malaysia; E-Mail: rashidah@frim.gov.my

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: rosazlin@um.edu.my; Tel.: +60-3-7967-4360.

Academic Editor: Oladele A. Ogunsitan

Received: 21 May 2015 / Accepted: 20 July 2015 / Published: 7 August 2015

Abstract: The disposal of industrial paper mill sludge waste is a big issue and has a great importance all over the world. A study was conducted to determine the chemical properties of recycled paper mill sludge (RPMS) and assess its possibilities for land application. RPMS samples were collected from six different paper mills in Malaysia and analyzed for physical and chemical properties, heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, ¹³C-NMR spectra and for the presence of dioxins/furans. The RPMS was dewatered, sticky with a strong odour, an average moisture of 65.08%, pH 7.09, cation exchange capacity (CEC) 14.43 cmol (+) kg⁻¹, N 1.45, P 0.18, K 0.12, Ca 0.82, Mg 0.73, Na 0.76 and Al, 1.38%. The polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and heavy metals levels were below the standard Class 2 limits. The dioxin and furan were in below the standard concentration of Class 1. The most prominent peak in the ¹³C-NMR spectra of RPMS was centered at 31 ppm, proving the presence of methylene (-CH₂) groups in long aliphatic chains, with lipids and proteins. The signal at 89 ppm and highly shielded shoulder at 83 ppm were due to presence of cellulose carbon C-4, and the peak at 63 and 65 ppm was due to the cellulose carbon spectrum. The RPMS therefore contains significant amount of nutrients

Continuación del anexo 1.

with safe levels of heavy metals and PAHs for environment and can be used as a fertilizer and soil amendment for land application.

Keywords: ^{13}C -NMR spectrum; concentration; FTIR spectrum; heavy metals; land application; nutrients; soil properties

1. Introduction

The industrial sector plays a significant role in the growth of the world economy. The paper recycling process produces a considerable amount of organic waste, which is not suitable for the production of new paper. A huge quantity of the sludge produced by paper mills with large usage of paper is considered as one of the most serious environmental problems [1]. The increasing amount of sludge and its consequent treatments are very sensitive environmental problems [2]. In Malaysia, the amount of mill solid waste produced increased from 16,200 tons per day in 2001 to 19,100 tons in 2005 or an average of 0.8 kilogram *per capita* per day. The industrial sector in Malaysia produced about 30% of solid wastes and this amount is increasing by about 4% annually [3]. The waste is also known as recycled paper mill sludge (RPMS). Recycled paper mill sludges are complex mixtures of fibrous recycled paper, inorganic solids and chemical additives used in the paper manufacturing. This sludge is the final processed waste from the pulp and paper industries which are generated from different stages of the paper making process, including the sorting, pulping, screening, cleaning, deinking, refining, color stripping and bleaching processes. Paper mill sludges are composed of organic matter (mainly cellulose fiber from wood or recycled paper) in which organic compounds are added to the paper or pulp while inorganic compounds (mainly calcium carbonate, kaolinite and talc) are also utilized [4].

The disposal of RPMS is an inevitable problem for these industries. It has also been reported that the main contributors to the escalating costs of waste disposal include transportation and tipping fees and the process has a negative impact on the environment, especially concerning odour and leachate. The present disposal practice is via landfill, which might not be viable in the long run as land is getting scarce with escalating cost, and this industry also faces increasingly stringent environmental regulations [5]. However, several industries take irresponsible actions to decrease the cost of disposal by illicitly dumping their waste. This situation will cause the negative pollution effect to the soil, water and air.

The utilization of waste material in a suitable manner of application will balance the increasing demands of limited natural resources [6]. The high capital cost that is beyond the ability of small capacity mills and even then, the surplus amount of sludge is still large and has to be disposed as landfill [7]. Furthermore, direct applications on land are the preferred method of utilizing paper mill sludge which is also cost effective.

Paper mill sludge is an active organic material that has potential benefits as a source of nutrients for crops, but potentially can pose significant environmental and public health hazards. There is also limitation for spreading paper mill sludge on agricultural land. In order to appropriately manage organic residues, it is important to thoroughly characterize their chemical and physical properties and accurately assess the impacts of these properties on soil fertility and site quality. Hence, this study was

Fuente: ABDULLAH, Rosazlin; ISHAK, Che Fauziah; KADIR, Wan Rasidah; BAKAR, Rosenani Abu. Characterization and Feasibility Assessment of Recycled Paper Mill Sludges for Land Application in Relation to the Environment. p. 1-2.