

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
PROGRAMA DE ENSEÑANZA PARA EL DESARROLLO Y LA CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CONTAMINACIÓN
DE LAS FUENTES DE AGUA POR LOS DESECHOS DE LA
INDUSTRIA DEL BENEFICIADO HUMEDO DEL CAFÉ:
EL USO DEL CONCEPTO DE COSTO DEFENSIVO**

POR

ERICK ROBERTO TADEO SALGUERO ZECEÑA



Turrialba, Costa Rica
1996

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN
Y ENSEÑANZA (CATIE)
PROGRAMA DE ENSEÑANZA
AREA DE POSTGRADO**

RECIBIDO
Turrialba, Costa Rica

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CONTAMINACIÓN
DE LAS FUENTES DE AGUA POR LOS DESECHOS DE LA
INDUSTRIA DEL BENEFICIADO HÚMEDO DEL CAFÉ: EL
USO DEL CONCEPTO DE COSTO DEFENSIVO.**

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico de Postgrado y Capacitación del Programa de Enseñanza en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

Magister Scientiae

por


ERICK ROBERTO TADEO SALGUERO ZECEÑA

**Turrialba, Costa Rica
1996**

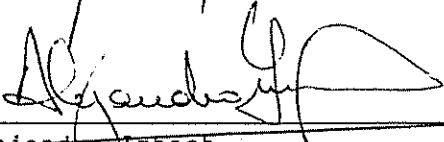
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma, por la Jefatura del Area de Postgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

Ciencias Agrícolas
MAGISTER SCIENTIAE


FIRMANTES:



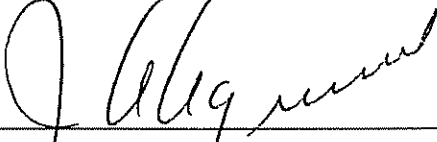
Juan A. Aguirre
Profesor Consejero



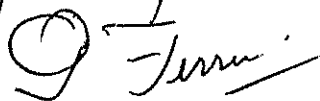
Alejandro Imbach
Miembro Comité Asesor



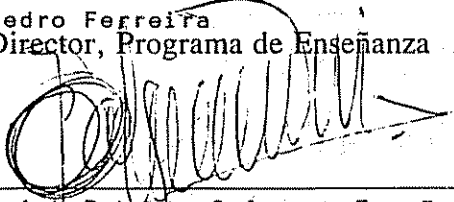
Jorge Morera
Miembro Comité Asesor



Juan A. Aguirre
Jefe, Area de Postgrado



Pedro Ferreira
Director, Programa de Enseñanza



Erick Roberto Salguero Zeceña
Candidato

DEDICATORIA

- A DIOS: A quien todos le debemos y que nos sirve como fuente de inspiración y entereza.
- A mis padres: Quienes siempre estuvieron pendientes de mi persona.
- A mi esposa: Norma Beatriz, por su amor, dedicación y comprensión.
- A mi Tía: Mercedes Gloria, por toda su ayuda, buenos consejos e interés en mi persona.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar un agradecimiento muy especial por el apoyo y orientación al desarrollo de la tesis a las siguientes personas:

- Juan Antonio Aguirre, PH.D.
- Gabriela Ross, Directora Ejecutiva AyA.
- Jorge Morera, PH.D.
- Alejandro Imbach, M.Sc.
- Jhony López.
- Rolando Vásquez, Ing.

A los señores propietarios y gerentes de los beneficios estudiados que siempre estuvieron dispuestos a dar la información solicitada:

- Edwin Acuña
- Olmand Ramírez
- Hermann Khale Keller
- Adolfo Zeuner
- José Cruz Campos
- Luis Eugenio Suarez Maroto
- Hermes Solís
- Markus Shoch
- Markus Fisher
- Arturo Romero

Al personal de la biblioteca Orton, Postgrado y Centro de Cómputo.

A mis compañeros de promoción.

A mis compatriotas Salvadoreños.

Al Gobierno de Holanda, OEA y FUNDATROPICOS, quienes financiaron mis estudios en CATIE.

Al Ministerio de Agricultura y Ganadería de El Salvador, por haber otorgado el permiso de salida en misión oficial.

A mis amigos Oscar, Jeferson, Carlos e Ismael por todo su apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
III. HIPÓTESIS DEL TRABAJO.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Calidad del Agua e importancia.....	4
4.2 Etapas del proceso de industrialización del café.....	5
4.2.1 Generalidades.....	5
4.2.2 Cosecha.....	5
4.2.3 Recibo del café cereza.....	5
4.2.4 El despulpe o despulpado.....	5
4.2.5 Remoción del mucílago.....	6
4.2.6 El lavado del café.....	6
4.2.7 Secado del café.....	6
4.2.8 Trillado del café.....	6
4.2.9 Clasificación.....	6
4.2.8 Almacenamiento.....	6
4.3 Contaminación de las aguas y la agroindustria del café.....	7
4.3.1 Principales usos del agua que originan desechos en los beneficios de café.....	12
4.3.2 Desechos más importantes del café.....	13
4.4 Beneficios del café.....	13
4.4.1 Importancia del sector.....	13
4.4.2 Distribución.....	15
4.5 Indicadores de la calidad de las aguas.....	15
4.6 Sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en el beneficiado de café.....	18
4.7 Sistemas de tratamiento de aguas residuales implantados por las empresas procesadores de café en Costa Rica y la problemática de las exigencias de calidad de aguas.....	22
4.8 Costo anual uniforme equivalente (CAUE).....	23
4.9 Costos defensivos en el beneficiado de café.....	24

V. MATERIALES Y MÉTODOS	28
5.1 Descripción física área de estudio.....	28
5.1.1 Tarrasú.....	28
5.1.2 Naranjo.....	28
5.1.3 Palmares.....	29
5.1.4 Turrialba.....	30
5.2 Casos estudiados.....	30
5.3 Metodología del diagnóstico de la contaminación.....	30
5.3.1 Tamaño de la muestra.....	30
5.3.2 Bases de la definición de la metodología.....	31
5.3.3 Puntos de muestreo.....	31
5.3.4 Normas de muestreo.....	32
5.3.4 Análisis realizados.....	32
5.3.5 Determinación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales en cada beneficio.....	36
3.6 Agua utilizada.....	38
5.4 Procedimiento Analítico.....	38
5.4.1 De tipo estadístico.....	38
5.4.2 De tipo económico.....	39
5.4.2.1 Datos experimentales de fuente primaria.....	39
5.4.2.2 Determinación de los costos defensivos aplicando la técnica del costo anual uniforme equivalente (CAUE).....	40
5.4.2.2 Cálculo del CAUE por m ³ de agua utilizada en los benefi- cios estudiados.....	41
5.4.2.3 Determinación de los costos defensivos del subsector café en Costa Rica.....	42
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
6.1 Generales.....	43
6.1.1 Café procesado.....	43
6.1.2 Sistemas de tratamiento y modificaciones por beneficio.....	43
6.1.3 Demanda de agua para el despulpado y el lavado del café.....	48
6.2 Resultados del análisis estadístico.....	51
6.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5).....	52
6.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	57
6.2.3 Potencial de hidrógeno (pH).....	58
6.2.4 Turbiedad (Utn).....	62
6.2.5 Sólidos totales, suspendidos y disueltos.....	64
6.2.6 Caudal.....	72
6.2.7 Conductividad eléctrica.....	75
6.2.8 Temperatura.....	76
6.3 Resultados de eficiencia de los sistemas de tratamiento....	79

6.4 Resultados de la determinación de los costos defensivos....	85
6.5 Análisis de los costos por medio del costo anual uniforme equivalente (CAUE).....	86
6.6 Aproximación de los costos defensivos del sector cafetalero a nivel nacional.....	87
XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
XI. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	92

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Operaciones a las cuales son sometidos los frutos del café en el procesamiento por vía seca y húmeda. CICAPE, (1995).	8
Cuadro 2. Tipos de contaminación y los agentes involucrados. Mata, (1982).	8
Cuadro 3. Cadenas de Contaminación a tres niveles, según la importancia en el sector. Tecnología en Marcha, (1982).	9
Cuadro 4. Café declarado por los beneficios según zonas de producción en Costa Rica.	14
Cuadro 5. Empleo permanente generado por la actividad cafetalera, según las etapas indicadas. 1993-1994, Costa Rica.	15
Cuadro 6. Total de Beneficios por Estrato. Cosecha 1993-1994. Costa Rica.	15
Cuadro 7. Comparación de indicadores de calidad de aguas, utilizados para diferentes investigaciones en el beneficiado húmedo de café.	17
Cuadro 8. Composición de las aguas de beneficiado de café.	18
Cuadro 9. Parámetros fisicoquímicos e hidráulicos analizados en cada muestra de agua.	32
Cuadro 10. Definición e importancia de los indicadores de calidad de aguas.	34
Cuadro 11. Criterios para el análisis de calidad de aguas en función de los usos posibles y características del agua potable.	36
Cuadro 12. Café declarado por los beneficiadores en la cosecha 95-96 en dobles hectolitros, clasificados según su tamaño y zona de maduración.	43
Cuadro 13. Sistema de tratamiento de aguas residuales en cada beneficio y modificaciones en planta.	45
Cuadro 14. Comparación de los tiempos de retención hidráulica en los tanques de sedimentación y empleo de sedimentación natural o química por beneficios.	47
Cuadro 15. Resumen de datos relevantes para determinación del consumo de agua en las etapas de despulpado y lavado de ocho beneficios de café en la zona central de Costa Rica.	50
Cuadro 16. Demanda de agua para el despulpado y el lavado del café en ocho beneficios de la Zona Central de Costa Rica. (m ³ /fanega)	51
Cuadro 17. Resumen del análisis de varianza de los indicadores de calidad de aguas en los diferentes puntos de muestreo y por beneficio.	52
Cuadro 18. Resumen estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg. O ₂ /l).	55
Cuadro 19. Resumen estadístico de la Demanda Química de Oxígeno de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg. O ₂ /l).	58
Cuadro 20. Resumen estadístico del pH de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio.	59
Cuadro 21. Resumen estadístico de la Turbiedad de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio. (Utn)	62

Cuadro 22. Resumen estadístico de los sólidos totales de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg /l).....	66
Cuadro 23. Resumen estadístico de los sólidos suspendidos en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg /l).....	68
Cuadro 24. Resumen estadístico de los sólidos disueltos totales en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg /l)..	70
Cuadro 25. Resumen estadístico de los datos de caudales en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (l/segundo)..	73
Cuadro 26. Resumen estadístico de los datos de conductividad eléctrica en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio ($\mu\text{homs/ cm a } 25\text{ }^{\circ}\text{C}$).....	75
Cuadro 27. Resumen estadístico de los datos de temperatura en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio ($^{\circ}\text{C}$).....	76
Cuadro 28. Reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas de despulpado y lavado, como indicador de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.....	80
Cuadro 29. Reducción de la demanda química de oxígeno en aguas de despulpado y lavado, como indicador de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.....	81
Cuadro 30. Biodegradabilidad de las aguas de despulpado y lavado en ocho beneficios de café de la Zona Central de Costa Rica (DQO/DBO5).....	82
Cuadro 31. Resumen de los resultados obtenidos en ocho beneficios de café en la zona central de Costa Rica.....	83
Cuadro 32. Determinación del costo anual uniforme equivalente por beneficio. (US \$).....	86
Cuadro 33. Determinación de los costos defensivos por m^3 de agua a descontaminar.....	87
Cuadro 34. Costos defensivos incurridos por el subsector café, por concepto de minimizar el impacto ambiental producido por el beneficiado del fruto de café.....	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso común de transformación del café (adaptado de Bailly et al (1992)).....	7
Figura 2. Volumen de los constituyentes del café en cereza, cosecha 94-95. ICAFE, Costa Rica.....	11
Figura 3. Distribución porcentual de los constituyentes del café en cereza, según los subproductos generados en la fase de beneficiado húmedo de café.....	12
Figura 4. El sistema económico y el medio ambiente. (Adaptado de Tietenberg, (1992)).....	24
Figura 5. Valores promedio de la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg O ₂ /l).....	56
Figura 6. Valores promedio de la demanda química de oxígeno de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg O ₂ /l).....	60
Figura 7. Valores promedio del pH de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica.....	61
Figura 8. Valores promedio de Turbiedad de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en tres beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (Utn).....	63
Figura 9. Valores promedio de los sólidos totales de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg/l) ...	67
Figura 10. Valores promedio de los sólidos suspendidos de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg/l) ...	69
Figura 11. Valores promedio de los sólidos disueltos totales de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg/l).....	71
Figura 12. Valores promedio de caudales de las aguas de despulpado y lavado de ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (l/s).....	74
Figura 13. Valores promedio de la conductividad eléctrica de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (µhoms/ cm a 25 °C).....	77
Figura 14. Valores promedio de temperatura de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (°C).....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ley de Conservación de la Vida Silvestre	100
Anexo 2. Resumen de los puntos relevantes para la reducción de la contaminación y consumo de agua por los beneficios de café..	101
Anexo 3. Encuesta de tipo estructurado para definir el tipo de sistema de tratamiento de aguas utilizado y modificaciones realizadas.....	102
Anexo 4. Análisis químico de las aguas de entrada (#3)y salida (#1) del Beneficio B1.....	104
Anexo 5. Base de datos de los indicadores de calidad de aguas de ocho beneficios de café en Costa Rica.....	105
Anexo 6. Programa de SAS para análisis de varianza y comparación de medias por contrastes ortogonales por beneficio.....	110
Anexo 7. Programa de SAS para análisis de varianza para rangos y comparación de medias por contrastes ortogonales.....	114
Anexo 8. Programa SAS para efectuar la regresión del parámetro DBO y DQO.....	119
Anexo 9. Costo del tratamiento de aguas del beneficio B1	120
Anexo 10. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B2	121
Anexo 11. Costo del tratamiento de aguas del beneficio B3	122
Anexo 12. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B4	123
Anexo 13. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B5.	124
Anexo 14. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B6	125
Anexo 15. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B7	126
Anexo 16. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B8	127

SALGUERO Z., E.R. 1996. Valoración Económica de la Contaminación de las Fuentes de Agua por los Desechos de la Industria del Beneficiado Húmedo de Café: El Uso del Concepto de Costo Defensivo. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R. CATIE. 127 p.

Palabras claves: Contaminación, Beneficiado Húmedo de café, indicadores de calidad de aguas, costos defensivos, aguas de lavado, aguas despulpado, sistemas de tratamiento de aguas residuales, despulpado en seco, desmucilaginado mecánico, transporte no hidráulica de pulpa y recirculación de aguas, biodegradabilidad, eficiencia del sistema.

RESUMEN

Los costos defensivos tratan de eliminar, mitigar, neutralizar o evitar los daños y el deterioro que los procesos industriales han causado a la vida, trabajo y medio ambiente. Este método analiza los costos individuales que las empresas incurren para disminuir los daños ambientales. Esta investigación tiene como objetivo el de determinar los costos defensivos del sector beneficiador costarricense.

Se utilizó un estudio sobre las calidades de agua que se utilizan en el beneficiado húmedo de café en la Zona Central de Costa Rica, realizado por Acueductos y Alcantarillados (AyA)/ CICAFFE y financiado por la GTZ. Con estos datos se identificaron, midieron y cuantificaron los cambios en la calidad de las aguas, causados por los desechos de la agroindustria del café, a través de la determinación de parámetros de calidad de aguas, como: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, pH, Turbiedad, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentales, Sólidos disueltos, Temperatura y Conductividad Eléctrica.

Esto sirvió para conocer los niveles de contaminación agregados por la industria del beneficiado húmedo de café en Costa Rica y los costos defensivos en que incurre el sector beneficiador por concepto de sistemas de tratamiento de aguas residuales para minimizar, mitigar o disminuir el impacto ambiental que esta actividad productiva tiene sobre las fuentes receptoras. Además, se determinaron los costos defensivos a nivel nacional, a través del cálculo de su costo anual uniforme equivalente de los sistemas de tratamiento de aguas en operación en el país.

El Centro de Investigaciones del Café (CICAFFE) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (I.C.A.A) fueron los entes encargados de la recolección y análisis de las muestras de aguas residuales de cada beneficio. Se escogieron

ocho beneficios de café, a los cuales se les determinaron parámetros de tipo físico, químico e hidráulicos. Los puntos de muestreo fueron ubicados: (DST) agua de despulpado a la salida de la despulpado, (DCT) agua de despulpado después de ser tratada, (LST) agua de lavado sin tratamiento y (LCT) agua de lavado tratada.

A estos se les aplico un ANDEVA por cada variable y beneficio realizando una prueba de contrastes ortogonales para los parámetros que mostraban diferencias estadísticamente significativas.

Además, se determinaron los costos defensivos en que incurren los beneficiadores de café en Costa Rica, a través de la determinación de las inversiones en modificar sus beneficios, con el objetivo de minimizar la cantidad de agua utilizada y abaratar los costos de la infraestructura necesaria, por esta razón los beneficios estudiados han implementado el despulpado en seco, desmucilaginado mecánico, transporte no hidráulico de la pulpa y la recirculación de aguas. Por otra parte, los costos por tamices, sedimentadores y lagunas de lodos son relevantes en el calculo de los Costos defensivos.

Los costos defensivos por cada beneficio fueron transformados a una cantidad uniforme equivalente, la cual permite tener un valor monetario a través de un tiempo de evaluación (20 años a una tasa de descuento de 5.29 %).

Sólo el beneficio B2 y B4 presentan niveles de eficiencia de 81.2 % y 93.69% para sus aguas de despulpado y lavado, respectivamente.

La biodegradabilidad (DQO/DBO5)de las aguas de lavado oscilo entre 1.23 - 2.16 y para despulpado entre 1.12 - 2.58, lo que indica una biodegradabilidad aceptable (1.3-2.0).

Se encontró que los costos de descontaminar un m³ de agua para la industria cafetalera es de US \$ 0.15, para beneficios pequeños y para beneficios medianos y grandes de 0.18 y 0.13, respectivamente.

Los costos defensivos a nivel nacional en que incurre el subsector cafetalero se estimo en US \$ 3 193 294.03, este representa el 1.02 % de las exportaciones del periodo 1994 del sector cafetalero nacional, que para esta fecha fue de US \$ 310 192 531.0.

Este valor de la contaminación por concepto de costos defensivos podría ser descontado del PIB (Producto Interno Bruto) del subsector café, a través de la corrección del PDN (Producto Domestico Neto).

SALGUERO Z., E.R. 1996. Economical assessment of water sources contamination by industrial wastes from humid coffee milling. The use of the defensive cost concept. Thesis Mag. Sc., Turrialba, C.R. CATIE. 127 p.

Key words: contamination, humid coffee processing, water quality indicators, defensive costs, washing waters, pulp removing waters, residual water treatment systems, dry pulp process, mechanical mucilage removal, non-hydraulic pulp transport and waters recirculation, biodegradation, system's efficiency

SUMMARY

The purpose of the defensive costs is to eliminated, ameliorate, neutralize or avoid damages and deterioration that industrial processes are causing to all forms of life, work and environment. The proposed method analyzes the individual costs in which enterprises incur in order to decrease environmental damages. The objective of this research is to determine the defensive costs of the Costarrican coffee processing sector.

A study on water qualities employed for humid coffee processing at the Central area of Costa Rica, which was designed by the country's Acueductos y Alcantarillados Service (A y A)/CICAPE, and financed by GTZ was utilized. With this information water quality changes caused by wastes from the coffee agroindustry were identified, measured and quantified, determining water quality parameters, as: Oxygen biochemical demand, Oxygen chemical demand, pH, turbidity, total solids, hard sediments, dissolved sediments, temperature and electric conductivity.

The previous information was necessary to determine aggregated contamination levels produced by humid coffee processing industries and the defensive costs in which the coffee processing sector incurs to have residual water treatment systems in order to minimize, mitigate or diminish the environmental impact that this production activity has on receptive sources. Besides this, defensive costs at national level were also determined, through the estimation of their uniform annual cost equivalent to the water treatment systems already functioning in the country.

The Centro de Investigaciones del Café (ICAPE), and the Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (I.C.A.A.) were the entites responsible to recollect and analyze the residual water samples from every coffee processing plant. Eight coffee processing plants were chosen to

which physical, chemical and hydraulic parameters were determined. The sampling sites were located at: (DST) pulp removing water after finishing the pulp removing process, (DCT) pulp removing water after treatment, (LST) washing waters without treatment and (LCT) treated washing waters.

An ANDEVA was applied to each variable and processing plant, conducting an orthogonal contrast test for those parameters showing statistically significant differences.

The defensive costs in which Costa Rican coffee processing plants incur were also determined through the estimation of the investments necessary to modify their plants in order to minimize the amount of water utilized and to reduce infrastructure costs. For these reasons, the coffee processing plants considered in this study have implemented the following strategies: dry pulp process, mechanical mucilage removal, non-hydraulic pulp transport and water recirculation. On the other side costs due to the implementation of sieves, sedimentators and mud reservoirs are relevant to estimate the defensive costs.

The defensive costs of each coffee processing plant were transformed into a uniform equivalent figure, which allows to have a monetary value through the evaluation period (20 years at a discount rate of 5.25%).

Only processing plants B2 and B4 show efficiency levels of 81.2% and 93.69% for their pulp and washing waters, respectively.

Washing waters biodegradation (DQO/DBO5) ranged between 1.23 and 2.16 and pulp waters were between 1.12 and 2.58, indicating an acceptable biodegradation (1.3-2.0).

It was found that the costs necessary to decontaminate one m³ of water for the coffee industry amounts to US\$0.15 for small coffee processing plants and 0.18 and 0.13 for medium and big plants respectively.

The defensive costs in which the coffee subsector incurs at national level was estimated in US\$3 193 294.03, representing 1.02% of the national coffee sector's 1994 exports, which reached at that time US\$310 192 531.0.

The contamination value generated by the defensive costs could be discounted from the NGP (National Gross Product) of the coffee subsector, after correcting the DNP (Domestic Net Product).

I. Introducción

En el curso de la historia el agua ha sido una de las principales preocupaciones de los seres humanos, ya sea por su exceso (inundaciones, lixiviación del suelo, etc.) o por defecto de la misma (sequía). Aunque los problemas relacionados con la disponibilidad del agua siguen teniendo vigencia, recientemente el hombre se ha visto obligado a preocuparse más por otro aspecto de la misma: "su calidad".

Por esta razón, esta investigación se enmarca dentro del contexto de los procesos agroindustriales donde el uso inadecuado del agua que entra en contacto con el material vegetal, puede generar problemas de contaminación ambiental, como es el caso del proceso de beneficiado húmedo de café.

En Costa Rica, el proceso de beneficiado del café se ha hecho tradicionalmente por vía húmeda, y este es uno de los factores de la excelencia del café denominado como otros suaves.

En este proceso, tal como se hace actualmente, se consumen grandes volúmenes de agua limpia y se contaminan cantidades equivalentes; generando dos subproductos pulpa y mucílago.

De acuerdo con Rojas (1995), en Costa Rica durante la cosecha 1993-1994, las 99 firmas beneficiadoras inscritas en el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), informaron haber recibido la cantidad de 6 490 936 dobles hectolitros¹ de café en fruta, equivalentes a 3 217 348 unidades de 46 Kg. de café oro conocidos como otros suaves². Los cuales, demandan un promedio de 0,38 - 1,0 m³ por quintal de café oro procesado, generando un total de 2,191,979.2 m³ de agua residual por periodo productivo.

El problema reviste mayor gravedad por coincidir el periodo de recolección con la estación seca, cuando los ríos tienen poco caudal, lo cual ocasiona mayores molestias a la población y produce un efecto letal en las corrientes receptoras. El aumento continuado del volumen de cosecha, y el desarrollo urbano alrededor de las plantas de beneficio; son factores que agravan la situación y justifican la urgente búsqueda de soluciones.

¹ Según las Leyes y reglamentos usuales sobre café de Costa Rica, en el artículo 10 establece: que el café deberá recibirse en los beneficios en medidas de doble hectolitro, que equivale a 23 kg de café en oro.

² Estos son los cafés procesados por vía húmeda.

La determinación de los costos defensivos del subsector se basa fundamentalmente en el hecho de la determinación de los gastos incurridos por las empresas beneficiadoras por corregir, disminuir o mitigar el daño al medio ambiente.

Lo anterior, es congruente con el principio fundamental de sostenibilidad, el cual establece que el recurso, en este caso el agua, tiene que ser devuelto a la sociedad en las mismas condiciones en que esta se lo entregó al iniciar la actividad productiva. Por lo tanto, el valor de la contaminación, será el costo de remediar la contaminación adicionada en el proceso de beneficiado húmedo de café, ya que el que contamina debe de pagar por la descontaminación del recurso agua.

Al determinar los costos defensivos por medio del gasto que se incurre para remediar el daño, a través de plantas de tratamiento de aguas, los gastos por adecuación del beneficio y los gastos directos relacionados con tal actividad; estamos aportando un valor monetario a un costo social indirecto, el cual no es considerado en los costos privados de los beneficios de café.

Es esencial la incorporación de los efectos de degradación ambiental en términos monetarios a las decisiones de inversión. Esta inclusión constituye un paso imprescindible que conduce al manejo económicamente eficiente de los recursos naturales y consecuentemente nos dirige hacia la formulación de una estrategia práctica para el desarrollo sustentable.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar los costos defensivos en que incurre la industria del beneficiado húmedo de café en Costa Rica.

2.2 Objetivos específicos

2.2.1 Identificar, medir y cuantificar los cambios en la calidad de las aguas, causados por los desechos de la agroindustria del café, a través de la determinación de parámetros o indicadores de contaminación.

2.2.2 Determinar los niveles de contaminación agregados por el proceso de industrialización del café. En lo que respecta a la carga orgánica que se introduce a las aguas receptoras.

2.2.3 Medir la efectividad de los tratamientos para aguas residuales que se encuentran en operación, en función de los contaminantes removidos por el sistema de tratamiento de aguas.

2.2.4 Determinar los costos en que incurren las centrales beneficiadoras para tratar las aguas residuales.

III. HIPÓTESIS DEL TRABAJO

3.1 Hipótesis

Hay un cambio significativo en la calidad del agua, expresada por los indicadores de contaminación³, después de ser utilizada en el proceso de beneficiado de café y depositada en las fuentes de agua.

3.2 Hipótesis Nula

No hay diferencias significativas entre la calidad de agua que se utiliza en el proceso de beneficiado de café y el agua que sale del proceso, después de ser tratada y vertida en las fuentes de agua nuevamente.

³ Indicadores de calidad de aguas: Demanda bioquímica de oxígeno, Demanda química de oxígeno, Conductividad eléctrica, pH, turbiedad, Sólidos totales, Sólidos disueltos totales, Sólidos suspendidos.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Calidad del Agua e importancia

El agua de calidad adecuada es esencial para la vida, para la industria, para la agricultura y la conservación y uso de muchos de los recursos naturales de los cuales depende nuestro bienestar.

Frederick (1984) y Inhaber (1990) señalan que el agua ha sido suministrada por naturaleza en forma abundante, con gran calidad y a un bajo costo, sin embargo, esta concepción ya no es real, pues lo que hoy tenemos es una demanda de agua creciente, a causa del incremento de la población mundial, urbanización y los procesos de crecimiento económico. Además, de encontrarse contaminada por agentes químicos y biológicos que degradan las fuentes de agua, minimizando su capacidad de rehuso.

Inhaber (1990) indica que tal es la importancia del agua, que su disponibilidad puede ser la diferencia entre la vida y la muerte; la prosperidad o la pobreza; como también la causa de conflictos y guerras entre y dentro de los países del mundo.

Villegas (1995) plantea que el recurso hídrico es un bien natural de carácter indispensable para la vida, por lo que todas las actividades deberían ser planeadas con miras a garantizar su disponibilidad.

