

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA**
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Industrial



**“PROPUESTA PARA EL MANEJO Y REUSO DEL
AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA
AGROINDUSTRIAL DE VEGETALES
CONGELADOS EN GUATEMALA”**

Trabajo de Graduación presentado por
NADIA MARGARITA RIVERA HERNÁNDEZ
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería
Industrial

Guatemala
2013

**“PROPUESTA PARA EL MANEJO Y REUSO
DEL AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA
AGROINDUSTRIAL DE VEGETALES
CONGELADOS EN GUATEMALA”**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA**
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Industrial

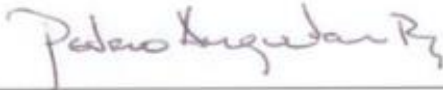


**“PROPUESTA PARA EL MANEJO Y REUSO DEL
AGUA RESIDUAL DE UNA EMPRESA
AGROINDUSTRIAL DE VEGETALES
CONGELADOS EN GUATEMALA”**

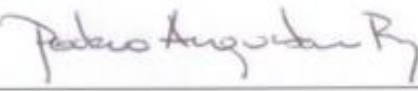
Trabajo de Graduación presentado por
NADIA MARGARITA RIVERA HERNÁNDEZ
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniera
Industrial

Guatemala
2013

Vo. Bo.:

(f) 
Ing. Pedro José Arguedas Brolo

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Pedro José Arguedas Brolo

(f) 
Ing. Axel Fuentes

(f) 
Lic. Raúl Dacaret

Fecha de aprobación: Guatemala, 30 de Enero del 2013

DEDICATORIA

El presente trabajo de graduación se lo dedico a Dios, a mi familia, y a mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sus infinitas bendiciones y por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida.

A mi padre Jorge porque aunque el camino por el que me acompañó fue corto forma una parte importante de lo que soy hoy y me enseñó que nunca es tarde para aprender y superarse.

A mi madre Nidia por su apoyo y amor incondicional, por la confianza, enseñanzas de vida y el inyectarme todos los días de actitud positiva para enfrentar los retos que nos coloca la vida.

A mi hermano Jorge, por sus consejos, por su amistad, su amor desinteresado y por enseñarme a luchar por lograr lo que quiero con esfuerzo y dedicación.

A mi abuelo Miguel, por ser para mí un ejemplo de vida, honradez, sencillez y sobretodo de servicio.

A mis tías Sonia, Mayra y Paquita por su apoyo y cariño.

A mis primos Edna, José Roberto, Sonia Regina, Jorge Ricardo, Mónica, Ana Isabel y Alejandra por haber compartido momentos importantes de mi vida, por su amistad y cariño.

A mi familia en general.

A mis amigos del colegio y de la universidad por su apoyo, amistad, cariño, confianza y por compartir conmigo experiencias nuevas y momentos agradables.

A mis compañeros de trabajo por brindarme su amistad, apoyo y confianza.

A mi asesor de trabajo de graduación, ingeniero Pedro Arguedas, por su guía y consejos durante la realización del mismo.

A mis catedráticos, en especial al ingeniero Cesar Silva por su apoyo y la orientación brindada durante la realización de mi trabajo de graduación.

Y de manera especial a la ingeniera Fátima Canjura y la licenciada Dinora Castro porque aun sin conocerme me brindaron su confianza, su tiempo y conocimiento para terminar de formarme como profesional. Son de quienes continúo aprendiendo y sin quiénes este trabajo de graduación no sería posible.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS	xii
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	xiv
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS	3
A. General.....	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Agua residual	4
1. Agua residual de Tipo Especial	4
2. Agua residual de Tipo Ordinario	4
3. Características de las aguas residuales	4
a. Parámetros físico-químicos.....	4
1) Demanda Química de Oxígeno	5
2) Sólidos totales.....	5
2.1) Sólidos en suspensión	5
2.1.1) Sólidos sedimentables	5
2.1.2) Sólidos coloidales	5
2.2) Sólidos disueltos	6
3) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	6
4) Fósforo total	6
6) Nitrógeno total.....	6
b. Metales pesados	7
c. Parámetro microbiológico.....	7
1) Coliformes fecales	7
B. Reglamento para las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Según Acuerdo Gubernativo 236-2006	7
C. Agua residual en la Industria de Alimentos.....	8
1. Agua residual en la Industria de Vegetales	9
D. Tratamiento de agua residual	9
1. Tratamiento preliminar	9

2. Tratamiento primario	9
3. Tratamiento secundario	9
4. Tratamiento terciario	10
5. Desinfección.....	10
E. Herramientas utilizadas.....	10
1. Herramientas de Análisis de Procesos	10
a. Diagrama de Flujo de Operaciones	10
b. Diagrama de Pareto	11
2. Herramientas Administrativas y de Gestión de la Calidad.....	12
a. Plan de Capacitación	12
b. Círculo de Calidad:.....	13
c. Indicadores de Desempeño	14
3. Herramientas y conceptos de análisis financiero	15
a. TMAR	15
b. Tasa Interna de Retorno (TIR).....	16
c. Valor Presente Neto (VPN)	16
d. Análisis de Sensibilidad	16
V. METODOLOGÍA	18
VI. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	20
A. Descripción de la empresa.....	20
B. Uso del agua	20
1. Área de preparado	21
a. Recepción de vegetales.....	21
b. Almacenamiento en cuartos fríos	21
c. Corte y remoción de material extraño	21
d. Lavado de vegetales	21
2. Área del proceso	22
a. Blanqueo	22
b. Enfriamiento	22
c. Corte de Ocra.....	23
d. Inspección y congelado.....	23
1) Lavado de congeladores.....	23
a) Línea 2	23

b) Línea 1	23
2) Deshielo de serpentines	23
a) Línea 1	23
b) Línea 2	23
3. Empaque	24
a. Empaque al detalle	24
C. Consumo de agua estimado para uso industrial	25
D. Uso doméstico del agua.....	25
E. Manejo del agua residual	26
1. Manejo y tratamiento del agua residual	26
2. Descargas	26
3. Calidad del agua residual	27
4. Balance consumo de agua potable y generación de agua residual	27
VII. RECOLECCIÓN DE DATOS	29
A. Observación	29
VIII. ANÁLISIS DE DATOS	30
A. Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno.....	31
1. Sólidos y DBO	35
a. Puntos de generación de sólidos	35
b. Residuos sólidos recuperados en el tratamiento de las aguas residuales	38
IX. Pruebas piloto	39
A. Tratamientos biológicos	39
1. Augment L21	39
2. WCS7701	39
B. Prueba de filtrado	40
1. Filtro de 100 micrones.....	40
X. PROPUESTA GENERALIZADA DE MANEJO Y REUSO DE AGUA RESIDUAL.....	42
XI. Análisis administrativo de la propuesta	44
A. Plan de capacitación	44
B. Comité de Gestión Ambiental	45
C. Campaña sobre el manejo de residuos y agua residual.....	45
D. Indicadores de desempeño.....	46

E.	Impacto en la DBO.....	47
XII.	Análisis técnico de la propuesta.....	48
A.	Instalación de contadores para medir el consumo de agua potable.....	48
B.	Tratamiento preliminar del agua residual.....	49
C.	Tratamiento secundario.....	49
D.	Separación agua residual cámaras de blanqueo.....	50
E.	Reducción del consumo de agua.....	51
F.	Medición de avances del parámetro de DBO.....	52
XIII.	Análisis ambiental de la propuesta.....	54
XIV.	ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA.....	56
A.	Estimación costo agua potable.....	56
B.	Estimación costo agua residual con el tratamiento actual.....	57
C.	Costo campaña y capacitación.....	58
D.	Viabilidad del proyecto.....	59
1.	Estimación de los ahorros.....	59
2.	Estimación de la inversión inicial y los egresos.....	60
3.	Flujos de efectivo.....	61
4.	TIR y VPN.....	61
5.	Análisis del Período de Recuperación.....	61
6.	Análisis de Sensibilidad.....	62
7.	Punto de equilibrio.....	63
XV.	Conclusiones.....	65
XVI.	Recomendaciones.....	66
XVII.	Bibliografía.....	67
XVII.	Anexos.....	69

LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS

Tabla 1: Propiedades y parámetros físico-químicos de las aguas residuales.....	4
Tabla 2: Consumo de agua durante el proceso productivo	25
Tabla 3: Calidad actual del agua residual.....	30
Tabla 4: Resultados Metales pesados	31
Tabla 5: DBO limpieza y DBO proceso productivo	32
Tabla 6: Rechazo recuperado en tolva de agua residual, año 2012	38
Tabla 7: Resultados segunda prueba piloto cultivo bacterias	39
Tabla 8: Resultados prueba filtrado.	40
Tabla 9: Contadores.....	48
Tabla 10: Especificaciones técnicas rejilla automática	49
Tabla 11: Especificaciones técnicas WCS7701	50
Tabla 12: Costos totales de bombeo y mantenimiento del agua de pozo.....	56
Tabla 13: Costo energía eléctrica extracción.....	56
Tabla 14: Consumo estimado agua de pozo mensual	57
Tabla 15: Estimación de costos totales mensual de bombeo y mantenimiento del agua residual	57
Tabla 16: Estimación costo energía eléctrica tratamiento de agua residual	58
Tabla 17: Estimación de la cantidad de agua residual tratada mensualmente	58
Tabla 18: Costo campaña y capacitación	58
Tabla 19: Consumo promedio de agua diario.....	59
Tabla 20: Estimación ahorros por el proyecto	60
Tabla 21: Detalle de Inversión Inicial	60
Tabla 22: Egresos	60
Tabla 23: Flujos de efectivo	61
Tabla 24: VPN y TIR	61
Tabla 25: Gastos y ahorros acumulados	62
Tabla 26: Análisis de Sensibilidad	62
Tabla 27: Estimación ahorro de agua punto de equilibrio	63
Tabla 28: Flujo de efectivo punto de equilibrio	63
Tabla 29: VPN y TIR punto de equilibrio.....	64
Gráfico 1: Comportamiento caudal agua residual vs. libraje producido en agosto 2011	32

Gráfico 2: Comportamiento caudal agua residual vs. libraje producido en enero 2012.....	33
Gráfico 3: Caudal generado por equipo (ambas líneas de producción)	35
Gráfico 4: Pareto puntos de generación/acumulación de residuos sólidos, área de preparado ...	36
Gráfico 5: Pareto puntos de generación/acumulación de residuos sólidos, área de proceso.....	36
Gráfico 6: Resultados prueba filtrado	41
Gráfico 7: Sensibilidad VPN.....	63

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Proceso dentro de un círculo de calidad	13
Ilustración 2: Pasos del Proceso de Control	14
Ilustración 3: Tasa de rendimiento, TMAR y Evaluación de propuestas	15
Ilustración 4: Proceso de un Análisis de Sensibilidad	17
Ilustración 5: Metodología	18
Ilustración 6: Diagrama de operaciones del proceso de producción, uso de agua y generación de aguas residuales.	20
Ilustración 7: Balance consumo agua potable y generación de agua residual.....	28
Ilustración 8: Balance agua potable y agua residual después de implementada la propuesta.....	53
Cuadro 1: Símbolos Diagrama de Flujo de Proceso	11
Cuadro 2: Métodos de capacitación	12
Cuadro 3: Observaciones	29
Cuadro 4: Indicadores de desempeño.....	46
Cuadro 5: Beneficios e inconvenientes ambientales de la propuesta	54

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se basa en el análisis y la realización de una propuesta para el manejo y reuso de agua residual en una empresa agroindustrial de vegetales congelados ubicada en Guatemala. Esta se llevó a cabo en los meses de junio a septiembre del año 2012. En dicha empresa se consumen aproximadamente entre 400 y 700 metros cúbicos diarios de agua potable en las distintas partes del proceso productivo y actividades domésticas como baños, cafetería, etc., generando alrededor de la misma cantidad de agua residual¹. Por esta razón se planteó una propuesta que incluyera tres puntos principales: La reducción del consumo de agua, la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Factor de medición de la calidad del agua residual, DBO) y mejoras al tratamiento actual del agua residual.

Para cumplir con el *Reglamento para las Descargas de Agua Residual y la Disposición de Lodos*, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 que regula la calidad del agua residual, se debe lograr reducir el consumo de agua y obtener un agua residual de aun mejor calidad de la actual reduciendo el valor de la DBO. La lógica que se siguió para el planteamiento de la propuesta fue que al reducir el consumo de agua potable, se generaría una menor cantidad de fagua residual que tratar. Por lo anterior, el tema debe ser tratado de manera global. Es decir, la propuesta debe incluir el análisis de las áreas administrativa, técnica, financiera y ambiental.

Como primer paso se procedió a analizar los datos históricos de la calidad del agua de la empresa. Con base en estos resultados se identificó que el problema de la calidad del agua residual y por lo cual la empresa no cumple con el *Reglamento para la Descarga y Reuso de Aguas Residuales y para la Disposición de Lodos* es la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Una vez determinado el problema, de acuerdo a muestreos de caudal, observación, análisis de la DBO e investigación sobre el tema se planteó la propuesta incluida en el presente trabajo de graduación.

Luego de analizar la propuesta en las cuatro áreas anteriormente descritas, se consideró que la propuesta es viable y contribuye al cumplimiento de los objetivos planteados en este trabajo. En primera lugar, la capacitación y concientización del personal sobre el uso adecuado del agua

¹ Las Aguas Residuales, de acuerdo con lo establecido en el *Reglamento para las Descargas de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*, son las aguas que han recibido uso y cuyas calidades han sido modificadas.

potable y el buen manejo de los residuos sólidos vegetales durante el proceso de producción y subsecuente limpieza que al caer por los drenajes influyen en la calidad y cantidad del agua residual. Según estudios realizados en plantas de los Estados Unidos, a través de este tipo de iniciativas se ha logrado la reducción del 50% de la DBO y ahorros monetarios considerables en electricidad y agua potable. Además, el mejorar el tratamiento preliminar del agua residual y la separación de la proporción de la misma proveniente del equipo que genera un valor de DBO alto en comparación con los demás, aplicando un tratamiento biológico de bacterias contribuye aún más a lograr la calidad del agua residual deseada para poder realizar las descargas en un cuerpo receptor o en el alcantarillado público sin perjudicar a la vida marítima que lo habita. Estas reducciones de la DBO se evidencian a través de los resultados de las pruebas piloto cuyo resultado es una mejora de este parámetro de un 17 % para la prueba piloto de filtrado y un 25% para la prueba piloto de la aplicación de cultivos de bacterias.

Por último, el ahorro económico provocado a través de la propuesta, equivale a Q.4.84² por metro cúbico de agua, el cual se ahorra en la extracción del agua potable de los pozos y en el tratamiento del agua residual, sin contar los beneficios ambientales. La propuesta requiere de una Inversión Inicial de Q. 262,867.01 que será recuperada en el tercer año luego de implementada la propuesta. A través de los flujos de ahorro se obtuvo un valor presente neto positivo de Q. 64,490.82, por lo que la propuesta es considerada económicamente viable.

² *Los valores de costos han sido modificados por un factor para proteger la privacidad de la empresa.*

I. INTRODUCCIÓN

La empresa agroindustrial de vegetales congelados se ubicada en el departamento de Guatemala, y se dedica a la exportación de vegetales congelados y frescos de la más alta calidad. Entre los vegetales que exporta se pueden mencionar: zanahoria, brócoli, Ocra, coliflor, arveja, entre otros. Es parte de una corporación de alimentos estadounidense y cuenta con más de 40 años de experiencia en el mercado.

Como toda empresa que forma parte de la industria alimenticia, en especial la de vegetales y frutas, emplea una elevada cantidad de agua para llevar a cabo su proceso productivo y la limpieza de las áreas de recepción de materia prima, producción, almacenamiento, empaque y despacho del producto terminado. El agua de esta industria se caracteriza por tener una elevada presencia de materia orgánica afectando su calidad.

La empresa reutiliza el 100% del agua residual producto del proceso y las limpiezas para el riego de sus jardines y de pastizales ubicados en las áreas aledañas a la empresa. Sin embargo, debido al desarrollo urbano del área en la que se ubica, es casi inminente que no podrá utilizar estos terrenos para riego en el futuro. Por lo que la empresa tendrá que redirigir la descarga de sus aguas hacia un cuerpo receptor³ o hacia el alcantarillado público.

No obstante, para poder descargar el agua hacia un cuerpo receptor o hacia el alcantarillado público, el agua residual debe cumplir con ciertos estándares de calidad descritos en el *Reglamento para la Descarga y Reuso del Agua Residual y para la Disposición de Lodos*, según el acuerdo gubernativo 236 del año 2006.

Tomando en cuenta la potencial pérdida de las áreas de riego, el cumplimiento obligatorio del reglamento y el factor ambiental de la importancia del uso óptimo del recurso del agua, surge la necesidad de una propuesta para el manejo y reuso del agua residual generada por la empresa que incluya la mejora de la calidad del agua residual, la optimización del consumo de agua potable y la concientización del personal que labora sobre la importancia de este tema y su impacto ambiental.

³ Cuerpo receptor: De acuerdo con el *Reglamento para las Descargas de Agua Residual y la Disposición de Lodos*, son los embalses naturales, lagos, lagunas, ríos, quebradas, etc. en donde se descarguen las aguas residuales.

II. JUSTIFICACIÓN

En la empresa agroindustrial de vegetales congelados donde se llevó cabo el estudio, se consumen entre 400 y 700 m³ diarios aproximadamente de agua potable para llevar a cabo los procesos productivos y actividades de tipo doméstico. El agua residual es utilizada para el riego de los jardines de la empresa y pastizales aledaños no pertenecientes a la misma.

La importancia de este tema no depende únicamente de la cantidad de agua potable consumida, sino también de la cantidad y calidad del agua residual que se genera. Si en un futuro próximo, debido al crecimiento urbano aledaño a la empresa no se pudiera reutilizar el agua residual para el riego de pastizales, no tendría la capacidad de darle un manejo eficiente al agua residual ya que el área de riego no sería suficiente. Además es importante tomar en cuenta que el agua además de ser indispensable para la vida, es un recurso limitado y de costo elevado. Por lo tanto se considera necesario generar una propuesta para la optimización del manejo actual del agua residual y la disminución del consumo a través de una mejora en su calidad para una potencial reutilización en el proceso productivo y disminución de costos de operación.

III. OBJETIVOS

A. General

Generar una propuesta de manejo y reuso del agua residual de una empresa agroindustrial de vegetales congelados.

B. Específicos

1. Cumplir con la Primera Fase del Reglamento para las *Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*⁴ a cuerpos receptores para agosto 2012.
2. Realizar pruebas piloto de propuestas de manejo de agua residual para mejorar sus características físico-químicas.
3. Reducir el consumo de agua potable en el proceso productivo en un 10%.
4. Capacitar en el manejo adecuado de los desechos sólidos en relación con el agua residual y el manejo de la misma al personal que labora en el área de preparado y proceso.
5. Determinar los beneficios económicos y ambientales de la propuesta para la empresa.

⁴ Acuerdo Gubernativo 236-2006

IV. MARCO TEÓRICO

A. Agua residual

El término agua residual se refiere a todo residuo líquido cuya calidad ha sido afectada, producto de alguna actividad humana. Según el *Reglamento para las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos*, de acuerdo al tipo de uso que se le haya dado al agua, el agua residual se clasifica en “agua residual de tipo especial” y “agua residual de tipo ordinario” (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

1. Agua residual de tipo Especial. Este tipo de agua es toda el agua generada por los servicios públicos municipales, actividades de servicios, industriales, hospitalarias, agrícolas, etc. y la mezcla de las mismas (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

2. Agua residual de tipo Ordinario. El agua residual de tipo ordinario es toda el agua generada por actividades domésticas como servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, entre otras y la mezcla de las mismas (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

3. Características de las aguas residuales. Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. En la siguiente tabla se presentan las propiedades principales y parámetros físico-químicos de las aguas residuales. (Cordon Townsend, 1997)

Tabla 1: Propiedades y parámetros físico-químicos de las aguas residuales

Parámetros físico-químicos	Demanda Bioquímica de oxígeno, Demanda Química de oxígeno, Sólidos, Fósforo total, Nitrógeno total, Grasas y Aceites, Temperatura, Materia flotante, Potencial de hidrógeno (pH), Color y Olor.
Metales pesados	Arsénico, Cadmio, Cianuro total, Cobre, Cromo hexavalente, Mercurio, Níquel, Plomo, y Zinc
Parámetro microbiológico	Coliformes fecales

a. Parámetros físico-químicos. Los parámetros son variables que identifican las características y propiedades de las aguas residuales asignándoles un valor numérico. A continuación se definen los más importantes:

1) Demanda Química de Oxígeno. El parámetro de Demanda Química de Oxígeno (DBO) es también conocido como oxidación química y se refiere a la cantidad de oxígeno medido en mg/l que es consumido en la oxidación de la materia orgánica e inorgánica oxidable. Es una medida indirecta representativa de la contaminación orgánica e inorgánica de un efluente⁵, sirviendo como indicador del grado de toxicidad del vertido. La DQO es un parámetro estrechamente relacionado con la DBO. Aproximadamente guardan una relación de 2 a 1 (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

2) Sólidos totales. El término sólidos totales, en el contexto de agua residual se refiere a la cantidad de materia suspendida o disuelta en el agua. Los sólidos afectan la calidad del agua aumentando el valor de la DBO. Los sólidos totales se clasifican en sólidos disueltos (67% de su composición) y sólidos en suspensión (33% de su composición). (Mountain Empire Community College, 2009)

a) Sólidos en Suspensión. Los sólidos en suspensión son los sólidos que se encuentran en el agua sin estar disueltos en ella por lo que al momento de filtrar el agua residual no pasarían a través del filtro. A medida que los sólidos suspendidos aumentan en el agua residual, y esta llega a los diferentes cuerpos de agua, los mismos, comienzan a perder la capacidad de mantener vida acuática. Los sólidos suspendidos absorben el calor del sol incrementando la temperatura y reduciendo los niveles de oxígeno disuelto⁶ en el agua. Por lo general este tipo de sólidos está conformado aproximadamente por un 70% de sólidos orgánicos y un 30% de sólidos inorgánicos. Se clasifican en sedimentables y sólidos coloidales (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 2005).

i) Sólidos sedimentables. Los sólidos sedimentables son la porción de los sólidos en suspensión que tienen el tamaño y el peso suficiente para luego sedimentarse en el fondo del agua luego de un período de tiempo. En general, el 75% de estos sólidos son orgánicos y el 25% inorgánicos (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 2005).

ii) Sólidos coloidales. Los sólidos coloidales son los sólidos que no se han disuelto ni se han sedimentado por completo. En muchos casos son definidos como la diferencia entre sólidos sedimentables y sólidos en suspensión. Están compuestos por cerca de

⁵ Efluente: Corriente de descarga de aguas residuales (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

⁶ Oxígeno Disuelto: Medida de concentración de oxígeno en el agua que varía inversamente proporcional a la temperatura (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

65% de materia orgánica y un 35% de materia inorgánica (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation; 2005).

b) Sólidos disueltos. Los sólidos disueltos son aquellos sólidos que logran pasar a través del tratamiento de filtración. Del total de sólidos disueltos un 90% se encuentra realmente en solución y el 10% restante se encuentra en forma de sólidos coloidales. En su totalidad están compuestos por 40% de materia orgánica y un 60% de materia inorgánica. (University of Massachusetts Amherst, 2000)

3) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Es la cantidad de oxígeno medido en mg/l requerido para la descomposición de la materia orgánica por organismos unicelulares como bacterias. Representa la cantidad de materia orgánica biodegradable. Cuando el valor de la DBO es elevado, una gran cantidad de oxígeno del agua se utiliza para oxidar el desperdicio por lo que la vida marina corre riesgo de perecer. Alrededor del 40% de la DBO está formada por sólidos que con el paso del tiempo se sedimentarán sin necesidad de aplicar ningún tratamiento. Lamentablemente el restante 60% de la DBO está compuesto por sólidos disueltos que para convertirse en sólidos suspendidos necesitan de agentes floculantes u otros químicos (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006), y, (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation; 2005).

4) Fósforo total. El fósforo es esencial para el crecimiento biológico en el agua residual. El aumento de la concentración de este elemento permite el aumento del desarrollo de microorganismos y de algas en las aguas receptoras del agua residual, lo que causa una disminución del oxígeno disuelto y a largo plazo problemas de contaminación serios. Está presente en los detergentes utilizados durante las limpiezas. (Universidad de Salamanca, 2003)

5) Nitrógeno total. El nitrógeno total es un parámetro importante en las aguas residuales ya que al igual que el fósforo total, es necesario para el desarrollo de microorganismos en las cantidades adecuadas. Los valores elevados de este parámetro contribuyen al agotamiento del oxígeno y la eutrofización⁷ de las aguas residuales (Universidad de Salamanca, 2003).

⁷ Eutrofización: Proceso de disminución de la calidad del agua de un cuerpo de agua debido al aumento de nutrientes presentes en el mismo. Además propicia el aumento de microorganismos y limita la cantidad de oxígeno disuelto disponible requerido para el desarrollo de la vida acuática.

b. Metales pesados. Los metales pesados en elevadas concentraciones provocan la mortalidad de la fauna acuática y grandes acumulaciones de sedimento de la fauna acuática. Sin embargo, algunos de ellos son indispensables para el desarrollo normal de la vida acuática (Alonso, 2008).

c. Parámetro microbiológico

1) Coliformes fecales. Este parámetro mide la presencia de contaminación fecal en el agua y bacterias patógenas entéricas de los seres humanos y animales. Los coliformes fecales se utilizan para medir el nivel de infección del agua residual ya que son las que viven más tiempo en el agua y son más fáciles de detectar a través de análisis de laboratorio. Si no se detecta la presencia de coliformes fecales es muy probable, y se supone, que no hay patógenos presentes en el agua (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation;,, 2005).

B. Reglamento para las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, según Acuerdo Gubernativo 236-2006

El *Reglamento para las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos* según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 tiene por objetivo establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, buscando en general la conservación y el mejoramiento de los recursos hídricos del país. Más específicamente busca:

- ✓ Mejorar las características de las aguas permitiendo proteger a los cuerpos receptores de agua de los impactos de las actividades humanas.
- ✓ Promover el desarrollo de los recursos hídricos.
- ✓ Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.

El alcance del Reglamento abarca:

- ✓ Entes generadores de aguas residuales
- ✓ Personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público
- ✓ Las personas que produzcan aguas residuales para reuso
- ✓ Las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales y
- ✓ Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

La institución responsable de la aplicación de este reglamento es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Las Municipalidades y demás instituciones gubernamentales sirven de apoyo al Ministerio al hacer de su conocimiento el incumplimiento de las regulaciones establecidas.

Como su nombre lo indica, el reglamento no sólo se encarga de la regulación de la disposición de aguas residuales, sino también se encarga de regular los lodos generados durante los diversos tratamientos a los que puede ser sometida. El Reglamento define a los lodos como los sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del tratamiento de aguas residuales.

El primer paso para el cumplimiento de este Reglamento es la elaboración de un estudio técnico, con el objetivo de caracterizar los efluentes de descargas de aguas para reuso y lodos. Este estudio tiene validez por cinco años.

Para llevar a cabo la medición de la calidad del agua residual se toman muestras para posteriormente caracterizarlas. La caracterización de una muestra se refiere a la determinación de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, incluyendo caudal, en los parámetros discutidos con anterioridad. Si se trata de un ente generador⁸ estas caracterizaciones deben realizarse como mínimo 2 veces al año, a través de un laboratorio acreditado, utilizando muestras compuestas⁹ de agua residual. Los valores aceptables de estos parámetros dependerán de hacia dónde se planee descargar o se descarguen las aguas residuales y de si se re utilizan o no. Independientemente de hacia dónde se descargue, el Reglamento establece las siguientes cuatro etapas de cumplimiento (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006):

1. Primera etapa: año 2011
2. Segunda etapa: año 2015
3. Tercera etapa: año 2020
4. Cuarta etapa: año 2024

C. Agua residual en la Industria de Alimentos

El agua residual de la industria de alimentos se diferencia del agua residual de otras industrias por no ser tóxica. A excepción de algunos productos de limpieza que pueden ser tóxicos, el agua residual de las plantas de alimentos es biodegradable y puede ser tratada a través de tratamientos biológicos convencionales. Parte del problema con el agua residual de la industria de alimentos es la elevada cantidad que se genera o lo que es lo mismo, la gran cantidad de agua potable que se utiliza en los procesos de producción. (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991)

⁸ Ente generador: Persona responsable de generar o administrar aguas residuales especiales, ordinarias o mezcla de ambas y cuyo efluente (descarga de aguas residuales) final se descarga a un cuerpo receptor (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

⁹ Muestras compuestas: son dos o más muestras simples que se toman en intervalos determinados de tiempo y que se mezclan para obtener un resultado de las características de las aguas residuales (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2006).

1. Agua residual en la Industria de Vegetales. El agua residual de la industria de alimentos vegetales y frutales tiene características que la diferencian de otros tipos de aguas residuales. Este tipo de agua residual es biodegradable y no tóxica, pero tiene grandes concentraciones de DBO, sólidos suspendidos, azúcares orgánicos y puede llegar a tener rastros de pesticidas. En la mayoría de casos es difícil predecir la cantidad de agua residual que se generará durante el proceso debido a la estacionalidad del producto que se procese. En este sector de la industria de alimentos aproximadamente el 50% del agua que se utiliza en el proceso productivo sirve para lavar y desaguar los vegetales (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991).

D. Tratamiento de agua residual

El objetivo principal de los tratamientos de agua residual es lograr que se permita la descarga de efluentes industriales u ordinarios sin causar daños a la salud del humano o al medio ambiente. (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991)

1. Tratamiento preliminar. El objetivo principal del tratamiento preliminar es la remoción de sólidos gruesos y de gran tamaño del agua residual. Este tratamiento es utilizado con frecuencia para la protección del equipo de tratamiento en etapas posteriores. Las operaciones de esta etapa incluyen el utilizar rejillas para detener sólidos gruesos, remover arena, y en algunos casos, la trituración de objetos grandes (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991).

2. Tratamiento primario. El tratamiento primario se enfoca en la remoción de todos los sólidos inorgánicos y orgánicos a través de sedimentación. Además incluye la remoción de materia flotante. Según estudios, aproximadamente de 25 a 50 % de la DBO, 50 a 70% de los sólidos totales suspendidos y el 65% de las grasas y aceites que ingresan a esta etapa son removidos durante la misma. Esta etapa incluye la sedimentación y la aireación del agua residual para devolverle el oxígeno que necesita (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991).

3. Tratamiento secundario. El tratamiento secundario busca remover residuos orgánicos y sólidos suspendidos luego del tratamiento primario. Esta remoción de residuos y sólidos incluye la remoción de materia orgánica biodegradable disuelta y coloidal utilizando tratamientos de bacterias aerobias, principalmente cultivos bacterianos. Puede llegar a remover

hasta 90% de los sólidos disueltos. (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991)

4. Tratamiento terciario. También conocido como tratamiento avanzado, el tratamiento terciario se utiliza cuando se deben remover contaminantes del agua residual que no han podido removerse a través del tratamiento secundario. Estos procesos usualmente se utilizan para remover nitrógeno, fósforo, otros sólidos suspendidos y metales pesados. Esta etapa incluye tratamientos como los Procesos de Oxidación Avanzada (AOPs, por sus siglas en inglés). Dentro de estos procesos de oxidación avanzada se encuentra la aplicación de peróxidos de hidrógeno, ozono y luz ultravioleta. Suelen ser costosos en especial si el volumen de agua es elevado. (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991)

5. Desinfección. El paso final del tratamiento de agua residual es la desinfección. La desinfección es requerida para destruir todos los organismos patógenos presentes en el agua. El método más común es la cloración. Sin embargo, este método daña la vida acuática del cuerpo receptor por lo que muchos entes reguladores exigen su remoción antes de realizar la descarga. (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991)

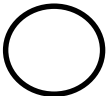
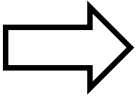


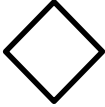
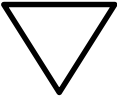
E. Herramientas utilizadas

1. Herramientas de análisis de procesos

a. Diagrama de flujo de operaciones. El diagrama de flujo de operaciones es una herramienta gráfica utilizada para describir y entender un proceso determinado. Muestra la secuencia cronológica usual que siguen los materiales o los operadores que los procesan a través de la planta en donde se lleva a cabo el proceso. Las partes de un diagrama de flujo de operaciones son:

- ✓ **Encabezado:** En él se escribe la información necesaria para identificar a un DOP en específico.
- ✓ **Líneas verticales:** indican el flujo o curso general del proceso.
- ✓ **Líneas horizontales:** Se utilizan para la introducción de materiales, salida de materiales, maquinaria, etc.
- ✓ **Símbolos:** Representación gráfica de las operaciones, transporte, inspecciones, demoras, etc. A continuación se presentan los símbolos más utilizados en la elaboración de un diagrama. (Niebel, 2009)

Cuadro 1: Símbolos Diagrama de Flujo de Proceso

Símbolo	Significado
	Operación: Paso principal de un proceso método o procesamiento.
	Transporte: Desplazamiento de los trabajadores o trayectoria de los materiales de un lugar a otro.
	Demora o espera: Indica el estancamiento o inactividad de un material durante un proceso de producción.
	Inspección: Verificación de calidad y cantidad del producto.
	Decisión: Se coloca generalmente luego de una inspección para definir que curso se tomará: continuar con el proceso o detenerlo, etc.
	Almacenamiento: Depósito de un objeto en un almacén.

b. Diagrama de Pareto. El principio de Pareto fue popularizado en la década de los cincuenta por Joseph Juran luego de observar que gran parte de los defectos de calidad eran producto de pocas causas. Este principio obtiene su nombre de Vilfredo Pareto un economista italiano que determinó que el 85% de la riqueza en Italia, en ese entonces, le pertenecía únicamente al 15% de la población. El principio de Pareto, entonces, se refiere a que gran parte de los problemas o defectos de un producto, proceso, etc. son resultado de pocas causas. (Evans & Lindsay, 2008)

Con base al principio antes descrito se realiza el análisis de Pareto. Este análisis es utilizado para examinar los datos recopilados durante la realización de un estudio. Como apoyo visual para llevar a cabo el análisis se utiliza el diagrama de Pareto. El diagrama muestra con claridad la magnitud de los problemas más costosos o significativos y permite identificar las oportunidades de mejora. (Evans & Lindsay, 2008)

2. Herramientas Administrativas y de Gestión de la Calidad

a. Plan de Capacitación. Para poder realizar un Plan de Capacitación debe definirse en primera instancia que tipo de capacitaciones son las más adecuadas para los colaboradores de determinada empresa. De acuerdo con Robbins y Coulter en su libro “Administración”, existen dos tipos de capacitaciones, una general y una específica. Una capacitación general incluye temas como crecimiento personal, habilidades de supervisión, comunicación, servicio al cliente, habilidades de conocimiento, entre otras. Mientras que una de tipo específico incluye temas como: habilidades básicas de trabajo, creatividad, concientización, manejo del cambio, liderazgo, conocimiento del producto, habilidades para hablar en público, seguridad, ética, aceptación entre otros.

Además deben considerarse los métodos de capacitación que se utilizarán. Los métodos más comunes se clasifican en tradicionales y los métodos basados en la tecnología. A continuación se enumeran los métodos de cada clasificación:

Cuadro 2: Métodos de Capacitación

Tradicionales	En el trabajo	Se aprende llevando a cabo las actividades, por lo general luego de una introducción inicial a la tarea.
	Rotación de puestos	Los empleados trabajan en diferentes puestos dentro de un área en particular.
	Metoreo y entrenamiento	Se trabaja con un empleado experimentado (mentor) quien proporciona información, soporte y aliento.
	Ejercicios de experiencia	Capacitaciones cara a cara. Ejercicios de simulación.
	Manuales/Cuadernos de trabajo	Los empleados obtienen información a través de manuales o cuadernos de trabajo.
	Conferencias	Las capacitación se llevan a cabo en un salón de conferencias para transmitirles información específica.
Basados en la tecnología	CD-ROM/DVD/cintas de audio/podcasts	Se capacita a través de medios seleccionados para transmitir información o demostrar técnicas.
	Videoconferencias/teleconferencias/TV vía satélite	Los empleados atienden o participan mientras se transmite la información a través de los medios seleccionados.
	Aprendizaje en línea	Capacitación por Internet. Los empleados participan en simulaciones multimedia o en otros módulos interactivos.

Fuente: (Robbins & Coulter, 2010)

b. Círculo de Calidad. Los círculos de calidad se originaron en Japón alrededor de la década de los sesenta. De acuerdo con Evans y Lindsay en su libro “Administración y Control de la Calidad”, los círculos de calidad son equipos de trabajadores y supervisores que se reúnen periódicamente para dar solución a problemas relacionados con el trabajo que comprenden la calidad y la productividad. Los objetivos principales de los círculos de calidad son:

1. Reducir errores
2. Aumentar la calidad
3. Incrementar motivación
4. Crear cultura de prevención
5. Capacitar para resolver problemas
6. Mejorar la comunicación
7. Desarrollar relaciones más armoniosas entre jefes y subordinados.
8. Promover el desarrollo personal.

En la siguiente ilustración se presenta el proceso que se lleva a cabo dentro de un círculo de calidad:

Ilustración 1: Proceso dentro de un círculo de calidad



Fuente: (Robbins & Coulter, 2010)

Algunos resultados producto de la implementación de los círculos de calidad son cambios en los porcentajes de producción, defectos, productos rechazados y tiempo perdido.

c. Indicadores de Desempeño. Para medir los avances y comparar el desempeño real contra un estándar establecido se debe utilizar el proceso de control administrativo. De acuerdo con Robbins y Coulter en su libro “Administración” el proceso de control consta de los siguientes tres pasos:

Ilustración 2: Pasos del Proceso de Control



Fuente: (Robbins & Coulter, 2010)

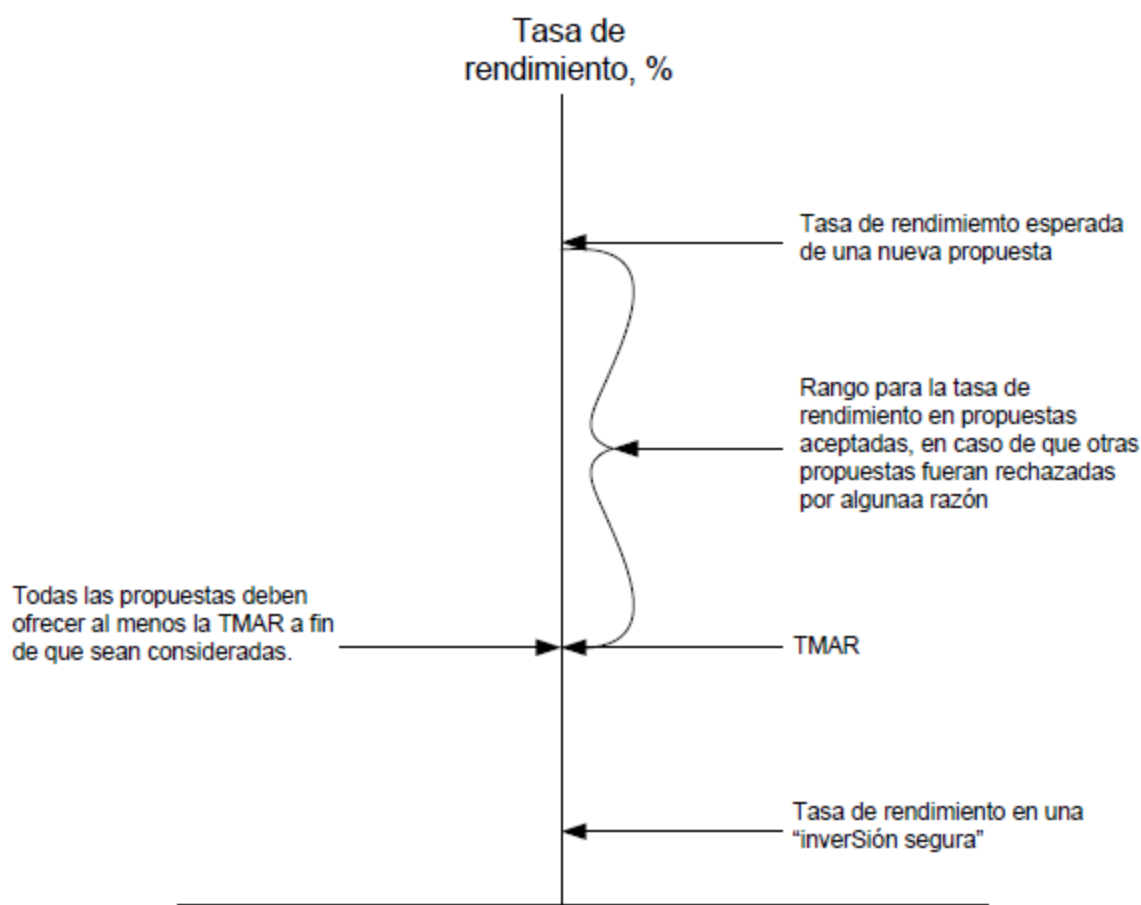
El primer paso del proceso de control, medición del desempeño real, se refiere a la recolección de información de lo que se pretenda medir. Para recolectar la información pueden utilizarse observaciones personales, reportes orales, escritos o estadísticos. El primer paso también se refiere a determinar lo que se medirá ya que, por lo general, lo que se mide es lo que determina que harán los trabajadores. Se considera importante mencionar que los parámetros a medir, conocidos como indicadores, deben ser cuantificables.

El segundo paso, consiste en comparar el desempeño real contra un estándar. Para poder realizar esta comparación debe determinarse un rango de variación aceptable entre ambos valores. Por último, luego de la comparación, debe elegirse si es necesario corregir el desempeño real, revisar el estándar o no hacer nada. En el primer caso, se decide si tomar una acción correctiva inmediata o básica. La primera se refiere a corregir los problemas en el momento y la segunda, consiste en analizar la fuente del desempeño para corregirla y eliminar la desviación de raíz.

3. Herramientas y conceptos de análisis Financiero

a. TMAR. Para que cualquier inversión se considere rentable, el inversionista debe recibir una cantidad mayor de dinero a la que invirtió en un principio. En ingeniería, las alternativas de inversión se evalúan con base al pronóstico de una tasa de retorno razonable. La tasa de retorno razonable es conocida como "Tasa Mínima Atractiva de Retorno" (TMAR) y debe ser mayor a la tasa que ofrece un banco o inversión segura de riesgo mínimo. (Blank & Tarquin, 2006)

Ilustración 3: Tasa de rendimiento, TMAR y Evaluación de propuestas



Fuente: (Blank & Tarquin, 2006)

La TMAR es establecida por la dirección de la empresa o inversionista que realizará una inversión. Y se puede calcular a través de la siguiente ecuación:

$$TMAR = Tasa\ de\ Interés\ Líder + Tasa\ de\ Inflación + Premio\ de\ Riesgo$$

Donde el premio de riesgo se refiere al verdadero crecimiento del dinero. Recibe este nombre ya que el inversionista siempre arriesga su dinero a menos que invierta en el banco, por lo que al arriesgarlo merece una ganancia adicional sobre la inflación. (Blank & Tarquin, 2006)

b. Tasa Interna de Retorno (TIR). También conocida como Tasa Interna de Rendimiento es uno de los criterios más utilizados para la evaluación de proyectos. La TIR se define como la tasa de interés obtenida en el saldo de inversión no recuperado de un proyecto; tal que al concluir el mismo el saldo no recuperado será cero. Para determinar la tasa de retorno en una serie de flujo de efectivo se busca encontrar una tasa de interés a la cual los flujos de efectivo del proyecto o alternativa sean equivalentes. La TIR siempre será mayor que cero si la cantidad total de los ahorros es mayor que la cantidad total de egresos (Blank & Tarquin, 2006).