Villegas (1995); Ciriacy (1985) y Mata (1982) establecen categorías para el uso del recurso hídrico:

1. Abastecimiento del agua potable
2. Uso agropecuario: Irrigación de cultivos y producción ganadera.
3. Plantas hidroeléctricas (industrial)
4. Generación de energía
5. Vehículo de dilución
6. Producción biológica (preservación de la vida acuática y vida silvestre)
7. Transporte (navegación)
8. Recreación y valores estéticos
9. Investigación científica
10. Otros usos

4.2 Etapas del proceso de industrialización del café

4.2.1 Generalidades

Villaseñor (1987) manifiesta que la tecnología del beneficiado del café comprende el estudio del proceso industrial que transforma en producto comercial el fruto (cereza) suministrado por los agricultores. En Costa Rica, el 100 % del café obtenido es lavado; por esta razón nos enfocaremos únicamente al proceso de los cafés preparados por vía húmeda.

4.2.2 Cosecha

Recolectar café es una de las operaciones más costosas en todo el proceso de cultivo. Esta se realiza cuando los frutos han alcanzado un color rojo cereza uniforme, como lo recomienda Villa (1990). García (1988) advierte que la fecha de inicio de la maduración de los frutos para dar inicio a la recolección, varía con las condiciones del clima. Así en Costa Rica se tienen tres zonas de maduración, a saber: maduración temprana, intermedia y tardía (CICAFE, 1994).

4.2.3 Recibo del café cereza

La entrega del café cereza al beneficio se hace, por lo general en las últimas horas de la tarde, en los grandes beneficios, como indica el Instituto Mexicano del Café (1988). A las tolvas de recibo se les conoce con el nombre de "tanques sifones" y su función es la de separar la cereza madura de la verde, seca o vana, así como las hojas, pequeños pedazos de rama, arena y piedras Villaseñor (1987). El sifón requiere una cierta cantidad de agua para su funcionamiento, por lo cual es la primera etapa del proceso que demanda agua para su funcionamiento.

4.2.4 El despulpe o despulpado

Es la primera operación mecanizada, consiste en la remoción de todas las envolturas exteriores (epicarpio y mesocarpio) del fruto del café y que comúnmente se le conoce como pulpa Duicela y Sotomayor (1993) e Instituto Mexicano del Café (1988). Esta operación se realiza en una maquina sencilla, llamada "descerezadora", "despulpadora", "descerezo" o "pulperos" Ministerio de Agricultura y Cría (1977). Para esta operación se utiliza agua como conductor del café del tanque sifón a los despulpadores y como lubricante en las despulpadoras.

4.2.5 Remoción del mucílago

Cuando el grano de café ha sido despulpado, queda recubierto de una capa mucilaginososa que representa el 20 % en peso del fruto maduro (Duicela y Sotomayor, 1993). Villaseñor (1987) advierte que el mucílago, higroscópico y rico en pectina, es un obstáculo para el secado y la conservación de los granos y se elimina por procedimientos que tienen como base: Acciones bioquímicas o de fermentación, químicas, mecánicas y químico-mecánicas.

4.2.6 El lavado del café

Inmediatamente después de haber pasado por el proceso de la fermentación el café es lavado y escurrido. El objetivo del lavado, como lo indica Villaseñor (1987) es el de separar de los granos de café pergamino los productos originados durante la fermentación (mucílago y microorganismos). En esta etapa como lo señala Villa (1990) se necesita: primero, un promedio de 400 litros de agua por quintal; segundo, que el agua sea lo suficientemente limpia para no dar al café ningún olor o sabor extraño y desagradable, que redundaría en su perjuicio.

4.2.7 Secado del café

Duicela & Sotomayor (1993) señalan que esta operación se realiza inmediatamente después del lavado, hasta que este alcance un porcentaje de humedad del 10-12 % que permita su almacenamiento sin riesgos de sufrir ataques de microorganismos, o adquirir malos olores y sabores. Villa (1990) aclara que hay dos formas de secamiento: natural (Sol) y artificial (mecánico).

4.2.8 Trillado del café

Esta operación tiene por objeto, separar el pergamino para dejar libre la almendra. La operación completa conlleva los siguientes pasos: Trilla - Retrilla y Pulida (García, 1988).

4.2.9 Clasificación

Consiste en separar los tipos de acuerdo con la calidad del grano, en forma y tamaño y exigencias del mercado exterior (Villa, 1990).

4.2.8 Almacenamiento

El café es conservado en lugares frescos con temperaturas máximas de 20 °C y humedades relativas de alrededor de 65 % (García, 1988).

En la Figura 1 se puede entender el flujo del agua común del proceso de beneficiado por vía húmeda. Donde se muestran los sitios de entrada de agua y los sitios de desalojo de las aguas residuales.

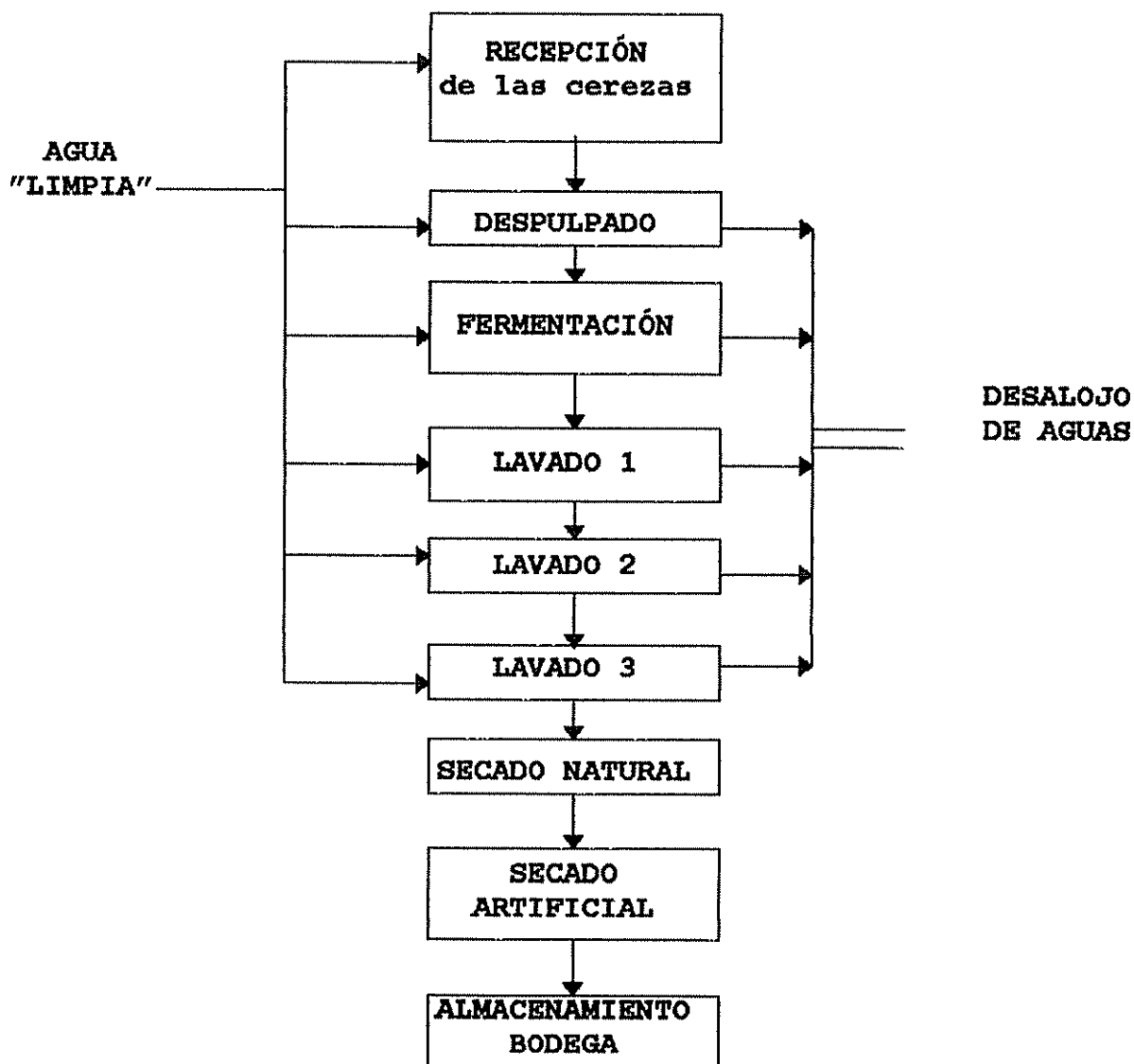


Figura 1. Esquema del proceso común de transformación del café (adaptado de Bailly et al (1992)).

4.3 Contaminación de las aguas y la agroindustria del café

Alvarez (1993) reporta que la preparación del café con miras hacia la comercialización puede ser obtenido tanto por vía seca como por vía húmeda. Por vía seca se entiende que la operación unitaria de secado normalmente sucede a la de recolección. El café así procesado es conocido en el mercado

internacional como café natural. Cuando otras operaciones unitarias son intercaladas entre las operaciones de cosecha y de secado, el café obtenido es conocido como café suave. En el Cuadro 1, se mencionan las operaciones a las cuales son sometidos los frutos tanto por vía húmeda como por vía seca hasta la operación de almacenamiento.

Cuadro 1. Operaciones a las cuales son sometidos los frutos del café en el procesamiento por vía seca y húmeda. CICAPE, (1995).

TIPO DE PROCESAMIENTO	OPERACIONES UNITARIAS
Vía seca	Cosecha, Secado, Almacenamiento
Vía húmeda	Cosecha, Despulpado, Fermentación, Lavado, Separación, Secado y Almacenamiento.

El término contaminación, se refiere a cualquier cambio en el ambiente natural producido por sustancias químicas, factores físicos y biológicos (Cuadro 2). Mata (1982) manifiesta que el término contaminación se ha estado aplicando de manera muy generalizada a las consecuencias nocivas de la actividad humana sobre el ambiente.

Cuadro 2. Tipos de contaminación y los agentes involucrados. Mata, (1982).

TIPO	AGENTES INVOLUCRADOS
1. Química (Orgánica e Inorgánica)	Inorgánica: ácidos, bases, sales de metales pesados, sales solubles. Orgánica: proteínas, grasas, jabones, detergentes, carbohidratos, resinas, aceites, taninos, pesticidas e hidrocarburos
2. Fisiológica	Olor, sabor.
3. Física	Térmica, acústica, color, lumínica, radioactividad, suspensión de sólidos (arenas, sedimentos, suelos, cenizas,
4. Biológica	Bacterias, hongos, virus, toxinas, protozoarios, plantas fotosintéticas, etc.

En los países que utilizan el beneficiado del café por vía húmeda, entre ellos Costa Rica, se producen dos clases de desechos: los líquidos y los sólidos. Estos contribuyen a uno de los problemas más intrincados para la sociedad actual, o

sea, la contaminación del agua. Por esta razón, llama la atención la contaminación de las fuentes de agua por los desechos de la agroindustria del café en Costa Rica.

Astorga & Coto (1996) reportan que el procesamiento de café es el principal aporte de contaminantes orgánicos de los ríos de Costa Rica, constituido por las aguas de lavado y despulpado del grano. Por su parte, Sequeira & Ramírez (1991) indican que los desechos sólidos y líquidos del beneficiado del café aportan aproximadamente 191500 Kg./día de DBO (Demanda bioquímica de oxígeno). Estos mismos autores han reportado que para los meses de noviembre y febrero los beneficios de café ubicados en el Río Grande de Tárcoles, generan una DBO diaria de 260 toneladas, equivalente a una población de 47 millones de habitantes.

Por esta razón, el beneficiado del café encabeza la lista de las cadenas de contaminación dadas por Mata (1982) como uno de los principales contaminantes del agua (Cuadro 3). Esto se ve respaldado por Bonilla & Meza (1994) al afirmar que en investigaciones realizadas por el Ministerio de Salud en el Valle Central de Costa Rica se ha determinado que el 59 % de la contaminación orgánica es debida a los beneficios de café, en tanto que en el Tárcoles representa casi el 70 % de la contaminación.

Cuadro 3. Cadenas de Contaminación a tres niveles, según la importancia en el sector. Tecnología en Marcha, (1982).

INDUSTRIAL	URBANA	AGRÍCOLA
Papel	Restaurantes	Beneficios de Café
Automóviles	Hogares	Ingenios Azucareros
Petroquímicas	Edificios Públicos	Agroquímicos
Fundiciones	Lavanderías	Mataderos
Metalurgia	Mercados	Granjas animales
Electricidad	Agroindustrias	Tenerías
Textiles	Hospitales	Basureros
Cementos	Gasolineras	

Según Cléves (1995); Mencía (1994) y Rodas (1988), el café de Costa Rica esta dentro de los denominados en el mercado internacional como "otros suaves" (café lavados), para lo cual se utilizan un promedio de 0,38-1,0 m³ de agua por quintal de café oro procesado, lo que implica una generación promedio de 2,191,979.2 m³ de aguas residuales. No obstante,

Cléves(1995) aportan datos sobre cantidad de agua utilizada en el proceso de beneficiado que oscilan entre 2,55-3,78 m³ de agua por quintal oro elaborado. Por otra parte, en investigaciones realizadas por el Centro de Investigaciones del Café (CICAPE) en 1979 se obtuvo un consumo de agua de 2,2 m³ por fanega o quintal oro procesado. Además, en nuevas mediciones realizadas por técnicos del mismo CICAPE, en beneficios particulares, han mostrado volúmenes más elevados por quintal oro procesado⁴.

Mencia (1995), señala que el consumo promedio de agua en los beneficios de El Salvador esta entre los 0,2-0,5 m³ /qq oro, utilizando en el despulpe entre 0,05-0,2 m³ /qq oro y en el lavado entre 0,125 y 0,325 m³ /qq oro, asimismo, afirma que de acuerdo a la cantidad de agua utilizada para el beneficiado húmedo, se ha establecido una clasificación de los beneficios según el consumo, siendo de consumo mínimo desde 0,15-0,25 m³/qq oro; consumo medio, 0,25-0,4 m³/qq oro y consumo alto, arriba de 0,4 m³/qq oro.

Los desechos líquidos del beneficiado del café, conocidos comúnmente como aguas mieles, cuando son vertidos directamente en los ríos o son tratados en forma desordenadas, pueden poner en peligro a las personas que habitan en las riveras de los ríos.

Por lo tanto, los desechos líquidos de la industria del café resultan ser, por sus características tanto físicas como químicas y por las cantidades y la forma que actualmente se disponen, uno de los mayores contaminantes de las aguas naturales de Costa Rica. Por cada 46 Kg. de café oro, se producen 850 litros de aguas residuales, las cuáles contienen azúcares, sustancias pépticas y productos de degradación, que son parte del mucílago hidrolizado y del agua de lavado. Estas son depositadas en los ríos y se les llama aguas residuales. Para ilustrar el volumen de contaminantes que produce el beneficiado del café, obsérvese en la Figura 2, el volumen de constituyentes del café en relación a la cosecha 1993-1994.

⁴Vásquez, R. 1995. Aguas residuales en los beneficios de café en Costa Rica. CICAPE. Barba de Heredia, Costa Rica. (Comunicación personal).

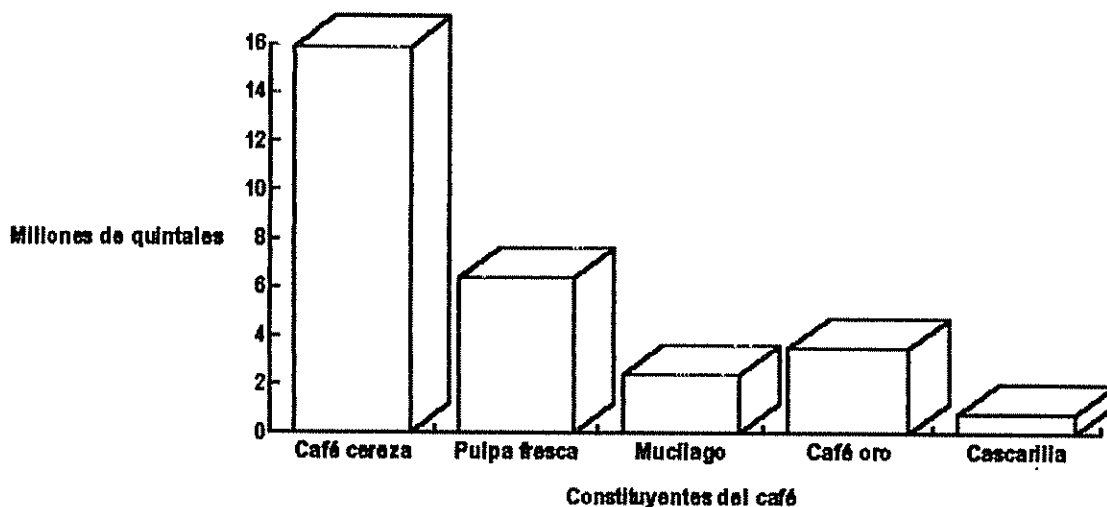


Figura 2. Volumen de los constituyentes del café en cereza, cosecha 94-95. ICAFE, Costa Rica.

En la cosecha 94-95 se cosecharon cerca de 16 millones de quintales de café cereza, generando aproximadamente 6 millones de quintales de pulpa fresca, 2 400 000 de mucílago y 800 000 de cascarrilla; los cuales fueron depositados, en algunos de los casos, en las fuentes de agua cercanas a las centrales beneficiadoras.

En cuanto a los desechos sólidos, la pulpa constituye el desecho de mayor volumen (Figura 3); así, por cada 400 decímetros cúbicos de café de cereza, se producen 270 de pulpa, que contienen un alto contenido de agua y se deposita en sitios baldíos (Rodas, 1988), una vez separada, se deja en lugares previstos para ello, que son abiertos donde ocurre la fermentación, provocando malos olores y suministrando el sustrato adecuado para la proliferación de moscas y otros insectos (Barrientos, s.f). Sólo el cambio de pH provocado por las aguas mieles puede acabar con todo ser acuático, el ganado ribereño sacia su sed en el río provocándole intoxicación y a veces hasta la muerte. (Munguía, 1972 & Mendoza *et al*, 1994).

Para dar una idea de la magnitud del problema se debe de pensar en la distribución porcentual de los constituyentes del café en cereza (Figura, 3).

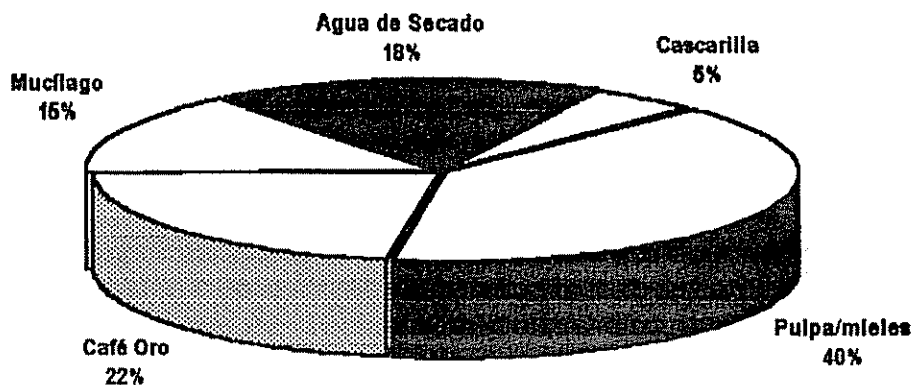


Figura 3. Distribución porcentual de los constituyentes del café en cereza, según los subproductos generados en la fase de beneficiado húmedo de café.

Como se puede observar en la Figura 3, el 40 % de los constituyentes del café esta formado por pulpa. Un 15 % aproximadamente es mucílago y la cascarilla asciende a un 5 %. El 18 % esta constituida por el agua de secado, la cual es la que se pierde por secado del grano de café.

4.3.1 Principales usos del agua que originan desechos en los beneficios de café

Morales, (1987) señala que en el proceso de industrialización del café por vía húmeda interviene como agente principal el agua; la cual es utilizada en las siguientes actividades:

- a. Usos varios, tales como separar las materias extrañas por gravedad en el tanque sifón.
- b. Transporte del café en cereza a las despulpadoras desde el tanque sifón.
- c. Transporte del café despulpado a los tanques de fermentación.
- d. Lavado del grano.
- e. Transporte del grano de los tanques de fermentación a secadoras.

4.3.2 Desechos más importantes del café

a. Pulpa: Es el desecho más molesto y el de mayor volumen, aproximadamente representa el 40 % del peso total del fruto, en Costa Rica es aprovechado como abono en los cafetales (ICAFFE, 1995).

b. Agua de despulpado: Contiene una alta cantidad de sólidos sedimentables, azúcares, materia soluble y en general materia orgánica en abundancia, lo que la hace altamente contaminante (Mencia, s.f).

c. Agua de lavado: Contiene una gran cantidad de geles coloidales de pectinas, los cuales son comparativamente contaminantes menores.

d. Cascarrilla o pergamino: No es un desecho significativo, pues este generalmente no se tira al agua, sino que es utilizado como combustible en las calderas de los beneficios.

4.4 Beneficios del café

4.4.1 Importancia del sector

La producción actual de café a nivel mundial es de 85 millones de sacos, de los cuales aproximadamente el 70-75 % son cafés arábigos y el resto de cafés robustas. Sin embargo, durante el periodo 1990-1995, en promedio el arábica representó el 77,7 % y el robusta participó con el 22,3 %. ICAFFE, (1995).

La demanda por parte de los países consumidores adscritos a la OIC (Organización Internacional del Café) es de 50 a 55 millones de sacos al año, de los cuales el 40 % son cafés arábica lavados, siendo el precio internacional US \$ 12- 30 dólares más por saco de 46 kg. , que los procesados por vía beneficiado en seco (Zuluaga, s.f). Esta es una de las razones principales del por que los proyectos para reducir la contaminación por aguas mieles en el beneficiado del café se fundamentan en la mínima utilización de agua, siempre y cuando no se deteriore la calidad del producto final en lo que respecta a sabor y aroma, conservando esta distinción de precio en el mercado internacional.

En base a los datos del Instituto del Café en Costa Rica, la producción nacional de café en el periodo 1994-1995 ascendió

a 6 592 480 dobles hectolitros⁵ de café en fruta, equivalentes a 3 335 795 unidades de 46 kg. (Cuadro 4). Costa Rica es uno de los cuatro países más importantes en la producción mundial de Otros Suaves, contribuyendo con el 11,4 % a la producción promedio del grupo⁶ (ICAFFE, 1995).

Cuadro 4. Café declarado por los beneficios según zonas de producción en Costa Rica.

ZONA	COSECHA 1994-1995 D.HL.	Porcentaje %
Valle Central	3 103 523.02	47.08
Turrialba- Juan Vías-Orosí	548 676.22	8.32
San Carlos- Sarapiquí	52 572.97	0.8
El General	889 689.45	13.5
Coto Brus	692 622.80	10.51
Atenas-Palmichal-Puriscal	162 213.75	2.46
Los santos	1 029 969.75	15.62
Guanacaste	113 212.80	1.71
Total	6 592 480.77	100

Fuente: Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). Departamento de Estudios Agrícolas y Económicos (1995).

El café juega un papel importante dentro de la economía costarricense, Rojas (1995) destaca la importancia del sector a través del análisis de algunos indicadores socioeconómicos tales como: Participación del valor bruto de la producción agropecuaria, generación de divisas, empleo y los ingresos que el Gobierno de Costa Rica obtiene. El café sigue siendo uno de los subsectores que más aportan al producto agropecuario, para el año de 1994 su participación fue del orden del 16,9 %, como también 13,6 % del valor de las exportaciones nacionales. Respecto a empleos la actividad generó 55 707 empleos permanentes en las diferentes etapas del ciclo productivo 1993-1994, como se ve en el Cuadro 5 y el Gobierno recibió US \$ 985,000.

⁵ Según las Leyes y reglamentos usuales sobre café de Costa Rica, en el artículo 10 establece: que el café deberá recibirse en los beneficios en medidas de doble hectolitro, que equivale a 23 kg de café en oro.

⁶ Los cuatro países más importantes por su contribución a la producción promedio del grupo, durante el periodo 90-91 a 94-95, fueron en orden de importancia: México (18,7 %), Guatemala (15,3 %), India (12,4 %) y Costa Rica (11,4 %).

Cuadro 5. Empleo permanente generado por la actividad cafetalera, según las etapas indicadas. 1993-1994, Costa Rica.

CONCEPTO	NUMERO DE PERSONAS
Atención de plantaciones	20 305
Recolección	33 807
Beneficiado	1 595
TOTAL	55 707

Fuente: Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE). Departamento de Estudios Agrícolas y Económicos (1995).

4.4.2 Distribución

El Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE) reporta un total de 99 beneficios inscritos para el periodo 1994-1995, reflejándose la mayor concentración en el valle central⁷, donde se ubican 50 beneficios, o sea el 50,5 % de total de firmas beneficiadoras del país. La distribución de beneficios por estratos se puede observar en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Total de Beneficios por Estrato. Cosecha 1993-1994. Costa Rica.

Estrato	Región	Nº de Beneficios	%
I	Valle Central	50	50,5
II	Turrialba, Juan Vías y Orosí	14	14,1
III	San Carlos y Sarapiquí	3	3,0
IV	El General	5	5,1
V	Coto Brus	6	6,1
VI	Atenas, Palmichal y Puriscal	3	3,0
VII	Los Santos	9	9,1
VIII	Guanacaste	9	9,1
TOTAL		99	100

Fuente: Departamento de Liquidaciones. ICAFFE, (1995).

4.5 Indicadores de la calidad de las aguas

Villegas (1995), dice que los indicadores son índices destinados a precisar, de manera resumida, el estado de un sistema. Los cuales son herramientas que nos servirán para la toma de decisiones en lo que respecta a la eficiencia de los controles de tratamientos de aguas residuales en las centrales beneficiadoras de café. A continuación se presentan

⁷ Heredia, Alajuela, Grecia, San Ramón, Cartago, Tres Ríos, Curridabat, Uruca, Escazú y Desamparados.

una serie de referencias con respecto a la selección de parámetros de calidad de aguas en circunstancias diferentes, como un marco conceptual básico para comprender posteriormente los indicadores o parámetros que han sido utilizados en el presente trabajo de investigación para determinar la calidad de las aguas residuales y los criterios usados para la selección de estos indicadores.

Para determinar la capacidad de contaminante de las aguas residuales del proceso del beneficiado húmedo del café, Zuluaga (s.f), propone determinar las variables siguientes: Agua usada (Lts/Kg. de cereza), sólidos totales mg/L, DQO⁸ de sólidos totales p.p.m., sólidos disueltos mg/L, DQO de sólidos disueltos en p.p.m., pH. Los parámetros anteriores serían establecidos para las aguas de despulpado, lavado y aguas residuales domésticas con el objeto de poder comparar las características físico-químicas de las aguas residuales del proceso de beneficio húmedo del café con las de las aguas residuales domésticas, para esto se tomó una muestra A y una muestra B.

Por otra parte, Cordero (1979), propone para la caracterización de aguas residuales la determinación de los siguientes parámetros: pH, Oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (D.B.Os), Demanda química de oxígeno (D.Q.O), Sólidos totales (ST), Sólidos disueltos (SDT) y sólidos sedimentables (Sol. Sed). Asimismo, Urpi (1977) establece que para la evaluación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento para aguas residuales hay variables a medir de suma importancia, las cuales son: D.B.Os, D.Q.O, sólidos totales, pH, Oxígeno disuelto (OD) y determinación de la alcalinidad.

En una investigación realizada por Góchez (1974), los análisis realizados a desechos líquidos del beneficiado del café fueron: pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Sólidos totales, Sólidos disueltos, Sólidos suspendidos, sólidos fijos totales y sólidos volátiles.

Por otra parte, Mendoza et al (1994), en un diagnóstico de la contaminación de las aguas residuales de los beneficios húmedos de café en el Soconusco, Chiapas, México; se efectuó el muestreo en siete beneficios del área, tomándose muestras a la entrada del despulpado y del lavado; analizando los parámetros siguientes: Temperatura (T°C), pH, Sólidos totales

⁸ D.Q.O. Peso de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en una muestra.

(ST), Sólidos suspendidos totales (SST), Sólidos disueltos totales (SDT), Sólidos sedimentados (SSed), Materia flotante (MF), Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Demanda química de oxígeno (DQO), Oxígeno disuelto (OD), alcalinidad total (Alc. Total) y Examen bacteriológico general. En el Cuadro 7, se muestra una comparación entre los indicadores utilizados por cada autor.

Cuadro 7. Comparación de indicadores de calidad de aguas, utilizados para diferentes investigaciones en el beneficiado húmedo de café.

	Zuluaga, (s.f)	Cordero, (1979)	Urpi, (1977)	Góchez, (1974)	Mendoza, (1994)	AyA, ⁹ (1995)
Temperatura				X	X	
Agua usada	X					X
Sólidos totales	X	X	X	X	X	X
Demanda Química de Oxígeno (DBO)	X	X	X	X	X	X
Sólidos disueltos (SD)	X	X		X	X	X
pH	X	X	X	X	X	X
Oxígeno Disuelto (OD)		X	X		X	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)		X	X		X	X
Sólidos sedimentales		X			X	
Alcalinidad			X		X	
Sólidos suspendidos totales				X	X	X
Sólidos volátiles				X		
Materia flotante (MF)					X	
Examen bacteriológico					X	
Turbiedad						X
Conductividad						X

En el Cuadro 8, se puede observar la composición de las aguas residuales del beneficiado del café, según estudios reportados por diferentes autores. Además, se presenta una gran variabilidad en los datos lo que se debe a los

⁹ Estos son los indicadores o parámetros de calidad de aguas que fueron medidos por el AyA y que serán utilizados en la presente investigación:

diferentes volúmenes utilizados de agua (Bailly et al, (1992)).

Cuadro 8. Composición de las aguas de beneficiado de café.

Tipo de agua analizada	pH	DBO ₅ (mgO ₂ /l)	DQO (mgO ₂ /l)	S.T	SDT	Fuente
despulpado	5.0	-	24800	19893	18552	Zuluaga (1989)
despulpado	5.3	1659	8124	5917	5265	INMECAFE (1988)
despulpado	6.0	5000	10000	8500	7500	BAILLY <u>et al</u> (1992)
despulpado	4.7	19000	24000	19000	15500	BAILLY <u>et al</u> (1992)
despulpado	-	-	1450	-	-	PEICCE (1993)
despulpado	-	-	6300	-	-	PEICCE (1993)
despulpado	5.9	-	4832	-	322	Cordero (1979)
despulpado	5.9	2360	6080	-	-	Cléves (1995)
despulpado	4.7	3192	-	12331	-	Morales, s.f
lavado	4.4	-	15465	10685	9377	Zuluaga (1989)
lavado	4.7	1635	8348	6294	4998	INMECAFE (1988)
lavado	5.6	-	1896	-	215	Cordero (1979)
lavado	-	-	1100	-	-	PEICCE (1993)
lavado	4.4	9120	13900	-	-	Cléves (1995)
1° lavado	3.9	8900	17000	16500	12500	BAILLY <u>et al</u> (1992)
2° lavado	4.5	3500	5400	3800	3500	BAILLY <u>et al</u> (1992)
3° lavado	4.8	-	2500	2600	1600	BAILLY <u>et al</u> (1992)
despulpado y lavado	4.7	6083	15450	741	410	ARIAS <u>et al</u> (1987)

4.6 Sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en el beneficiado de café.

Como resultado de las características contaminantes de las aguas residuales del beneficio húmedo de café se ha visto la necesidad de implantar un sistema de tratamiento de aguas residuales que evite en lo posible el aumento de la contaminación. Ramos & Salazar s.f., señalan la existencia de diversos tipos de sistemas para purificación del agua, que cumplen funciones específicas, y dependiendo del tipo de tratamiento utilizado así será la calidad de efluente obtenido. Generalmente, los procesos utilizados contemplan una fase primaria para la separación de sólidos mediante tanques de sedimentación, seguida de una etapa secundaria

para la degradación de la materia orgánica (digestores anaerobios, biodiscos, lodos activados, etc.).

La remoción de sustancias de origen orgánico que origina el proceso de beneficiado de café se puede lograr mediante diversos procesos (Morales s.f.). Existiendo dos familias de procesos: los fisicoquímicos y los biológicos, los primeros son utilizados en aguas con contaminantes inorgánicos o con materia orgánica (Zuluaga, 1989).

En el beneficio húmedo Chocoman en Huatusco México, utiliza una planta de tipo paquete la cual fue seleccionada a partir de 3 alternativas viables, a saber: proceso de lagunas, proceso de digestión de lodos y proceso planta tipo paquete. La elección de la planta tipo paquete se basa en que es adecuado a las circunstancias, sencillo, fácil de operar y económico. Siendo el proceso de manejo el siguiente: neutralización con cal, sedimentación de sólidos producidos por medio de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y filtrado por medio de arena sílica y carbón activado. Un tratamiento físico (filtración y sedimentación).

En un estudio realizado por Bailly (1992), indica que las características de la contaminación hacen privilegiar un tratamiento biológico sobre un tratamiento físico-químico. Y esto se debe, según Castillo et al, (1993) a que la contaminación es de tipo orgánica, la biodegradabilidad es factible y la contaminación es esencialmente disuelta, por lo tanto se vuelve difícil separarla físicamente.

Bailly et al, (1992) en una investigación realizada sobre la contaminación de los beneficios, en el área cafetalera de Xalapa-Coatepec, México recomienda tres alternativas: un digestor convencional con un tiempo de retención de tres días, un digestor de segunda generación de tipo filtro anaerobio de flujo ascendente (U.A.F.) o un reactor de lecho de lodos: (U.A.S.B.) los cuales permiten disminuir el tiempo de retención en un día. Sin embargo, estos mismos autores reportan que sí las aguas residuales son muy cargadas, un tratamiento anaeróbico no permite responder a las normas del SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología)¹⁰.

¹⁰ El SEDUE ya desaparecida, sus funciones en relación con la ecología pasaron a la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y a la Comisión Nacional del Agua (CNA). En la actualidad, la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Procuraduría Federal para el Ambiente (PROFEPA) se encargan de la aplicación de la nueva Ley de Aguas Nacionales, publicada en diciembre de 1992.

Por ejemplo, si un tratamiento anaerobio trata un efluente de 10 000 mg O₂/l de DBO₅ y tiene una eficiencia de remoción del 90 % (rendimiento considerado como bueno), el agua de salida del tratamiento tiene una DBO₅ de 1 000 mg O₂/l (SEDUE: 120 mg O₂/l). Por lo cual se necesitaría de un tratamiento complementario para afinar la descontaminación. Bailly et al, (1992) indica que pasar de un 90 % a un 99% de eficiencia necesita de un tratamiento complementario que puede ser tan costoso como el primero.

Morales (1987) señala que dependiendo de la naturaleza de los sedimentos y la materia suspendida; la sedimentación simple (sin coagulante) requiere de un tiempo de retención de 4 a 12 horas para eliminar un 20% de la materia sedimentable.

Cuando se utilizan coagulantes (sulfato de aluminio), la sedimentación es rápida, el tiempo de retención varía de 40 a 60 minutos, con una eficiencia de hasta el 95 % del material sedimentable, lo que permite separar un líquido que se puede filtrar, el pH óptimo para la formación de grumos es de 5.5 a 7.

Por otra parte, el tratamiento químico es uno de los procesos en los que la separación de las impurezas del agua implica la alteración de la composición del material contaminante (neutralización) Morales, (1987).

En el beneficio "Tlapexcalt" en la Cuenca de Coatepec, Veracruz, México se construyó un reactor anaerobio-piloto, para tratar la totalidad de las aguas residuales, este logra una eficiencia de 80 % con un tiempo de retención de un día y se previó un tratamiento anaeróbico para llegar a una eficiencia de 95 % (Castillo, 1993).

En El Salvador, el beneficio "El Borbollón" utiliza un tratamiento físico-químico con el cual se ha estimado que la Demanda Química de oxígeno (DQO) que originalmente era de 2000 mg/litro ha bajado un 60 % a 70 %. Los costos de operación los han estimado en US \$ 0.14 por unidad de 46 kilogramos de café oro procesado (Mencía, s.f.).

Zuluaga & Cookman (1987) señalan que la mayor cantidad de trabajos tratan del uso de la pulpa como sustrato para biodigestión anaeróbica, asimismo, Calzada & Rolz (1983) han estudiado el uso del jugo de pulpa preparado con una prensa hidráulica. Fue así como se inicio un proyecto de construcción de un sistema de biodigestión anaeróbica en

Colombia, con el objeto de reducir los niveles de contaminación, escogiéndose un filtro anaeróbico de flujo ascendente (U.A.F.) ya que podría funcionar con aguas residuales ácidas (pH 4) y gran concentración de materia orgánica (Sólidos totales de 19 853 mg/l y Sólidos disueltos 19 552 mg/l para aguas de lavado, despulpado y clasificado). Obteniéndose resultados de remoción de DQO del orden del 70 %.

Asimismo, el Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI) ha realizado una serie de trabajos de investigación con relación al uso de efluentes del beneficiado húmedo de café para producción de biogás.

Como también, se ha complementado la purificación de agua que sale del digestor metanogénico a través de un sistema de jacintos acuáticos (*Picthornia crassipes*), para validar las investigaciones se ha diseñado, construido y operado una planta piloto en Santa Rosa de Lima, Departamento de Santa Rosa, Guatemala. Donde se ha podido observar una reducción en DQO de hasta un 70 % siendo la mayor reducción en el digestor (Calzada & Porres, 1987).

Ramos & Salazar s.f., han propuesto el uso de microalgas de clorofitas¹¹ en lagunas de estabilización para efluentes secundarios del beneficiado de café como un tratamiento terciario, ya que el uso de tratamientos secundarios genera una contaminación colateral provocada por las altas concentraciones de nutrientes, sobre todo amonio y fosfatos, siendo el empleo directo de estos efluentes, tóxicos para el desarrollo de diversos organismos. El agua tratada puede ser utilizada directamente para la fertilización de estanques de producción acuícola.

Esta tecnología se encuentra en etapa de desarrollo, pues su expansión ha sido limitada fundamentalmente por los altos costos de inversión requeridos, sobre todo en lo referente al terreno, mecanismos de agitación y procesos de separación.

¹¹ Empleándose cultivos mixtos de clorofitas (*Chlorella*, *Closterium* y *Cenedesmus*) y monoalgales (*Chlorrella*).

4.7 Sistemas de tratamiento de aguas residuales implantados por las empresas procesadores de café en Costa Rica y la problemática de las exigencias de calidad de aguas.

La agroindustria del café se utilizan grandes volúmenes de agua para procesar el café y la alta carga de materia orgánica que contienen, son vertidos directamente hacia los ríos, contaminándolos severamente.

En el año de 1977 existían en Costa Rica 104 beneficios de café y sólo tres de ellos, o sea, el 2.88 %, contaban con un sistema de tratamiento de aguas residuales; esto, a pesar de que la ley general de salud N° 5395, del 30 de octubre de 1973, estipula que las aguas residuales, de las diferentes industrias, deben ser sometidas a procesos que eviten la contaminación de los ríos (Urpí, 1977).

Cordero (1979) expresa que a raíz de la normativa anterior se inicio el estudio del tratamiento de aguas residuales del beneficiado de café, que tuvo su origen en una moción que presento la Cámara Nacional de Cafetaleros en el VI Congreso Nacional Cafetalero de febrero de 1977. Con el objetivo de desarrollar un proyecto para investigar y obtener una solución técnica y económicamente viable que resolviera el problema de la contaminación.

Reynolds (1996) reporta que en el año 1992, fue publicado el artículo 132 de la Ley de Conservación de Vida Silvestre donde estipula que se prohíbe arrojar desechos de cualquier índole a quebradas, ríos, lagos, esteros, etc. y que las instalaciones industriales y agroindustriales deberán estar provistas de sistemas de tratamientos de aguas, quedando como ente regulador el Ministerio de Salud (Anexo 1).

Por esta razón, en setiembre de 1992, el Instituto del Café de Costa Rica informó al sector beneficiador de café la firma de un convenio de Cooperación Interinstitucional, cuyo objetivo es dar seguimiento y cumplimiento a las políticas del manejo de los efluentes de beneficiado desarrolladas por el dicho Instituto. Este convenio fue refrendado por el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), Ministerio de Salud (M.S.P), Servicio Nacional de Electricidad (S.N.E) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (I.C.A.A).

En dicho convenio se estableció un cronograma de actividades (Anexo 2), que tenía por objetivo el de reducir la

contaminación en un 80%, "Considerándose de carácter obligatorio", en todos los beneficios de café existentes en el país.

Ochoa & Ramírez (1993) realizaron un estudio de factibilidad técnica donde llegan a la conclusión que el tratamiento correctivo y el manejo adecuado las aguas residuales se complica, debido a las grandes dimensiones que se requieren para las unidades de tratamiento. La estrategia presentada al Banco Interamericano de Desarrollo se fundamenta en el siguiente aspecto: Reducir la proporción de agua a café beneficiado o mantener esta proporción, pero recirculando el agua. La meta propuesta era la de utilizar 1.0 m³ de agua por fanega procesada, para tal fin se propusieron alternativas, como la de utilizar el despulpado en seco y desmucilaginado mecánico (agua-pulpa), transporte no hidráulico de la pulpa y recirculación de aguas.

Como consecuencia de la obligatoriedad del convenio el sector beneficiador implementó una serie de inversiones con el fin de abatir la contaminación a través de sus sistemas de tratamiento de aguas residuales, hasta cumplir con lo estipulado por el gobierno. Estos sistemas ya han sido implementados en el país.

4.8 Costo anual uniforme equivalente (CAUE)

El CAUE es uno de los métodos utilizados corrientemente para la comparación de dos o más alternativas. Blank & Tarquín (1992) expresan que el significado del CAUE se traduce a que todos los ingresos y los costos (irregulares o uniformes) deben de convertirse en una cantidad anual uniforme equivalente (es decir, una cantidad al final del periodo). La principal ventaja de este método es que no requiere que la comparación se lleve a cabo sobre el mínimo común múltiplo de años cuando las alternativas tienen diferente vida útil, aún cuando es sugerida por Urbina (1994).

Sin embargo, los mismos autores afirman que el CAUE debe de calcularse para un ciclo de vida del proyecto solamente. ¿Por qué? Porque, como su nombre lo indica, el CAUE es un costo anual equivalente para toda la vida del proyecto. Si este continuara más de un ciclo, el costo anual equivalente para el próximo ciclo y subsiguientes, sería exactamente igual que para el primero, suponiendo que todos los flujos de caja fueran los mismos para cada ciclo.

4.9 Costos defensivos en el beneficiado de café

Tietenberg (1992), señala la existencia de una relación entre el ser humano y el medio ambiente, la cual se establece fundamentalmente en la extracción de recursos de la naturaleza y el reintegro de residuos originados por el consumo de los bienes producidos, esta relación puede observarse en la Figura 4.

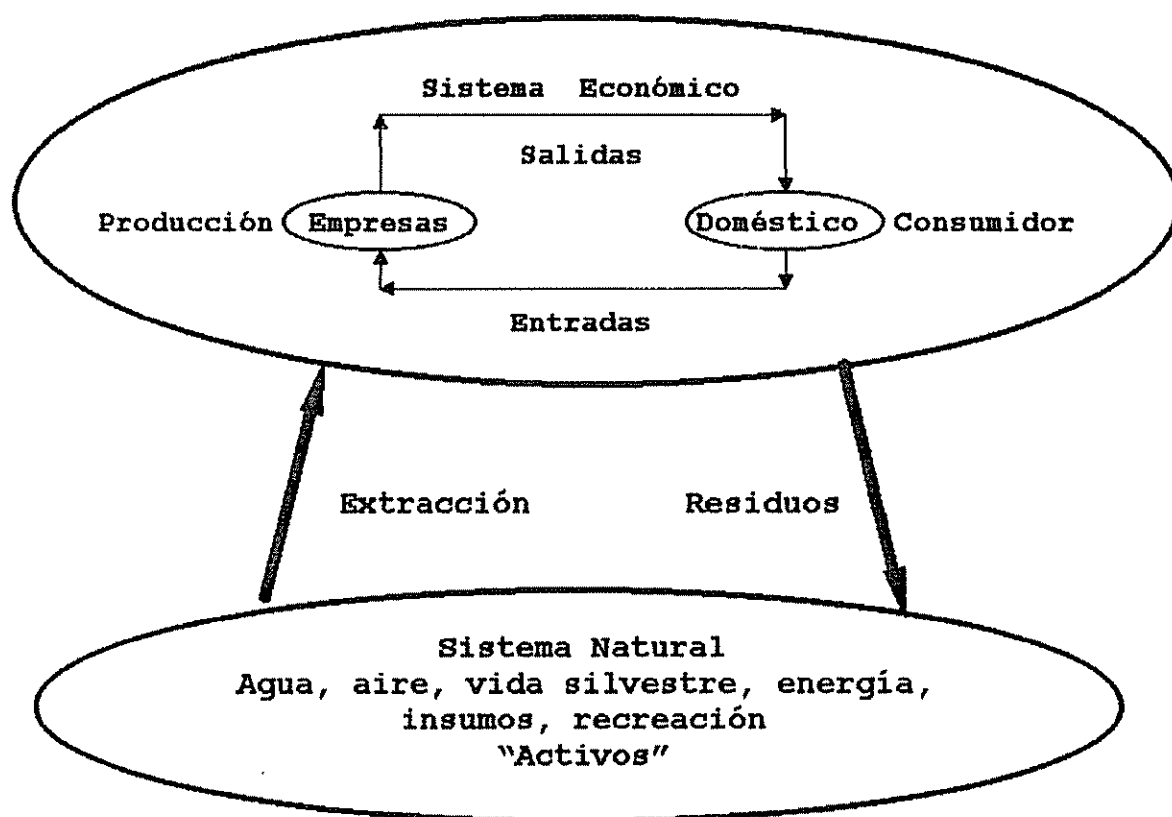


Figura 4. El sistema económico y el medio ambiente. (Adaptado de Tietenberg, (1992)).

De esta manera, dentro de la filosofía ambiental se incorpora un nuevo enfoque del desarrollo que se caracteriza, según Cordero (1995), por ciertos criterios de racionalidad en el aprovechamiento de los recursos, para lo cual es necesario hacer intervenir en su evaluación todos los costos, incluso los no evaluables monetariamente.

Ekins (1995) indica un nuevo concepto conocido como costos defensivos, estos tratan de eliminar, mitigar, neutralizar o evitar los daños y el deterioro que los procesos industriales

han causado a la vida, trabajo y al medio ambiente. Este método de costos defensivos analiza los costos individuales que las empresas incurren para mitigar los daños ambientales y estos pueden ser utilizados para compararse con otros costos de las diferentes metodologías que se estén empleando para corregir el degradación ambiental en estudio (Bajó, 1991).

Esta es considerada una perspectiva dinámica, ya que son los costos en que se incurre por un crecimiento específico; estos son los costos de mantener la calidad de vida y la calidad del medio ambiente; para asegurar la producción y el consumo de las generaciones futuras.

Dentro de este nuevo concepto hay seis áreas de acción, a saber:

- 1.El medio ambiente: los costos por daños y sobreexplotación de los recursos.
- 2.Transporte: Costos comunes debidos a la centralización de la producción y a los efectos negativos por el incremento de automóviles de transporte tal como reparación por accidentes.
- 3.Incrementos de los costos de la tierra y rentas, debido a la urbanización.
- 4.Seguridad: El incremento del riesgo incurrido en las sociedades industriales y/o incremento en los costos por crimen, accidentes, sabotaje y técnicas defectuosas.
- 5.Salud: Costos originados por accidentes de automóviles, aumento de enfermos, pobreza y condiciones de trabajo.
- 6.Trabajo: Costos relacionados con el trabajo, los cuáles aún no están listos para ser calculados.

En la presente investigación sólo nos interesa el área del medio ambiente, en lo referente a los costos por daños y sobreexplotación de los recursos.

El concepto de costos defensivos es válido y útil para describir los gastos que son en defensa de los efectos no deseados de la producción y el consumo.

El trabajo se plantea dentro del concepto de costo defensivo, es decir, aquellos costos en que se incurre para proteger el medio ambiente de los posibles tipos de degradación causados por la actividad humana. Se conciben estos costos como defensivos en la medida que las actividades en las que se incurre por este concepto, garanticen la sostenibilidad y disponibilidad del recurso agua en forma permanente.

4.10 Los costos defensivos y la corrección de las cuentas nacionales

El concepto de cuentas nacionales, es usado para calcular el valor final de los bienes y servicios que son producidos en un cierto periodo. Estas pueden ser medidas por dos vas: por el cálculo del valor final de los productos y servicios o por el cálculo de total remunerado por factores de producción. La forma tradicional de calcular las cuentas nacionales netas es restando de las cuentas nacionales brutas la depreciación del capital. Sin embargo, en la actualidad es necesario tomar en cuenta los cambios en el inventario de recursos naturales, pues el medio ambiente esta sometido a una contamiación constante, así se obtienen las cuentas nacionales corregidas ambientalmente (Tisdell,1994). Marozzi (1996), afirma que al no corregir las cuentas nacionales, se genera un dato imperfecto del grado de bienestar alcanzado por una nación.

Sin embargo, este trabajo es reciente y sumamente complejo. En diciembre de 1993, la ONU elaboró el Manual de Cuentas Nacionales con su componenete ambiental, a través de cuentas satélites. No obstante, los Bancos Centrales y sus departamentos de Cuentas Nacionales, todavía no lo aplican (Reynolds, 1996). La gran complejidad radica, como señala Marozzi (1996) en el hecho de que hay que procesar contablemente más de 300 contaminantes físicos y calcular la depreciación de los activos naturales.

Reynolds (1996), afirma que es necesario realizar la medición de las cuentas nacionales para su respectivo ajuste y la adopción de políticas macroeconómicas reales e integrales. Por esta razón, Ierland (1993) indica que el cálculo de los costos defensivos es de vital importancia, pues este presenta una singular relevancia en el ajuste de cuentas nacionales por impactos ambientales. Obteniéndose la siguiente ecuación:
Ingreso nacional ambiental=Ingreso nacional neto(-)Valor de gastos por deterioro (-) valor de los efectos negativos (-) cambio de valor en los recursos naturales(-)valor de costos defensivos domésticos pagados por la contamiación ambiental.

El valor de uso de un recurso, en este caso el agua, después de su utilización no puede quedar disminuida o reducida por debajo de la condición original. Por lo anterior, es importante resaltar que aquel que contamina o degrada un recurso debe tener en mente que en realidad ese recurso deberá ser devuelto al medio ambiente, después de su uso en los procesos en que estos se utilicen, en la misma forma en que le fue entregado por la sociedad para su utilización y que los costos incurridos en mantener la calidad y uso sostenible del recurso en cuestión, son en el margen el costo del recurso utilizado para la sociedad que lo puso a disposición del usuario respectivo.

Los dos principios anteriores son centrales a la investigación que se propone realizar en la medida que, los beneficios de café, de acuerdo a las informaciones que se poseen, son fuentes de contaminantes sólidos y líquidos que reducen el potencial de uso del recurso agua que utilizan en el proceso de beneficiado, si esto es comprobado, el valor de la corrección, como hemos dicho, es el costo del recurso en términos del valor de uso para el sector cafetalero.

V. Materiales y Métodos

5.1 Descripción física área de estudio

La descripción de los cantones de Tarrazú, Palmares, Naranjo y Turrialba, donde se encuentran ubicadas las centrales beneficiadoras en estudio, son descritos por Chinchilla (1987).

5.1.1 Tarrazú

5.1.1.1 Posición geográfica y extensión territorial

El cantón Tarrazú, de la provincia de San José, está ubicado en las coordenadas geográficas medias, dadas por 09°36'04'' Latitud Norte y 84°04'00'' Longitud Oeste. Este comprende un área de 237,23 Kilómetros cuadrados.

5.1.1.2 Altitud

Las elevaciones, en metros sobre el nivel del mar, de los centros urbanos de los distritos del cantón son: Ciudad de San Marcos, 1,429 msnm; Villa San Lorenzo, 1,440 y Villa San Carlos, 1545.

5.1.1.3 Precipitación promedio anual

Estación	Lat. N	Long. O	Altitud msnm	Precipitación en mm.
Naranjillo	09°34'	84°02'	780	6,194.9
San Marcos	09°40'	84°02'	1,430	1,800.4

5.1.1.4 Hidrología

El sistema pluvial del cantón Tarrazú corresponde a la vertiente del pacífico, el cual pertenece a las cuencas de los ríos Pirris, Naranjo y Damas.

5.1.2 Naranjo

5.1.2.1 Posición geográfica y extensión territorial

Naranjo es el cantón seis de la provincia de Alajuela, el cual abarca cinco distritos. Las coordenadas geográficas medias del cantón naranjo, están dadas por 10°06'23'' Latitud Norte y 84°23'23'' Longitud Oeste. El área del cantón es de 126,62 kilómetros cuadrados.

5.1.2.2 Altitud

Las elevaciones, en metros sobre el nivel del mar, del centro urbano de los distritos del cantón son: Ciudad Naranjo, 1,043; Villa San Miguel, 1,040; Villa San Juanillo, 1500; Villa Cirrí Sur, 1,205; Villa San Jerónimo, 1,110; Villa San Juan, 1,180 y Villa Rosario, 835.

5.1.2.3 Precipitación y temperatura promedio anual

Estación	Lat.N	Long.O	Altitud	pp	T °C
Beneficio Pilas	10°06'	84°24'	1,042	2,436.7	21,6
Coop.Café	10°07'	84°23'	1,100	2,432.5	20.0
Sub-estación Naranjo	10°06'	84°23'	1,020	2,005.0	----

5.1.2.4 Hidrología

El sistema pluvial del cantón pertenece a las vertientes del pacífico y del Caribe.

5.1.3 Palmares

5.1.3.1 Posición geográfica y extensión territorial

Las coordenadas geográficas medias del cantón Palmares, están dadas por 10°02'54'' Latitud Norte y 84°26'28'' Longitud Oeste. Con un área de 38,06 Kilómetros cuadrados.

5.1.3.2 Altitud

Las elevaciones, en metros sobre el nivel del mar, del centro urbano de cada distrito del cantón son las siguientes: Ciudad Palmares, 1,017; Villa Zaragoza, 1,010; Villa Buenos Aires, 1,012; Villa Santiago, 1,080; Villa Candelaria, 1,040; Villa Esquipulas 1,005 y Villa Granja, 1,030.

5.1.3.3 Precipitación y temperatura promedio anual

Estación	Lat. N	Long. O	Altitud	pp	T°C
Beneficio	10°06'	84°24'	1,042	2,436.7	21,6
Pilas	10°03'	84°26'	1,017	1,771.4	-----

5.1.3.4 Hidrología

El sistema pluvial del cantón palmares, corresponde a la vertiente del Pacífico, el cual pertenece a la cuenca del Río Grande de Tárcoles.

5.1.4 Turrialba

5.1.4.1 Posición Geográfica y Extensión territorial

Las coordenadas geográficas medias del cantón turrialba están dadas por 09°47'14'' Latitud Norte y 83°34'03'' Longitud Oeste. Siendo el cantón número cinco de la provincia de Cartago. Con un área de 1,644.57 Kilómetros cuadrados.