El rango dentro del cual puede oscilar la tasa se encuentra entre -100% al infinito positivo. En términos de una inversión, si la TIR es de -100% quiere decir que se ha perdido la cantidad completa. A partir del resultado del cálculo de la TIR se puede determinar si una serie de efectivo de un proyecto es viable a través de su comparación con el valor establecido de la TMAR de la siguiente manera:

Si $TIR \geq TMAR$ el proyecto es económicamente viable.

Si $TIR \leq TMAR$ el proyecto no es económicamente viable.

(Blank & Tarquin, 2006)

c. Valor Presente Neto (VPN). Es uno de los métodos más conocidos y aceptados para evaluar proyectos ya que a través de él se mide la rentabilidad de los proyectos en valores monetarios que exceden a la rentabilidad deseada después de recuperar la inversión. De los resultados del análisis de valor presente neto se puede determinar si el proyecto en cuestión es viable económicamente o si no lo es de la siguiente manera:

Si $VPN \geq 0$ el proyecto es económicamente viable. Se estaría ganando más del rendimiento solicitado.

Si $VPN \leq 0$ el proyecto no es económicamente viable. No se estaría ganando el rendimiento mínimo solicitado.

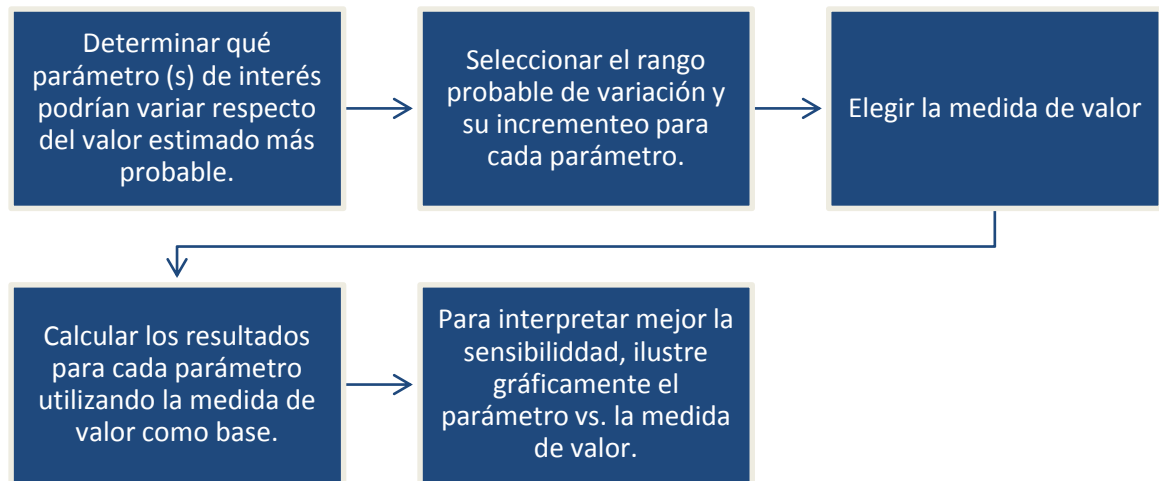
(Blank & Tarquin, 2006)

d. Análisis de Sensibilidad. A través del análisis de sensibilidad se determina la forma en que se alterarían las medidas de valor como el VPN o la TIR y el proyecto evaluado si un parámetro particular variara dentro de un rango de valores establecido. Por parámetro se entiende cualquier variable o factor para el que es necesario un valor estimado o determinado. (Blank & Tarquin, 2006)

La importancia del análisis de sensibilidad se debe a que durante un análisis económico se emplean estimaciones de valores futuros de un parámetro que siempre tienen algún margen

de error e imprecisión. Al realizar un análisis de sensibilidad se sigue el procedimiento general descrito a continuación:

Ilustración 4: Proceso de un Análisis de Sensibilidad

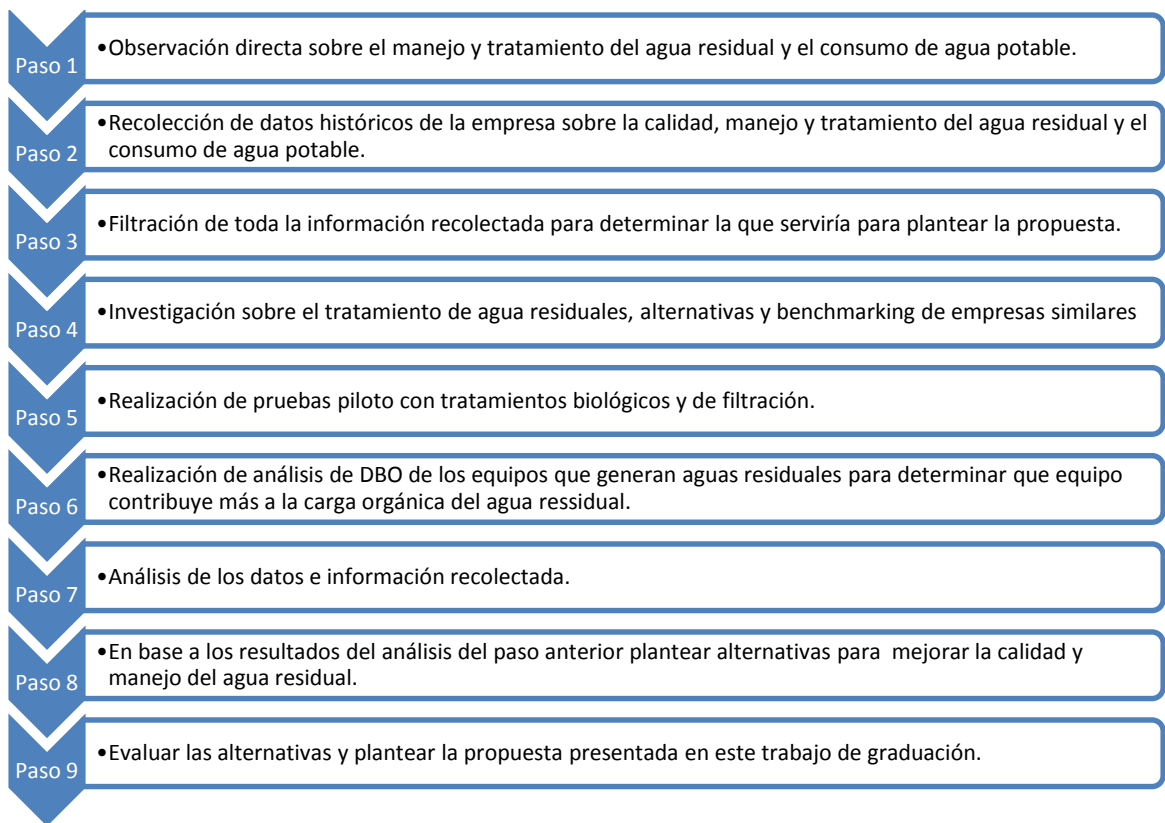


Fuente: (Blank & Tarquin, 2006)

V. METODOLOGÍA

Para la realización de la presente propuesta se utilizaron los conocimientos y herramientas aprendidas durante el curso de la carrera de Ingeniería Industrial, entre los cuales se pueden mencionar: las herramientas de proyección financiera, diagramas de flujo de operaciones, gráficos de control, diagramas de Pareto, administración de personal, indicadores de desempeño, entre otros. Con estas herramientas y conocimientos se analizaron, tanto los datos recolectados, como la información histórica con la que contaba la empresa sobre el tema. La metodología utilizada se describe a continuación:

Ilustración 5: Metodología



Es importante mencionar que las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo están planteadas en base a las observaciones, pruebas realizadas y cambios sugeridos en el manejo y tratamiento del agua residual del proceso productivo durante y después de la realización del mismo. Esta propuesta está orientada a la sostenibilidad del tratamiento de agua de la empresa, el mejoramiento de la calidad del agua residual y a la reducción de su generación.

VI. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

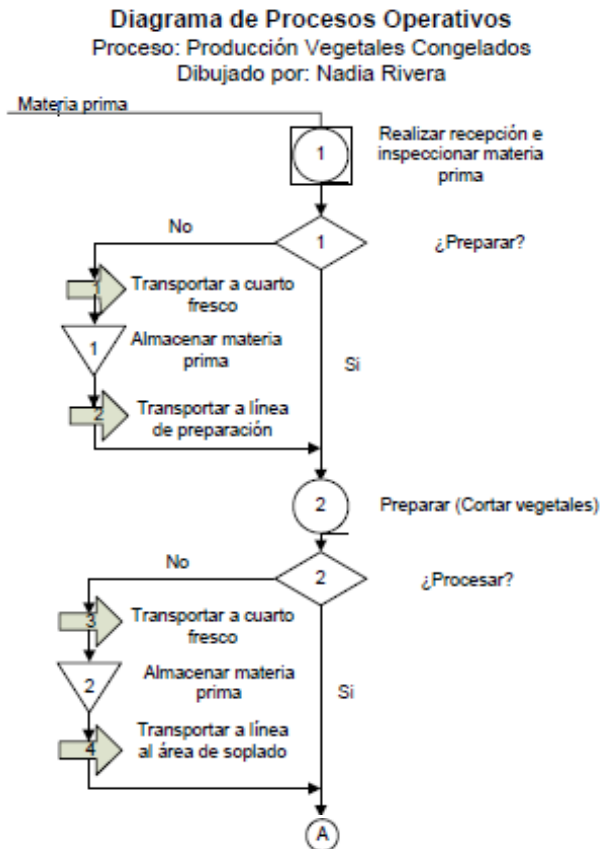
A. Descripción de la empresa

La empresa agroindustrial de vegetales congelados ubicada en Guatemala, se dedica a la exportación, de vegetales congelados y frescos de la más alta calidad, entre los cuales se pueden mencionar zanahoria, brócoli, Oca, etc. representando el 60% de su producción el brócoli. Es parte de una importante corporación estadounidense de alimentos y cuenta con más de 40 años de experiencia en el mercado.

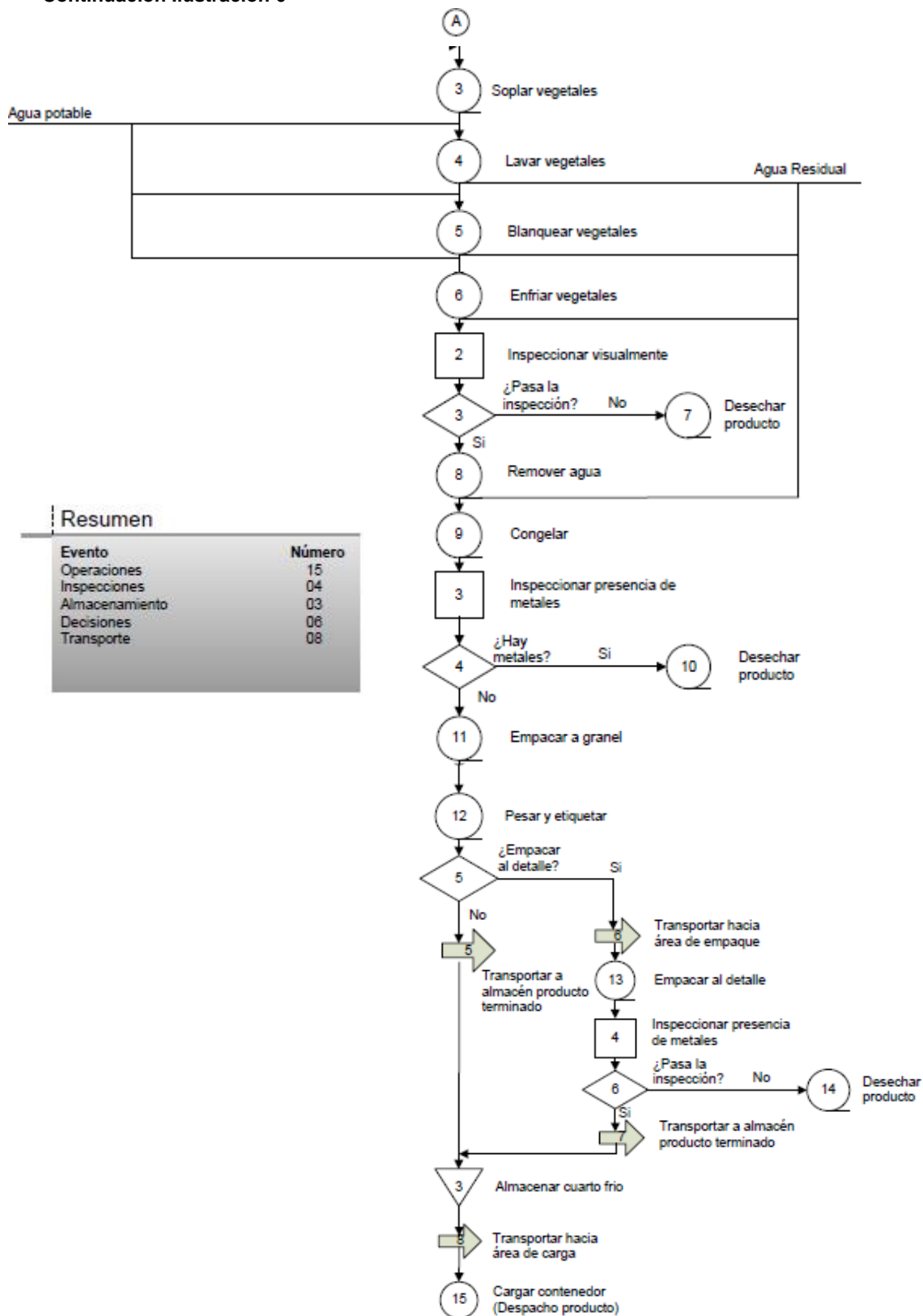
B. Uso del agua

El proceso de preparación de los vegetales antes de su empaque final, implica una serie de etapas. En algunas de estas etapas, se emplea agua no sólo para limpieza sino también como parte integral del proceso. Los procesos pueden variar dependiendo del tipo de vegetal procesado, pero en general, se incluye la preparación, lavado, cocción, enfriamiento y congelado del producto y las limpiezas internas de la planta y de las líneas de producción. Actualmente la empresa cuenta con dos líneas de producción y una de empaque al detalle.

Ilustración 6: Diagrama de operaciones del proceso de producción, uso de agua y generación de aguas residuales.



Continuación Ilustración 6



1. Área de preparado. Antes que los vegetales pasen a cualquiera de las dos líneas de proceso con las que cuenta la planta, requieren de una preparación que puede variar dependiendo del tipo de vegetal que se esté manejando. Esta preparación generalmente incluye el corte de los vegetales.

a. Recepción de vegetales. Los vegetales son transportados desde las áreas de cultivo a la planta procesadora, por medio de camiones que descargan en las rampas disponibles para dicha actividad. El consumo de agua en esta etapa es mínimo ya que únicamente se utiliza para la limpieza diaria de las rampas. El lavado de camiones se realiza fuera de la planta procesadora y es responsabilidad del proveedor de transporte de los vegetales.

b. Almacenamiento en cuartos fríos. No todo el producto se procesa inmediatamente, por lo que después de ser descargado de los camiones, se almacena en un cuarto fresco. En esta etapa el consumo de agua es mínimo, ya que se emplea únicamente para la limpieza de los cuartos frescos y de las canastas plásticas y tarimas que se utilizan para almacenar los vegetales.

c. Corte y remoción de material extraño. Esta etapa varía dependiendo del tipo de vegetal que se esté procesando. Generalmente se realiza una inspección visual para eliminar cualquier material extraño durante el corte. En esta etapa no se utiliza agua, excepto para limpieza de áreas y cuando se está preparando zanahoria. La zanahoria pasa por una peladora a vapor y luego por una peladora de cepillos. Ambas, la peladora a vapor y la peladora a cepillos utilizan agua durante su operación. En algunos casos se realiza un primer corte para retirar porciones del vegetal no deseadas en su procesamiento.

El corte de los vegetales se realiza mecánica y manualmente. Luego del proceso de corte el producto pasa por sopladores cuya función es remover el material extraño y las partes no deseadas (rechazo) del producto.

d. Lavado de vegetales. Durante el lavado, el producto ingresa a la lavadora industrial de la línea de producción. En esta etapa se utiliza agua que recircula de acuerdo a la línea. En el caso de la línea 1 el agua recircula por 7 horas y en la línea 2 por 24 horas antes de ser desechada por el drenaje o al haber cambio de producto. Ambas lavadoras tienen un guarda nivel. Si el nivel del agua baja, las mismas se alimentan con agua fresca.

En resumen el agua se utiliza de diferentes maneras: para lavado del producto y como recurso para la limpieza de las áreas de preparación.

En la etapa de preparado, la mayor cantidad de contaminantes son pequeños trozos de vegetales que se producen por la acción mecánica de los equipos de corte y lavado. Para evitar que estos lleguen al agua, se han instalado rejillas en los colectores de los drenajes. También se colocan canastas plásticas por debajo de los equipos, para que los trozos vegetales caigan sobre ellas y no contaminen las descargas de aguas residuales. La mayoría estos desechos vegetales se acumulan y se emplean posteriormente como alimento para ganado.

A causa de diversos factores, muchos trozos de vegetales caen al piso y luego a los drenajes, aún con las medidas implementadas. El principal factor es una limpieza en seco deficiente. A este le sigue el mal manejo de las rejillas, de las mangueras y del agua durante las limpiezas.

2. Área de proceso. Como se mencionó con anterioridad, la planta cuenta con dos líneas de proceso en donde se desarrollan diferentes operaciones dependiendo del tipo de vegetal en proceso. Las operaciones básicas para todos los productos excepto Ocrá cortada son: blanqueo, enfriamiento, inspección visual, remoción de exceso de agua, congelado, detección de metal en línea y empaque. En el caso de la Ocrá cortada se realiza el corte antes de la inspección visual.

a. Blanqueo. El proceso de blanqueo es un cocimiento del vegetal por medio de vapor. Los vegetales se transportan del área de preparación por medio de un transportador que los conduce directamente a la cámara de blanqueo. En esta etapa se utiliza agua en forma de vapor, cuyos condensados se colectan en la parte inferior. Únicamente la cámara de blanqueo de la línea 2 posee un tamiz que evita que los residuos vegetales sean arrastrados por el agua al caer por el drenaje.

b. Enfriamiento. El principal medio de enfriamiento en ambas líneas son los enfriadores de aire forzado (Air Coolers). Luego que los vegetales pasan por la cámara de blanqueo, se aplica agua fría a menor de 10°C para reducir su temperatura. El agua se aplica por medio de unos aspersores colocados por encima de la banda que transporta el producto hacia el enfriador de aire. En esta etapa se observa que el retorno de la banda arrastra trozos pequeños de vegetales. Algunos son retenidos por canastas plásticas que se colocan en la parte inferior de la banda, pero otros son arrastrados por el agua al drenaje.

c. Corte de Ocra. La línea 2 cuenta con 10 cortadoras para Ocra las cuales utilizan agua para evitar daños al producto por la fricción generada. Estas cortadoras utilizan agua a una temperatura menor de 10°C. El agua generada en este proceso es desechada por los drenajes conteniendo residuos de liga y semillas de la Ocra.

d. Inspección y congelado. Para los demás productos, luego de la etapa de enfriamiento, se procede a inspeccionarlos en las mesas de inspección de cada línea. Durante este proceso, se extrae manualmente material extraño y producto con defectos. Posteriormente, empleando el sistema de lecho fluidizado conocido como IQF (Individual Quick Frozen), se congela el producto.

Este método tiene varias ventajas ya que el congelamiento es individual, por lo que no se forma agregados vegetales, y el producto mantiene una buena apariencia. El aire forzado enfriado con amoníaco pasa por los serpentines para congelar el producto. Ya que el sistema emplea una corriente de aire frío, cierta cantidad de partículas vegetales expulsadas por este aire, se mezclan con el agua utilizada para las limpiezas.

1) Lavado de congeladores

a) Línea 2. En el caso del congelador de la línea 2 las limpiezas se realizan cada 24 horas o de acuerdo a la necesidad por el producto que se esté procesando. Cuando se lava el congelador de la línea, se lavan los tanques de agua del mismo calentándola a 60°F. El congelador cuenta con 2 tanques. El tanque superior (tanque 2) le brinda el agua a los serpentines. El agua luego cae a una tubería con un filtro integrado para remover todos los residuos vegetales para finalmente llegar a un tanque más pequeño (tanque 1). Una vez está en este tanque, el agua es enviada al tanque superior por medio de una bomba. La capacidad del tanque 1 es de 592 litros y la del segundo tanque es de 1,413 litros de agua.

b) Línea 1. Debido al modelo del congelador de la línea 1 es necesario que aproximadamente cada 6 a 7 horas se lave. El lavado consiste en la remoción de residuos, enjabonado y desinfección del equipo. De manera simultánea al lavado del congelador se realiza la limpieza de todo el equipo de la línea.

2) Deshielo de serpentines

a) Línea 2. Cada 12 horas se realiza retira el exceso hielo del piso del congelador de la línea 2 manualmente. Este congelador tiene un deshielo continuo de los serpentines, utilizando el agua de los dos tanques del mismo. El agua de los tanques se mantiene

recirculando (filtrada y tratada con ácido peracético como desinfectante) durante estas 12 horas, antes de ser eliminada al drenaje durante la limpieza de los tanques de agua del congelador.

b) Línea 1. Para este congelador se posee un tanque de agua que se lava cada vez que se realizan las lavadas del congelador. El agua del tanque no recircula, pero se poseen las tuberías de acero inoxidable para en un futuro próximo instalar otro tanque y permitir que el agua recircule disminuyendo el consumo. El tanque actual tiene una capacidad de 2,111 litros.

3. Empaque. Hay diferentes tipos de empaque, dependiendo de las características del producto final. El producto se puede empacar a granel, en cajas de 900 a 1,500 libras o en empaque al detalle. Este proceso no emplea agua, ésta se utiliza únicamente para la limpieza del área.

a. Empaque al detalle. Para empacar el producto al detalle se emplea una máquina para pesar y formar la bolsa del empaque. El producto congelado es transportado a esta área en cajas de 900 a 1,500 libras. El contenido de estas cajas se vierte en tolvas de acero inoxidable.

Una vez en la banda transportadora hacia la máquina, el producto es inspeccionado por operarios capacitados para remover cualquier tipo de material extraño o producto con defectos. Al salir de la máquina ya empacado al detalle, el producto pasa por un detector de metales para finalmente ser empacado en cajas que varían de tamaño de acuerdo a los requerimientos del cliente. En el proceso de empaque al detalle se utiliza agua únicamente para la limpieza de las áreas.

C. Consumo de agua estimado para uso industrial

Los siguientes datos fueron obtenidos de las lecturas de los contadores instalados en la empresa instalados en el área de la cisterna que es el punto de reunión del agua de los pozos de la empresa para su posterior distribución. Estos datos son valores estimados del consumo de agua diario de cada una de las líneas:

Tabla 2: Consumo de agua durante el proceso productivo

Línea	Consumo de agua (m ³)	
	Límite inferior	Límite superior
1	248.43	310.46
2	200.57	310.46
Empaque Individual	11.38	25.29
Total	460	720

Los rangos estimados del consumo de agua diario en cada una de las líneas son tan amplios debido a que la empresa opera cuatro meses los siete días de la semana, 24 horas, cuatro, opera seis días a la semana, 24 horas diarias y cuatro opera cinco días a la semana, las 24 horas al día. La estimación del límite superior del rango se obtuvo del promedio de dos meses considerados época alta de producción, y el límite inferior se estimó a través del promedio de consumo de agua de dos meses considerados época baja de producción. Es importante mencionar que los valores fueron obtenidos de datos históricos del año 2010, 2011 y parte del 2012 (hasta Agosto 2012).

D. Uso doméstico del agua

En esta empresa laboran entre 250 y 395 personas divididas en 2 turnos, y en el área de preparado, además del personal fijo, laboran preparadores externos en 3 turnos de 8 horas cada uno. Durante el día labora el 60% del personal y durante la noche, el 40%, por lo que una cantidad importante de agua se utiliza para los fines domésticos del personal. La empresa cuenta con varias áreas de sanitarios:

- ✓ Garita
- ✓ Laboratorio
- ✓ Oficinas de Recepción
- ✓ Oficinas de Administración
- ✓ Sanitario General para mujeres

- ✓ Sanitario General para hombres
- ✓ Clínica Médica
- ✓ Lavandería
- ✓ Área de Piscina.
- ✓ Área de Ingenieros

Se estima que el consumo promedio de agua para fines domésticos oscila entre 15 y 65 m³/día. Al igual que para la estimación del consumo de agua de proceso, para estimar el consumo de agua para fines domésticos, de acuerdo a los datos obtenidos a través de los contadores instalados, se obtuvo un promedio. Este promedio se calculó en base a dos meses de alta producción (cuando más personal labora en la empresa, incluyendo una mayor cantidad de preparadores externos) y dos meses de baja producción lo que explica la amplitud del rango del consumo. El uso doméstico del agua se incluye en el estudio ya que como objetivo del mismo se encuentra el reducir el consumo de agua y la posible reutilización del agua residual.

E. Manejo del agua residual

1. Manejo y tratamiento del agua residual. Es importante mencionar, como primer punto, que el estudio se enfocará en su mayoría en el agua residual resultado del proceso productivo y no del agua utilizada para fines domésticos. Como se mencionó durante la descripción de la empresa, los drenajes cuentan con rejillas para evitar que la mayoría de residuos sólidos caiga a los mismos. Aún con estas precauciones se ha observado que una cantidad considerable de residuos sólidos es arrastrada en el agua residual. Una vez el agua cae a los drenajes, la misma, fluye por gravedad hacia un canal de concreto. El canal conduce las aguas hacia el área de tratamiento.

El tratamiento consiste en la separación de los residuos sólidos vegetales y algunos objetos y materiales que puedan haber caído en los drenajes. La separación de los residuos sólidos vegetales se lleva a cabo a través de un filtro rotatorio. De estar bajo mantenimiento el filtro rotatorio, la empresa cuenta con un vibrador que cumple con la misma función.

2. Descargas. El 100% del agua es reutilizada. La mayoría se reutiliza a través del riego de los jardines de la empresa y de pastizales aledaños. Para el riego en los pastizales aledaños la empresa cuenta con autorización previa de los dueños de los mismos. Parte del agua residual de proceso se utiliza para la limpieza del área de parqueos. El problema con las descargas es que debido a la creciente urbanización del sector puede que en un futuro cercano ya no exista la oportunidad de irrigar estos terrenos. Esto representa un problema debido a la cantidad de agua

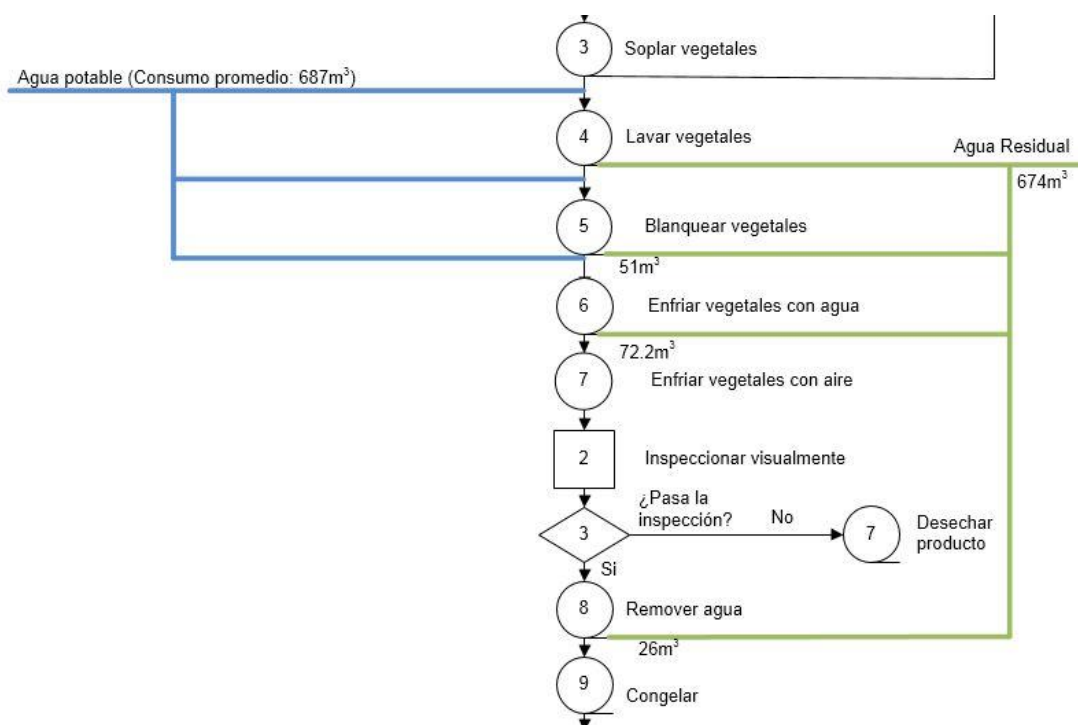
empleada en el proceso ya que sin esta opción la empresa no podría desechar eficientemente del agua residual generada.

3. Calidad del agua residual. Por más de 15 años la empresa ha monitoreado la calidad de sus aguas caracterizándolas regularmente cada tres meses obteniendo un total de cuatro análisis por año (Ver Anexo 1: Tabla de resultados de caracterización 2009-2012). El muestreo de dos de estos análisis lo lleva a cabo un laboratorio externo a la empresa. En el Anexo 2 se presentan las gráficas del comportamiento de los valores de los parámetros caracterizados.

4. Balance consumo de agua potable y generación de agua residual.

En dos de los análisis por año que se le realizan al agua residual se mide el caudal de agua residual durante 24 horas. Considerando un caudal promedio de 7.8 l/s de la medición de Enero de 2012 y el consumo estimado de agua potable de esas mismas 24 horas se realizó el siguiente diagrama de balance entre el consumo de agua potable y generación de agua residual.

Ilustración 7: Balance consumo de agua potable y generación de agua residual



El volumen de agua residual generado es 1.89% menor que el volumen de agua consumido debido a pérdidas durante el proceso (los vegetales la absorben, se descarta una parte junto a los desechos vegetales, etc.) Debido a la falta de contadores que midan específicamente la cantidad de agua que ingresa a cada uno de los procesos no se pudo establecer qué equipo consume más ni qué porcentaje de agua se pierde durante estos procesos.

Por último es importante mencionar que la cantidad de agua que aparece en el diagrama como consumida y como agua residual generada incluye las limpiezas y desinfecciones de las áreas de trabajo, maquinaria y herramientas.

VII. RECOLECCIÓN DE DATOS

A. Observación

En el período de observación se detectaron los siguientes puntos en relación al consumo de agua, generación de agua residual y factores que pueden afectar la calidad de esta última:

Cuadro 3: Observaciones

Observaciones	Consecuencia
<p>De acuerdo a los instructivos para la realización de las limpiezas, las mismas deben iniciar con una remoción de residuos en seco. Esto quiere decir que no se debe utilizar agua hasta que la mayoría de los residuos vegetales se hayan recogido. Sin embargo, se observó que casi de inmediato los operarios toman las mangueras a presión y comienzan a remover los residuos con agua sin importar si los mismos se van por el drenaje. Cabe mencionar que los operarios que trabajan en las líneas inspeccionando, empacando, etc. son los encargados de realizar las limpiezas</p>	
<p>Dentro del área de proceso, las rejillas de los drenajes en algunas áreas de producción tienen una separación muy amplia por lo que cierta cantidad de residuos caen directo al drenaje. A esto se le suma que en algunos drenajes se hicieron unos pequeños canales para que el agua proveniente de la operación normal de los equipos o de las limpiezas llegue con más facilidad evitando que se estanque en el piso.</p>	<p>Agua residual generada de mala calidad debido a la gran cantidad de residuos vegetales que caen por el drenaje.</p> <p>Alto consumo de agua.</p>
<p>Algunas veces las canastas colocadas debajo de los equipos no se encuentran bien colocadas por lo que los residuos caen al piso y/o drenajes. (Ver anexo 3: Ilustración 3.1: Uso de canastas).</p>	
<p>Durante la producción, y específicamente en el enfriamiento, se pudo observar que no se ha estandarizado la cantidad de agua que debe utilizarse para este fin. Muchas de las veces los aspersores de enfriamiento se encuentran abiertos al máximo de su capacidad y los operarios no saben por qué.</p>	
<p>Se observó algunas tuberías dentro del área de proceso con fugas menores y algunas mangueras en mal estado contribuyendo al desperdicio de agua.</p>	

VIII. ANÁLISIS DE DATOS

Para poder plantear una propuesta para el manejo y reuso del agua residual fue necesario analizar los datos históricos que guarda la empresa de las caracterizaciones del agua residual. A continuación se presenta el resultado del último análisis realizado al momento del estudio comparándolo con los límites permisibles por el reglamento según el Artículo 20: Límites máximos permisibles de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores:

Tabla 3: Calidad actual del agua residual

Parámetros	Dimensionales	Valores Actuales (Empresa) Abril 2012	Valores iniciales*	Valores etapa 1 2011	Valores etapa 2 2015	Valores etapa 3 2020	Valores etapa 4 2024
Temperatura	Grados Celsius	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7	TCR+/-7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	14	1500	100	50	25	10
Material flotante	Ausencia/presencia	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	174	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	49	1400	100	50	25	20
Fósforo total	Miligramos por litro	4.84	700	75	30	15	10
DQO	mg/L- O2	877					
DBO	mg/L- O2	398	500	300	250	150	100
Potencial de hidrógeno	Unidades de potencial de hidrógeno	7.6	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en 100 mililitros	5400	<1x10 ⁸	<1x10 ⁶	<1x10 ⁵	<1x10 ⁴	<1x10 ⁴
Color	Unidades platino cobalto	165	1500	1300	1000	750	500

*Valores iniciales de acuerdo al Reglamento

Como se puede observar en la tabla anterior el único parámetro que no cumple con la segunda etapa del Reglamento a cumplirse en el año 2015 es la demanda bioquímica de oxígeno. Algunos de los parámetros restantes cumplen inclusive con la cuarta etapa del reglamento. Se exceptúan los sólidos suspendidos, el nitrógeno total y las grasas y los aceites, aunque si cumplen con la segunda etapa. Además, como se puede observar en la tabla de resultados históricos de los últimos tres años y las gráficas de los mismos, los valores de los parámetros (exceptuando la DBO) mantienen esta tendencia cumpliendo con todas las etapas del reglamento, incluyendo los parámetros que en estos últimos resultados no cumplen. A partir de estos resultados se puede confirmar lo investigado acerca de las aguas residuales de la industria de alimentos específicamente vegetales sobre las características distintivas de estas aguas, DBO y sólidos suspendidos elevados. Por último, es importante mencionar que el reglamento a pesar de que si exige la evaluación de la demanda química de oxígeno (DQO), no establece límites máximos para este parámetro.

El Reglamento también exige la evaluación de la presencia de metales pesados en el agua residual. A continuación se presenta una tabla con los resultados del último análisis realizado en el agua residual de metales pesados:

Tabla 4: Resultados metales pesados

Parámetros	Dimensionales	Valores Actuales Agosto 2011	Valores iniciales*	Valores etapa 1 2011	Valores etapa 2 2015	Valores etapa 3 2020	Valores etapa 4 2024
Arsénico	Miligramos por litro	0.007	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	ND	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	ND	6	3	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	ND	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	ND	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	ND	0	0.4	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	ND	6	4	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	0.009	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	ND	10	10	10	10	10

*Valores iniciales de acuerdo al Reglamento

** ND significa No Detectado.

Como se puede observar en la tabla anterior, ningún metal pesado está presente en cantidades significativas, encontrándose por debajo de los límites de detección. Debido a que se trata de una empresa de alimentos la presencia de este tipo de sustancias es indeseable por lo que no es posible que en las descargas se encuentren rastros de los mismos.

A. Análisis de la demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de oxígeno requerido para la descomposición de la materia orgánica por organismos unicelulares. Representando, entonces, la cantidad de materia orgánica biodegradable presente en el agua, se procedió a muestrear el agua residual de distintos productos tanto durante el proceso como durante las limpiezas. Se muestreó durante las limpiezas debido a que se planteó como una primera hipótesis que el agua residual durante las mismas tendría un valor más elevado de DBO que durante proceso. La hipótesis se justificaba ya que durante las limpiezas se genera un mayor caudal de agua residual y muchos residuos vegetales caen a los drenajes. Sin embargo, como se puede observar en la siguiente tabla, el valor de la demanda bioquímica de oxígeno durante la limpieza es siempre menor que el valor durante proceso.

Tabla 5: DBO limpieza y DBO proceso productivo

Punto de muestreo	Actividad	DBO (ppm O2)	% de reducción
Bombas de agua residual	Limpieza ocra	30.00	85.29%
	Proceso ocra	204.00	
	Limpieza tallo	375.00	53.70%
	Proceso tallo	810.00	

La obtención de una demanda bioquímica de oxígeno menor durante las limpiezas se debe al aumento en el caudal del agua residual generado durante las limpiezas por el aumento en el consumo de agua potable. El aumento en el caudal diluye el valor de la DBO causando que la misma disminuya. El aumento del caudal se puede evidenciar a través de los datos obtenidos de los estudios de caudal del agua residual exigidos por el reglamento y realizados por el mismo laboratorio externo que caracteriza las aguas residuales. De acuerdo a los datos provistos por el laboratorio de los últimos dos estudios se pudo comparar el comportamiento del agua residual a cada hora contra las libras producidas durante el mismo período de tiempo. A continuación se presentan las gráficas:

Gráfico 1: Comportamiento caudal agua residual vs. libraje producido agosto 2011

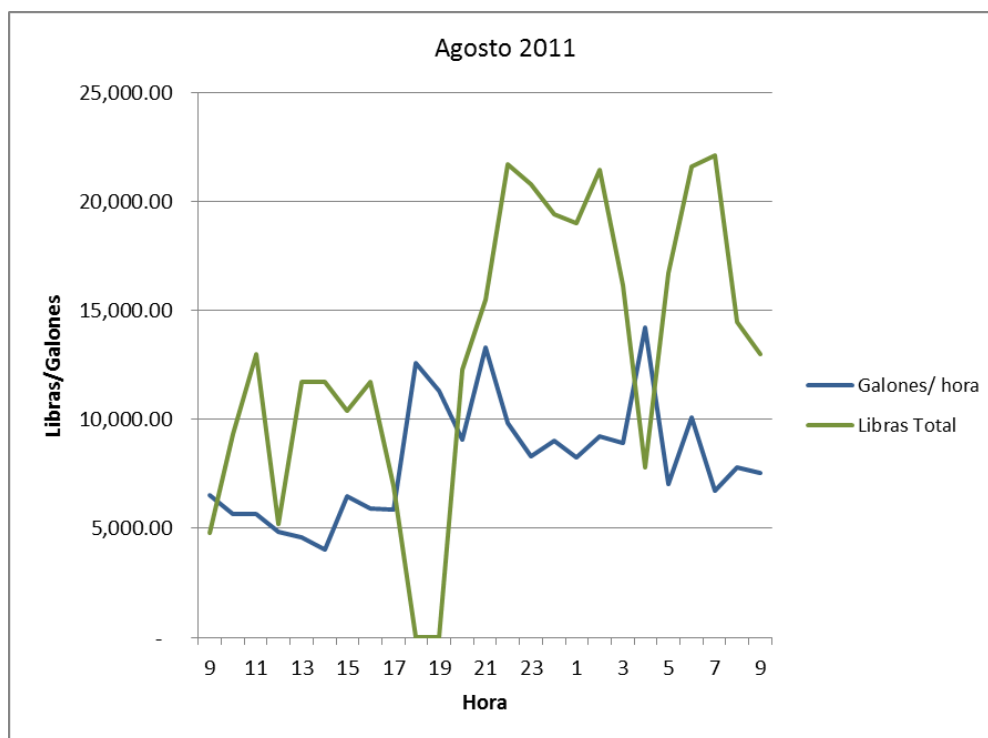


Gráfico 2: Comportamiento caudal agua residual vs. libraje producido en enero 2012



Los datos de caudal de la medición representan el caudal obtenido por el equipo de medición cada 5 minutos. De acuerdo a estos datos se obtuvo el promedio del caudal para cada hora del tiempo que duró el estudio. Este promedio se comparó con la cantidad de libras producidas durante ese mismo periodo de tiempo. Según los reportes de producción y a las mediciones de caudal se pudo corroborar que al realizarse una limpieza de las líneas el caudal del agua aumentaba y las libras totales producidas disminuían por el paro de la línea como se puede observar en las gráficas anteriores. Al tener un volumen de agua más elevado la carga orgánica del agua se diluye disminuyendo el valor de la DBO.

Una vez se determinó que durante el proceso productivo se genera un mayor valor de DBO se procedió a muestrear el agua residual en distintos puntos de las líneas de proceso por producto. A estas muestras se les analizó para determinar qué equipo y producto generaba un mayor valor de DBO. Los puntos a muestrear fueron los siguientes en ambas líneas:

1. Cámara de blanqueo
2. Chorros de enfriamiento
3. Mesas de inspección
4. Cortadoras de Odra (únicamente línea 2)
5. Elevador a congelador
6. Drenaje del área de preparado
7. Lavadoras de producto

A partir de los resultados obtenidos se concluye lo siguiente:

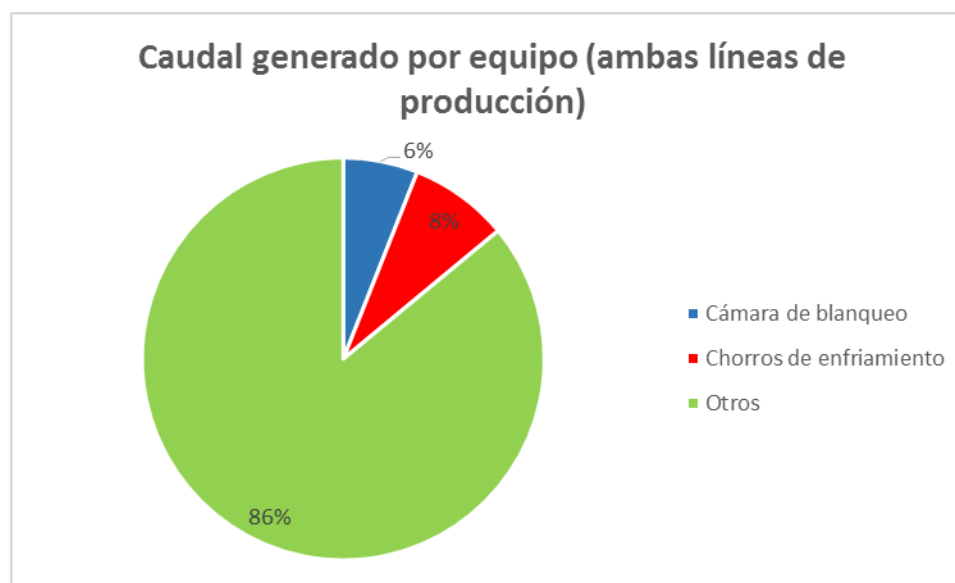
- ✓ Productos con mayor carga de DBO, en orden descendente son:
 - Zanahoria
 - Brócoli
 - Ocra

Ver Anexo 4: Tabla 4.1: Resultados DBO por producto.