5.1.4.2 Altitud

Las elevaciones, en metros sobre el nivel del mar, del centro urbano de los distritos del cantón son los siguientes: Ciudad Turrialba, 646; Villa Suiza, 616; Villa Peralta, 390; Villa Santa Cruz, 1,475; Villa Lajas, 840; Villa Tuís, 735; Villa Platanillo, 870 y Villa Santa Rosa, 810.

5.1.4.3 Precipitación y temperatura promedio anual

Estación	Altitud	pp	T°C
Atirro	900	2,384.9	20,7
Cuencas	1,835	4,784.0	----
El Sauce	740	3,391.3	----
El Tocotal	860	2,654.6	20,4
La Amistad	500	3,284.2	----

5.1.4.4 Hidrología

El sistema pluvial del cantón Turrialba corresponde a las subvertientes del Caribe y norte de la vertiente del Caribe.

5.2 Casos estudiados

Se estudiaron ocho beneficios de café que tenían como características: existencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, diferente zona de maduración y tamaño de planta instalado. Estas centrales beneficiadoras son un buen ejemplo de los problemas de contaminación que se pueden generar en los procesos agroindustriales, donde el uso inadecuado del agua, que entra en contacto con el material vegetal, provoca una disminución en la calidad del recurso.

5.3 Metodología del diagnóstico de la contaminación

5.3.1 Tamaño de la muestra

Con el objeto de establecer la contaminación agregada en el proceso del beneficiado del café y la eficiencia de los

diferentes tratamientos de aguas residuales en operación en el país, se emplearán datos generados en forma conjunta por el CICAFFE/AyA, y financiados por la GTZ. Donde se tomaron muestras de aguas a 8 beneficios de café ubicados en la zona central del país, la toma de muestras se llevó a cabo entre noviembre de 1995 a enero 96.

Esta muestra representa el 8% del total de beneficios existentes en el país, como también el 12.41 % del café declarado por los beneficiadores en la cosecha 1994-1995 (ICAFFE, 1995). La muestra original contemplaba 17 beneficios en total, sin embargo, por razones de falta de colaboración por parte de las empresas en la recolección de muestras se tuvieron que descartar nueve beneficios, quedando únicamente los ocho beneficios que prestaron apoyo.

5.3.2 Bases de la definición de la metodología

Para definir la metodología de diagnóstico de la contaminación se tomaron en cuenta dos factores:

- La función del agua en el proceso

El agua sirve para separar las impurezas en el tanque sifón, para lubricación (despulpe), y para el lavado del café. La función del agua sirve para definir los puntos de muestreo.

- El Tipo de contaminación

La pulpa de café está constituida principalmente por azúcares y mucílago (sustancias pecto-celulósicas). Lo que indica que es una contaminación de tipo orgánico. El tipo de contaminación sirvió para definir el tipo de análisis.

5.3.3 Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo de las aguas residuales se ubicaron en las siguientes etapas del proceso:

- **(DST)** : agua de despulpado a la salida de la despulpadora,
- **(DCT)** : agua de despulpado después de ser tratada,
- **(LST)** : agua de lavado sin tratamiento,
- **(LCT)** : agua de lavado después de ser tratada.

Se tomaron tres muestras de agua por punto de muestreo, para las variables caras de medir (DBO₅, DQO, ST, SS, SDT y turbiedad; para las variables baratas (Conductividad, pH, caudal y temperatura) se realizaron doce determinaciones por

muestra. La recolección de muestras se verificó en fechas diferentes, empezando con los beneficios de maduración temprana (Turrialba) hasta los de maduración tardía (Tarrazú), realizando tres visitas por beneficio.

5.3.4 Normas de muestreo

De acuerdo a las normas de proceso y análisis de agua, las muestras se conservan en la obscuridad a una temperatura de 4 °C para bloquear la vida biológica. Entre los beneficios y los laboratorios del AyA en Tres Ríos, las muestras se transportaron dentro de hieleras. Según el análisis de información, la duración máxima de conservación de las muestras es de 6 a 24 horas. Para esto los técnicos del CICAPE y el AyA dedicaron 24 horas por muestreo, ya que el café que es despulpado hoy, se somete al proceso de lavado al siguiente día, además, se midió la variación horaria de parámetros fisicoquímicos e hidráulicos (Caudal l/s, pH, Temperatura °C, Conductividad US.).

5.3.4 Análisis realizados

La contaminación es esencialmente orgánica (Bailly, 1992). En consecuencia, no es necesario estudiar las contaminaciones de tipo mineral y bacteriológico. Los análisis realizados sobre cada muestra de agua se muestran en el Cuadro 9. En el Cuadro 10 se puede observar las definiciones de cada uno de los parámetros analizados en cada etapa del proceso del beneficiado húmedo de café y su importancia.

Cuadro 9. Parámetros fisicoquímicos e hidráulicos analizados en cada muestra de agua.

Parámetro	Unidades	Código
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg. O ₂ /l	DBO ₅
Demanda Química de Oxígeno	mg. O ₂ /l	DQO
Potencial de Hidrogeno	1-14	pH
Turbiedad	UNT (unidades nefelométricas)	TURB
Sólidos Totales	mg/l	ST
Sólidos Suspendidos	mg/l	SS
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	SDT
Caudal	l/s	Q
Conductividad	US	Conduc
Temperatura	°C	T

Sobre el agua de entrada de los beneficios no se realizaron análisis, pues los técnicos del AyA consideraron que el agua era potable. Esto fue verificado a través de la toma de una muestra del agua que entra al sistema en uno de los beneficios estudiados, a la cual se le realizaron los mismos análisis que evaluó el AyA en los beneficios muestreados; la muestra fue analizada por los laboratorios Microtec, S.A., encontrándose, que el agua que ingresa a los beneficios, presenta concentraciones menos contaminantes, que las aguas que se incorporan a los ríos después de ser tratadas (Anexo 4).

Sin embargo, por sus características tanto físicas como químicas reportadas, presenta serias limitaciones con respecto a su multiplicidad de usos, como también para consumo humano. Así, la DBO₅ obtenida, para las aguas que ingresan al proceso, fue de 70 mg O₂/l, la cual presenta severas limitaciones para riego, acuacultura y consumo humano (Schulz y Okum, 1990); según la clasificación de los ríos dada por el Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Centro y Canarias, s.f., la fuente de agua analizada presenta una contaminación tipificada como "muy fuerte" (DBO₅ =70-150 mg/l); los niveles de sólidos totales (350 mg/l) no presentan limitaciones para la agricultura, pero por su composición principalmente disuelta (340 mg/l) presenta restricciones para uso doméstico.

En el Cuadro 10 se puede observar las definiciones y la importancia de cada uno de los parámetros de calidad de agua que se analizaron por el AyA y el CICAPE.

Cuadro 10. Definición e importancia de los indicadores de calidad de aguas.

Indicador	Descripción e Importancia
Temperatura	Es un requisito para el pH y la conductividad y una medición útil para interpretar los rangos de solubilidad de los parámetros químicos. Este afecta directamente la vida acuática, ya que a mayor temperatura menor solubilidad del oxígeno en el agua. Incrementos de temperatura aumentan la tasa de biodegradación del material orgánico, incrementándose la demanda de oxígeno de un sistema. El carácter catalizador de reacciones de la temperatura hace que el oxígeno disuelto se consuma más rápidamente.
Sólidos totales (ST)	Es un índice de contaminantes inorgánicos, los sólidos totales aumentan con concentraciones crecientes de iones (por ejemplo, metales tóxicos disueltos, es un índice general de la adaptabilidad del agua para diversos usos.
Sólidos en suspensión	Es un indicador del transporte de sedimentos, que pueden acarrear metales tóxicos.
Turbidez o turbiedad	Es un estimador simple de los sólidos en suspensión. Se aplica a las aguas que contienen materia en suspensión tal que interfiere con el paso de la luz a través del agua.
Demanda química de oxígeno (DQO)	Es el peso de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica presente en el agua residual, recurriendo a reacciones puramente químicas.
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Es un parámetro que representa la materia orgánica biodegradable. Es la más usado para determinar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales.
Sólidos disueltos totales	La concentración total de minerales disueltos en las aguas es un índice general de la adaptabilidad del agua para otros usos.
pH	Es la concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, es la que indica si ésta actuará como un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. Es una medición valiosa para interpretar los rangos de solubilidad de los componentes químicos.
Conductividad	Es una medida de la capacidad del agua de transferir una corriente eléctrica. El agua químicamente pura ostenta una conductividad eléctrica muy baja. Pero a medida que aumentan la cantidad de minerales disueltos, la conductividad de la solución será mayor. Esta es utilizada para determinar la cantidad de sólidos disueltos totales. Además, es un estimador simple de los sólidos disueltos y un índice de contaminación por inorgánicos.

En función de lo anterior, la eliminación del muestreo de la fuente de agua (río, lago, pozo, etc.) se vuelve una limitante, pues no se puede asegurar categóricamente que el agua que se utiliza en el proceso de beneficiado húmedo de café sea 100 % potable.

Los análisis fueron desarrollados en los laboratorios del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, ubicados en Tres Ríos y fueron realizados siguiendo la metodología utilizada en los Estados Unidos: Standard Methods for Examination of Water and Waste Water (American Public Health Association, 1992).

Con los resultados de los análisis de estos indicadores de calidad se pretendió comprobar que la calidad de aguas se ve afectada significativamente en el proceso del beneficiado húmedo del café, como también la eficiencia de los sistemas en estudio (en función de la cantidad de contaminantes removidos (DBOs y DQO) por los sistemas de tratamiento de aguas residuales en operación.

El agua potable, es aquella que por sus características de calidad especificadas en el cuadro 11, es adecuada para consumo humano. Además, Schulz & Okun (1990) resaltan que el agua potable e inocua debe ajustarse a ciertas características de calidad. A saber:

1. Libre de organismos patógenos.
2. Baja en concentraciones de compuestos tóxicos o que tengan efectos serios a largo plazo, tales como el plomo.
3. Clara (Turbiedad < 5 Utn).
4. No salina (salada).
5. Libre de compuestos que provoquen olor y sabor desagradable.
6. No corrosiva.

En el cuadro 11 se presentan los criterios para determinar la calidad de agua en función de sus usos posibles dado un nivel o concentración de la contaminación en las aguas residuales.

Cuadro 11. Criterios para el análisis de calidad de aguas en función de los usos posibles y características del agua potable.

Indicador	Rangos	Usos	Fuente
DBO5 (mg.O2/l)	25 mg.O2/l 10 mg.O2/l 1000 mg.O2/l 0.75-2.5 (mg.O2/l)	Agua para riego Acuicultura Máximo permisible (AyA) industria cafetalera Consumo humano	RENARE <u>et al</u> , 1986 AyA, (1995) Shulz <u>et al</u> , 1990
DQO	1500 mg.O2/l	Máximo permisible industria cafetalera	AyA (1995)
pH	6.5-8.4 6.5-9.2	Agua para riego Consumo humano	Villegas, (1995)
Sólidos totales	1000 mg/l < 350 mg/l	Agricultura Consumo humano	ICAITI, (1995)
Sólidos disueltos	250 mg/l 1000 mg/l	Consumo humano Acuicultura	Villegas, (1995)
Sólidos Suspendidos	40 mg./l 10 mg./l 100 mg./l < 5 mg./l	Máximo permisible industria cafetalera Acuicultura Consumo humano Uso en riego	RENARE <u>et al</u> , 1986 Villegas, (1995) Shulz <u>et al</u> , 1990
Conductividad	50-1500 µmho/cm <750 µmho/cm	Consumo humano Uso en riego	ICAITI, (1995)
Turbiedad	5-25 utn 10-50 utn	Consumo humano Recreación	ICAITI, (1995)
Temperatura	18-30°C	Consumo humano	ICAITI, (1995)

5.3.5 Determinación de la eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales en cada beneficio

Para la determinación de la eficiencia de los tratamientos de aguas residuales se utilizó el DBOs removido por el sistema de tratamiento de aguas utilizado (American Public Health Association, 1992). Fair et al, (1979) señalan que este es el parámetro de contaminación orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales, pues como indica Metcalf (1981), supone la determinación de la medida del oxígeno disuelto utilizada por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, la demanda bioquímica de oxígeno representa indirectamente una medida de concentración de materia orgánica biodegradable (Mijares, s.f.). Bailly et al (1992), consideran una buena biodegradabilidad entre 1.5 y 2 (ratio DQO/DBO).

Así, entendida, la DBO5 es, el parámetro más utilizado para evaluar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Metcalf (1981) y Fair et al, (1979), señalan que cualquier reducción de su contenido presupone una eliminación parcial (o transformación) de la materia orgánica presente en las aguas residuales y, en consecuencia, una reducción de su poder contaminante. La eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas será calculada en función del total removido de DBOs, expresándose como porcentaje, de la siguiente manera:

$$\% \text{ de eficiencia} = 100 - (\text{DBO5 final} * 100) / \text{DBO5 inicial}$$

La Demanda Química de Oxígeno es utilizada al igual que la DBOs, como una expresión del poder contaminante del agua (Mijares, s.f.), pues esta, como indica Metcalf (1981), se utiliza igualmente para medir la materia orgánica en aguas residuales industriales. Se hizo un análisis de regresión para la DQO y DBOs, esto tiene como utilidad el empleo de las medidas de DQO para monitoriar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Pues, como señala Metcalf (1981) el DQO puede determinarse en tres horas comparado con los cinco días que supone la DBOs.

En Costa Rica, el gobierno, a través del Ministerio de Salud, Acueductos y Alcantarillados y La Oficina del Café han fijado una eficiencia mínima permisible, requerida por las plantas de tratamiento de aguas en los beneficios de café, esta hace referencia a dos parámetros DBOs = 1000 mg O₂/l y DQO = 1500 mg O₂/l, en función de las cuales se evalúa la eficiencia mínima que deben de aportar los sistemas de tratamiento de aguas residuales del beneficiado de café. En el fondo, las normas de calidad de aguas para el sector café dependerán del uso que se desea proteger y del grado de deterioro del recurso agua que pueda ser tolerado por la comunidad.

Es decir, que lo que se está aceptando es un nivel de degradación que no restrinja otros usos agrícolas e industriales, ya que el agua que entregan los beneficios, después de ser utilizada en el procesamiento del café y tratada por sus sistemas de tratamiento, dista de ser potable. Sin embargo, esto no implica que el gobierno no pueda tener una política de aceptar cierto grado de contaminación por razones socioeconómicas, pues el control de la contaminación al igual que la contaminación misma tiene su costo.

3.6 Agua utilizada

Para establecer el consumo de agua, cada vez que se tomaron las muestras se determinó el caudal en litros por segundo del agua utilizada en el despulpado y en el lavado del café. Esto permitió calcular la cantidad de agua empleada por kilogramo de cereza de café procesado en las etapas de despulpado y lavado. El volumen de agua utilizado se estableció en función de la medida en que bajaba el nivel de agua en el tanque de abastecimiento o midiendo el tiempo de llenado de un estafón de capacidad de 200 litros. Luego se calculó la cantidad de agua por fanega de café cereza procesado; relacionando el promedio de café procesada en los días del muestreo y el rendimiento en el beneficiado (Kilogramos de café cereza procesado por hora).

5.4 Procedimiento Analítico

5.4.1 De tipo estadístico

Para determinar si estos indicadores o parámetros sufren cambios que afectan la calidad del agua original, se efectuó un análisis de varianza desarrollado en el programa de cálculo estadístico SAS, para cada variable y por cada beneficio. Previo al paso anterior, se procedió a comprobar los supuestos del análisis de varianza (normalidad e igualdad de varianzas), ya que como señala Little & Hills (1990), la utilización de datos que no concuerdan con dichos supuestos puede llevar a dar conclusiones que no tienen justificación. Así, se pudo determinar que algunas variables en los diferentes beneficios no cumplían con dichas suposiciones.

Para poder trabajar con las variables que no cumplen con los supuestos del ANDEVA se procedió a reemplazar las observaciones por su rango, a lo que se le denomina transformación por rangos. Montgomery (1991), indica que esta es una técnica poderosa y ampliamente usada para los casos donde la suposición de normalidad no se cumple o el efecto de valores inusitados o de valores incongruentes ha sido probado. Si en lugar de aplicar la prueba F usual a los datos originales se aplica a los rangos correspondientes se obtiene la estadística de prueba siguiente:

$$F_o = \frac{H / (a - 1)}{(N - 1 - H) / (N - a)}$$

Se observa que F_0 aumenta o disminuye conforme la estadística H de prueba de Kruskal-Wallis lo hace, por lo tanto, dicha prueba es equivalente a la usual de análisis de varianza aplicada a los rangos.

A las observaciones que fueron reemplazadas por sus rangos se les aplicó un análisis de varianza realizado en el programa de cálculo estadístico SAS, con el objetivo de identificar si existen diferencias significativas entre los promedios obtenidos de cada fase del proceso de beneficiado donde se tomaron muestras, para las variables que presentaron diferencias estadísticamente significativas en el ANDEVA, se realizó una prueba de comparación de medias usando contrastes ortogonales, pues las pruebas de comparaciones múltiples como Tukey o Duncan, no permiten realizar comparaciones entre grupos de tratamientos (López, 1993). Asimismo, por la naturaleza de la investigación interesa comparar los grupos de medias entre las aguas de despulpado y lavado sin tratamiento con relación a las tratadas, para determinar si el tratamiento aplicado genera diferencias significativas en los parámetros de calidad de aguas en estudio.

Para las variables que cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se utilizó la probabilidad del ANDEVA sin transformar y la probabilidad del ANDEVA transformados por rangos, para las variables que no cumplen con los supuestos del análisis de varianza.

Para determinar la relación que existe entre las variables de calidad de aguas en estudio y su interdependencia se realizó un análisis de correlación, obteniéndose una matriz de correlación.

5.4.2 De tipo económico

5.4.2.1 Datos experimentales de fuente primaria

Para determinar los costos defensivos en que incurre el sector cafetalero se procedió a realizar visitas programadas en cada uno de los beneficios estudiados, esto permitió establecer los costos pertinentes para la investigación.

Dichos costos se pudieron ordenar en dos grupos, a saber: primero, los gastos por adecuación de beneficio, los cuales incluyen la instalación de los sistemas de despulpado en

seco, recirculación de las aguas, transporte no hidráulico de la pulpa y el desmucilaginado mecánico; y segundo, los costos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en operación. Además, se determinaron los costos por concepto de mantenimiento u operación del sistema, que comprenden los gastos de insumos (productos químicos, Bacterias, remoción de lodos del tanque sedimentador, manejo de laguna de lodos, movilización de pulpa y mano de obra).

En el proceso de obtención de los costos de inversión y operación, se encontró la dificultad que los beneficios no tienen una cuenta específica dentro de sus registros contables para sistematizar sus gastos por concepto de tratamiento de aguas, si no que son agrupados en cuentas como: "gastos autorizados" o "gastos de operación, lo que provocó más trabajo para cuantificar los costos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y de las modificaciones para reducir el agua utilizada en cada beneficio.

5.4.2.2 Determinación de los costos defensivos aplicando la técnica del costo anual uniforme equivalente (CAUE)

Para analizar los costos defensivos incurridos por el sector beneficiador de café, se utilizó el método analítico llamado costo anual uniforme equivalente (CAUE). Esta técnica permite expresar todos los flujos de un horizonte de tiempo, en una cantidad uniforme por periodo. Como se utiliza en análisis de alternativas implicando sólo costos, se pueden comparar alternativas diferentes a través de una unidad uniforme.

Para la obtención del CAUE por cada beneficio, se necesita determinar cierta información, como: una tasa de descuento, la vida útil de los equipos y un valor de salvamento.

La tasa de descuento que se escogió es la pagada por los bonos del tesoro de los EE.UU. a un plazo de 12 meses, la cual es de 5.29 %, las razón de preferir esta tasa de interés versus una ofertada por la banca nacional de Costa Rica, se basa en el hecho de que los intereses pagados por los bonos del tesoro de EE.UU. han fluctuado, en los últimos 20 años, mínimamente y la actividad cafetalera es fundamentalmente con vías a la exportación, además, se evita el problema de tener que ajustar por inflación, pues los costos fueron manejados en términos de moneda dura (US \$).

Para determinar la vida útil se tomó como base su concepto, el cual es de tipo económico y relativo, por lo tanto, como señala Urbina (1994), dependerá más bien de la obsolescencia del equipo, la cual se ha estimado en 20 años. Además, según el reglamento del impuesto sobre la renta que se encuentra vigente, establece que la maquinaria y equipo puede depreciarse a un 5 % anual, lo que significa una vida útil de 20 años (Instituto de Estudios Tributarios Contables, 1996).

Cuando se analiza el aspecto económico de un equipo se entiende que éste tiene un costo inicial o de adquisición y que al final de su vida útil es posible venderlo en cierta cantidad, lo cual se considera como el valor de salvamento, este se contabiliza como un ingreso. Sin embargo, para expresar los costos defensivos como una cantidad uniforme equivalente, se tomará como cero dicho valor de salvamento.

Para aplicación del CAUE se contemplan tres supuestos fundamentales: primero, los costos de operación permanecen constantes en el tiempo; segundo, no existen reinversiones en maquinaria y equipo y no hay cambios de tecnología. Para la determinación del CAUE se utilizará la fórmula siguiente:

$$\text{CAUE} = A + P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] - F \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Donde:

CAUE = Costo anual uniforme equivalente

A = Costo anual de mantenimiento (Costos Variables),

P = Inversión inicial (Costos Fijos),

F = Valor de salvamento,

i = tasa de descuento,

n = vida útil (años, meses, etc.).

5.4.2.2 Cálculo del CAUE por m³ de agua utilizada en los beneficios estudiados.

Después de haber expresado los costos defensivos como una cantidad uniforme equivalente, se relacionó el CAUE con el agua (m³) utilizada por fanega de café cereza procesado en cada beneficio, obteniéndose, un costo anual uniforme por m³

de agua usado en el procesamiento de café en cada beneficio estudiado. De esta manera, se pudo determinar los costos defensivos incurridos por m^3 de agua utilizada en los casos estudiados.

5.4.2.3 Determinación de los costos defensivos del subsector café en Costa Rica.

Para estimar los costos defensivos a nivel nacional, utilizando los resultados obtenidos en la presente investigación, se siguieron los pasos siguientes:

1. Se tomaron las 95 firmas beneficiadoras inscritas en el Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE), clasificando cada beneficio en función del café declarado en la cosecha 94/95. De esta manera se pudieron agrupar en pequeños, medianos y grandes.
2. Luego, se calculó la cantidad de café oro reportada por cada grupo, utilizando los reportes anuales del Instituto del Café de Costa Rica.
3. Como los datos reportados por los beneficios, se encuentran en términos de café oro, se tuvo que estimar un promedio en el rendimiento de beneficiado a nivel nacional, relacionando el café cereza procesado versus el café oro, de este se obtuvo un factor de 5.29 que al multiplicarlo por la cantidad de café oro declarada, permitió determinar la cantidad de café en cereza procesado en ese periodo.
4. Se calculó el promedio de m^3 de agua utilizada por los ocho beneficios en estudio, determinándose una cantidad promedio según la escala del beneficio (tamaño).
5. Se obtuvo el total de m^3 de agua utilizados en función de la cantidad de café cereza procesado en cada grupo de beneficios.
6. El total de costos defensivos para el subsector café se estableció a través de multiplicar el total de m^3 de agua utilizados por el CAUE por m^3 para cada grupo de beneficios.

Al sumar los costos defensivos en que incurren los beneficios pequeños, medianos y grandes, estamos aproximando a un valor monetario que puede ser descontado del Producto Doméstico Neto, y así poder corregir defensivamente el Producto Interno Bruto (PIB) del subsector café.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Generales

6.1.1 Café procesado

Los beneficios 4, 5 y 6 son beneficios pequeños, los beneficios 1, 2 y 3, están catalogados como medianos, y el 7 y 8 son beneficios grandes. Como puede observarse en el Cuadro 12, que presenta el café declarado por los beneficiadores de café en la cosecha 95-96.

Cuadro 12. Café declarado por los beneficiadores en la cosecha 95-96 en dobles hectolitros, clasificados según su tamaño y zona de maduración.

Beneficio	Maduro	Verde	Bellota	Total D.H.1/	Clase 2/	Zona de madura- ción
1	66795.6	-	-	66795.6	M	Temprana
2	61419.2	431.4	-	61850.6	M	Temprana
3	60361.9	5.4	-	60367.4	M	Temprana
4	18000.0	-	-	18000.0	P	Media
5	20858.3	149.6	-	21008.0	P	Media
6	24008.0	1338.7	-	25346.8	P	Tardía
7	288745.6	6339.8	-	295085.4	G	Tardía
8	277915.9	-	-	277915.9	G	Tardía
Totales	818104.5	8264.9		826369.8		

1/ 1 doble hectolitro= 23 Kilogramos de café oro.

2/(P) pequeño; (M) mediano; (G) Grande.

6.1.2 Sistemas de tratamiento y modificaciones por beneficio.

En el convenio firmado por el sector cafetalero y el AyA, se acordó que por motivos del costo de los sistemas de tratamiento de aguas, la primera etapa debería incluir la instalación de los sistemas siguientes: Despulpado en seco, recirculación de aguas, transporte no hidráulico de la pulpa y desmucilaginado mecánico, los cuales tendrían el objetivo de disminuir la cantidad de agua utilizada por beneficio y así abaratar los costos en función de la infraestructura necesaria para los tanques de sedimentación y lagunas.

En lo que respecta a las modificaciones para reducir la cantidad de agua utilizada en el proceso de industrialización

del café, se pudo establecer que los beneficios estudiados utilizan el despulpado en seco, excepto los beneficios B1 y B5. El beneficio B1 instaló el sistema para la cosecha 96/97.

Por otra parte, el transporte no hidráulico de la pulpa ha sido instalado en todos los beneficios (excepto en los beneficios B1 y B6). Esto se hace a través de canales a los que se les ha adaptado un tornillo helicoidal denominado "sin fin", que permite reducir el gasto de agua por transporte, ya que los depósitos de pulpa se encuentran hasta 100 m de distancia, o también pueden ser transportados por medio de una banda. Según indica Ochoa (1991) la instalación de este sistema puede llevar a la reducción del 30 % de la DBOs.

Para beneficios grandes como el B7 y B8 se presenta una desventaja en el transporte de la pulpa, pues los sistemas de hélice tienen una duración aproximada de 100 000 fanegas, por lo cual es más recomendable utilizar el transporte en banda, ya que estos beneficios, en la última cosecha han tenido que cambiar dos veces su sistema de transporte no hidráulico, en la actualidad se emplea el sistema con bandas.

La recirculación de las aguas ha sido adoptada en todos los beneficios, a pesar de que el agua no siempre es reincorporada al sistema, como es el caso del beneficio B6 que utiliza las aguas de recirculación del despulpado y el lavado sólo para la conducción de la pulpa o el beneficio B1 que únicamente la utiliza para alimentar las trampas de flotes antes del despulpe.

La recirculación de las aguas de despulpado y lavado es una práctica generalizada en los beneficios, sólo el beneficio B3 recircula el agua por cuatro o cinco días, los otros beneficios sólo por día, en investigaciones realizadas por Vázquez (1991) en los cultivares de Caturra y Catuaí donde relaciona la calidad de café y el tiempo de recirculación. Se pudo determinar que los tiempos (en días) que mejor resultados aportaron fueron de 1 y 2 días, para el cultivar Caturra, con el empleo de aguas recirculadas de 3 y 4 días reflejaron una considerable disminución del aroma. Dentro de este contexto sería conveniente que el beneficio B3, verifique la calidad de café que esta obteniendo, pues la tendencia que se observa en los beneficios es la de recircular el mayor número de días, cosa que podría perjudicar la calidad del café.