- ✓ Como se mencionó con anterioridad durante las limpiezas de las líneas se observa una DBO de menor valor ya que el agua diluye la carga orgánica presente. Se exceptúan los drenajes del área de preparado en los cuales se ha observado la acumulación de sólidos que al momento de lavar el agua arrastra consigo.
- ✓ La cámara de blanqueo es el punto de muestreo que genera el valor más alto de DBO. Este punto además, genera 51 metros cúbicos diarios de agua residual en promedio (6% aproximadamente del agua residual generada diariamente) tomando en cuenta las cámaras de blanqueo de ambas líneas.
- ✓ El segundo punto con un valor elevado de DBO es el agua de enfriamiento antes y después del enfriador de aire. Este punto genera 72.2 metros cúbicos de agua residual diarios en promedio (8% aproximadamente del agua residual generada diariamente) tomando en cuenta los transportadores de ambas líneas. (Ver Anexo 4: Tabla 4.2: Resultados DBO por equipo y Anexo 5: Tabla 5.1: Caudal por equipo).

Para medir el caudal individual de agua residual de cada uno de los puntos antes mencionados se utilizaron bolsas plásticas, un rotulador, y un cronómetro. Por cada punto se tomó de 3 a 5 muestras midiendo únicamente en ese momento el tiempo de llenado. Posteriormente se procedió a medir los volúmenes de las muestras. Del promedio de los cocientes del volumen y el tiempo se obtuvo un valor aproximado del caudal de cada uno de estos puntos. En base a este valor aproximado se estimó la generación promedio de agua residual de cada uno obteniendo los siguientes resultados para la cámara de blanqueo y el agua de enfriamiento:

Gráfico 3: Caudal generado por equipo (ambas líneas de producción)



La porción del caudal generado por equipo de ambas líneas de producción de “otros” incluye las limpiezas de las áreas y las líneas de producción, las cortadoras, las lavadoras, etc.

1. Sólidos y DBO. Tal y como se definió con anterioridad, la demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide la presencia de materia orgánica en el agua residual por lo que otro factor importante a considerar es la generación de residuos sólidos vegetales.

a. Puntos de generación de sólidos. Como parte del tratamiento al agua residual, se separan los residuos vegetales del agua residual. Estos residuos se almacenan en una tolva hasta su desecho final en un camión de recolección que antes de salir de la planta es pesado para llevar control de la cantidad generada. En base al libraje obtenido durante los últimos 3 meses y considerando que alrededor del 40% de la DBO está formada por sólidos sedimentables y un 60% por sólidos disueltos, se identificaron los puntos en los que se genera y acumula la mayor cantidad de residuos vegetales. Se considera importante la identificación de estos puntos para disminuir la probabilidad de que los residuos vegetales que se generan en los mismos lleguen a los drenajes y afecten la calidad del agua residual.

Durante el estudio se identificaron 21 puntos en el área de preparado y 17 en el área de proceso. De estos se midió la cantidad de libras de residuos vegetales durante 4 días. Según los resultados de esta medición y utilizando diagramas de Pareto se determinó cuáles y cuántos de estos puntos representan el 80% de los residuos generados por áreas para enfocarse en los

mismos como parte de la propuesta. (Ver Anexo 6: Tablas de puntos de generación y acumulación de residuos sólidos).

Gráfico 4: Pareto puntos de generación/acumulación de residuos sólidos, área de preparado

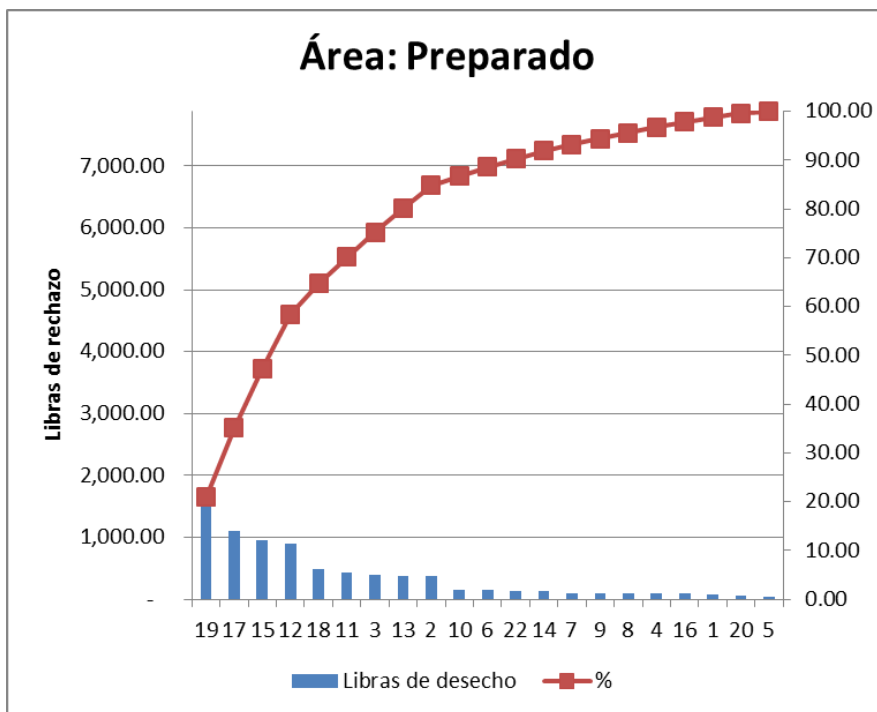
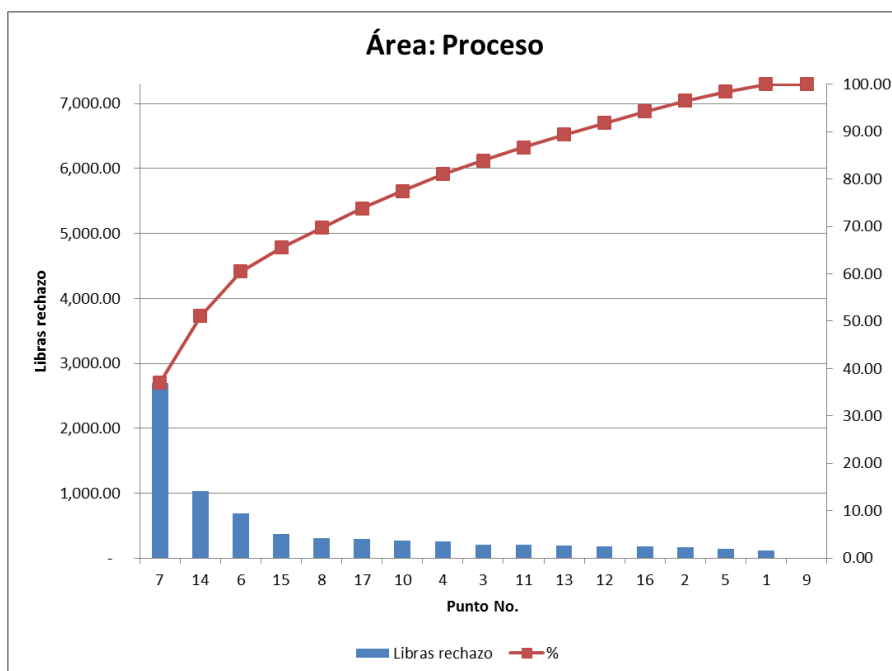


Gráfico 5: Pareto puntos de generación/acumulación de residuos sólidos, área de proceso



Los resultados de los diagramas de Pareto indican que en el área de preparado de los 21 puntos identificados, 8 son los que generan/acumulan más residuos vegetales. Estos puntos son:

19. Salida soplador, ingreso a lavadora línea 1
17. Alimentación soplador línea 1
15. Ingreso lavadora línea 2
12. Parrilla línea 2
18. Redistribución del producto línea 1
11. Clasificadora 3
3. Clasificadora 1 inicio
13. Alimentación soplador línea 2

Para el área de proceso, de los 17 puntos identificados 8 representan el 80% de los residuos vegetales generados/acumulados. Estos puntos son:

7. Parrilla salida congelador línea 2
14. Salida congelador línea 1
6. Fin elevador a congelador línea 2
15. Inicio transportador detector de metales línea 1
8. Inicio transportador detector de metales línea 2
17. Piso mesa de inspección línea 2
10. Elevador a enfriador de aire línea 1
4. Fin cortadoras de ocra, caída hacia mesa de inspección línea 2

Los puntos identificados se clasificaron considerando que tan evitable es la generación y acumulación de residuos en determinado punto y a la naturaleza del residuo vegetal (hojas, tapitas o materia prima en buenas condiciones).

De acuerdo con datos obtenidos de reportes de la empresa, durante los meses de junio de 2011 a mayo 2012 ingresaron a planta aproximadamente 95 millones de libras, de estas el 24% (21.85 millones) fueron desechos sólidos (hojas, producto en el piso, defectos y otros). De estas 21.85 libras, se estima que el 25% (5, 462, 500 libras) es producto que podría haberse exportado representando aproximadamente Q. 16, 295, 000. 00 de ganancia.

Además, el 3.5% (819,620 libras) del 24 % de desechos sólidos, se separaron en el tamiz vibrador y en el filtro rotatorio hacia la tolva de agua residual (se fue en los drenajes) afectando la calidad del agua residual generada.

b. Residuos sólidos recuperados en el tratamiento de las aguas residuales. Como se mencionó con anterioridad, como parte del tratamiento del agua residual, el agua pasa por un filtro rotatorio (en su defecto un tamiz vibrador) para separarla de los residuos sólidos. Los desechos sólidos son almacenados en una tolva hasta ser retirados de la empresa. Antes de abandonar las instalaciones estos residuos son pesados para llevar un control de la cantidad de residuos vegetales generados. A continuación se presentan los resultados del libraje obtenido durante los meses de junio, julio y agosto del presente año y el % que presentan las libras totales ingresadas a planta.

Tabla 6: Rechazo recuperado en tolva de agua residual, año 2012

Mes	Rechazo Total (libras)	Rechazo Tolva (libras)	Total libras ingresadas	% Rechazo tolva del rechazo total	% de rechazo tolva de las libras ingresadas
Junio	717,364.00	22,410.00	3,875,823.00	3.12%	0.58%
Julio	1,769,655.00	65,790.00	8,240,176.00	3.72%	0.80%
Agosto	3,069,581.00	122,600.00	13,155,604.00	3.99%	0.93%

Como se puede observar en la tabla anterior, el porcentaje de rechazo ha ido en aumento a medida que pasan los meses y a medida que aumenta la producción. Es importante mencionar que la mayoría de las libras del rechazo recuperado en la tolva puede evitarse a través de mejorar el pre tratamiento del agua residual y de la colaboración del personal a la hora de realizar las limpiezas.

IX. PRUEBAS PILOTO

A. Tratamientos biológicos

1. Augment L21. Se realizó una prueba durante 21 días con el cultivo bacteriano no patógenos de Rochester Midland, Augment. Este cultivo está formulado específicamente para mejorar el desempeño de lodos activados, filtros, cuencas de desechos, entre otros. Las bacterias tienen la capacidad de degradar grasas, aceites, almidones y celulosa a un ritmo acelerado. Contribuye además, a la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno y de la formación de espuma en el agua.

La prueba consistió en la aplicación manual del producto en distintos puntos de los drenajes de ambas áreas de planta y empaque al detalle. Como resultado se obtuvieron leves desviaciones en el valor de la DBO, aunque no fueron concluyentes por el corto tiempo de retención del agua residual.

2. WCS7701. Se llevó a cabo una segunda prueba durante un mes y 20 días con el líquido bacteriano WCS7701. Este líquido de bacterias está diseñado para aplicaciones en los procesos de las plantas alimenticias y las tuberías de grasa y aceites. Trabaja en medios anaerobios y aerobios. Al igual que Augment L21 este producto no está conformado por bacterias patógenas.

A diferencia de la prueba anterior, este producto se aplicó a través de un dosificador, directamente en el primer tanque del área de bombas de agua residual. Este tanque recibe el agua residual previa a la separación de los sólidos vegetales. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 7: Resultados segunda prueba piloto cultivo bacterias

	11/7/2012	30/08/2012
Producto en proceso	Brócoli	Brócoli
Punto muestreo	Bombas agua residual	Bombas agua residual
DBO (ppm)	810	600
% reducción	25.93%	

Se decidió realizar la prueba en el primer tanque del área de tratamiento del agua residual ya que en el mismo las bacterias podrían reproducirse y actuar por más tiempo. El resultado, como se puede observar en la tabla fue una reducción del DBO de un 25.93%.

B. Prueba de filtrado

1. Filtro de 100 micrones. Se realizó una prueba de filtración con un filtro de 100 micrones para evaluar la mejoría de ciertos parámetros. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 8: Resultados prueba filtrado.

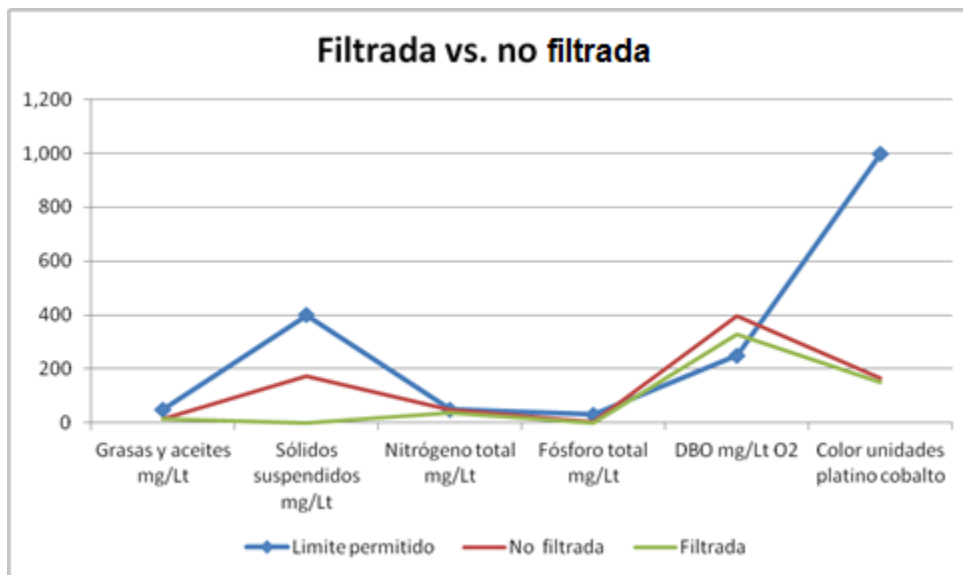
Parámetros	Limite etapa 2 año 2012	Sin filtrar	Filtrada	% de reducción
Temperatura (°C)	TCR+/-7	19	19	N/A
Material flotante	Ausente	Ausente	Ausente	N/A
Grasas y aceites mg/Lt	50	14	13	7.14%
Sólidos suspendidos mg/Lt	400	174	<10	94.83%
Nitrógeno total mg/Lt	50.00	49	37.90	22.65%
Fósforo total mg/Lt	30.00	5	1.20	75.21%
DBO mg/Lt O2	250	398	330	17.09%
Color unidades platino cobalto	1,000	165	152	7.88%

TCR=temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius

De acuerdo a los valores de la tabla anterior se obtuvieron los porcentajes de reducción de cada parámetro. Estos porcentajes indican que tanto ayudó el filtro a mejorar estos valores. A partir de esta tabla se puede concluir que el filtro no ayuda significativamente en especialmente en el parámetro de DBO que posee un valor mucho mayor al del límite permitido.

Sin embargo, para el contenido de fosforo total y la cantidad de sólidos suspendidos en el agua residual si se obtuvieron resultados positivos mejorando los valores en un 75.21% y 94.83 % respectivamente. Representando gráficamente los resultados de la prueba.

Gráfico 6: Resultados prueba filtrado



X. PROPUESTA GENERALIZADA DE MANEJO Y REUSO DE AGUA RESIDUAL

Un gran volumen de agua es utilizado para procesar alimentos y realizar las limpiezas de las instalaciones y los equipos generando grandes cantidades de agua residual que deben ser tratadas antes de su descarga. El uso del agua potable y la generación de aguas residuales en grandes cantidades incrementan los costos monetarios y el impacto ambiental de este tipo de industria.

Por el tipo de contaminación que presenta el agua residual de la empresa, uno de los objetivos es poder mejorar la calidad del agua sin necesidad de recurrir a tratamientos químicos, que además de ser costosos, no son cruciales para la solución.

Como se puede observar en los resultados, la cantidad de desechos vegetales de la empresa es elevada siendo en promedio 21.11%. Comparándola con los datos de la industria de vegetales y frutas del Sur y Sureste Asiático, de acuerdo a la Organización de Alimentación y Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) este porcentaje se encuentra debajo del promedio de 34% de generación de desperdicios en los procesos de almacenamiento, proceso y empaque.

Debido a la relación que existe entre la presencia de los residuos vegetales y el valor de la DBO se plantea la siguiente propuesta enfocada en tres puntos principales:

1. Reducción de la DBO
2. Reducción del consumo de agua
3. Tratamiento de agua residual

Dentro de los puntos de reducción de la DBO y del consumo de agua se hace mucho énfasis al recurso humano de la empresa, incluyendo el desarrollo de una campaña de concientización y motivación de los operarios para obtener un cambio de actitud hacia la reducción de los desperdicios (agua, producto) y el adecuado manejo de los mismos durante el proceso productivo y durante las limpiezas. El enfoque de esta parte de la propuesta es atacar la polución en la fuente reduciendo la cantidad de desperdicios generados tanto de agua como de producto.

Para la mejora del tratamiento de agua residual, la propuesta se enfoca en implementar un mejor sistema de tratamiento preliminar para reducir el tiempo de contacto de cualquier residuo vegetal que caiga en los drenajes y evitar que objetos grandes como madera de las tarimas y bolsas plásticas que en algunas ocasiones caen a los drenajes obstruyan las bombas y generen

un paro en el tratamiento de las aguas residuales. Además para la mejora del tratamiento de agua residual se propone la separación del agua residual de la fuente más alta de DBO que como se determinó durante el análisis realizado es la cámara de blanqueo.

Se consideran como principales estos puntos debido a la relación que guardan. Al reducir el consumo de agua, la cantidad de agua residual a tratar disminuye y al reducir la DBO los costos de tratamiento también disminuyen.

XI. ANÁLISIS ADMINISTRATIVO DE LA PROPUESTA

Como se mencionó en el capítulo anterior una parte de la propuesta se enfoca en reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Esta reducción se puede lograr a través de diversos métodos, pero la propuesta se enfocará en la disminución de la generación de desechos sólidos vegetales y el mejoramiento del manejo de los mismos, principalmente a través de la cooperación del recurso humano de la empresa. Para lograr esta cooperación se propone capacitar al personal sobre el uso del agua y la generación y manejo de residuos vegetales, seguido por una campaña dentro de planta en la que se involucre al personal y se les informe de los avances en el tema.

A. Plan de capacitación

El paso más crítico para la mejora de la calidad del agua residual es la capacitación de los colaboradores de la empresa ya que muy pocos de ellos conocen en realidad la importancia del control de los desperdicios sólidos y de agua potable.

Para establecer el plan de capacitación fue necesario decidir qué tipo de capacitación se brindaría a los colaboradores. En base a los tipos de capacitación existentes (Generales y Específicas) y el fin que se persigue, se cree que el tipo de capacitación más adecuada es la específica, utilizando dos métodos tradicionales de capacitación combinados. Los dos métodos de capacitación combinados son las conferencias en el salón de clase y mentoreo y entrenamiento. Este último método tradicional consiste en que los colaboradores cuenten con una persona experimentada (mentor) que les proporcione información, aliento y soporte en cualquier momento que la necesiten; en este caso sería el supervisor de Higiene y Limpieza. (Robbins & Coulter, 2010)

Una vez se ha establecido el tipo de capacitación y el método a utilizar, se definen con más detalle los temas a tratar durante la misma, siendo éstos:

- ✓ Causas y efectos del consumo elevado de agua potable y generación de agua residual, incluyendo datos propios de la empresa de la cantidad de agua consumida y la cantidad de residuos vegetales generada y recuperada de la filtración en el tratamiento de agua residual. Este punto específicamente se espera concientice a los colaboradores sobre la importancia del tema.
- ✓ Manejo adecuado de los residuos vegetales dentro de planta.
- ✓ Importancia de las limpiezas en seco.
- ✓ Uso correcto del equipo de limpieza como las mangueras de agua a presión.

Es importante tomar en cuenta que para la correcta implementación de la propuesta planteada en este trabajo de graduación debe contarse con el apoyo de la alta gerencia de la empresa. Se ha demostrado en diversas situaciones que el compromiso de la gerencia motiva a los colaboradores a involucrarse en ser parte de la solución al problema.

B. Comité de Gestión Ambiental

El comité de Gestión Ambiental estará integrado de forma voluntaria por miembros de cada área de la empresa (área preparado, área proceso, área mantenimiento y área de gestión de calidad). Aunque el Comité se encargará de la gestión ambiental de la empresa en general, en sus inicios su primer objetivo será el agua, el consumo de la misma y la calidad del agua residual generada.

Tomando en cuenta el concepto de un círculo de calidad, definido en el marco teórico, se propone que el objetivo principal del Comité sea “Disminuir el impacto ambiental de las operaciones y actividades llevadas a cabo diariamente en la empresa sin disminuir la productividad.”

Otro aspecto importante de esta definición es la periodicidad de las reuniones del Comité. Se propone inicialmente que las reuniones sean semanales y conforme se avance se conviertan en quincenales. El objetivo de estas reuniones será discutir los avances y buscar soluciones a la causa raíz de los problemas que se identifiquen durante el transcurso de la semana o quincena.

C. Campaña sobre el manejo de residuos y agua residual

Para darle continuidad a la capacitación e involucrar de manera más activa a los colaboradores, como parte de la propuesta se plantea lo siguiente:

- ✓ Afiches de promoción e información de la campaña de manejo de residuos, limpieza en seco, manejo de agua residual, y consumo de agua potable.
- ✓ Concurso: “Tu idea cuenta”. Este concurso tiene por objetivo concientizar y motivar a todo el personal para que según su experiencia y observación sugieran mecanismos que al implementarlos apoyen la reducción de los desechos sólidos en drenajes y pisos. Las propuestas aprobadas por gerencia serán implementadas, y la persona que las sugirió obtendrá un incentivo. A las demás personas que participaron se les dará un reconocimiento por su colaboración.
- ✓ Para poder medir el impacto de estas medidas se utilizarán indicadores de desempeño y se implementará una pizarra de retroalimentación en la entrada de planta como se describe en la siguiente sección.