Los beneficios B6 y B7 no poseen desmucilagadoras mecánicas (Aqua-pulpa) (Cuadro 13), por lo cual la remoción del mucila-

go del fruto de café es realizado por el proceso de fermentación. Antes de pasar al sedimentador, se separa la pulpa de las aguas residuales por medio de un tamiz de 0.75 mm, lo que provoca una reducción en los sólidos totales del orden del 12-50% y un 30 % de DBOs de las aguas (Ochoa, 1991).

Cuadro 13. Sistema de tratamiento de aguas residuales en cada beneficio y modificaciones en planta.

Instalación	BENEFICIOS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Despulpado en seco	-	X	X	X	-	X	X	X
Transporte no hidráulico de pulpa	-	X	X	X	X	-	X	X
Recirculación de las aguas	X	X	X	X	X	X	X	X
a. despulpado	X	X	X	X	X	X	X	X
b. lavado	X	-	X	X	X	X	X	X
Aguapulpa	X	X	X	X	X	-	-	X
Tamizado de aguas	X	X	X	X	X	X	X	X
Sedimentador	X	X	X	X	X	-	X	X
a. Sedimentación natural	X	-	-	X	X	-	X	-
b. Sedimentación química	-	X	X	-	-	-	-	x
Laguna de lodos	X	X	X	-	X	X	X	X
Laguna de oxidación anaerobica	-	X	-	-	-	-	-	-

(X) instalado; (-) no instalado.

La sedimentación es el principal método utilizado para el tratamiento de aguas residuales en los beneficios en estudio, para tal propósito se han instalado tanques de sedimentación, los cuales, son operados con diferentes criterios, en lo referente al tiempo de retención mínimo, utilización de productos químicos que ayuden a la sedimentación y neutralización de las aguas (hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$; Sulfato de Aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; Carbón activado, etc.) y utilización de microorganismos (hongos, bacterias y algas).

En el Cuadro 14, se observa que los beneficios B1, B3 y B7 reportan un tiempo de retención hidráulica de cero, lo que significa que se encuentran operando a caudal continuo. Rodas (1987) y Bailly (1993), indican que para eliminar el 20% del material sedimentable de forma natural o simple (B1 y B7) se necesita de un tiempo de retención entre 4 y 12 horas y cuando se utilizan coagulantes en la sedimentación (sulfato de aluminio) el tiempo de retención varía entre 40 y 60 minutos, lográndose una eficiencia hasta del 95% en la remoción de los sólidos sedimentables. En función de lo anterior es evidente, que los beneficios B1, B3 y B7 no contemplan el tiempo de retención mínimo requerido para operar su sistema de tratamiento físico (sedimentador), pues al realizar la

sedimentación de tipo natural, necesitan de por lo menos cuatro a doce horas de retención hidráulica. Lo que podría ser una de las causas de la baja eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales.

Los beneficios que implementan la sedimentación química, utilizan fundamentalmente un tratamiento químico denominado neutralización que utiliza hidróxido de calcio o "cal" Ca(OH)_2 . Sin embargo, esta es dosificada sin conocimiento de la concentración necesaria para neutralizar la acidez o basicidad, y llevar el pH a un valor conveniente que permita que la mayoría de sólidos se precipiten (pH 5.5-7.0). El pH óptimo para la formación de grumos es de 5.5-7.0. Esto es importante pues los sólidos al formar grumos o agregados más grandes se precipitan más rápidamente. La dosis recomendada varía entre 1.4-1.6 ml al 40 % de hidróxido de calcio y 1.0 ml de sulfato de aluminio al 40 % por litro de agua residual a tratar (Zuluaga s.f.). Lo anterior provoca un gasto en insumos (cal) para los beneficios versus a ninguna ganancia en la eficiencia del sistema.

Los beneficios (B2, B4, B5 y B8) reportan tiempos de retención dentro de los recomendados por la literatura, el beneficio (B4) llama la atención, pues su tiempo de retención es de 288 horas, esto se explica en el hecho de que los seis tanques de fermentación fueron convertidos en sedimentadores, lo que hace posible retener el agua por 12 días (288 horas), además, utilizan un biocatalizador enzimático, de naturaleza orgánica y biodegradable llamado Biowaterclean® en dosis de 2 pp, este tiene las propiedades de eliminar los olores provocados por la descomposición orgánica, disminuir la demanda química de oxígeno (DQO) de aguas con DQO superiores a 8000 mg O_2 /l en tres días de retención¹²; realizando la sedimentación de tipo natural (Cuadro 14). Sin embargo, como señala Urpi (1977), tiempos de retención hidráulica muy largos (beneficio B7) pueden generar que los sólidos sedimentables puedan volverse sépticos y agotar el contenido de oxígeno disuelto (OD). El beneficio B6 no reporta datos de TRH, ya que el sedimentador fue instalado para la cosecha 96/97.

¹² DITTEL, W.C. 1996. Información técnica sobre el producto Biowaterclean "BWC". San José, Costa Rica. (correspondencia personal).

Cuadro 14. Comparación de los tiempos de retención hidráulica en los tanques de sedimentación y empleo de sedimentación natural o química por beneficios.

BENEFICIOS	TRH 1/ (Horas)	TIPO SEDIMENTACIÓN
B1	0	Natural
B2	24	Química
B3	0	Química
B4	288	Natural
B5	48	Natural
B6	-	-
B7	0	Natural
B8	12	Natural

1/ Tiempo de retención hidráulica

Criterio: Sedimentación natural TRH entre cuatro y doce horas; y si es de tipo química de 40 ha 60 minutos.

Las eficiencias más bajas se encontraron en los beneficios B1, B3 y B7 los cuales manejan los caudales en el sedimentador en forma continúa, no así los beneficios que dejaban sus aguas por tiempos de más de doce horas reportan una disminución de la contaminación en al menos un tipo de agua (despulpado y/o lavado).

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales generan desechos, principalmente en el proceso de sedimentación, pues los lodos que se acumulan en el fondo de los tanques tienen que ser removidos y depositados en algún lugar. Para solucionar parcialmente el problema se construyen lagunas de lodos, y así poder controlar este desperdicio, que no tiene ninguna utilización conocida. Todos los beneficios cuentan con infraestructura adecuada para la disposición de los lodos, excepto el beneficio B4 que aún se encuentra en la etapa de instalación. Sin embargo, hay que reconocer que esta infraestructura no resuelve el problema, pues al llenarse las lagunas se tienen que botar los lodos en algún lugar (río, basureros públicos, terrenos baldíos, etc.) por lo tanto, a esta etapa de los sistemas de tratamiento de aguas no se le puede asociar ningún efecto por cambios en la eficiencia de los sistemas.

De los beneficios estudiados sólo el B2 tiene un tratamiento complementario después del tamiz y sedimentador, constituido por una laguna de oxidación anaeróbica a la cual se descarga las aguas del sedimentador y los líquidos remanentes de la laguna de lodos, para luego ser depositada nuevamente en el

río. El tiempo de retención del agua en la laguna no fue determinado, pues el agua pasa en un flujo continuo¹³, los tiempos de retención reportados en la literatura son muy variables (1.2 a 160 días) con un valor recomendado de cinco días (Morales, s.f.), para una eficiencia del 40 al 80 % en reducción del DBO (Ochoa et al, 1993).

El beneficio B2 reporta una eficiencia del orden de 81.2 % en función de la disminución de DBOs en sus aguas de despulpado, ya que por las características de la contaminación del café: ácida, de tipo orgánica, de naturaleza disuelta y con buena biodegradabilidad (DQO/DBO₅= 1.5-2.0) se prefiere un tratamiento de tipo biológico.

Por esta razón dentro del convenio firmado por el sector cafetalero y el AyA establecen que la última etapa de tratamiento de aguas debe de contemplar la instalación de un tratamiento de tipo biológico.

Es interesante hacer notar que algunos de los beneficios en estudio (B1, B5, B6) han iniciado las instalaciones de sus tamizados de aguas y sedimentadores; sin haber terminado la primera fase, la cual contempla la reducción del agua utilizada, a través del uso del despulpado en seco, desmucilaginado mecánico, recirculación de aguas y el transporte no hidráulico de pulpa, lo que ha generado una mayor inversión, pues en algunos de los casos estos sistemas se podrían encontrar sobredimensionados.

6.1.3 Demanda de agua para el despulpado y el lavado del café

La cantidad de agua utilizada en el despulpado y el lavado del fruto del café esta íntimamente relacionada con el costo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, en que incurren los beneficios de café, con el fin de minimizar el impacto ambiental generado por esta actividad.

El Ministerio de Salud, la Oficina del café y CICAPE establecieron una meta en lo referente al consumo de agua, la cual establece que el volumen de agua debe de reducirse a 1.0 m³ por fanega¹⁴ de café cereza procesado. En el Cuadro 16, se reportan los caudales utilizados por beneficio, observándose que el beneficio B1 y B6 consumen 1.35 y 2.24 m³ por fanega de café en cereza respectivamente, sobrepasando el máximo

¹³ SHOCK, M. Información sobre el sistema de tratamiento de aguas en el Beneficio Río Claro. Grupo Volcafé. San José, Costa Rica. (Comunicación personal)

¹⁴ 1 fanega= 46 kg.

caudal permitido (1.0 m³ por fanega), esto se debe a que el beneficio B1 tenia instalado un sistema de lavado en canales "cuello de ganzo" o canales "colombianos" que demandan mucha agua para lavar el café, además no tenían instalado el equipo para despulpado en seco y el transporte de la pulpa se realizaba hidráulicamente. Para la cosecha 96/97, los canales "Colombianos" fueron eliminados y se colocó el sistema de despulpado en seco, y el transporte no hidráulico de pulpa. Asimismo, el Beneficio B6 no cuenta con despulpado en seco, realiza el desmucilaginado por fermentación y el total de agua que recircula la utiliza para transportar la pulpa.

Para el beneficio B4 se carece de datos en las aguas de despulpado y para el beneficio B5 faltan las mediciones del agua de lavado. Al beneficio B7 no se le determinó los caudales de las aguas de lavado y despulpado.

Los beneficios B2, B3 y B8 reportan promedios de 1.08, 0.63 y 1.02 m³ por fanega de café cereza procesado (Cuadro 16), esto es debido a que estos beneficios tienen funcionando el despulpado en seco, recirculación de aguas, desmucilaginado mecánico (Agua-pulpa) y transporte no hidráulico de la pulpa, las cuales son contempladas dentro de las estrategias para reducir el consumo de agua, reduciendo la proporción de agua-café beneficiado (Ochoa et al, 1993).

Cuadro 15. Resumen de datos relevantes para determinación del consumo de agua en las etapas de despulpado y lavado de ocho beneficios de café en la zona central de Costa Rica.

	Beneficios de Café							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
Promedio de café cereza procesado (Kg./día). 1/	17608.0	16107.7	5911.0	9697.3	11434.5	5794.8	115000	53475.0
Eficiencia del proceso (Kg/h) 2/	2760.0	2760.0	2760.0	2760.0	2760.0	2760.0	11730.0	9200.0
Tiempo de duración del proceso (horas). 1/2	6.4	5.8	2.1	3.5	4.1	2.1	9.8	5.8
Consumo total de agua para despulpado (m ³ /h) por beneficio.	44.6	28.0	24.2	-	32.7	49.5	-	87.1
Consumo total de agua para lavado (m ³ /h) por beneficio.	36.4	37.1	13.6	30.0	-	84.9	-	117.9
Agua despulpado (l/kg. café cereza)	16.2	10.1	8.8	-	9.1	17.9	-	12.8
Agua de lavado (l/kg. café cereza)	13.2	13.4	4.9	10.9	-	30.7	-	9.5

1/ Promedio de café procesado en cada beneficio en las fechas de los muestreos.

2/ Es la cantidad de café en cereza que cada beneficio procesa en una hora de trabajo.

Cuadro 16. Demanda de agua para el despulpado y el lavado del café en ocho beneficios de la Zona Central de Costa Rica. (m³/fanega)

BENEFICIO	Agua de despulpado m ³ /fanega	Agua de lavado m ³ /fanega	Total de agua m ³ /fanega de café en cereza
B1	0.74	0.61	1.35
B2	0.46	0.62	1.08
B3	0.40	0.23	0.63
B4	-	0.49	0.49
B5	0.54	-	0.54
B6	0.82	1.42	2.24
B7	-	-	-
B8	0.59	0.43	1.02

Criterio: Máximo permisible por fanega = 1 m³.

6.2 Resultados del análisis estadístico.

El análisis de varianza realizado para las variables o parámetros de calidad de aguas por cada beneficio, indican que hay variaciones en las concentraciones de los elementos (Cuadro 17). Del análisis de varianza desarrollado en el programa de cálculo estadístico SAS se puede afirmar que existen diferencias estadísticamente significativas al nivel del 5% entre los lugares de muestreo para las siguientes variables por cada beneficio: Beneficio B1 (DBO, DQO, pH, ST, SDT, Conductividad); Beneficio B2 (DBO, DQO, pH, Turbiedad, ST, SS, SDT, Caudal y Temperatura); Beneficio B3 (DBO, pH, SDT, Caudal, Conductividad y Temperatura); Beneficio B4 (DBO, DQO, pH, SDT, Caudal, Conductividad y Temperatura); Beneficio B5 (pH, ST, SS, Conductividad); Beneficio B6 (DBO, DQO, ST, SDT, Caudal y Conductividad); Beneficio B7 (DBO, pH, ST, SDT) y para el Beneficio B8 (DBO, DQO, ST, SS, SDT, Conductividad).

Para el caso, de que algunas variables de cada beneficio no cumplen con los supuestos del análisis de varianza se realizó un análisis de varianza para los rangos "transformación por rangos", la cual es equivalente a la prueba no-paramétrica de Kruskal-Wallis (Montgomery, 1991).

Para establecer si existen diferencias entre las mediciones por cada beneficio se utilizó una prueba de comparación de medias usando contrastes ortogonales (Anexo) para las mediciones 1, 2, 3, y 4) las cuales están referidas a: Medición 1 = Agua de despulpado sin tratamiento; Medición 2 = Aguas de despulpado

tratadas; Medición 3 = Aguas de lavado sin tratamiento y Medición 4 = Aguas de lavado tratadas.

Cuadro 17. Resumen del análisis de varianza de los indicadores de calidad de aguas en los diferentes puntos de muestreo y por beneficio.

Variable	B1 Pr>F	B2 Pr>F	B3 Pr>F	B4 Pr>F	B5 Pr>F	B6 Pr>F	B7 Pr>F	B8 Pr>F
DBO ₅	0.0069	0.0001	0.0204	0.0005	0.1166	0.0001	0.0021	0.0050
DQO	0.0001	0.0001	0.1446	0.0001	0.1342	0.0001	0.0973	0.0001
pH	0.0021	0.0442	0.0001	0.0082	0.0001	0.0773	0.0035	0.4477
TURB	0.4652	0.0036	0.2561	-	-	-	-	-
ST	0.0044	0.0005	0.4332	0.0004	0.0117	0.0223	0.0001	0.0001
SS	0.1483	0.0224	0.2370	0.0407	0.0117	0.3858	0.0515	0.0015
SDT	0.0354	0.0001	0.0022	0.0006	0.0616	0.0018	0.0003	0.0032
Q	0.0001	0.0099	0.0001	0.0012	0.0931	0.0062	-	0.3311
CONDUC	0.0001	0.0001	0.0001	0.0291	0.0001	0.0024	0.0855	0.0026
T°C	0.2448	0.0001	0.0001	0.4231	0.9744	0.2894	0.1400	0.1661

** Altamente significativo (Pr<0.01)

* Significativo (Pr<0.05)

n.s. No significativo (Pr>0.05)

6.2.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Este es el parámetro de contaminación más aplicado a las aguas residuales y superficiales, supone la determinación de la medida de oxígeno disuelto utilizada por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Además, es importante en el tratamiento de aguas residuales, se utiliza para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente (Metcalf, 1981). El máximo permisible para la industria cafetalera en Costa Rica es 1000 mg O₂/l, riego 5 mg O₂/l y para acuicultura 10 mg O₂/l.

En la Figura 5, se observan los valores promedios de DBO₅, para los dos tipos de aguas producidas en el beneficiado de café, (despulpado y lavado) las cuales muestran, que aún cuando sean reportado diferencias en algunos de los beneficios; éstas son reducidas y no alcanzan a cumplir con los requerimientos mínimos exigidos por las leyes del país (1000 mg. O₂/l).

Sólo en el caso de las aguas de lavado del beneficio B4, las cuales presentan diferencias estadísticas (p=0.0072), se observa una reducción acorde a la norma establecida. El Beneficio B4 utiliza sus tanques de fermentación como pilas sedimentadoras,

dando un tiempo de retención de 12 días, además adicionan un producto llamado Biowaterclean el cual reduce los malos olores que se pueden generar por tiempos de retención demasiado prolongados y además, ayuda a disminuir la DQO.

Sin embargo, sus aguas de despulpado presentan diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0027$) entre las aguas tratadas y sin tratamiento, sin embargo aún cuando la reducción es de alrededor del 50 % el agua que sale es aun muy contaminada ($DBO_5 = 10563.3 \text{ mg O}_2/\text{l}$), esto se debe a que en el Beneficio B4 se recirculan las aguas de despulpado únicamente, lo que provoca una mayor concentración de DBO_5 en las aguas de despulpe. El beneficio B4 ha incurrido en un costo por instalación de su sistema de tratamiento y adecuación de beneficio de US \$ 27 150, es la menor inversión de todos los beneficios, ya que se ha ahorrado la fabricación y montaje del sedimentador.

En las aguas de lavado de los beneficios B1 y B7 indican mayores concentraciones de DBO_5 en las aguas ya tratadas. Esto se podría deber a que las aguas de lavado y despulpado se mezclan en el sedimentador, pues el B1 realiza el desmucilaginado mecánico, permitiéndole despulpar y lavar en acciones sucesivas, contrario al procedimiento cuando se utiliza la fermentación, como en el beneficio B7, que tienen que esperar de 12 a 24 horas, provocando una mayor cantidad de materia orgánica en las aguas por mayor contacto con el fruto de café (Asociación Nacional del Café, 1985).

En función de lo anterior, se determinó que la Demanda Bioquímica de Oxígeno presentó diferencias significativas entre las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas en todos los beneficios estudiados, excepto en el beneficio B5 ($P=0.1166$) esto se podría deber a que en el momento de realizarse la investigación el beneficio aún no había instalado su tanque sedimentador, y a que realiza el despulpado por vía húmeda. En la actualidad el beneficio B5 ha incurrido en gastos por concepto de tratamiento de aguas del orden de US \$ 42599.55.

Al realizar una comparación de pares de medias a través de contrastes ortogonales (Cuadro 17), se determinó que los beneficios (B1, B3 y B8), no presenta diferencias significativas al 5 % entre las aguas de despulpado y lavado, antes y después del tratamiento de aguas, lo que sugiere que su eficiencia es mínima. Esto podría deberse a que en los beneficios B1 y B3 se manejan los sedimentadores a caudal continuo, lo que provoca una baja disminución de la DBO_5 .

Una regresión simple entre los promedios de la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno nos da la función: $DBOs = 698.42 + 0.46 (DQO)$. Las variables se expresan en mg. O_2 /l. El coeficiente de correlación entre DBO5 y DQO (r) es 0.91. Como es evidente esto es importante para el monitoreo de los sistemas de tratamiento a través de la determinación de la DQO.

Los beneficios (B2, B4, B6 y B7), presentan diferencias al 5% entre las aguas despulpado sin tratamiento y tratadas, lo que implica que existe algún efecto en el tratamiento de aguas utilizado para dichos beneficios.

Las aguas de lavado no presentaron diferencias significativas después de ser tratadas en los beneficios (B1, B2, B6 y B7) lo que se puede explicar en el hecho de que estos beneficios realmente no tratan las aguas de lavado, es decir, que las aguas utilizadas en el proceso de lavado de café no son tratadas junto con las aguas de despulpado. Sin embargo, el beneficio B3 sí presenta diferencias significativas en las concentraciones de DBOs en sus aguas de lavado antes y después de ser tratadas, ($p=0.0059$). Lo que refleja que el beneficio B3 sí presenta una eficiencia marcada en función de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

Asimismo, las aguas de lavado y despulpado sí difieren en sus medias en los beneficios B1, B2, B4, B7 y B8 ($p=0.0013$, $p=0.0007$, $p=0.0002$, $p=0.0008$ y $p=0.0009$ respectivamente), las aguas de despulpado son las que mayor concentración DBOs reportan, siendo las más contaminadas. El beneficio B3 y B6 sus medias son estadísticamente iguales ($p=0.0925$ y $p=0.8276$) para las aguas de despulpado y lavado, esto se puede deber a la recirculación de las aguas.

Según el convenio realizado entre el sector cafetalero y el AyA, el máximo permisible para esta industria es de 1000 mg. O_2 /l, en función de lo anterior sólo los beneficios B4, B6 y B8 presentan promedios por menos de lo estipulado por dicho acuerdo en sus aguas de lavado. Sin embargo, estas concentraciones son limitantes para la agricultura en los usos para riego y acuacultura. Hay que hacer notar que estos datos no se deben a una eficiencia en sus sistemas de tratamiento, ya que en función del DBOs removido el porcentaje de eficiencia fue de 3.3 y 1.1 para los beneficios B6 y B7. Sin embargo, para el beneficio B4 la eficiencia fue de 93.7 para las aguas de lavado.

Cuadro 18. Resumen estadístico de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg. O₂ /l).

Beneficio	Medición	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	4730.0	9000.0	6630.0	0.4301	0.0013
	2	4570.0	7050.0	5770.0		
	3	1700.0	2120.0	1943.3	0.1979	
	4	3020.0	5170.0	3396.7		
2	1	4400.0	6700.0	5486.7	0.0001	0.0007
	2	950.0	1090.0	1033.3		
	3	1100.0	1540.0	1380.0	0.9537	
	4	1000.0	1650.0	1350.0		
3	1	3980.0	6300.0	5140.0	0.4514	0.0925
	2	3940.0	4400.0	4130.0		
	3	4650.0	4800.0	4725.0	0.0059	
	4	1040.0	1900.0	1470.0		
4	1	16380.0	22700.0	20493.3	0.0027	0.0002
	2	8950.0	13300.0	10563.3		
	3	4850.0	4900.0	4875.0	0.0115	
	4	215.0	400.0	307.5		
5	1	3200.0	7700.0	4750.0		
	2	1660.0	3100.0	2273.3		
6	1	4034.0	4850.0	4404.7	0.4712	0.0276
	2	3530.0	5380.0	4213.3		
	3	570.0	1350.0	854.3	0.4211	
	4	500.0	1316.0	826.0		
7	1	4500.0	4600.0	4550.0	0.0059	0.0008
	2	3300.0	3390.0	3353.3		
	3	1750.0	2590.0	2170.0	0.0411	
	4	2800.0	3100.0	2950.0		
8	1	4308.0	19250.0	8377.0	0.3759	0.0009
	2	2290.0	5570.0	4255.0		
	3	624.0	1450.0	961.3	0.6979	
	4	907.0	995.0	951.0		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

Criterio: El máximo permisible para la industria cafetalera en Costa Rica es 1000 mg O₂/l, riego 5 mg O₂/l y para acuicultura 10 mg O₂/l.

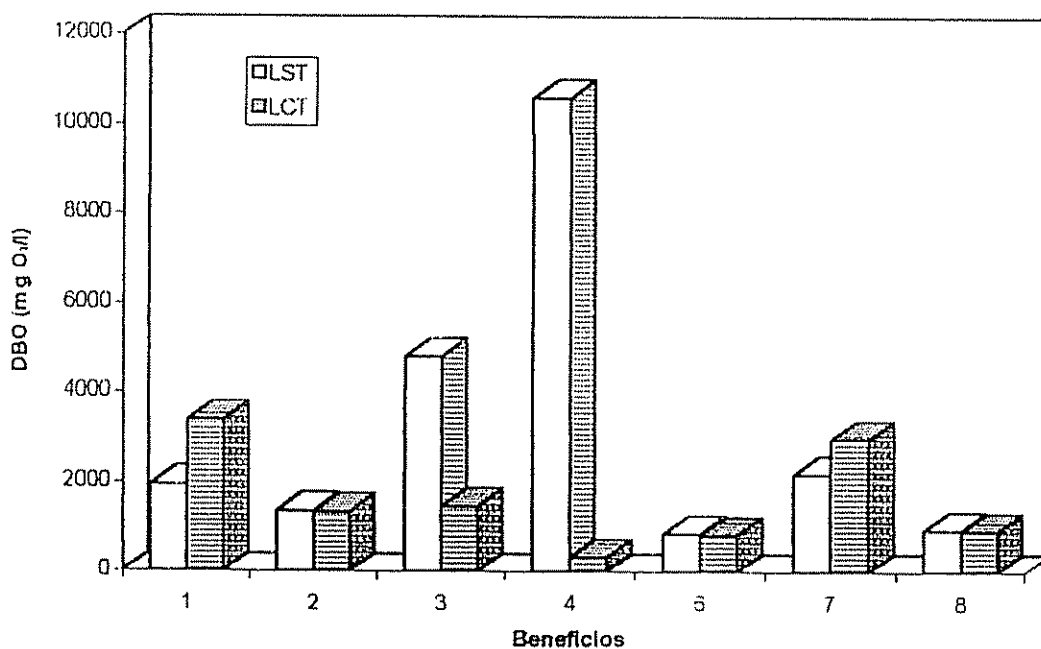
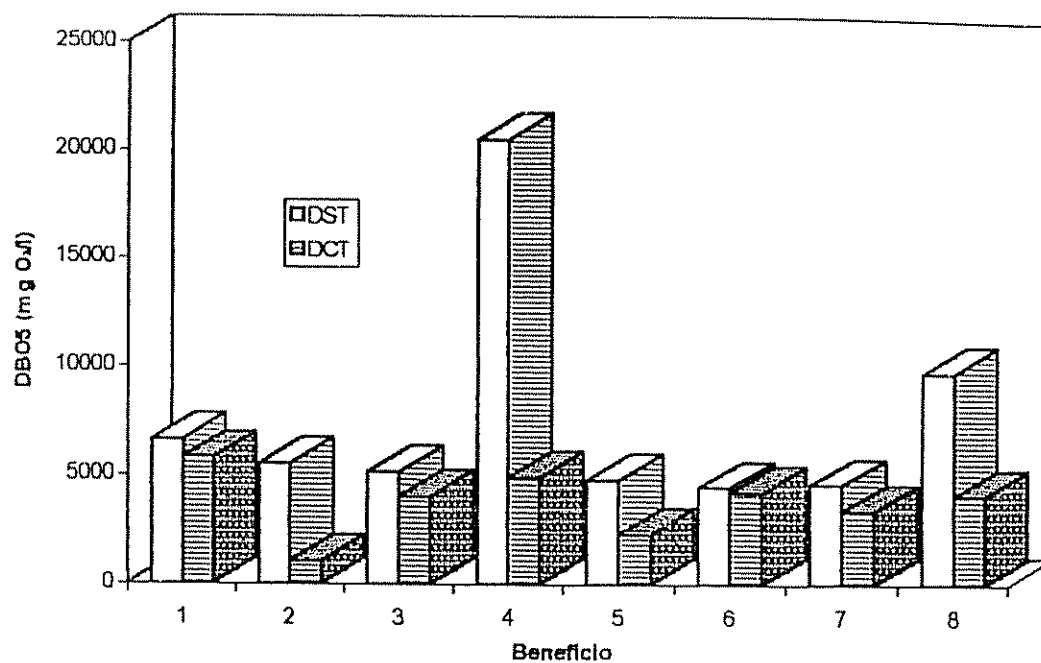


Figura 5. Valores promedio de la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg O₂/l).