D. Indicadores de desempeño

Aplicando el proceso del control y como herramienta de medición de desempeño de los avances de la propuesta (capacitaciones, inspecciones, implementación de herramientas, etc.) se propone la medición de los siguientes indicadores:

Cuadro 4: Indicadores de desempeño

KPI (Indicadores de desempeño)	DBO (ppm) Demanda Bioquímica de Oxígeno. Mide el grado de contaminación del agua residual.	Valor actual: 405ppm
		Valor objetivo: 200ppm
	Caudal Cámaras de blanqueo (m³/hora, galones/hora): Agua residual generada por la condensación de las cámaras de ambas líneas.	Valor actual: 51m ³ /día
		Valor objetivo: 45m ³ /día
	Galones agua/libra producida Cantidad de galones de agua utilizados en la producción de una libra de producto terminado.	Valor actual: 0.52 gal/libra
	Valor objetivo: 0.47gal/libra	
	Libras de producto en tolva de agua Libras de producto en el agua residual (medidas de lo que se recupera en el área de tratamiento a través de los filtros, es decir residuos sólidos que se fueron en los drenajes.)	Valor actual: 19,885 libras
	Valor objetivo: 10,000 libras	

El valor actual de cada indicador fue obtenido de las últimas mediciones y análisis realizados de cada uno. Los valores objetivos son propuestos de acuerdo al indicador que se esté trabajando. El valor propuesto para la DBO fue obtenido del límite aceptable requerido por la segunda etapa para descargas a cuerpos receptores *del Reglamento de Descargas y Reuso de Aguas Residuales y Disposición de Lodos* según el Acuerdo Gubernativo 236-2006. Para el valor objetivo del caudal de las cámaras de blanqueo y los galones de agua/libra producida se propone una reducción del 10% inicialmente y para las libras de producto en tolva de agua un 50%.

Los resultados de las futuras mediciones serán expuestos a través de un tablero de anuncios a instalar en las afueras de la planta para mantener al tanto a los trabajadores del impacto de su colaboración y los avances obtenidos. Los resultados serán presentados comparando los valores objetivos con los valores reales y de manera gráfica utilizando los colores del semáforo. El rojo significará que el avance no fue mayor del 50%, el amarillo, no fue mayor de 70% y el verde, que el avance se encuentra entre el 71% y el 100% de cumplimiento.

E. Impacto en la DBO

El valor actual de la DBO en base al último análisis realizado (agosto octubre 2012) es de 405ppm. En base a la información obtenida a través de las investigaciones realizadas durante la duración del estudio sobre el manejo de agua residual, se espera una reducción en la Demanda Biológica de Oxígeno de aproximadamente un 50%, tal y como se pudo comprobar en la reducción del valor de este parámetro la planta de The Equity Group parte de la división de alimentos de Keystone Foods. (Carawan & Waynick, 1996)

XII. ANÁLISIS TÉCNICO DE LA PROPUESTA

Otra de los puntos principales de la propuesta se centra en el tratamiento de agua. Como se mencionó con anterioridad, esta parte de la propuesta se enfocará en un mejor sistema de tratamiento preliminar para el agua residual y en la aplicación de cultivos bacterianos que constituyen parte del tratamiento secundario de las aguas residuales.

A. Instalación de contadores para medir el consumo de agua potable

Actualmente la empresa cuenta con siete contadores instalados en el punto de reunión del agua proveniente de los pozos que posee para su posterior distribución. Estos contadores están instalados de tal manera que a través de restas se puede obtener el consumo de agua general de las áreas externas y dentro de la planta en el proceso en general. Con el fin de medir de manera más precisa la cantidad de agua que se consume en puntos en los que se ha observado desperdicio se propone la instalación de contadores.

Los puntos en los que se propone instalar los contadores son:

1. Cortinas de enfriamiento
2. Cortadoras de Ocra
3. Lavadoras de vegetales

Para los puntos 1 y 2 se estimó a través de mediciones de caudal de agua residual que el consumo de agua es aproximadamente 72m^3 por lo que se considera importante medirlos para establecer parámetros de comparación y control. En la siguiente tabla se detallan las características de los contadores y el costo de los mismos:

Tabla 9: Contadores

Punto	Diámetro del contador	Precio
Cortinas de enfriamiento	2 pulgadas	Q.2,850.00
Cortadoras de Ocra	2 pulgadas	Q.2,850.00
Lavadora de vegetales Línea 1	3/4 pulgada	Q.1,000.00
Lavadora de vegetales Línea 2	1 pulgada	Q.450.00
Calderas	2 pulgadas	Q.2,850.00

B. Tratamiento preliminar del agua residual

Para mejorar el tratamiento preliminar se ha seleccionado instalar por lo menos una rejilla de limpieza automática en el canal externo a planta de aguas residuales (Ver Anexo 7). Esta rejilla cuenta con un temporizador modificable para establecer los intervalos de tiempo entre limpieza y limpieza. A continuación se presentan las especificaciones técnicas:

Tabla 10: Especificaciones técnicas rejilla automática

Material	Acero Inoxidable
Separación rejillas	¾" (agujeros lámina perforada)
Caudal	40 m ³ /hora
Potencia	0.18Kw
Dispositivo de limpieza	Cepillo

Esta rejilla tiene un costo de Q.22, 000.00. El proveedor de la misma es Distribuidora JUDA, S.A. y cumplirá con la función de detener todo residuo sólido vegetal y no vegetal mayor a ¾ de pulgada de tamaño que pueda dañar las bombas de tratamiento de agua residual interrumpiendo el proceso de tratamiento.

Además, a través del mismo proveedor se cotizaron láminas de acero inoxidable perforadas para colocar en las rejillas de los drenajes internos de la planta para disminuir la probabilidad de que los residuos vegetales y algunos otros objetos que por error puedan caer en los drenajes se vayan en los mismos. El costo de la reparación y la modificación de las rejillas de los drenajes asciende a Q.12, 300.00.

C. Tratamiento secundario

Por otro lado, en base a los resultados obtenidos de las pruebas piloto con los cultivos bacterianos, se propone la aplicación de las bacterias WCS7701 distribuidas por Ecolab, ya que además de eliminar el olor que se pueda generar debido a la presencia de materia orgánica, fue efectivo para la disminución en un 25% de la demanda bioquímica de oxígeno. Estas bacterias han de aplicarse en el tanque de recepción del agua residual que viene de planta, previo al filtro rotatorio y al tamiz vibrador. Las especificaciones de este cultivo bacteriano son las siguientes:

Tabla 11: Especificaciones técnicas WCS7701

Propiedades	Color: azul Olor: Característico Estado: Líquido
Dosis	Depende de las aguas residuales a tratar. En el caso de la empresa aproximadamente 600ml cada 24 horas.
Dosificación	Dosificador automático.

D. Separación agua residual cámaras de blanqueo

Durante la fase de recolección y análisis de datos, se determinó que el equipo que genera un mayor valor de DBO que los demás es la cámara de blanqueo. Para reducir la DBO y tomando en cuenta que la empresa cuenta con un tanque tipo Imhoff de sedimentación, se plantea separar el agua residual proveniente de la cámara de blanqueo para aplicarle el tratamiento de bacterias contando con más tiempo de residencia para que actúen sobre el agua residual. Los tanques Imhoff son también conocidos como tanques Emsceher y son tanques de sedimentación de dos niveles utilizados en todo el mundo como un estanque de sedimentación y cámara de digestión. Estos tanques resultan atractivos debido a sus métodos de procesamiento simples, sus bajos costos de mantenimiento y su producto final inodoro. (Ver Anexo 8 ilustración de un tanque de tipo Imhoff) (CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental), 1991)

De implementarse esta separación debe considerarse que los cultivos de bacterias generan floculantes que son los desechos producto de la digestión de la materia orgánica. La única manera de separar esta floculación de la descarga es a través de sedimentación o filtrado por lo que se propone el uso de este tanque. El tanque Imhoff con el que dispone la empresa tiene una capacidad de 60m³ por lo que podría almacenar por un día el agua proveniente de las cámaras (51m³) sin ningún problema.

El tanque se encuentra separado del área de bombas de agua residual por aproximadamente 50 metros. La empresa ya cuenta con la tubería que lleva al agua hacia el tanque y una tubería que la regresa después del tratamiento. Para poder realizar el tratamiento lo que haría faltar es separar el agua de las cámaras de blanqueo del resto del agua residual.

Para poder realizar la separación del agua se recomienda unir desde planta el agua generada por ambas cámaras en el depósito con el que cuenta la cámara de blanqueo de la línea 2 e instalar una bomba y tubería metálica rodeada de un aislante para transportarla fuera del área de proceso. La instalación de la tubería sería aérea y se realizaría con tubería metálica de acero inoxidable

rodeada de un aislante para evitar accidentes ya que el agua proveniente de las cámaras es agua caliente producto de los condensados del vapor que se utiliza para cocer los vegetales. Una vez el agua es retirada de la planta, por el desnivel del terreno llegaría por gravedad al tanque de sedimentación. El costo aproximado de la implementación de la tubería y la bomba sería aproximadamente de: Q.171, 905.25.

A través de la implementación de esta propuesta de separación y la aplicación de cultivos de bacterias se espera que el valor de la DBO disminuya como mínimo en un 25%.

E. Reducción del consumo de agua

Para poder reducir el consumo de agua, parte fundamental de la propuesta, de acuerdo a las observaciones, mediciones y análisis realizados se considera necesario la inspección de las tuberías, mangueras y equipos de la planta con el objetivo de generar un listado de las fugas de agua y programar su reparación. Además se propone, en el caso del agua de enfriamiento y del agua utilizada en las cortadoras de oca, que como se ha mencionado con anterioridad es equivalente al 9% del agua consumida diamante (72.2m³) evaluar la posibilidad de apagar cierto número de cortinas dependiendo del producto a procesar.

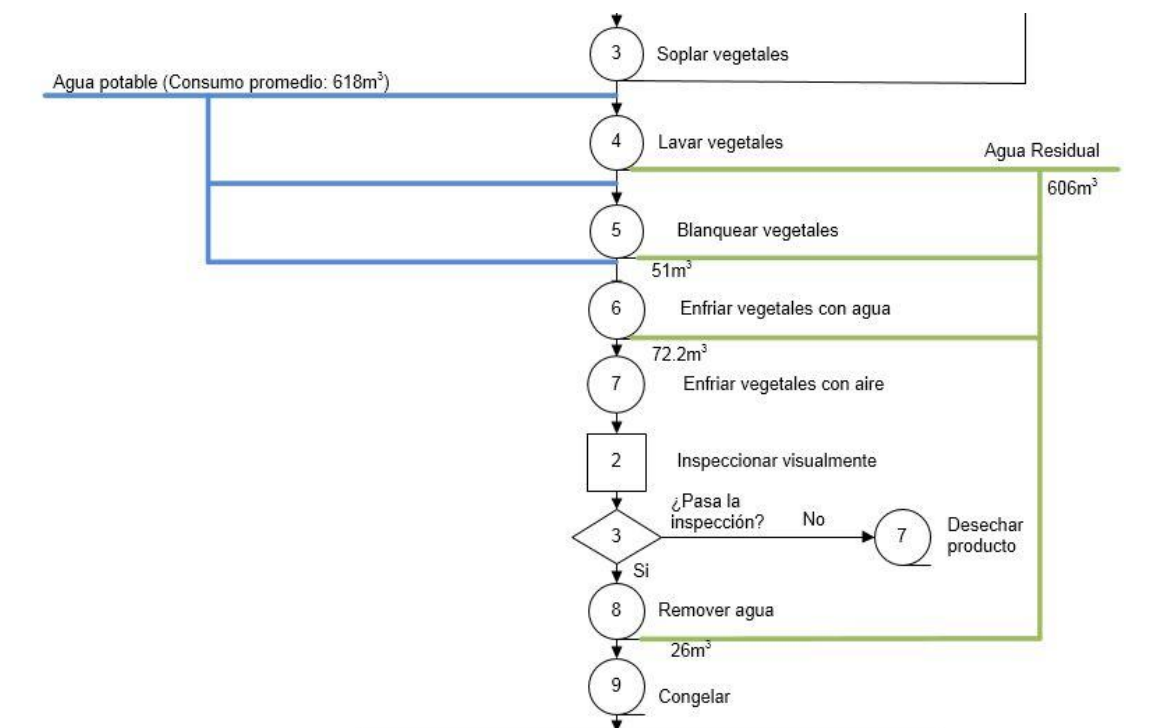
Específicamente se propone que de las cinco cortinas instaladas se deje funcionando tres cortinas para la Oca (vegetal al que al pasar por las cortadoras debe utilizarse agua para evitar se quede pegado en las cuchillas) y dos cortinas para el resto de los productos.

Aunque la limpieza en seco está establecida en el procedimiento de limpieza, como se ha mencionado con anterioridad no se realiza como debería. Actualmente el personal hace uso indiscriminado de las mangueras desde que inician las limpiezas. De acuerdo a algunas mediciones realizadas empíricamente con un recipiente de 5 galones y un cronómetro, se determinó que por cada minuto que se tiene encendida la manguera se gastan 15 galones de agua potable. Cada limpieza y sanitización dura en promedio una hora con treinta minutos dependiendo del que tan profunda se la limpieza. Estos datos sirven de parámetro para medir el impacto que tendría una mejora de la limpieza en seco

Con la reducción del consumo de agua por enfriamiento a través de las opciones propuestas, por la reparación de fugas, la implementación de una mejor limpieza en seco y la concientización del personal a través de las capacitaciones, se considera factible la reducción de un 10% del consumo de agua de la planta.

Tomando esta reducción del 10% como base se realizó un diagrama de flujo de proceso del balance del consumo de agua potable y la generación de agua residual para observar gráficamente el impacto de la propuesta. El consumo de agua potable que aparece en el diagrama está basado en el consumo de agua detallado en el diagrama del inciso E de la sección de la Situación Actual de la Empresa de enero de 2012.

Ilustración 8: Balance agua potable y agua residual después de la implementación de la propuesta.



De igual forma se mantiene la pérdida de agua del 1.89% entre el consumo y el agua residual a tratar.

F. Medición de avances del parámetro de DBO

Para establecer un control más frecuente de la calidad del agua residual y obtención de resultados de manera más rápida y económica específicamente para la medición del parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se propone la adquisición de un aparato de medición para el mismo. Actualmente, cada vez que se analiza la Demanda Bioquímica de Oxígeno se envía a un laboratorio externo con un costo por análisis de Q.200.00. El costo del equipo propuesto es de Q27, 350.00.

El equipo consta de 6 botellas de vidrio de color ámbar cada una con un tapón electrónico que proporciona las lecturas de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Para lograr una adecuada lectura

debe mantenerse la muestra a una temperatura de 20°C durante cinco días con una constante agitación para la cual, el equipo cuenta con una bandeja vibratoria. Por último para medir el oxígeno presente en la muestra y obtener la medida de la DBO es necesario se utilicen perlitas de Hidróxido de Sodio (NaOH) con las que también cuenta el equipo al momento de la compra.

XIII. ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA PROPUESTA

Analizando la propuesta desde el punto de vista ambiental, se consideran los tres puntos principales de la misma:

1. Reducción de la demanda bioquímica de oxígeno
2. Reducción del consumo de agua
3. Tratamiento de agua residual.

Estos tres puntos son necesarios para cumplir con los objetivos del presente trabajo de graduación y como se mencionó con anterioridad, a través de la reducción del consumo de agua también se reducirá el agua residual a tratar. Al disminuir la Demanda Bioquímica de Oxígeno se cumplirá con el Reglamento de las Descargas y Reuso de Aguas Residuales y de la Disposición de lodos, reduciendo el impacto ambiental y los costos del tratamiento.

A continuación se presenta el resumen de los beneficios e inconvenientes ambientales de la propuesta:

Cuadro 5: Beneficios e inconvenientes ambientales de la propuesta

Beneficios	Inconvenientes
Mejor calidad de agua residual.	
Reducción del consumo de energía eléctrica utilizada para el bombeo del agua potable y el tratamiento del agua residual	
Aumento en el número de personas concientizadas acerca de la importancia del cuidado del valioso recurso del agua con herramientas para cambiar sus hábitos.	
Ahorro de agua potable.	Generación de lodos por el tratamiento a causa de la implantación del tanque de sedimentación para el agua de las cámaras de blanqueo.
Cumplimiento del Reglamento para las Descargas y Reuso del Agua Residual y de la Disposición de Lodos alcanzando los límites establecidos por el mismo para las descargas en cuerpos receptores y alcantarillado para la etapa 2.	
Se evitan futuras demandas y multas a causa del impacto ambiental negativo que las aguas residuales de la empresa podrían llegar a tener de descargarse según parámetros actuales.	

Con respecto al ahorro de agua, se debe considerar el consumo elevado de agua durante las limpiezas. Según los datos de medición de caudal discutidos durante el análisis de la DBO del capítulo de análisis de datos, el 86% aproximadamente del agua residual generada durante el día proviene de las limpiezas. Basándose en mediciones puntuales de caudal de las mangueras

utilizadas para las limpiezas, se determinó que por cada minuto que se utilice cada manguera de agua a presión se consumen 15 galones de agua.

Actualmente durante las limpiezas, las mangueras a presión se utilizan para remover residuos y enjuagar el equipo luego de la aplicación del jabón. En teoría, dentro del procedimiento de limpieza de la empresa se encuentra establecida la limpieza en seco, sin embargo, en la práctica los operarios casi de inmediato toman la manguera para remover los residuos. De realizarse una adecuada limpieza en seco el tiempo que estas mangueras pasan encendidas se reduciría y por lo tanto la cantidad de agua empleada durante las limpiezas.

XIV. ANÁLISIS FINANCIERO DE LA PROPUESTA

Debido a que el agua utilizada por la empresa es extraída de cuatro pozos propios, no se cuenta con la información del costo de cada metro cúbico de agua extraído ni del costo de cada metro cúbico de agua residual que es tratado. A continuación se hace un estimado del mismo:

A. Estimación costo agua potable

Los datos obtenidos para realizar esta estimación de costos fueron brindados por el departamento de mantenimiento de la empresa. Para calcular el consumo de agua en un mes se obtuvo el promedio del consumo a partir del valor más alto del rango de consumo (720m³) y el valor más bajo de consumo durante un año (460m³). Estos datos de rangos de consumo como se mencionó en una sección anterior, fueron obtenidos de datos históricos del año 2010, 2011 y parte de 2012 (hasta agosto 2012).

Tabla 12: Costos totales de bombeo y mantenimiento del agua de pozo

Costo agua pozos (mensual)	
Costo bombeo (Electricidad)	Q45,937.85
Costo mantenimiento bombas y tuberías	Q5,438.10
Costo mano de obra	Q3,909.15
<i>Total</i>	Q60,675.37

Es importante aclarar que el costo de mano de obra incluye únicamente el salario de un trabajador solo un trabajador se encarga del área de cisterna y los pozos de extracción. El valor del costo de bombeo se obtuvo tomando en cuenta el costo por cada kilowatt-hora de Q. 1.50. Además se consideró que cada día que se procesa se trabaja por 24 horas, la estacionalidad de la producción debido a la cual se trabaja un cuatrimestre siete días, el segundo cuatrimestre seis días y el tercer cuatrimestre cinco días y la potencia requerida por las bombas, obteniendo un valor estimado del costo de bombeo mensual detallado en la siguiente tabla:

Tabla 13: Costo energía eléctrica extracción

Pozo	Hp Motores	Costo electricidad mensual
1	7.5	Q 5,512.57
2	10	Q 7,350.03
3	15	Q 11,025.05
4	30	Q 22,050.19
Total mensual		Q 45,937.85

En la siguiente tabla se presentan los datos de metros cúbicos consumidos en promedio por mes:

Tabla 14: Consumo estimado agua de pozo mensual

Metros cubicos consumidos (mensual)	17,945.83
-------------------------------------	-----------

A partir de los datos anteriores de los costos de mantenimiento y bombeo del agua de pozo y el consumo estimado de agua de pozo mensual se calculó el costo en quetzales que representa la extracción de un metro cúbico.

Costo fijo	Q	0.52
Costo variable	Q	2.56
Costo total	Q	3.08

El costo variable incluye únicamente la energía eléctrica ya que depende de la cantidad de agua que se extraiga de los pozos. El costo fijo incluye la mano de obra y el mantenimiento de la tubería y las bombas.

B. Estimación costo agua residual con el tratamiento actual

De igual forma los datos para realizar la estimación de los costos fueron brindados por el departamento de mantenimiento de la empresa. El volumen de agua residual tratado se obtuvo en base a los caudales medidos en los distintos estudios de caudal del agua residual en agosto de 2011 y enero de 2012.

Tabla 15: Estimación de costos totales mensual de bombeo y mantenimiento del agua residual

Costeo agua residual (mensual)	
Costo bombeo	Q42,814.14
Costo mantenimiento	Q1,654.84
Costo mano de obra	Q5,825.40
<i>Total</i>	Q55,318.05

El costo de la mano de obra es más alto para el agua residual que para el agua potable ya que en esta área por estar aislada de las instalaciones productivas y por la capacidad de almacenamiento de los tanques en donde se filtra el agua, se requiere de una persona fija por lo que se cuenta con dos operarios, uno de día y otro de noche. Es importante mencionar que el valor del salario no es el doble debido a que estos trabajadores tienen un salario más bajo que el trabajador encargado del agua potable.

Además, al igual que para el agua potable, el costo de la energía eléctrica requerida para el bombeo se obtuvo considerando que cada kilowatt-hora tiene un valor de Q.1.50, la variación

de los días de producción y las potencias de las once bombas que se utilizan para el tratamiento del agua residual (Ver Tabla 16).

Tabla 16: Estimación costo energía eléctrica tratamiento de agua residual

Bombas	Hp Motores	Costo electricidad mensual
11	58.25	Q 42,814.14

Tabla 17: Estimación de la cantidad de agua residual tratada mensualmente

Metros cúbicos tratados	18,736.67
-------------------------	-----------

De igual forma que para el agua potable, en el caso de agua residual, el costo variable incluye únicamente la energía eléctrica y el costo fijo incluye el mantenimiento y la mano de obra.

Costo fijo	Q 0.40
Costo variable	<u>Q 2.29</u>
Costo total	Q 2.68

De la suma de los costos del metro cúbico de bombeo de agua potable y el tratamiento y bombeo del agua residual se obtiene el costo total por metro cúbico de agua consumido durante el proceso productivo, siendo el mismo de Q. 5.76.

Costo Fijo total	Q 0.92
Costo variable por metro cubico total	<u>Q 4.84</u>
Costo por metro cubico total	Q 5.76

C. Costo campaña y capacitación

Para llevar a cabo la capacitación y la campaña se requiere de una inversión de:

Tabla 18: Costo campaña y capacitación

Rubro	Costo (Q.)
Diplomas de reconocimiento	100.00
Playeras (80 unidades)	6,800.00
Banners (2 unidades)	700.00
Evaluaciones capacitación	400.00
Tablero para indicadores	1,850.00
Total	9,850.00

Esta propuesta tiene un costo 19.92% menor comparado con la última capacitación y campaña llevada a cabo dentro de la empresa. El valor propuesto es la inversión en el año cero necesaria para la primera capacitación del tema y para la campaña de concientización. La

campaña de concientización se llevará a cabo una sola vez durante el período de tiempo de evaluación de la propuesta considerado de 5 años.

En los años posteriores, luego de la inversión inicial se incurrirá en un gasto de Q.500.00 para re-entrenamiento del personal que incluye las evaluaciones de las capacitaciones y los diplomas de reconocimiento por su participación.

D. Viabilidad del proyecto

Para determinar la viabilidad y los beneficios económicos de la propuesta se utilizaron los métodos de evaluación de proyectos de la Tasa Interna de Retorno (TIR) comparado con la Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (TMAR) y el Valor Presente Neto (VPN). Además se determinó el punto de equilibrio del proyecto y se realizó un análisis de sensibilidad para determinar la variabilidad tanto de la TIR como el VPN respecto al parámetro del porcentaje de ahorro de agua. El periodo de tiempo utilizado para evaluar la propuesta es de 5 años.

1. Estimación de los ahorros. La estimación de los ahorros generados (ingresos) por la implementación de la propuesta se realizó a través del ahorro en costo que generaría un ahorro del 10% anual del agua que actualmente se utiliza para el proceso productivo y el costo por metro cúbico estimado en las secciones anteriores.

Los datos del consumo de agua en base a los cuales se calcularon los ahorros fueron obtenidos calculando el promedio de los datos históricos de consumo que la empresa lleva de los contadores con los actualmente cuenta. El período de tiempo utilizado para obtener el promedio de consumo abarca desde el año 2010 al mes de agosto de 2012. Los promedios obtenidos por cuatrimestre se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 19: Consumo promedio de agua diario

Período de tiempo	Consumo promedio de agua diario (m ³)
Enero-Abril	562.20
Mayo-Agosto	523.02
Sept.-Diciembre	399.37

A continuación se presenta la estimación de los ahorros que generaría la propuesta:

Tabla 20: Estimación ahorros por el proyecto

% de ahorro	Año	Metros cúbicos de agua				Total	Costo unitario por m3*	Total dinero
		Enero-Abril	Mayo-Agosto	Sept.-Diciembre				
10.00%	1	6,746.40	6,276.24	4,792.44	17,815.08	Q 5.41	Q 96,379.58	

Para estimar el ahorro se utilizó únicamente el costo variable de cada metro cúbico de agua el cual incluye la extracción de los pozos y el tratamiento luego de su uso (Q.5.41). Así mismo, los ingresos serán proyectados anualmente, con una tasa de inflación del 6.85%.

2. Estimación de la inversión inicial y los egresos. La inversión inicial se estimó a través de cotizaciones de distintos proveedores locales en base a la propuesta de este trabajo de graduación. La inversión se detalla a continuación:

Tabla 21: Detalle inversión inicial

Capacitación y campaña	Q9,850.00
Rejilla de limpieza automática	Q22,000.00
Reparación y modificación rejillas internas	Q12,300.00
Equipo de medición DBO	Q27,350.00
Contadores	Q10,000.00
Bacterias	Q9,461.76
Separación agua cámaras de blanqueo	Q171,905.25
Total	Q262,867.01

La inversión inicial descrita en la Tabla 19 es la inversión necesaria para implementar la propuesta por lo que el monto es total para el período de evaluación del proyecto (5 años). Además, es importante aclarar que las bacterias serán un gasto recurrente y como parte de la inversión inicial se considera la dosis para un año.

La propuesta requerirá de los siguientes egresos año con año para continuar su implementación y cumplir los objetivos para los cuales se planteó:

Tabla 22: Egresos

Bacterias	Q 9,461.76
Re entrenamiento	Q 500.00
Total	Q 9,961.76

La adquisición de las bacterias se llevará a cabo cada dos meses, tiempo en el cual debido a la dosis se consume la unidad con un costo de Q.1,576.96. Además como se mencionó durante la descripción de los costos de la capacitación y campaña de concientización, se propone la realización de un re-entrenamientos por año con un costo de Q.500.00. Así mismo, los egresos serán proyectados anualmente, con una tasa de inflación del 6.85%.

3. Flujos de efectivo. Para los flujos de efectivo de la propuesta se utilizó el año 2012 como año base tomando la tasa de inflación del 6.85% del Baco de Guatemala (BANGUAT), al 2012 (Ver Anexo 9: Tasa de inflación y Tasa de interés líder BANGUAT). El valor de la tasa de inflación de 6.85% se obtuvo del promedio de los valores anuales promedio desde 1996 hasta el 2012 Además se supone será constante durante el período de evaluación de la propuesta (5 años). A continuación se presenta el flujo de efectivo de la implementación de la propuesta:

Tabla 23: Flujos de efectivo

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorros		Q 86,224.99	Q 92,131.40	Q 98,442.40	Q 105,185.70	Q 112,390.92
Egresos (-)	Q (262,867.01)	Q (9,961.76)	Q (10,644.14)	Q (11,373.26)	Q (12,152.33)	Q (12,984.77)
Flujo Neto de Efectivo	Q (262,867.01)	Q 76,263.23	Q 81,487.26	Q 87,069.14	Q 93,033.37	Q 99,406.16

4. TIR y VPN. Para obtener el Valor Presente Neto de los flujos de efectivo de la propuesta se utilizó como tasa de descuento una TMAR del 10% establecida durante la realización de la propuesta junto con la directiva de la empresa a cargo de esta área de la empresa. En la Tabla 22 se presentan los resultados del VPN y la TIR de la propuesta.

Tabla 24: VPN y TIR

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo Neto de Efectivo	Q (262,867.01)	Q 76,263.23	Q 81,487.26	Q 87,069.14	Q 93,033.37	Q 99,406.16
Flujo Neto de Efectivo Descontado	Q (262,867.01)	Q 69,330.21	Q 67,344.84	Q 65,416.33	Q 63,543.04	Q 61,723.40
Valor Presente Neto (VPN)	Q 64,490.82					
Tasa Interna de Retorno (TIR)	18.75%					

Debido a que el VPN y la TIR son mayores a 0 y a la TMAR (10%) respectivamente se concluye que el proyecto es económicamente viable.

5. Análisis del período de recuperación. Para llevar a cabo el análisis del período de recuperación se calcularon, en base a los ahorros y egresos de la propuesta, los ahorros y egresos acumulados durante los 5 años que dura el período de análisis.

Tabla 25: Gastos y ahorros acumulados

Año	Inversion Inicial	Gasto	Gasto acumulado	Ahorro	Ahorro acumulado
0	Q(262,867.01)				
1		Q (9,961.76)	Q (272,828.77)	Q 86,224.99	Q86,224.99
2		Q (10,644.14)	Q (283,472.91)	Q 92,131.40	Q178,356.39
3		Q (11,373.26)	Q (294,846.17)	Q 98,442.40	Q276,798.79
4		Q (12,152.33)	Q (306,998.51)	Q 105,185.70	Q381,984.49
5		Q (12,984.77)	Q (319,983.28)	Q 112,390.92	Q494,375.41

El período de recuperación se calcula dividiendo el gasto acumulado dentro del ahorro acumulado del año 4. Se realiza en base a los datos del este año, ya que en el mismo los ahorros acumulados superan a los gastos acumulados. La proporción resultante (0.8037) se multiplica por 12 obteniendo el mes aproximado en el que se recuperaría la inversión. Para la propuesta se recuperará la inversión en tres años con nueve meses y 21 días.

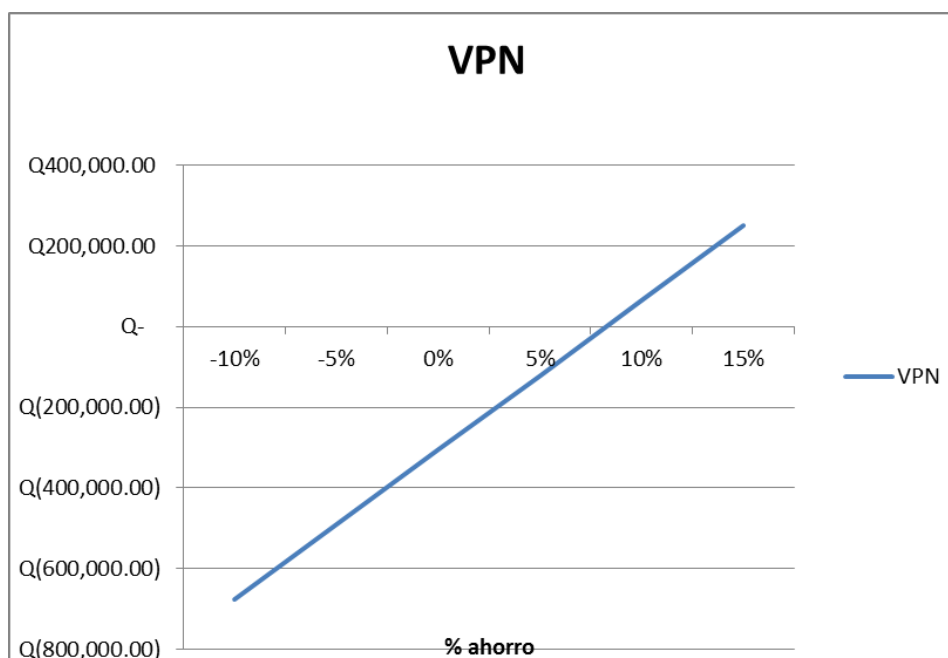
6. Análisis de Sensibilidad. Para realizar el análisis de sensibilidad se consideró como parámetro de variación, el porcentaje de ahorro de agua ya que de él dependen los ahorros que puede llegar a generar la propuesta. En la siguiente tabla se detalla la variación de los valores de la TIR y VPN respecto al aumento o disminución del porcentaje de ahorro de agua.

Tabla 26: Análisis de Sensibilidad

% ahorro	VPN	TIR
-10%	Q (675,746.00)	
-5%	Q (490,686.80)	
0%	Q (305,627.59)	
5%	Q (120,568.39)	-9.55%
10%	Q 64,490.82	18.75%
15%	Q 249,550.02	40.86%
20%	Q 434,609.22	60.61%

A continuación se presenta la gráfica de sensibilidad para el VPN.

Gráfico 7: Sensibilidad VPN



A partir de la Tabla 26 y el Gráfico 7 se puede concluir que tanto el valor presente neto como la tasa interna de retorno son sensibles a los cambios de la cantidad de ahorro de agua.

7. Punto de equilibrio. Para determinar cuál sería el porcentaje de ahorro mínimo que habría que lograr para igualar los ahorros a los costos se recurrió a la herramienta de “What if analysis” de Microsoft Excel. Esta herramienta sustituyó el valor del porcentaje de agua por el valor que lograría el punto de equilibrio del proyecto. El resultado obtenido fue que el ahorro debería ser del 7.85%. A continuación se presenta la estimación del ahorro de agua, los flujos de efectivo el análisis de valor presente neto y la tasa interna de retorno.

Tabla 27: Estimación ahorro de agua punto de equilibrio

% de ahorro	Año	Metros cúbicos de agua				Costo unitario por m ³ *	Total dinero
		Enero-Abril	Mayo-Agosto	Sept.-Diciembre	Total		
8.26%	1	5,570.88	5,182.64	3,957.39	14,710.91	Q 4.84	Q 71,200.82

Tabla 28: Flujo de efectivo punto de equilibrio

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorros		Q 71,200.82	Q 76,078.08	Q 81,289.43	Q 86,857.75	Q 92,807.51
Egresos (-)	Q (262,867.01)	Q (9,961.76)	Q (10,644.14)	Q (11,373.26)	Q (12,152.33)	Q (12,984.77)
Flujo Neto de Efectivo	Q (262,867.01)	Q 61,239.06	Q 65,433.94	Q 69,916.16	Q 74,705.42	Q 79,822.74

Tabla 29: VPN y TIR punto de equilibrio

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Flujo Neto de Efectivo	Q (262,867.01)	Q 61,239.06	Q 65,433.94	Q 69,916.16	Q 74,705.42	Q 79,822.74
Flujo Neto de Efectivo Descontado	Q (262,867.01)	Q 55,671.88	Q 54,077.64	Q 52,529.05	Q 51,024.81	Q 49,563.64
Valor Presente Neto (VPN)	Q (0.00)					
Tasa Interna de Retorno (TIR)	10.00%					

Como se puede observar en la Tabla 29, el valor presente neto es igual a 0 y la tasa interna de retorno es igual a la TMAR probando que la propuesta es económicamente viable en el punto de equilibrio.

XV. CONCLUSIONES

1. Con la propuesta no se logró cumplir con la primera fase del *Reglamento para las Descargas y Reuso del Agua Residual y la Disposición de Lodos* en el mes de agosto de 2012 (promedio medición 405 ppm, octubre 2012), sin embargo se identificó que el equipo que más contribuye a un elevado valor de DBO es la cámara de banqueo (DBO promedio 4, 200 ppm).
2. Las pruebas piloto de filtrado y aplicación de los cultivos bacterianos mejoraron el parámetro físico químico de DBO en un 17% y 25% respectivamente.
3. Al mejorar las limpiezas en seco y la operación de las cortinas de enfriamiento, actividades que actualmente representan un 90% aproximadamente del consumo de agua dentro de la planta y al concientizar al personal se reducirá como mínimo un 10% el consumo de agua en el proceso productivo.
4. El plan de capacitación mejorará el manejo de los desechos sólidos dentro de planta disminuyendo su presencia en el agua residual y disminuyendo la cantidad generada de esta última, y asegurando la correcta implementación de éstas propuestas.
5. La inversión de Q262, 867.01 es recuperada en el tercer año después de implementada la propuesta, y los flujos de ahorro generan un Valor Presente Neto positivo, con un resultado de Q. 64,490.82 por lo que el proyecto es considerado viable económicamente.
6. En análisis de sensibilidad y punto de equilibrio, señalan que los ahorros deben de ser de por lo menos un 8.26% para que los mismos sean positivos y se pueda recuperar la inversión.

XVI. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda implementar la propuesta descrita a través de este Trabajo de Graduación para mejorar el manejo de agua residual y disminuir el consumo de agua potable y en consecuencia la generación de agua residual.

- ✓ Se recomienda continuar con el cumplimiento de las siguientes fases del *Reglamento para las Descargas y Reuso del Agua Residual y la Disposición de Lodos*.

- ✓ Se recomienda evaluar la posibilidad de reutilizar las aguas grises producto del tratamiento del agua residual ordinaria en los sanitarios de la planta.

XVII. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. A. (2008). *Los metales en las aguas residuales*. Recuperado el 08 de septiembre de 2012, de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>
- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation;. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C.: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation;.
- Banco de Guatemala (BANGUAT). (2012). *Banco de Guatemala*. Recuperado el 23 de septiembre de 2012, de <http://banguat.gob.gt/default.asp>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2006). *Ingeniería Económica*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Carawan, R. E., & Waynick, J. B. (1996). *Reducing Water Use and Waste Water in Food Processing Plants How one company cut costs*. Recuperado el 05 de agosto de 2012, de <http://www.bae.ncsu.edu/programs/extension/publicat/wqwm/cd35.html>
- Cordon Townsend, C. E. (1997). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la industria de aceites y grasas vegetales*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.
- CTRFA/PSA (Cooperación Técnica República Federal de Alemania/ Programa de Salud Ambiental). (1991). *Manual de disposición de aguas residuales; origen, descarga, tratamiento y análisis de aguas residuales*. Lima, Peru: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).
- Domenech. (2007). *La Calidad Del Agua*. Recuperado el 08 de septiembre de 2012, de Los Parámetros Físicoquímicos: http://www.e-domenech.com/agua/valencia/castellano/cicag/2/2_5_1/index.html
- ESTRUAGUA. (2012). *Reja automática circular*. Recuperado el 25 de agosto de 2012, de <http://www.estruagua.com/productos/reja-automatica-circular.html>
- Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2008). *Administración y control de la calidad*. México D.F.: Cengage Learning.
- Government of the state of Michigan. (2002). *Total Suspended Solids*. Recuperado el 08 de septiembre de 2012, de http://www.michigan.gov/documents/deq/wb-npdes-TotalSuspendedSolids_247238_7.pdf

- Ingenieros, I. (2008). *Tanques Imhoff*. Recuperado el 05 de septiembre de 2012, de <http://www.ingenierosinc.com/2008/08/19/tanques-imhoff/>
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Reglamento para la descarga y reuso de agua residual y de la disposición de lodos*. Guatemala.
- Mountain Empire Community College. (2009). *Solids in Wastewater*. Recuperado el 08 de septiembre de 2012, de <http://water.me.vccs.edu/courses/ENV149/solids.htm>
- Niebel, B. W. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del trabajo*. México: McGraw-Hill.
- Ragsdale & Associates. (2008). *Wastewater System Operator's Manual*. Recuperado el 08 de septiembre de 2012, de <http://www.ragsdaleandassociates.com/WastewaterStudy.htm>
- Robbins, S., & Coulter, M. (2010). *Administración*. México: Pearson Educación.
- Universidad de Salamanca. (2003). *Características Químicas II*. Recuperado el 08 de septiembre de 2012, de Aula Virtual del Agua: http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/simulacion/modulos/curso/uni_03/u3c3s6.htm#Anchor8
- University of Massachusetts Amherst. (2000). *Solids*. Recuperado el 08 de septiembre de 2012, de <http://www.umass.edu/tei/mwwp/acrobat/sm2540Dsettleablesolids.PDF>
- Velmurugan, B., & Ramanujam, A. (2011). *Anaerobic Digestion of Vegetable Wastes for Production in a Fed-Batch Reactor*. Recuperado el 05 de septiembre de 2012, de <http://ijes.info/1/3/42541319.pdf>

XVII. ANEXOS

Anexo 1

Tabla 30 Resultados de caracterización del agua residual 2009-2012

	<i>abr-09</i>	<i>may-09</i>	<i>sep-09</i>	<i>ene-10</i>	<i>may-10</i>	<i>jul-10</i>	<i>feb-11</i>	<i>may-11</i>	<i>ago-11</i>	<i>sep-11</i>	<i>ene-12</i>	<i>abr-12</i>
pH	6.92	6.0	7.91	6.2	7.56	7	6.8	8.1	7.34	5.27	7.6	7.6
Temperatura (°C)	21.5	20	19.9	19	24	20	19.7	19	21.5	20	19.1	19
Sólidos Sedimentales (m/L)	60	10	< 0.1	< 0.1	0.2	< 0.1	3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Sólidos en Suspensión (ppm)	362	178	170	94	136	80	590	178	164	108	134	174
DQO (ppm O ₂)	3205	939	846	475	887	487	969	1061	2061	1101	959	877
DBO (ppm O ₂)	1470	615	540	350	390	270	510	855	1140	870	405	398
Relación DQO/DBO	2.3	1.5	1.6	1.4	2.3	1.8	1.3	1.2	1.8	1.3	2.4	2.2
Aceites y Grasas (ppm)	9	< 5	16	11	11	5	5	7	11	< 5	26	14
Nitrógeno Total (ppm -N)	135.8	59.9	35.47	9.74	15.81	4.86	15.72	7.23	37.54	27.27	22	49
Fósforo Total (ppm -P)	42.5	37.5	39.5	2.16	62.5	3.52	6.32	4.2	23.2	6.4	7.52	4.84
Materia flotante	Presente	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes fecales (NMP/ml)	4	460,000	460	540	280,000	330,000	24,000	350,000	4,300,000	390,000	17,000	5,400
Color (u Pt-Co)	309	130	202	137	272	297	254	150	142	104	110	165
Caudal promedio Lt/segundo	0.68		7.06		10.24		9.82		8.58		7.8	