6.2.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es uno de los parámetros que, al igual que la DBO₅, sirven para medir el poder contaminante de las aguas y la disminución en los niveles de la DQO, a través de sistemas de tratamiento, está relacionado íntimamente con la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas.

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las aguas de despulpado antes y después de ser tratadas en los beneficios B2, B4, B6 y B8 (Cuadro 19) sin embargo, al observar los valores promedios, el beneficio B6 presenta valores promedio de aproximadamente la misma magnitud (Figura 6).

Los valores más altos de DQO se reportan en las aguas de lavado y despulpado sin tratamiento del beneficio B4, observándose que el sistema que actualmente utilizan provoca diferencias significativas ($p=0.0072$) con respecto a la disminución observada en la DQO para las aguas de lavado; sin embargo, el nivel contaminante de las aguas de despulpado tratadas presenta diferencias significativas, pero debido a la elevada carga orgánica de las aguas de despulpado, el líquido finalmente vertido al río tiene una concentración de DQO del orden de 27283.3 mg O₂/l, (Figura 18). Esto se puede deber a que este beneficio recircula sólo las aguas de despulpado, lo cual genera que la concentración de la DQO sea mayor en dichas aguas.

Los valores promedio DQO de las aguas de lavado sin tratamiento fueron menores que las tratadas en los beneficios B1, B7 y B8, esto se podría deber a la diferencia entre el mayor y menor cantidad de tiempo que el agua hace contacto con el material vegetal. Por otra parte, la recirculación de aguas aumenta la cantidad de materia orgánica en las aguas, las cuales al volver al sedimentador tienen niveles superiores de contaminación.

En función de la cantidad máxima de contaminantes orgánicos que se pueden depositar a los ríos por los beneficios de café (1500 mg O₂ /l), se puede observar que sólo los beneficios B2 y B4 tratan sus aguas de despulpado y lavado respectivamente obteniendo con sus tratamientos niveles permisibles. El resultado de estos beneficios puede deberse a que el beneficio B2 deposita sus aguas, después del sedimentador, en una laguna de oxidación anaeróbica y el beneficio B4 adaptó los tanques para fermentación para ser usados como sedimentadores, que le permiten tener un tiempo de retención adecuado para la formación de grumos.

Cuadro 19. Resumen estadístico de la Demanda Química de Oxígeno de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg. O₂ /l).

Beneficio	Medición	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	10200.0	12640.0	11266.7	0.0522	0.0001
	2	8830.0	10300.0	9496.7		
	3	2980.0	5110.0	4296.7	0.4645	
	4	4400.0	5170.0	4893.3		
2	1	7900.0	11900.0	9760.0	0.0001	1.000
	2	1050.0	1350.0	1200.0		
	3	1940.0	2740.0	2373.3	0.0063	
	4	1430.0	1790.0	1666.3		
3	1	4970.0	10640.0	7805.0		
	2	4350.0	5000.0	4636.7		
	3	5545.0	5740.0	5642.5		
	4	1410.0	3300.0	2355.0		
4	1	41200.0	46186.0	43334.7	0.0010	0.0001
	2	22400.0	32200.0	27283.3		
	3	12100.0	15240.0	13670.0	0.0072	
	4	366.0	350.0	458.0		
5	1	5130.0	16525.0	9053.7		
	2	3075.0	4615.0	3596.7		
6	1	7274.0	9671.0	8246.7	0.0001	0.9070
	2	6860.0	9175.0	8212.3		
	3	1240.0	3250.0	2045.3	0.0001	
	4	992.0	2765.0	1856.0		
7	1	8290.0	8500.0	8395.0		
	2	4650.0	8490.0	5933.3		
	3	3530.0	4200.0	3865.0		
	4	4500.0	5220.0	4860.0		
8	1	6240.0	28000.0	12956.0	0.0089	0.0001
	2	4153.0	6640.0	5555.7		
	3	1295.0	2000.0	1546.0	0.0994	
	4	2025.0	2100.0	2062.5		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

Criterio: Máximo permisible para la industria cafetalera es de 1500 mg O₂/l.

6.2.3 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH de las aguas de despulpado y lavado es una de las variables que presentó más uniformidad entre los beneficios, como se muestra en la gráfica de sus valores promedio (Figura 7). Sin embargo, por sus características de acidez el agua descargada por los beneficios es limitante para ser usada en el riego de cultivos, donde el pH óptimo es de (6.5-8.4). (Cuadro 20).

Este parámetro es importante cuando se utiliza un sistema de coagulación química, como el caso de los beneficios B2, B7 y B8, donde el pH debe pasar de un valor de 4 ó 6, como lo

reportan en los beneficios en estudio, hasta un valor de 12 en el producto resultante. Los beneficios estudiados no alcanzan el nivel deseado de acidez en sus aguas de despulpado y lavado; lo que provoca, como indica Urpi (1977), que parte de las sustancias pécticas no reaccionen con el calcio, por lo tanto, depende del pH si se consigue o no alguna eficiencia.

Para los beneficios que realizan sedimentación natural (sin coagulantes) el pH óptimo para la formación de grumos es de 5.5-7. Los beneficios B1, B3, B4, B5 y B8 no presentaron diferencias significativas al nivel del 5% para las aguas de despulpado y lavado (Cuadro 20). El pH antes y después del tratamiento de aguas presento diferencias significativas en las aguas de despulpado y lavado de los beneficios B1, B3, B4, B7 siendo las aguas de despulpado más ácidas.

Cuadro 20. Resumen estadístico del pH de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio.

Beneficio	Medición	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	4.50	7.60	4.91	0.0111	0.7197
	2	4.40	7.00	4.65		
	3	4.20	6.80	5.10	0.0033	
	4	4.10	6.80	4.65		
2	1	4.21	6.08	4.95	0.9024	0.0235
	2	4.51	6.22	5.10		
	3	4.44	6.32	4.73	0.0830	
	4	4.17	6.38	4.94		
3	1	3.60	4.45	4.13	0.0054	0.6987
	2	4.22	4.57	4.37		
	3	4.42	4.47	4.48	0.0001	
	4	5.01	6.37	5.88		
4	1	4.61	5.09	4.88	0.0293	0.2974
	2	4.09	4.66	4.29		
	3	4.15	4.20	4.17	0.0032	
	4	5.20	5.54	5.37		
5	1	4.56	5.56	5.21	0.0001	
	2	3.91	4.48	4.28		
6	1	5.52	6.10	5.81		
	2	5.56	6.09	5.85		
	3	5.05	5.51	5.23		
	4	5.05	5.77	5.32		
7	1	5.20	5.37	5.28	0.0237	0.0024
	2	4.56	5.00	4.76		
	3	4.61	4.87	4.74	0.0066	
	4	3.86	4.02	3.94		
8	1	4.28	4.77	4.44		
	2	3.98	4.78	4.32		
	3	4.30	5.05	4.63		
	4	4.16	4.30	4.23		

Criterio: Valor óptimo de pH para riego es de 6.5-8.4

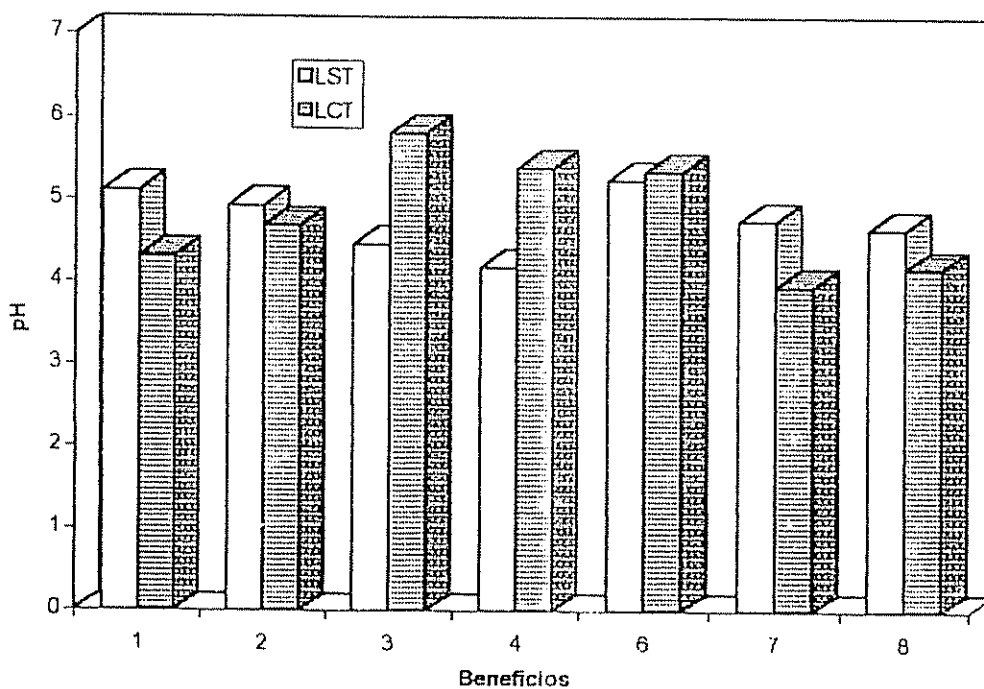
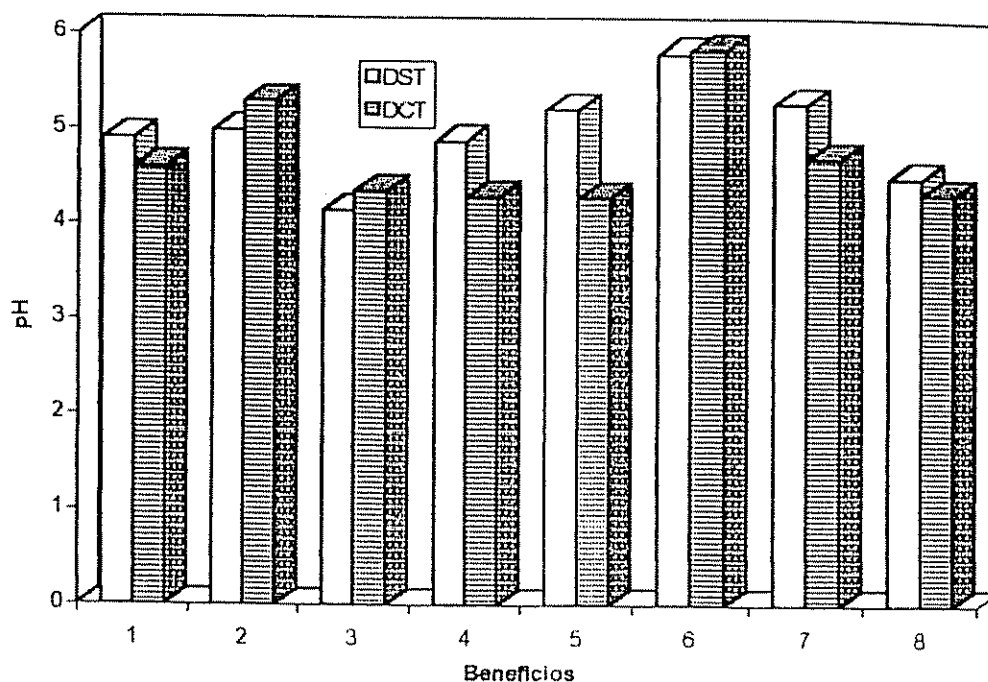


Figura 7. Valores promedio del pH de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica.

6.2.4 Turbiedad (Utn)

Para el análisis de la turbiedad sólo se cuentan con datos para los beneficios B1, B2 y B3. La turbiedad no presentó diferencias significativas con respecto a las aguas de despulpado y lavado, antes y después de ser tratadas en los beneficios B1 y B3; como tampoco entre las aguas de despulpado y lavado de los tres beneficios estudiados (Cuadro 21).

Lo anterior sugiere, que los sistemas de tratamientos no provoquen diferencias significativas en las aguas de despulpado y lavado de los beneficios B1 y B3. El beneficio B2, sí reporta diferencias estadísticas en sus aguas de despulpado ($p=0.0014$); no así, en sus aguas de lavado, lo que implica una baja eficiencia en su sistema de tratamiento para ese tipo de agua. El beneficio B2 puede deber sus bajos niveles de turbiedad a la utilización de tratamiento complementario de oxidación biológica. La turbiedad en este caso esta constituida por materia suspendida, principalmente, por partículas de materia orgánica en el caso del beneficiado de café. La capacidad de uso para consumo humano y recreación se ve limitada, pues los valores máximos son de 5-25 Utn y 10-50 Utn, respectivamente.

En la Figura 8 se puede apreciar los valores promedios de las aguas de despulpado y de lavado. La turbidez fue medida por el método nefelométrico, dando su valor en unidades de turbiedad nefelométrica (Utn).

Cuadro 21. Resumen estadístico de la Turbiedad de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio. (Utn)

Beneficio	Medición	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	360.0	840.0	546.7	0.6166	0.2293
	2	396.0	630.0	478.0		
	3	352.0	600.0	452.0	0.3819	
	4	290.0	400.0	330.0		
2	1	316.0	328.0	220.3	0.0014	0.2190
	2	62.0	152.0	101.7	0.1010	
	3	77.0	348.0	161.5		
	4	84.0	115.0	101.5		
3	1	220.0	480.0	350.0		
	2	200.0	320.0	264.0		
	3	115.0	120.0	117.5		
	4	28.0	252.0	140.0		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

Criterio: El valor máximo para consumo humano es de 5-25 utn y para recreación 10-50 utn.

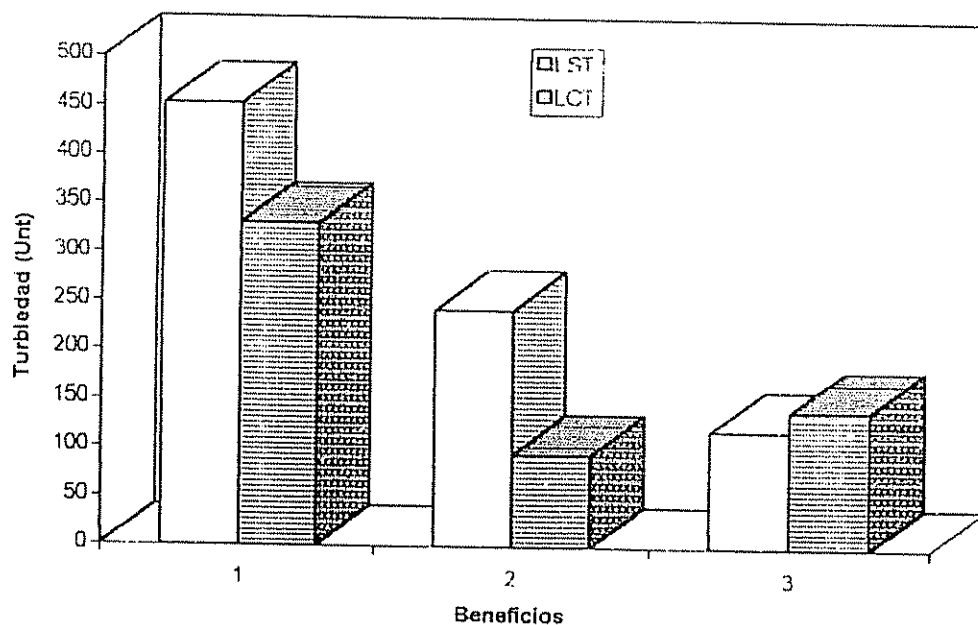
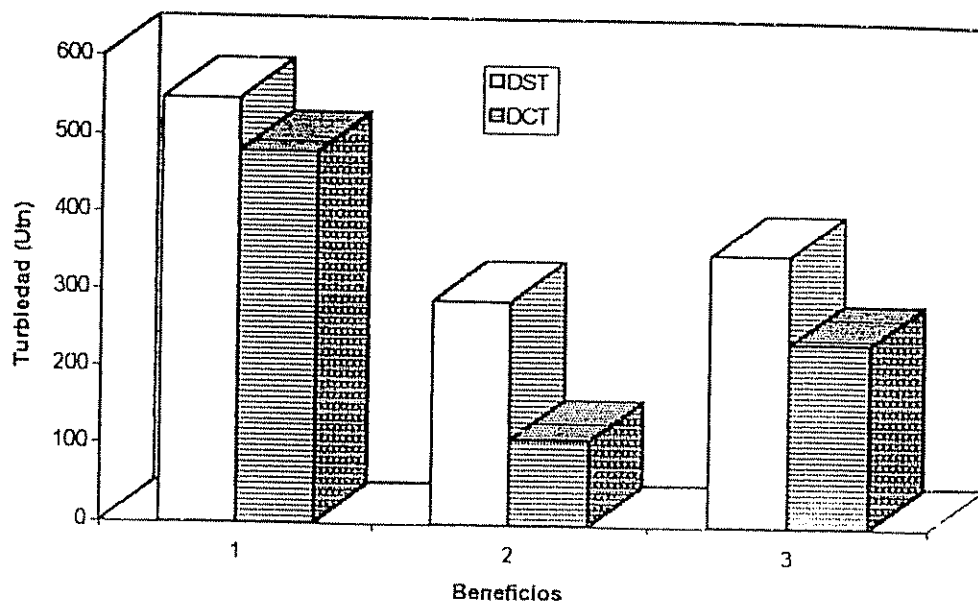


Figura 8. Valores promedio de Turbiedad de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en tres beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (Utn)

6.2.5 Sólidos totales, suspendidos y disueltos

La composición física del agua de despulpado y de lavado generada en los beneficios de café estudiados, sugiere con respecto a la cantidad de sólidos totales generados, una limitación para los usos en la agricultura (1000 mg/l); los sólidos en suspensión en concentraciones mayores de 10 mg/l y 100 mg/l son limitantes para la acuicultura y uso doméstico respectivamente y la cantidad óptima de sólidos disueltos para riego es de menos 450 mg/l. Más de 2000 mg/l de sólidos disueltos presentan severas restricciones de uso.

El contenido total de sólidos es la característica física más importante del agua residual, esta se compone fundamentalmente por materia disuelta y en suspensión. Su composición en las aguas de despulpado y lavado para cada beneficio se observan en las Figuras 9,10 y 11.

Los sólidos suspendidos nos da una idea, a través de su fracción de sólidos sedimentables, de la medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará por sedimentación.

La mayor concentración de sólidos totales se encuentran en las aguas de despulpado, esto se debe a que en este proceso se incorpora mucha materia vegetal, principalmente el epicarpio (cascara) y el mesocarpio (azúcares y mucílago), aumentando la cantidad de materia orgánica (Cuadro 22).

Sólo los beneficios B2, B5 Y B8 presentaron diferencias significativas en la composición de los sólidos en suspensión en las aguas de despulpado antes y después de ser tratadas, sin embargo, ninguno de los beneficios presentaron diferencias significativas en el tratamiento de sus aguas de lavado.

La composición de sólidos disueltos de las aguas de despulpado y de lavado son mayores que la de los sólidos suspendidos, como se aprecia en sus valores promedio (Cuadro 23 y 24). En función de lo anterior, Metcalf (1981); señala que los sólidos en disolución, poseen una fracción coloidal, que no puede eliminarse por sedimentación, por lo general se requiere una coagulación u oxidación biológica, después de la sedimentación, para eliminar los sólidos disueltos. Es por esta razón, que el Beneficio B2 presenta diferencias significativas en la concentración de sólidos en disueltos en sus aguas de despulpado ($p=0.0001$) ; no así en sus aguas de lavado donde no presenta diferencias significativas ($p=0.1419$), sin embargo sus valores promedios presentan reducciones aún cuando no presenten diferencias significativas al 5 % (Figura 11). El beneficio B2 es

el único que tiene instalado un sistema de oxidación anaeróbico.

El beneficio B4 reporta la mayor concentración de sólidos totales de los ocho beneficios (Cuadro 22 y Figura 9), la que presenta una composición formada principalmente por sólidos disueltos, por lo tanto, se debe de considerar la posibilidad de un tratamiento de oxidación biológico (ver valores promedio de Cuadro 23 y 24).

El Beneficio B4 presenta los niveles más altos de sólidos totales, suspendidos y disueltos (Figuras 9, 10 y 11) esto se debe a que este beneficio recircula las aguas de despulpado, además, la cantidad de agua utilizada por hora varía entre 7.3 a 28.5 m³ de agua, para el despulpado y lavado respectivamente, lo que implica una mayor concentración de sólidos totales producidos por el mayor tiempo de contacto del material vegetal y el agua. Sin embargo, el beneficio B4 reporta disminuciones importantes en las aguas de lavado después de ser tratadas, no así en las aguas de despulpado, pues al analizar sus promedios se observa que aunque las reducciones han sido grandes; la composición original de las aguas de despulpado con alrededor de 45846.7 mg/l de sólidos totales, no permite que las aguas resultantes no posean limitaciones de uso.

Es evidente que en función de los datos reportados en los Cuadros 22, 23 y 24 con respecto a los sólidos totales, suspendidos y disueltos de las aguas de despulpado y lavado utilizadas en el beneficiado de café, presentan severas restricciones de uso, además se puede destacar que la contaminación es de tipo disuelta.

Sin embargo, el gobierno de Costa Rica a través de las instituciones de Acueductos y alcantarillados, Ministerio de Salud y el CICAPE, han definido una política de aceptar cierto grado de contaminación por razones socioeconómicas, pues el control de la contaminación al igual que la contaminación misma, tiene un costo. Es por esta razón, que las normas de calidad de aguas para el sector beneficiador de café dependerá del uso que se desee proteger y del grado del deterioro del recurso agua que pueda ser tolerado por la comunidad.

Hay que resaltar que el programa apoyado por el Instituto del Café de Costa Rica para reducir el impacto ambiental provocado por la industria beneficiadora tiene sus orígenes en 1992, por lo que se encuentra aún en la etapa de fortalecimiento o acondicionamiento.

Cuadro 22. Resumen estadístico de los sólidos totales de las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg /l).

Beneficio	Medición	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	7520.0	13200.0	10132.0	0.1423	0.0008
	2	6220.0	9266.0	7895.3		
	3	2880.0	4070.0	3466.7	0.4826	
	4	3946.0	5140.0	4448.7		
2	1	7288.0	10200.0	9206.7	0.0001	0.4554
	2	918.0	1560.0	1143.3	0.0158	
	3	2130.0	2650.0	2372.7		
	4	1414.0	1600.0	1483.3		
3	1	3640.0	9870.0	6755.0	0.0059	0.0001
	2	3240.0	5260.0	4033.3		
	3	3800.0	4000.0	3900.0		
	4	1330.0	4260.0	2800.0		
4	1	41640.0	53700.0	45846.7	0.0282	0.0001
	2	23500.0	33650.0	28173.3		
	3	12700.0	18550.0	15625.0		
	4	628.0	700.0	664.0		
5	1	5958.0	18200.0	9690.0	0.0117	0.4289
	2	3418.0	4084.0	3704.0		
6	1	7126.0	9468.0	8687.3	0.0032	0.0001
	2	7090.0	8904.0	8089.3	0.0024	
	3	1718.0	3616.0	2820.7		
	4	1296.0	5826.0	3650.0		
7	1	8540.0	9152.0	8846.0	0.0001	0.0001
	2	4174.0	4212.0	4193.0	0.1257	
	3	3880.0	4302.0	4041.0		
	4	3400.0	3668.0	3534.0		
8	1	5800.0	28180.0	11889.5	0.0025	0.0001
	2	2844.0	5196.0	4375.5	0.2126	
	3	1138.0	1760.0	1484.0		
	4	1756.0	1854.0	1805.0		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

Criterio: El máximo permisible para la agricultura es de 1000 mg/l.

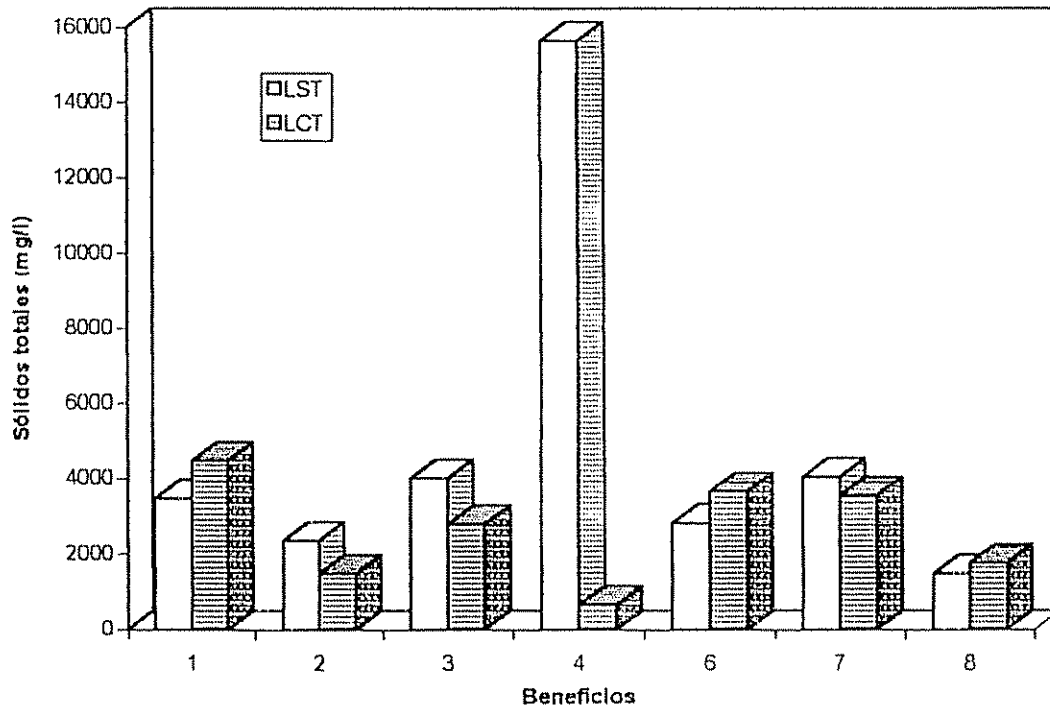
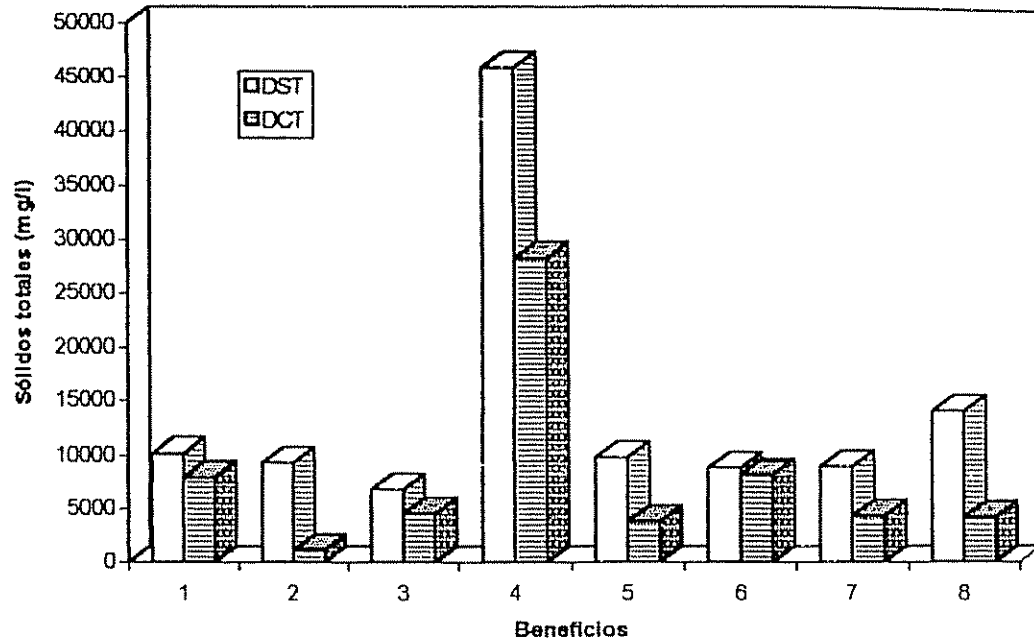


Figura 9. Valores promedio de los sólidos totales de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg/l)

Cuadro 23. Resumen estadístico de los sólidos suspendidos en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg /l).

Beneficio	Medición	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	1900.0	2600.0	2250.0		
	2	1867.0	4200.0	3555.7		
	3	1900.0	2467.0	2265.3		
	4	1680.0	1850.0	1776.7		
2	1	800.0	2594.0	1904.7	0.0082	0.1683
	2	139.0	840.0	410.3		
	3	1000.0	1067.0	1035.7	0.1545	
	4	259.0	530.0	363.0		
3	1	400.0	7820.0	4110.0		
	2	125.0	1500.0	1008.3		
	3	500.0	525.0	512.5		
	4	112.0	115.0	113.5		
4	1	8800.0	13700.0	11733.3	0.1610	0.0189
	2	9200.0	24100.0	18333.3		
	3	6600.0	11500.0	9050.0	0.1309	
	4	165.0	250.0	207.5		
5	1	850.0	9300.0	3450.0	0.0117	
	2	126.0	157.0	171.0		
6	1	1540.0	4267.0	2555.7		
	2	860.0	2025.0	1495.0		
	3	1050.0	1533.0	1238.7		
	4	800.0	2550.0	1683.3		
7	1	1560.0	1900.0	1730.0		
	2	1450.0	1850.0	1650.0		
	3	1100.0	1466.0	1283.0		
	4	755.0	886.0	820.5		
8	1	1400.0	6400.0	2777.0	0.0020	0.0151
	2	700.0	1100.0	912.5		
	3	650.0	800.0	727.7	0.0253	
	4	980.0	1020.0	1000.0		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

Criterio: Máximo permisible para la industria cafetalera es de 40 mg/l, para acuicultura es de 10 mg/l y el nivel tolerable para uso doméstico es de 100 mg/l.

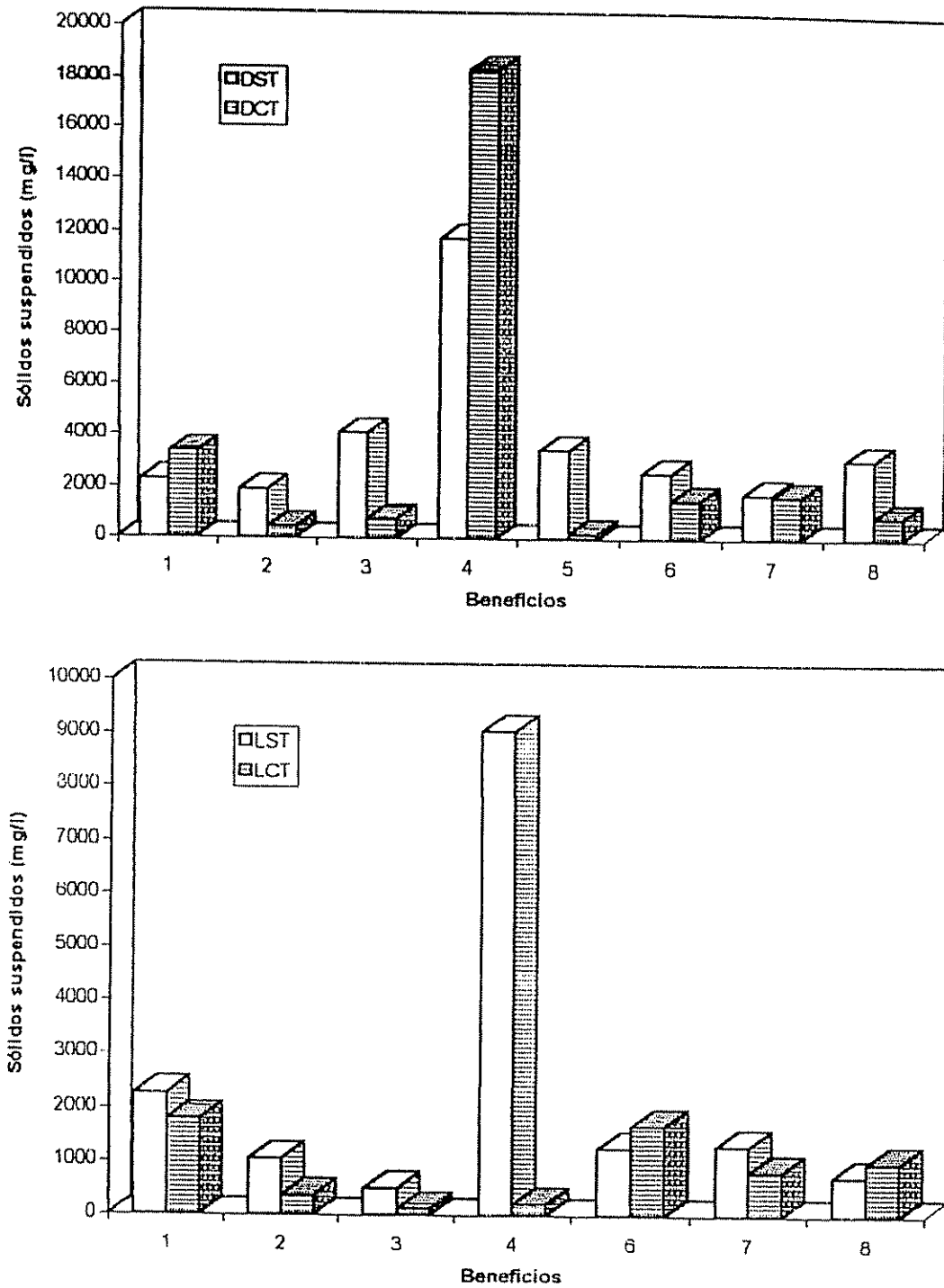


Figura 10. Valores promedio de los sólidos suspendidos de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg/l)

Cuadro 24. Resumen estadístico de los sólidos disueltos totales en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (mg /l).

Beneficio	Medición	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	7776.0	10600.0	9188.0	0.1142	0.0114
	2	4000.0	7399.0	5699.5		
	3	413.0	2190.0	1301.5	0.4537	
	4	2150.0	3290.0	2720.0		
2	1	7538.0	7888.0	7709.0	0.0001	0.0001
	2	700.0	720.0	710.0	0.1419	
	3	1271.0	1650.0	1460.5		
	4	1070.0	1177.0	1123.5		
3	1	-	-	-	0.0031	
	2	1740	1740	1740		
	3	3400.0	3500.0	3450.0		
	4	1100.0	1218.0	1153.0		
4	1	28500.0	41000.0	34113.3	0.0005	0.0007
	2	5670.0	14300.0	9840.0	0.2226	
	3	6100.0	7050.0	6575.0		
	4	463.0	630.0	546.5		
5	1	4458.0	8900.0	6240.0	0.0616	
	2	3292.0	3827.0	3533.0		
6	1	5201.0	7608.0	6131.7	0.0038	0.9598
	2	6230.0	6869.0	6591.0	0.0003	
	3	585.0	2566.0	1582.0		
	4	496.0	4126.0	1965.3		
7	1	6585.0	7252.0	6918.5	0.0001	0.0006
	2	2364.0	2722.0	2543.0	0.6371	
	3	2736.0	2780.0	2758.0		
	4	2506.0	2802.0	2654.0		
8	1	3917.0	21780.0	9112.5	0.1401	0.0007
	2	3650.0	4237.0	3994.0	0.6377	
	3	405.0	960.0	756.3		
	4	776.0	825.0	800.5		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

Criterio: El máximo aceptable para uso doméstico es de 250 mg/l, para riego el óptimo es menos de 450 mg/l y para la acuicultura es menos de 1000 mg/l, mientras que más de 2000 mg/l presenta severas restricciones de uso.

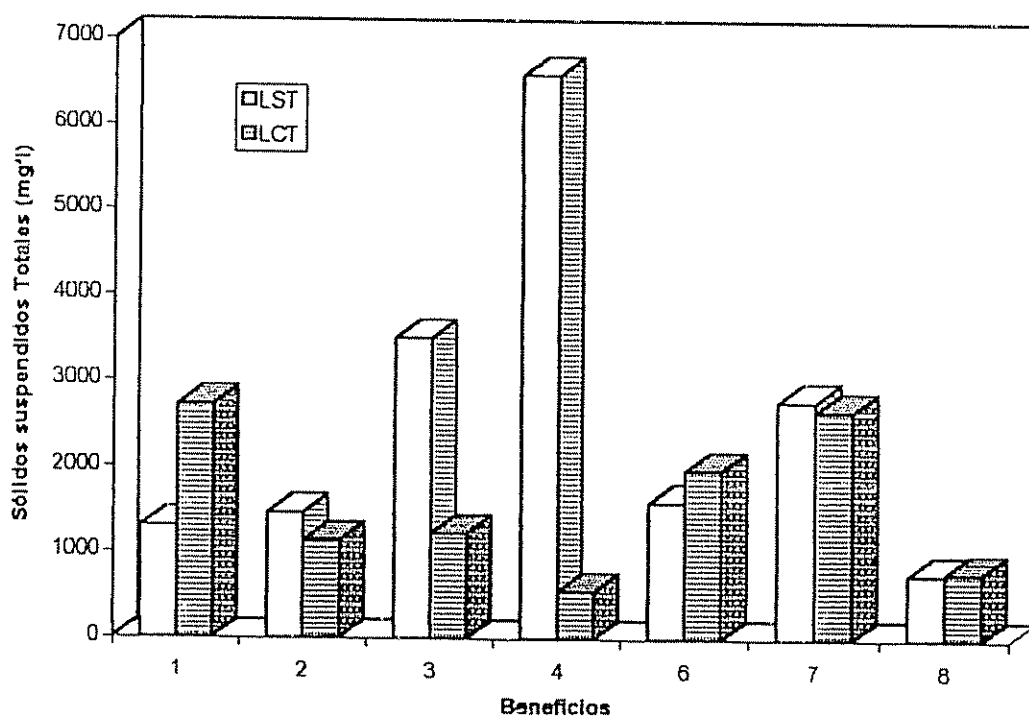
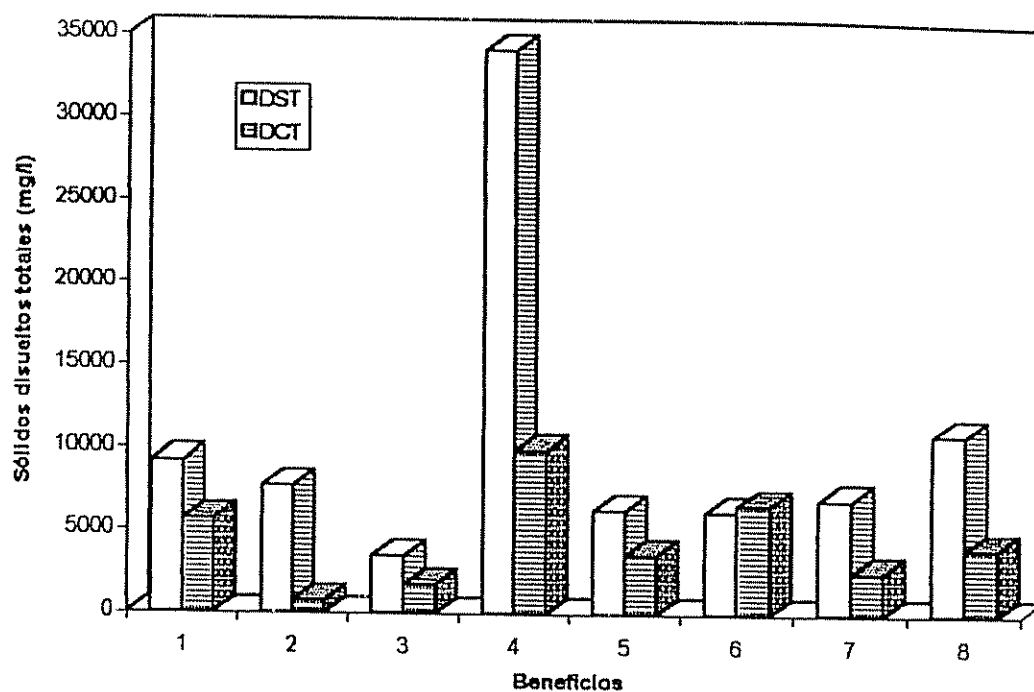


Figura 11. Valores promedio de los sólidos disueltos totales de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (mg/l)

6.2.6 Caudal

Los caudales fueron determinados en las aguas de despulpado y lavado, antes y después de ser tratadas, como se puede observar en los valores promedio de los ocho beneficios. Los caudales de las aguas de despulpado y lavado difieren entre sí, lo que sugiere pensar que estos beneficios no tratan la totalidad de las aguas, sino que en muchos casos estas llegan a los sedimentadores y pasan a caudal continuo (Figura 12), lo anterior implica, que los beneficios de café no están tratando en su totalidad todas las aguas, lo que puede verificarse con los datos de las aguas de lavado, las cuales presentan muy bajas eficiencias en la remoción de DBOs y en otros parámetros de calidad, inclusive en beneficios que han presentado eficiencias altas (más de 80%).

Estas diferencias entre los caudales de aguas de lavado y despulpado puede estar relacionado con fugas que se tengan en el sistema de tratamiento (tuberías rotas, bombas descompuestas, conexiones en mal estado, etc.) o a desviaciones de caudales directamente hacia la fuentes de agua.

Sólo el beneficio B6 reporta una cantidad de agua de lavado y despulpado igual, y esto se debe a que no tenían sedimentador en la cosecha 95/96, sólo hacían tamizado de aguas, por lo tanto, es lógico que sea la misma cantidad agua (Cuadro 25).

En términos generales los caudales reducidos en las aguas de despulpado o de lavado, pueden ser la causa de las concentraciones muy altas de compuestos contaminantes, lo que puede ser una de las causas del porque el beneficio B4 presente una contaminación tan elevada.

Dentro de la primera etapa señalada por el convenio de cooperación entre el Instituto del Café de Costa Rica, Ministerio de Salud, Servicio Nacional de Electricidad y el Instituto Costarricense de Acueductos y alcantarillados, establecen dentro de las acciones concretas la disminución del uso del agua por medio de prácticas como: el despulpado en seco, desmucilaginado mecánico, transporte no hidráulico de pulpa y recirculación de aguas, con lo que se pretende lograr una disminución de la contaminación del orden del 50 %, esto refleja la gran importancia de la toma de caudales antes y después de ser tratadas las aguas, pues este es un indicador de la cantidad de agua que es sometida al tratamiento de aguas en operación en cada beneficio.

Cuadro 25. Resumen estadístico de los datos de caudales en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (l/segundo).

Beneficio	Tipo de Agua	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	2.7	20.0	12.39	0.0001	0.8204
	2	2.7	7.2	5.19		
	3	2.7	15.1	9.41		
	4	2.7	12.7	7.78		
2	1	0.6	13.0	7.55	0.4855	0.0011
	2	0.6	13.5	6.53		
	3	2.26	19.24	10.58		
	4	6.32	19.24	11.02		
3	1	1.15	14.22	6.73	0.4801	0.0041
	2	1.15	14.22	5.55		
	3	3.54	4.10	3.81		
	4	0.31	2.38	0.82		
4	1	-	-	-		
	2	1.55	2.54	2.03		
	3	-	-	-		
	4	7.5	8.33	7.91		
5	1	4.13	10.75	7.77		
	2	5.17	15.76	10.06		
6	1	10.84	15.34	13.74	0.0545	0.0494
	2	10.84	15.35	13.74		
	3	18.42	26.33	23.57	0.0750	
	4	18.42	26.37	23.57		
7	1	-	-	-		
	2	26.17	28.0	27.05		
	3	-	-	-		
	4	-	-	-		
8	1	15.42	33.72	24.34		
	2	15.42	33.72	22.82		
	3	28.34	34.37	31.81		
	4	20.5	21.77	21.13		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

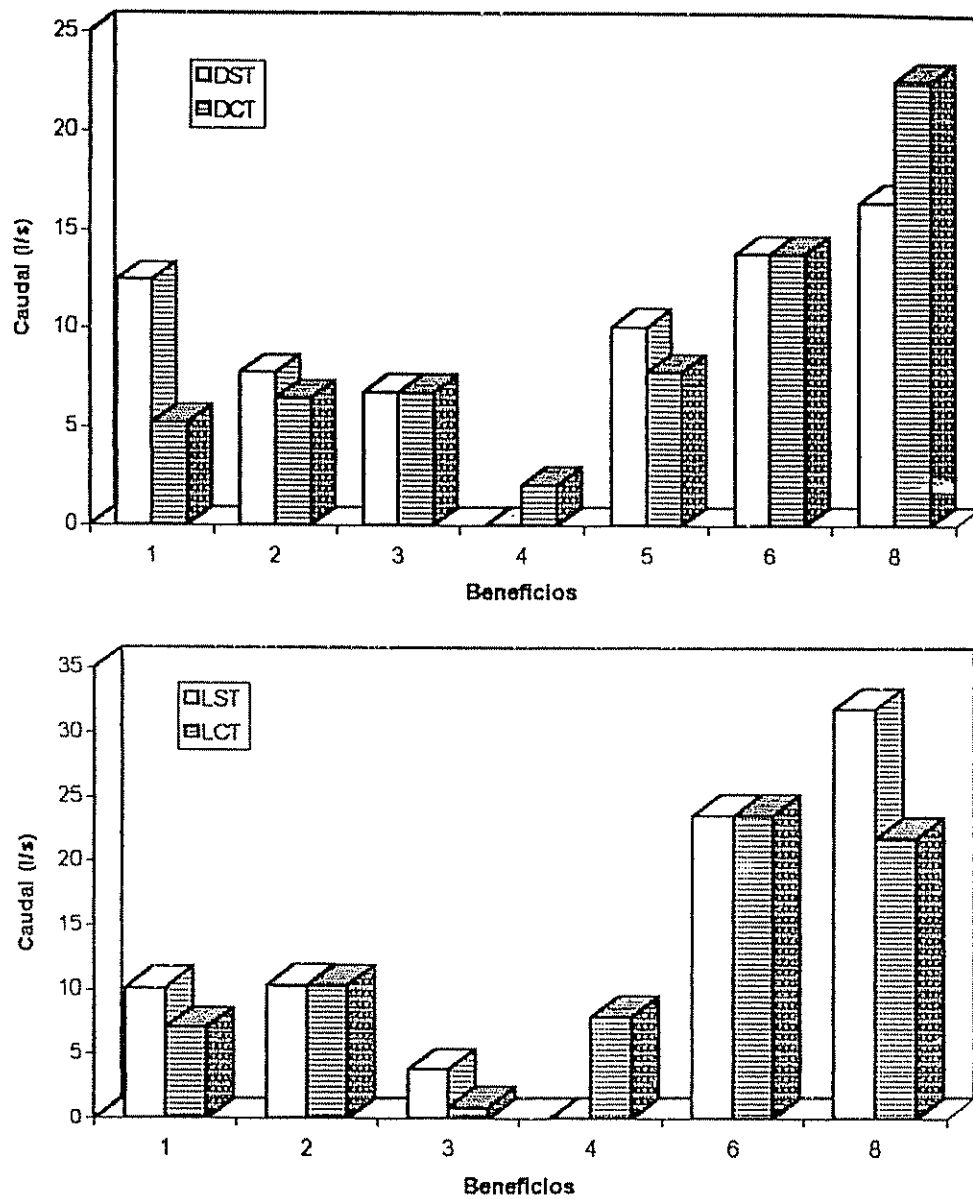


Figura 12. Valores promedio de caudales de las aguas de despulpado y lavado de ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (l/s).

6.2.7 Conductividad eléctrica

Los beneficios estudiados presentaron valores promedio dentro de un rango aceptable, esto se debe a que la composición de las aguas es de naturaleza orgánica, y esta es una pobre conductora de electricidad (Cuadro 26); sin embargo, los valores promedio altos pueden deberse a la adición de óxido de calcio como neutralizador o como en el caso del beneficio B4, que presenta los mayores valores promedio, esto puede explicarse a través de la recirculación de aguas, pues provoca un incremento en los componentes orgánicos de la misma (Figura 13).

Cuadro 26. Resumen estadístico de los datos de conductividad eléctrica en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio ($\mu\text{homs/cm}$ a 25 °C).

Beneficio	Tipo de Agua	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	605.0	1323.0	999.3	0.9890	0.0001
	2	515.0	1145.0	998.5		
	3	256.0	740.0	497.6	0.0298	
	4	256.0	965.0	617.1		
2	1	10.23	1514.0	1164.8	0.0001	0.0001
	2	365.0	994.0	577.1	0.0001	
	3	317.0	656.0	495.6		
	4	426.0	773.0	664.7		
3	1	983.0	1380.0	1119.0	0.0001	0.2083
	2	968.0	1139.0	1038.2	0.0001	
	3	741.0	845.0	779.7		
	4	340.0	751.0	431.6		
4	1	2386.0	4966.0	3890.7	0.1065	0.0112
	2	1702.0	3447.0	2374.7	0.1670	
	3	1212.0	2076.0	1644.0		
	4	110.0	185.0	147.5		
5	1	537.0	1163.0	640.3	0.0001	
	2	5.29	647.0	404.2		
6	1	484.0	647.0	554.3	0.00222	0.8890
	2	460.0	643.0	547.3	0.0034	
	3	227.0	353.0	279.0		
	4	215.0	365.0	275.3		
7	1	825.0	867.0	846.0		
	2	581.0	864.0	696.0		
	3	445.0	535.0	490.0		
	4	695.0	715.0	705.0		
8	1	820.0	2000.0	1164.5	0.3406	0.0006
	2	594.0	1197.0	840.2	0.2262	
	3	247.0	317.0	270.7		
	4	383.0	420.0	401.5		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

Criterio: El nivel tolerable para consumo humano es de 50-1500 $\mu\text{homs/cm}$ a 25 °C y valores menores de 750 $\mu\text{homs/cm}$ a 25 °C no tienen ninguna restricción para riego.

6.2.8 Temperatura

El análisis de la temperatura en los ocho beneficios de café no reporto diferencias estadísticamente significativas entre las aguas de lavado y despulpado, lo que sugiere que los tratamientos a que son sometidas las aguas residuales no provocan alteración en la variable temperatura. Por otra parte sus valores promedio se mantuvieron dentro del rango de consumo humano (18-30 °C. Este parámetro es importante por el efecto que tiene en la vida acuática, velocidades de reacción y aplicabilidad del agua para usos múltiples.

Cuadro 27. Resumen estadístico de los datos de temperatura en las aguas de despulpado y lavado por cada beneficio (°C).

Beneficio	Tipo de Agua	Mínimo	Máximo	Promedio	(1)	(2)
1	1	18.5	23.3	21.1		
	2	18.5	23.2	21.3		
	3	18.2	22.5	21.1		
	4	18.5	22.0	21.0		
2	1	21.6	29.1	23.0	0.2514	0.0001
	2	21.6	40.2	23.3	0.4592	
	3	22.8	50.1	25.8		
	4	22.9	42.8	25.5		
3	1	22.5	24.2	23.3	0.8926	0.0001
	2	22.8	24.9	23.9	0.0055	
	3	23.5	24.3	23.9		
	4	22.1	23.5	22.7		
4	1	19.5	22.6	21.0		
	2	20.5	20.8	20.6		
	3	19.5	21.3	20.4		
	4	19.2	19.5	19.4		
5	1	16.6	28.3	19.2		
	2	17.4	18.2	17.7		
6	1	17.6	18.8	18.1		
	2	17.6	18.7	18.1		
	3	15.3	17.8	16.9		
	4	15.3	17.7	16.8		
7	1	19.7	19.8	19.7		
	2	19.3	23.0	20.6		
	3	19.1	19.1	19.1		
	4	21.9	22.1	22.0		
8	1	17.1	25.6	20.7		
	2	17.2	21.1	19.3		
	3	13.1	18.2	16.1		
	4	17.1	17.5	17.3		

(1) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de despulpado y lavado (tratadas y sin tratamiento).

(2) Comparación usando contrastes ortogonales de las aguas de lavado y despulpado.

Criterio: Valores entre 18-30 °C son aptos para consumo humano.