Anexo 2

Gráfico 8: DBO

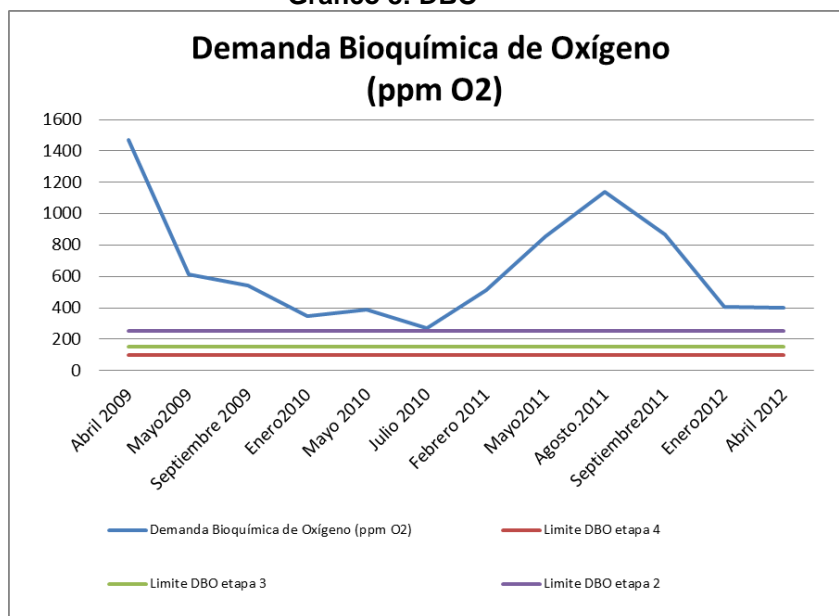
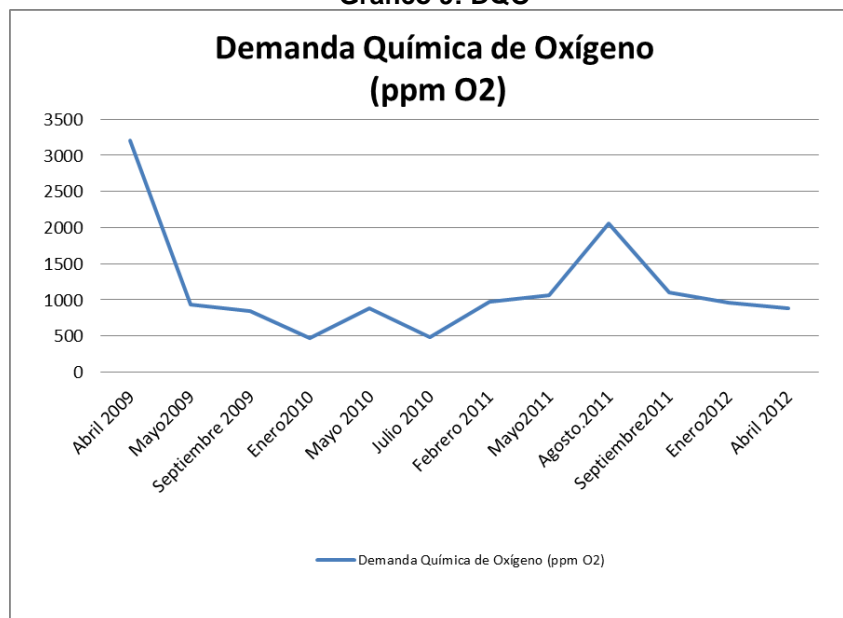


Gráfico 9: DQO



Continuación Anexo 2

Gráfico 10: Fósforo

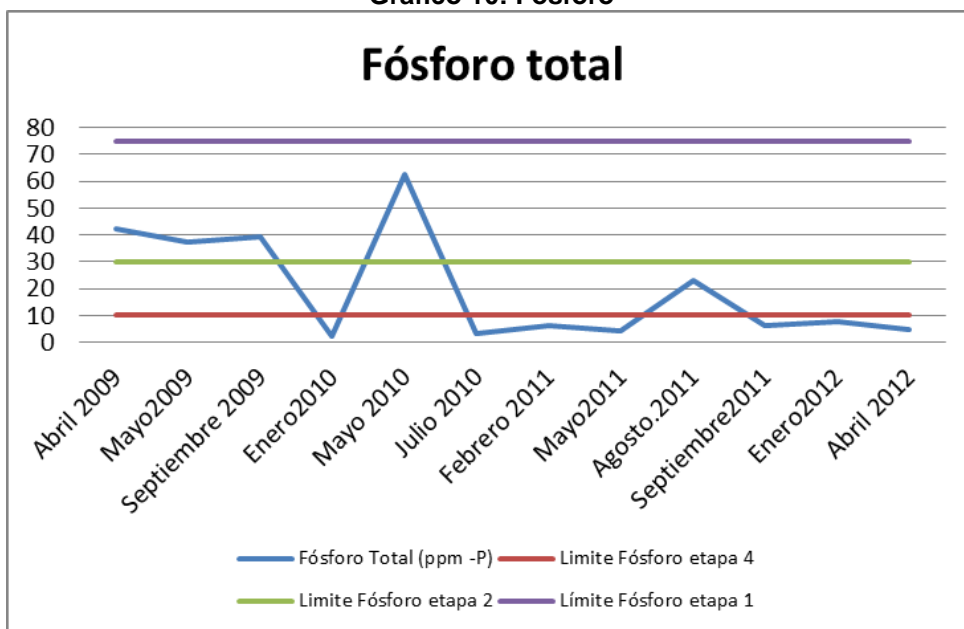
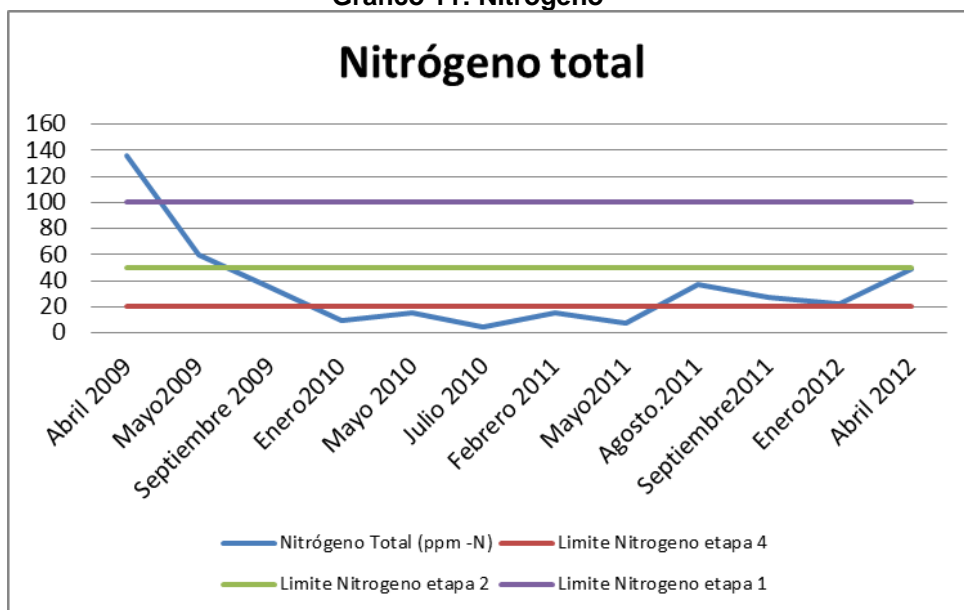


Gráfico 11: Nitrógeno



Continuación Anexo 2:

Gráfico 12: Grasas y aceites

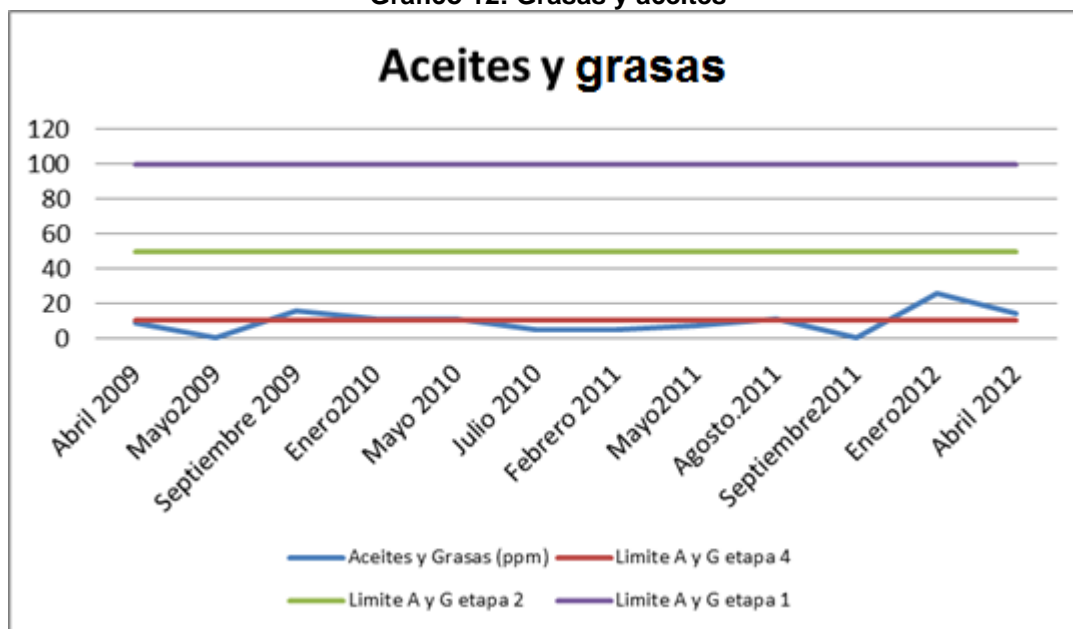
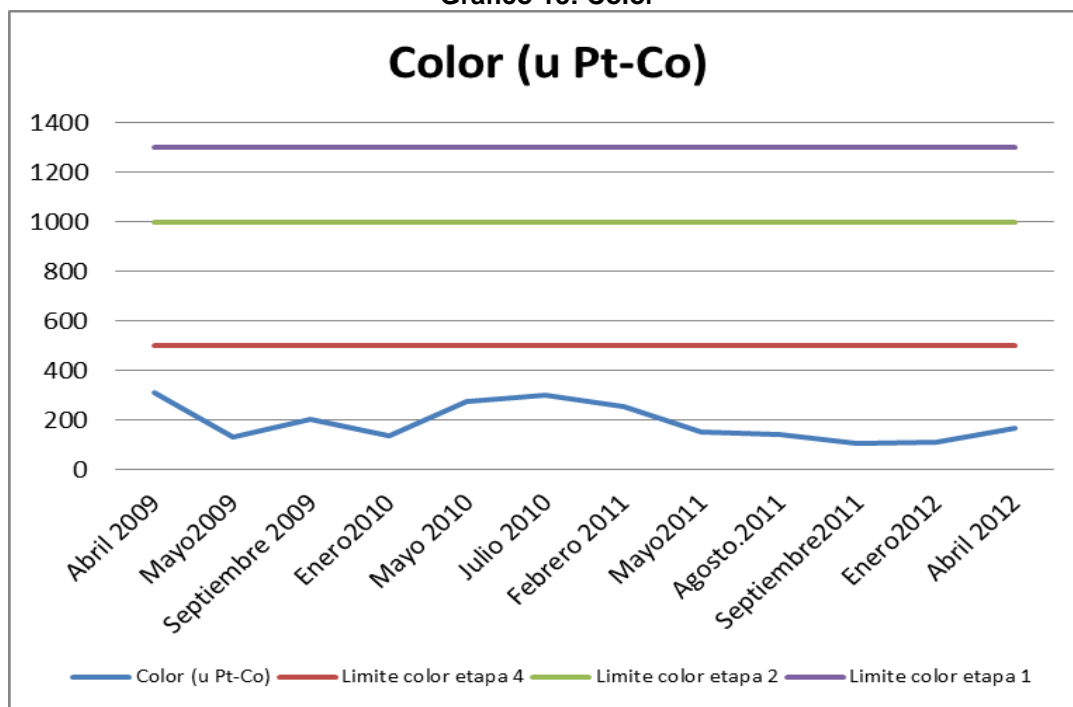


Gráfico 13: Color



Continuación Anexo 2:

Gráfico 14: Sólidos suspendidos

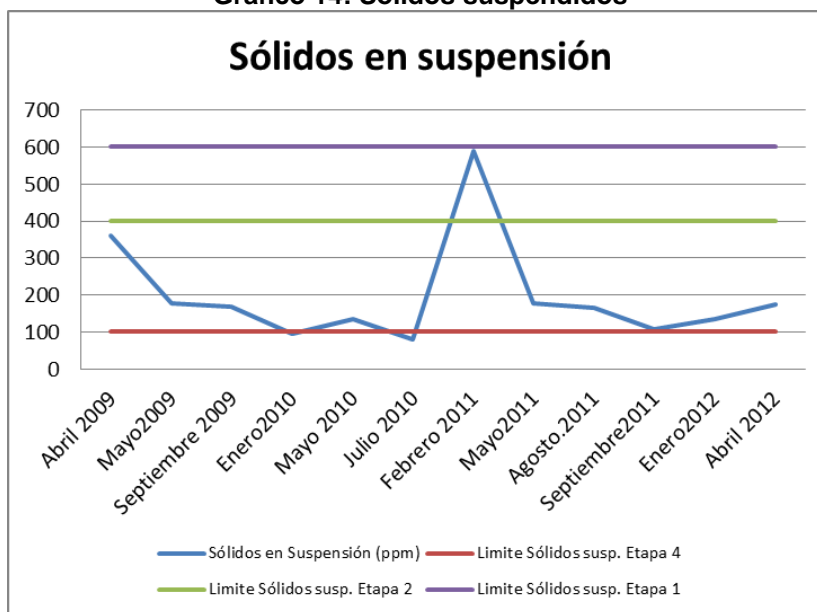
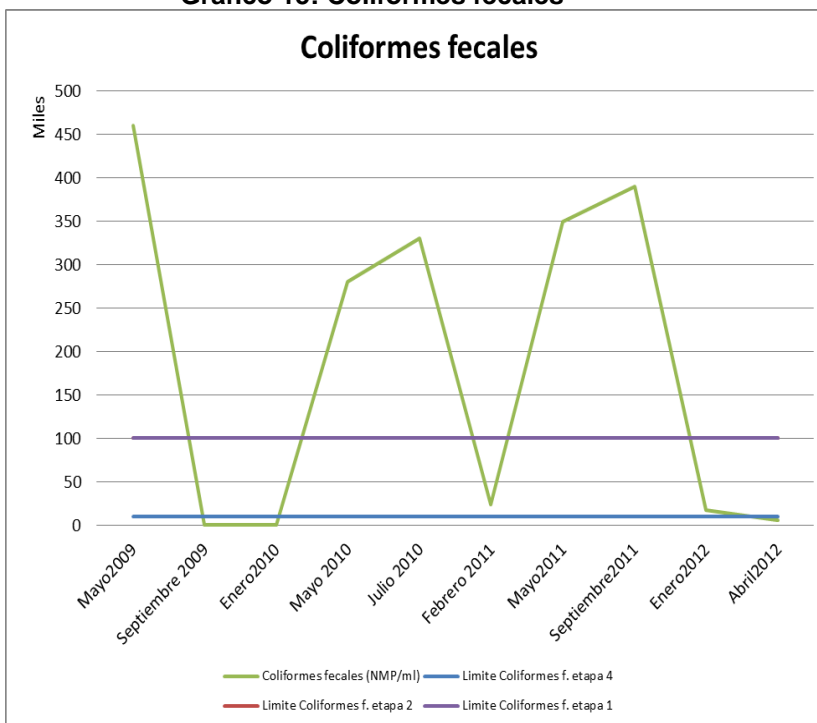


Gráfico 15: Coliformes fecales



Anexo 3:**Ilustración 9: Uso de canastas**

Anexo 4:

Tabla 31 Resultados DBO por producto

Punto muestreo	Producto	DBO
Bombas agua residual	Zanahoria	1,458.00
Bombas agua residual	Brócoli	810.00
Bombas agua residual	Okra	204.00

Tabla 32 Resultados DBO por equipo

Punto de muestreo	DBO (ppm O ₂)
Drenaje de la cámara de blanqueo	4,200.00
Drenaje del transportador de chorros de enfriamiento	1,458.33
Mesa de inspección	1,680.00
Cortadoras de ocra	470.00
Lavadora	340.00

Anexo 5:

Tabla 33: Caudal por equipo Línea 1

	Caudal (m ³ /d)	% con base al caudal total de proceso
Cámara de blanqueo	28.83	3.68%
Chorros de enfriamiento	25.44	3.25%
Total	54.27	

* Datos estimados a través de la medición de caudal puntual.

** El total de caudal de proceso se obtuvo del promedio de los estudios de caudal realizados, 806.11m³/día

Tabla 34: Caudal por equipo Línea 2

	Caudal (m ³ /d)	% con base al caudal total de proceso
Cámara de blanqueo	22.17	2.83%
Chorros de enfriamiento	46.76	5.97%
Total	68.93	

* Datos estimados a través de la medición de caudal puntual.

** El total de caudal de proceso se obtuvo del promedio de los estudios de caudal realizados, 806.11m³/día

Anexo 6:**Tabla 35: Puntos de generación y acumulación de residuos sólidos área preparado**

Punto No.	Descripción
1	Alimentación canastas con producto
2	Bancas de alimentación cortadoras brócoli
3	Clasificadora 1 inicio
4	En medio de la clasificadora 1
5	Clasificadora 1 final
6	Elevador a clasificadora 2
7	Clasificadora 2
8	Descarga de faja 1 hacia faja 2
9	Canasta debajo de cada brinco de la banda transportadora (rodos)
10	Final faja 3, inicio clasificadora 3
11	Clasificadora 3
12	Parrilla
13	Alimentación soplador L2
14	Redistribución del producto en el soplador L2
15	Salida soplador, ingreso lavadora (resbaladero) L2
16	Rebalse lavadora línea 2
17	Alimentación soplador L1
18	Redistribución del producto en el soplador L1
19	Salida soplador, ingreso lavadora (resbaladero) L1
20	Final banda tallo (viene de cortadoras de brócoli)
21	Lavadora

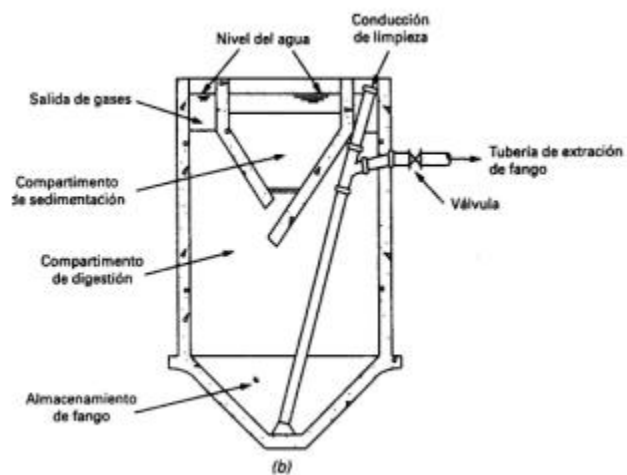
Continuación Anexo 6:

Tabla 36: Puntos de generación y acumulación de residuos sólidos área proceso

Punto No.	Descripción
1	Fin transportador a enfriador de aire
2	Salida enfriador de aire L2
3	Cortadoras okra L2
4	Fin cortadoras okra caída hacia mesa de inspección L2
5	Inicio elevador a congelador fin mesa de inspección L2
6	Fin elevador a congelador L2
7	Parrilla salida congelador L2
8	Inicio transportador detector de metales L2
9	Rebalse cámara de blanqueo L1
10	Elevador a enfriador de aire L1
11	Enfriador de aire L1
12	Inicio elevador a vibrador L1
13	Fin elevador a vibrador L1
14	Salida congelador L1
15	Inicio transportador detector de metales L1
16	Piso mesa de inspección L1
17	Piso mesa de inspección L1

Anexo 7:**Ilustración 10: Rejilla de limpieza automática¹⁰****Ilustración 11: Vista superior rejilla de limpieza automática**

¹⁰ Imagen tomada de:
ESTRUAGUA. (2012). *Reja automática circular*. Recuperado el 25 de agosto de 2012, de
<http://www.estrugua.com/productos/reja-automatica-circular.html>

Anexo 8:**Ilustración 12: Tanque tipo Imhoff¹¹**

¹¹ Imagen tomada de:
Ingenieros, I. (2008). *Tanques Imhoff*. Recuperado el 05 de septiembre de 2012, de <http://www.ingenierosinc.com/2008/08/19/tanques-imhoff/>

Anexo 9

Ilustración 13: Tasa Líder de interés BANGUAT

**INFLACIÓN TOTAL
RITMO INFLACIONARIO
AÑOS 1996 - 2012
PORCENTAJES**

Periodo	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Promedio	
Enero	9.76	10.80	7.29	6.29	5.27	6.05	8.85	6.20	6.21	9.04	8.08	6.22	8.39	7.88	1.43	4.90	5.44	6.95	
Febrero	10.83	12.66	5.45	5.17	6.62	5.99	9.01	6.00	6.26	9.04	7.26	6.62	8.76	6.50	2.48	5.24	5.17	7.00	
Marzo	11.48	11.51	6.11	3.99	8.28	5.42	9.13	5.78	6.57	8.77	7.28	7.02	9.10	5.00	3.93	4.99	4.55	6.99	
Abril	11.95	10.13	6.94	3.47	9.07	4.87	9.25	5.67	6.65	8.88	7.48	6.40	10.37	3.62	3.75	5.76	4.27	6.97	
Mayo	11.02	9.61	7.32	3.73	7.36	6.05	9.31	5.56	7.27	8.52	7.62	5.47	12.24	2.29	3.51	6.39	3.90	6.89	
Junio	10.34	8.97	7.43	4.22	7.23	6.30	9.14	5.24	7.40	8.80	7.55	5.31	13.56	0.62	4.07	6.42	3.47	6.83	
Julio	11.60	7.98	7.27	5.22	6.14	6.97	9.10	4.65	7.64	9.30	7.04	5.59	14.16	-0.30	4.12	7.04	2.86	6.85	
Agosto	12.03	8.05	6.31	6.03	4.71	8.79	7.73	4.96	7.66	9.37	7.00	6.21	13.69	-0.73	4.10	7.63	2.71	6.84	
Septiembre	11.77	8.33	5.49	6.79	4.29	8.99	7.10	5.68	8.05	9.45	5.70	7.33	12.75	0.03	3.76	7.25	3.28	6.83	
Octubre	10.64	8.48	4.97	7.57	3.84	9.47	6.60	5.84	8.64	10.29	3.85	7.72	12.93	-0.65	4.51	6.65	3.35	6.75	
Noviembre	10.44	7.66	7.35	5.15	4.17	9.51	6.34	5.84	9.22	9.25	4.40	9.13	10.85	-0.61	5.25	6.05	3.11	6.65	
Diciembre	10.85	7.13	7.48	4.92	5.08	8.91	6.33	5.85	9.23	8.57	5.79	8.75	9.40	-0.28	5.39	6.20	3.45	6.65	
																			Promedio total
																			6.85

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).