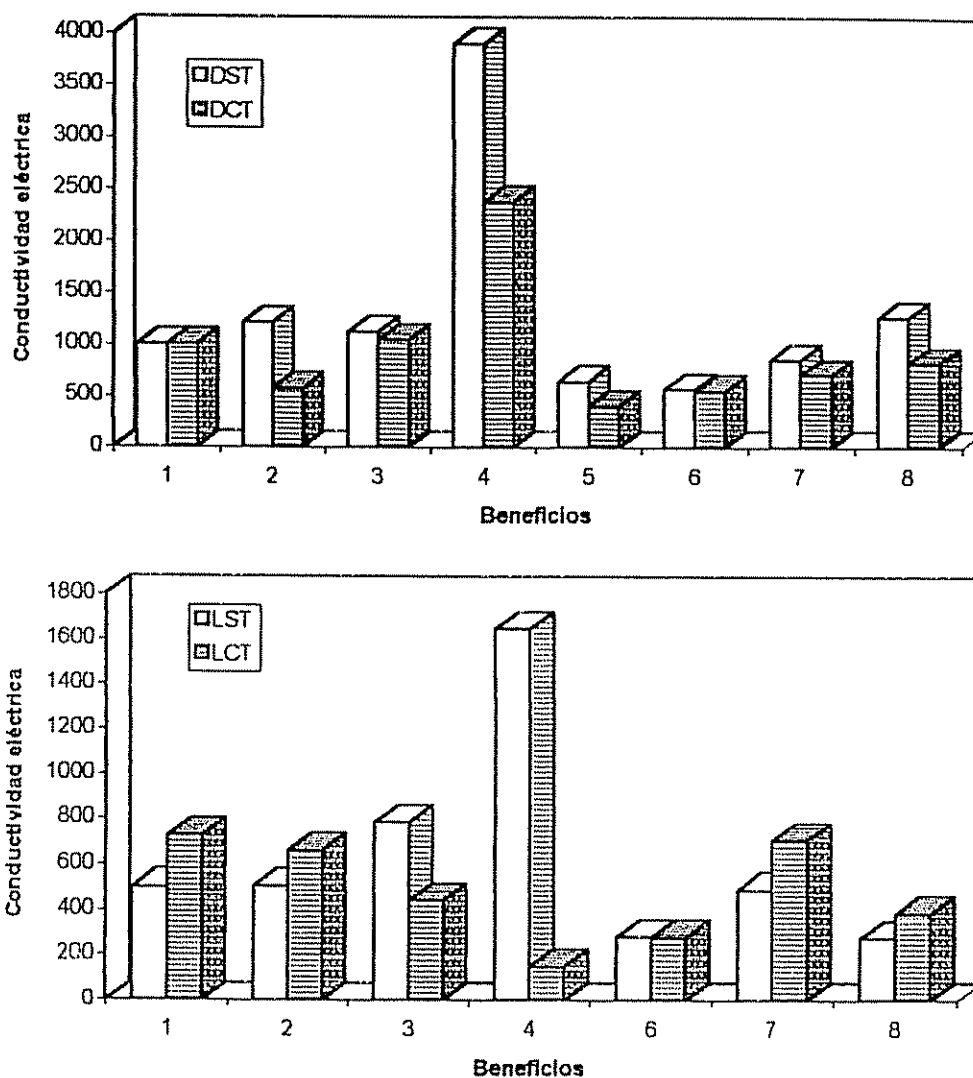


Figura 13. Valores promedio de la conductividad eléctrica de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. ($\mu\text{homs}/\text{cm}$ a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

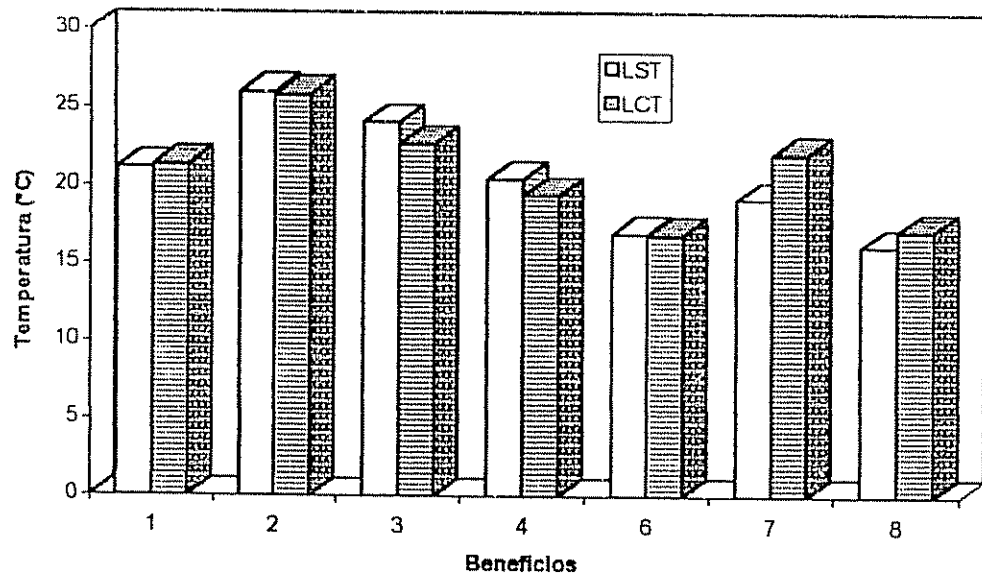
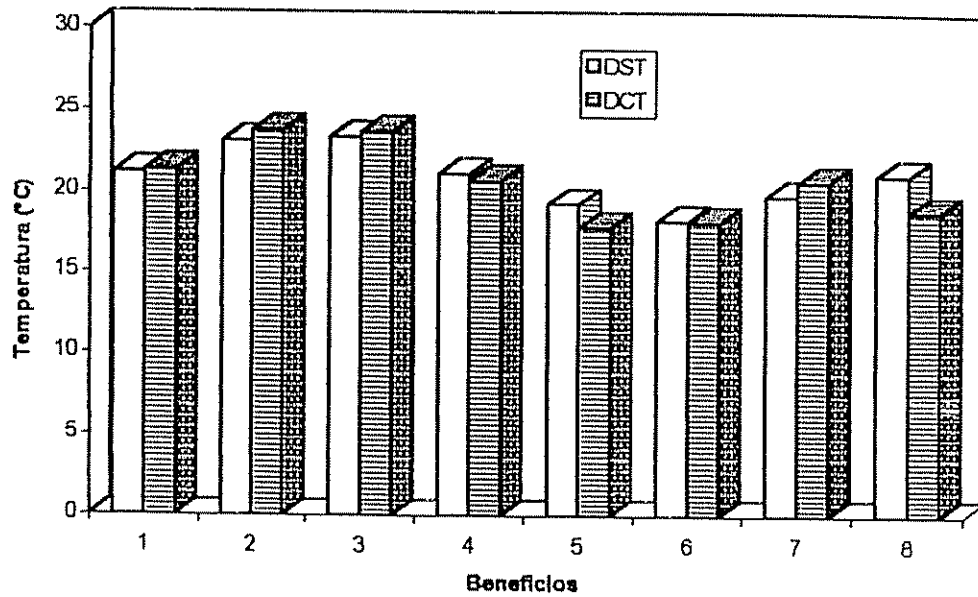


Figura 14. Valores promedio de temperatura de las aguas de despulpado y lavado antes y después de ser tratadas, en ocho beneficios de café en la Zona Central de Costa Rica. (°C)

6.3 Resultados de eficiencia de los sistemas de tratamiento

Los principales parámetros escogidos para determinar la eficiencia fueron la DBOs y la DQO, considerándola como la disminución relativa de la carga orgánica ($\text{mg O}_2/\text{l}$), después de ser tratada (Castillo et al., 1993).

Según, los datos reportados en la determinación de la eficiencia en el tratamiento de aguas en cada beneficio, se puede observar que el beneficio B1, muestra una eficiencia, en función de la DBOs, de 13.0 % en sus aguas de despulpado y un 15.7 % en la reducción del DQO. Con respecto a las aguas de lavado no se reporta porcentaje de eficiencia, pues la carga orgánica de las aguas de lavado sin tratar son mayores que las tratadas -DBO (1) < DBO (2)- lo que se podría deber a que la práctica de recirculación de aguas aumenta dicha concentración, además, las aguas de lavado de la fermentación tienden a aumentar el DBO, debido al mayor tiempo de contacto del agua y el material vegetal (Cuadro 28 y 29).

Esta baja eficiencia en el beneficio B1 se podría deber a que este beneficio aún realizaba el despulpado con agua y las desmucilaginasadoras mecánicas (Agua-pulpa) sólo eran utilizadas para el grano de segunda y el grano de primera (maduro) era sometido al proceso de fermentación, procedimiento que en la actualidad ya fue modificado. Asimismo, el sedimentador operaba a caudal continuo y el transporte de pulpa era realizado hidráulicamente.

El beneficio B2, presentó una eficiencia de 81.2 % en el tratamiento de sus aguas de despulpado, no así en sus aguas de lavado que sólo ascendió a 2.2 % con respecto a la DBO. Asimismo, con respecto a la DQO su eficiencia fue de 86.7 % y 29.8 % en sus aguas de despulpado y lavado respectivamente (Cuadro 28 y 29).

Esto sugiere que las aguas de lavado no son tratadas en el beneficio B2 o que la baja concentración de DBOs de las aguas de lavado antes de ser tratadas ($1380 \text{ mg O}_2/\text{l}$) baja su eficiencia, pues es mejor tratar aguas más concentradas¹⁵. La eficiencia obtenida en su tratamiento de las aguas de despulpado (81.2%) se debe a que posee un tratamiento de tipo final para sus aguas; además, de las modificaciones de la planta (despulpado en seco, conducción no hidráulica de la pulpa y

¹⁵ Vasquez, R. 1995. Sistemas de tratamiento de aguas residuales en los beneficios de café en Costa Rica. CICAPE. Barva de Heredia. (Comunicación personal).

desmucilaginado mecánico, tamizado y tanque sedimentador de aguas residuales, posee una laguna de oxidación anaeróbica.

Esto es evidente al analizar el porcentaje de eficiencia en la disminución de los sólidos disueltos del beneficio B2 que fue de 90.8 %, ya que la mayor parte de sólidos totales esta formada por sólidos disueltos, los cuales, no son sedimentables, o sea que esta reducción se le puede asociar al empleo de la laguna anaeróbica. Siendo su biodegradabilidad (ratio DQO/DBOs) de 1.16 y 1.23 para sus aguas de despulpado y lavado respectivamente (Cuadro 30). Como es evidente la naturaleza orgánica de la contaminación de los beneficios, su alta biodegradabilidad y su alto contenido de sólidos disueltos hacen imprescindible un tratamiento de tipo biológico, además de la sedimentación como tratamiento unitario.

Cuadro 28. Reducción de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas de despulpado y lavado, como indicador de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

Beneficio	Tipo de Agua	DBO (1)	DBO (2)	DBO (REMOVIDO)	Eficiencia (%)
B1	DESPULPADO	6630.0	5770.0	860.0	12.97
	LAVADO	1943.3	3396.7	-1453.4	
B2	DESPULPADO	5486.7	1033.3	4453.4	81.16
	LAVADO	1380.0	1350.0	30.0	2.17
B3	DESPULPADO	5140.0	4130.0	1010.0	19.64
	LAVADO	4725.0	1470.0	3255.0	68.88
B4	DESPULPADO	20493.3	10563.3	9930.0	48.45
	LAVADO	4875.0	307.5	4567.5	93.69
B5	DESPULPADO	4750	2273.3	2476.7	52.14
	LAVADO	-	-	-	-
B6	DESPULPADO	4404.7	4213.3	191.4	4.34
	LAVADO	854.3	826.0	28.3	3.31
B7	DESPULPADO	4550.0	3353.3	1196.7	26.30
	LAVADO	2170.0	2950.0	-780	
B8	DESPULPADO	8377.0	4255.0	4122.0	49.2
	LAVADO	961.3	951.0	10.3	1.07

DBO (1)= antes de tratamiento; DBO (2) Después de tratamiento.

Criterio: Máximo permisible para la industria cafetalera (1000 mg O₂/l).

En el beneficio B4, se obtuvieron porcentajes de eficiencia (DBOs) de 48.5 % en las aguas de despulpado y 93.7 % en las de lavado; cifras semejantes se obtuvieron en la DQO (Cuadro 28 y 29). Este beneficio basa su tratamiento de aguas residuales en la sedimentación prolongada y la utilización de un producto llamado Biowaterclean, el problema de un tiempo de retención muy largo, es que los sólidos sedimentados podrían volverse sépticos y agotar el contenido de oxígeno disuelto (Urpi, 1977). El beneficio B5, presenta una eficiencia de 52.1 % en sus aguas de despulpado, este beneficio cuenta con el sistema

de conducción de pulpa no hidráulicamente, recirculación de las aguas de lavado y despulpado, tamizado y sedimentación natural.

Cuadro 29. Reducción de la demanda química de oxígeno en aguas de despulpado y lavado, como indicador de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

Beneficio	Tipo de Agua	DQO (1)	DQO (2)	DQO (REMOVIDO)	Eficiencia (%)
B1	DESPULPADO	11266.7	9496.7	1770.0	15.71
	LAVADO	4296.7	4893.3	-596.6	
B2	DESPULPADO	9760.0	1200.0	8560.0	86.7
	LAVADO	2373.3	1666.3	707.0	29.8
B3	DESPULPADO	7805.0	4636.7	3168.3	40.6
	LAVADO	5642.5	2355.0	3287.5	58.3
B4	DESPULPADO	43334.7	27283.3	16051.4	37.04
	LAVADO	13170.0	458.0	12712.0	96.64
B5	DESPULPADO	9053.7	3596.7	5457.0	60.3
	LAVADO	-	-	-	
B6	DESPULPADO	8246.7	8212.3	34.4	0.42
	LAVADO	2045.3	1856.0	189.3	9.25
B7	DESPULPADO	8395.0	5933.3	2461.7	19.76
	LAVADO	3865.0	4860.0	-995.0	
B8	DESPULPADO	12956.0	5555.7	7400.3	32.88
	LAVADO	1546.0	2062.5	-516.0	

DQO (1)= antes de tratamiento; DQO (2) Después de tratamiento.
Criterio: Máximo permisible para la industria cafetalera (1500 mg O₂/l).

El beneficio B3, reporta una eficiencia de 19.6 % y 68.9 % en sus aguas de despulpado y lavado con respecto a la DBO₅, con una biodegradabilidad de 1.1 y 1.6, respectivamente (Cuadro 28 y 30). Este beneficio realiza la sedimentación de tipo química (neutralización), además de añadir microorganismos (bacterias) en el tanque sedimentador, esta actividad la realizan previa a la entrada del agua al tanque, mezclándola a través de un agitador. El agua la recirculan de 4 a 5 días, luego la botan pues el pH baja de 5, lo que puede provocar una disminución en la calidad del café así procesado¹⁶. Sin embargo, el sedimentador estaba funcionando a caudal continuo. El sistema implementado tiene un costo de US \$ 172109.98, de los cuales US \$ 26319.39 son costos de operación y constituidos en un 60% por el costo de la bacteria que utilizan.

La eficiencia más baja en el tratamiento de las aguas de despulpado y de lavado se presentó en el beneficio B6, el cual reportó porcentajes de 4.3 % y 3.3 % con respecto a la DBO₅ con

¹⁶ Romero, A. 1996. Sistema de tratamiento de aguas en el Beneficio Romo, Turrialba. Beneficio Romo. Turrialba, Costa Rica. (Comunicación personal)

resultados similares en función de la DQO. Este beneficio no contaba con sedimentador cuando se realizó el estudio, esto podría ser el origen de la baja eficiencia, pues como señala Ochoa (1981) el uso de sedimentación en aguas residuales del beneficiado húmedo de café es responsable del 80 % de la reducción de los sólidos suspendidos y de la reducción del 10 al 30 % de la DBO₅. Además, el desmucilaginado del grano de café lo hacen a través de fermentación, lo que incrementa la carga contaminante, ya que tiene que permanecer entre 12-48 horas en contacto con el agua.

Los beneficios B7 y B8, reportan eficiencias prácticamente nulas en el tratamiento de sus aguas de lavado. Con respecto a las aguas de despulpado presentan porcentajes de eficiencia de 26.3 % y 49.2 % con respecto a la DBO₅, respectivamente (Cuadro 28 y 29). Sin embargo, estos beneficios se han dedicado a reducir la cantidad de agua utilizada y aunque tengan la infraestructura para realizar la sedimentación, aún no la utilizan o lo que es peor no saben como manejar su sistema de tratamiento de aguas.

La relación o tasa de biodegradabilidad para las aguas de despulpado y lavado se pueden observar en el Cuadro 30, donde es evidente, en términos generales, que estas aguas presentan una buena biodegradabilidad.

Cuadro 30. Biodegradabilidad de las aguas de despulpado y lavado en ocho beneficios de café de la Zona Central de Costa Rica (DQO/DBO₅).

Beneficio	Tipo de agua	Biodegradabilidad DQO/DBO ₅
B1	DESPULPADO	1.65
	LAVADO	1.44
B2	DESPULPADO	1.16
	LAVADO	1.23
B3	DESPULPADO	1.12
	LAVADO	1.60
B4	DESPULPADO	2.58
	LAVADO	1.48
B5	DESPULPADO	1.58
	LAVADO	-
B6	DESPULPADO	1.94
	LAVADO	2.24
B7	DESPULPADO	1.76
	LAVADO	1.64
B8	DESPULPADO	1.30
	LAVADO	2.16

Criterio: Buena biodegradabilidad (ratio DQO/DBO entre 1.3 y 2.0). Bailly, (1992).

Cuadro 31. Resumen de los resultados obtenidos en ocho beneficios de café en la zona central de Costa Rica.

BENEFICIO	TIPO DE SISTEMA INSTALADO	COSTO FIJO US \$	COSTO DE OPERACIÓN US \$	COSTO TOTAL US \$	EFICIENCIA% (remoción de DB05)	COSTO M ³ de agua tratada l/	TAMAÑO
B1	Recirculación de aguas Agua-pulpa Despulpado en seco Transporte no hidráulico Tamizado, sedimentador y laguna de lodos.	100840.1	10582.6	111422.7	=13.0	0.08	Mediano
B2	Recirculación de aguas Agua-pulpa Despulpado en seco Transporte no hidráulico Tamizado, sedimentador, laguna de lodos y laguna anaeróbica.	52035.0	13370.1	65405.1	Despulpado = 81.16 Lavado =2.2	0.09	Mediano
B3	Recirculación de aguas Agua-pulpa Despulpado en seco Transporte no hidráulico Tamizado, sedimentador y laguna de lodos.	145790.6	26319.4	172109.9	Despulpado = 19.6 Lavado = 68.9	0.38	Mediano
B4	Recirculación de aguas Agua-pulpa Despulpado en seco Transporte no hidráulico Tamizado, sedimentador.	23020.0	4130.0	27150.0	Despulpado =48.45 Lavado = 93.7	0.26	Pequeño

Continuación...

B5	Recirculación de aguas Agua-pulpa Transporte no hidráulico Tamizado, sedimentador y laguna de lodos.	41424.4	1175.1	42599.6	Despulpado =52.1	0.15	Pequeño
B6	Recirculación de aguas Despulpado en seco Tamizado de aguas	50914.6	1302.7	52217.2	Despulpado = 4.3 Lavado = 3.3	0.04	Pequeño
B7	Recirculación de aguas Despulpado en seco Transporte no hidráulico Tamizado, sedimentador y laguna de lodos.	284534.1	105808.9	390342.9	Despulpado = 26.3	0.16	Grande
B8	Recirculación de aguas Agua-pulpa Despulpado en seco Transporte no hidráulico Tamizado, sedimentador y laguna de lodos.	232403.2	47086.3	279489.6	Despulpado = 49.2 Lavado = 1.1	0.09	Grande

1/ El costo por m³ de agua tratada esta dado a través de una anualidad uniforme equivalente (CAUE), si se desea el costo por fanega de café oro (multiplicar el precio por el factor 5.29).

Los tipos de sistemas instalados se basa en dos tipos, los reductores de la cantidad de agua utilizada y los tratamientos físicos (sedimentador y tamizado). Sin embargo, sus diferencias se pueden asociar con el manejo que se le da a cada sistema.

En el Cuadro 32 se puede apreciar que los beneficios B1, B2 y B3 reportan un costo promedio por metro cúbico de agua tratada de 0.18 US \$, los pequeños oscilan en un promedio de 0.15 US \$ y los grandes son los de más bajo costo 0.13 US \$. Esto representado como una cantidad uniforme en el tiempo. Esto es comprensible, pues los beneficios medianos tienen costos fijos y de operación entre 6 y 9 veces mayores que los pequeños. Sin embargo, la eficiencia de los sistemas no se observa que tenga relación con la inversión realizada, pues como es de suponer esta ligada en forma directa a la forma como se maneja el sistema y no así a la cantidad de dinero invertida.

En el Cuadro 31 se puede observar un resumen de los resultados obtenidos en los ocho beneficios en estudio, haciendo una relación entre el tamaño de beneficio, costos por sistemas de tratamiento de aguas, y la eficiencia obtenida en función de la DBOs removida.

6.4 Resultados de la determinación de los costos defensivos

Los costos defensivos incurridos por el sector cafetalero para mitigar, proteger o disminuir la contaminación de las fuentes de agua producidas por la industrialización del fruto de café, fueron obtenidos en función de los costos por concepto de adecuación de planta para disminuir la cantidad de agua utilizada (despulpado en seco, conducción no hidráulica de pulpa, recirculación de aguas, desmucilaginado mecánico y tamizado de aguas; Además, de los costos por tratamientos de aguas residuales utilizados en cada beneficio (sedimentadores, lagunas de lodos, lagunas de oxidación anaeróbica, etc.).

Para la determinación de los costos defensivos de los beneficios en estudio, se tomó como base los costos de ocho beneficios (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 y B8). Los cuales son de capacidad instalada diferente. Se determinó una vida útil de 20 años y una tasa de descuento de 5.29 % (Bonos del Tesoro de EE.UU.), por considerarse una tasa conservadora que no ha fluctuado notoriamente en los últimos años, ya que son inversiones de bajo riesgo.

Se tomó como base la cantidad de café cereza procesada en la cosecha 95/96 por los beneficios en estudio, proyectándola a 20 años, con el supuesto que durante ese tiempo no habrán rein-

versiones, y el valor de salvamento se consideró en cero. Se conoce que los activos fijos (infraestructura) tienen una vida útil de 20 años y la maquinaria y equipo a 10 años. Hay que recordar que el concepto de vida útil es económico y relativo, por lo tanto, dependerá más bien de la obsolescencia del equipo, la cual se ha estimado en 20 años.

6.5 Análisis de los costos por medio del costo anual uniforme equivalente (CAUE)

Para comprobar cual de los beneficios presenta un menor costo, se presenta el resultado de la transformación de flujos de costos.

Cuadro 32. Determinación del costo anual uniforme equivalente por beneficio. (US \$).

BENEFICIO	Costo Fijo	Costo de operación	Costo Total	Vida Útil	CAUE
B1	100840.06	10582.64	111422.70	20	18874.45
B2	52035.01	13370.12	65405.13	20	16648.82
B3	145790.59	26319.39	172109.98	20	38307.37
B4	23020.00	4130.00	27150.00	20	6022.87
B5	41424.41	1175.14	42599.55	20	4581.36
B6	50914.57	1302.65	52217.22	20	5489.22
B7	284534.08	105808.88	390342.96	20	129205.37
B8	232403.24	47086.31	279489.5	20	66196.22

$$1/B2 = CAM + (A/P, 5.29, 20) \text{ ó } A = P [i (1+i)^n / (1+i)^n - 1] + CAM$$

En el Cuadro 32, se puede notar que el beneficio B7 es el de mayor costo, sin embargo esto está relacionado con su mayor tamaño, pero el CAUE nos puede servir para comparar los beneficios por estrato: pequeños (B4, B5 y B6); medianos (B1, B2 y B3) y grandes (B7 y B8); como también, para determinar una cantidad uniforme anual que se pueda descontar al producto doméstico neto en años futuros. Si se observa el total de costos para los beneficios B4, B5 y B6 se podría concluir que el de más bajo costo es el beneficio B4. Sin embargo, al analizar los CAUE nos damos cuenta que es el Beneficio B5 el que tiene los menor costo.

En el Cuadro 33 se observan los costos defensivos incurridos por los beneficiadores de café en cada uno de las empresas estudiadas, este se presenta como un valor total expresado por el Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) y un costo por metro cúbico de agua utilizado por cada beneficio.

Cuadro 33. Determinación de los costos defensivos por m³ de agua a descontaminar.

Beneficio	m ³ /fanega café cereza	Total de fanegas 95/96	Total m ³	CAUE US \$	Costo defensiv/ m ³ (US \$)
B1	1.35	176674.36	238510.39	18874.45	0.08
B2	1.08	165594.84	178842.42	16648.82	0.09
B3	0.63	159671.78	100593.22	38307.37	0.38
B4	0.49	47610.00	23328.9	6022.87	0.26
B5	0.42	55566.16	23337.78	4581.36	0.15
B6	2.24	67042.29	150174.73	5489.22	0.04
B7	1.00	780500.88	780500.88	129205.37	0.16
B8	1.02	138957.9	141737.10	66196.22	0.09

6.6 Aproximación de los costos defensivos del sector cafetalero a nivel nacional

Desde 1992, el sector beneficiador costarricense apoyado por el Instituto del Café de Costa Rica se propuso operar sus plantas industriales libres de contaminación ambiental. Por este motivo el sector cafetalero ha invertido alrededor de 1500 millones de colones (US \$ 7 071 468.9) en sus sistemas de tratamiento de aguas residuales y adecuación de instalaciones con el objetivo de disminuir la contaminación de las aguas residuales que esta agroindustria genera, generando costos defensivos por un valor de US \$ 3 193 294.03.

De acuerdo al boletín estadístico de 1995 del Consejo Monetario Centroamericano, en el periodo 94/95 el volumen de café exportado fue de 2 868 700 fanegas de café oro, las cuales fueron vendidas a un precio promedio de US \$ 108.13 por fanega de café oro (46 kilogramos), obteniéndose un valor de las exportaciones para ese periodo de US \$ 310 192 531, representando los costos defensivos el 1.02% del total de las exportaciones de café a nivel nacional.

En el Cuadro 34, se presenta una aproximación de los costos defensivos incurridos por la industria cafetalera costarricense expresados en función del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE) lo que nos permite descontar una misma cantidad durante un periodo de tiempo establecido

Cuadro 34. Costos defensivos incurridos por el subsector café, por concepto de minimizar el impacto ambiental producido por el beneficiado del fruto de café.

Tamaño de Beneficio	N° de Beneficios	%	Cantidad declarada en fanegas 94/95	Rendimiento de Beneficiado	Café cereza procesado	m ³ por fanega	Total de m ³ utilizados	CAVE/ m ³ /1	Total de costos defensivos 2/
PEQUEÑO	45	47.4	435 667.28	5.29	2 304 679.91	2.24	5162483.0	0.15	774360.45
MEDIANO	40	42.1	1658477.71	5.29	8 773 347.01	1.02	8948813.95	0.18	1610786.51
GRANDE	10	10.5	1202095.42	5.07	6 094 623.78	1.02	6216516.3	0.13	808147.12
TOTAL		100			17 172 650.7				3193294.03

1/ Costo por m³. Como una anualidad uniforme equivalente.

2/ US \$ a descontar del Producto Doméstico Neto (PDN), para corregir el PIB nacional del subsector café.

XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados de esta investigación se puede llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. Los costos defensivos en que incurre la agroindustria cafetalera son variables y reportan valores promedio para beneficios pequeños de US \$ 0.15 y para beneficios medianos y grandes de 0.18 y 0.13, respectivamente por metro cúbico de agua utilizada, lo que sugiere la necesidad de reducir la cantidad de agua utilizada en el proceso hasta 1 m³ que es el volumen de agua que se ha fijado como meta el sector cafetalero costarricense.
2. Los costos defensivos a nivel nacional en que incurre el subsector beneficiador de café ascienden a US \$ 3 193 294.03, este representa el 1.02 % de las exportaciones del subsector café a nivel nacional.
3. Se sugiere que el valor de los costos defensivos del subsector café pueden ser utilizados para corregir defensivamente el Producto Interno Bruto (PIB), a través de la corrección del Producto Doméstico Neto (PDN).
4. Se pudo determinar que los parámetros de calidad de agua analizados en las aguas de despulpado y lavado (antes y después de ser tratadas) de cada beneficio; mostraron diferencias estadísticamente significativas en función del sistema de tratamiento utilizado y las modificaciones en las instalaciones para reducir la cantidad de agua utilizada. Así, para los beneficios que sólo contaban con tamices la reducción fue menor; que los que contaban con tratamiento final (laguna de oxidación).
5. Es necesario que los sistemas primarios de tratamiento de aguas residuales, sean complementados con un tratamiento secundario de tipo biológico, como son las lagunas de oxidación anaeróbica, ya que por su naturaleza esencialmente orgánica, ácida, buena biodegradabilidad y composición física principalmente disuelta de las aguas residuales del beneficiado húmedo de café hacen privilegiar este tipo de tratamiento.
6. En función de datos históricos de consumo de agua en el proceso de beneficiado de café se pudo establecer una reducción en los caudales utilizados en las aguas de despulpado y de lavado, esto se debe principalmente a la instalación del des-

pulpado en seco, desmucilaginado mecánico, conducción de pulpa no hidráulicamente y recirculación de las aguas. Obteniéndose, caudales totales (despulpado y lavado) entre 1.02 y 2.24 m³ por fanega de café cereza procesada.

7. Las eficiencias de los sistemas de tratamiento de aguas utilizados en cada beneficio fueron variables, dependiendo principalmente de aspectos relacionados con la operación de los sistemas. Donde podemos concluir que ninguno de los beneficios cumple con los estándares indicados por el gobierno de Costa Rica para la industria cafetalera. Lo que implica, la necesidad de seguir trabajando en la reducción de la cantidad de agua utilizada y de implantar sistemas de tratamiento final, además de la sedimentación.

8. Es necesario que antes de establecer sus sistemas primarios de tratamiento de aguas residuales, como tamices y sedimentadores, se debe de consolidar la etapa del convenio institucional entre el gobierno y el sector cafetalero el cual, se fundamenta en la reducción del agua utilizada en el proceso de beneficiado de café, pues de lo contrario se estará dimensionando el sistema para una mayor cantidad de agua, lo cual implica un incremento en los costos defensivos incurridos por el sector, que no necesariamente tienen correspondencia con la eficiencia obtenida.

9. Los beneficiadores de café de Costa Rica deben de buscar apoyo técnico para la operación de sus sistemas de tratamiento de aguas residuales que les permita operar en forma más eficiente. Este puede ser de origen privado o público, siendo de vital importancia, pues de lo contrario no llegarán a la eficiencia que la ley nacional estipula.

10. El sector cafetalero Costarricense no cuenta con el suficiente conocimiento técnico que le permita manejar de una forma adecuada y eficientemente sus sistemas de tratamiento de aguas residuales. Dando como consecuencia una inversión en extremo onerosa y resultados poco satisfactorios.

11. Las empresas beneficiadoras de café deben contar con registros contables específicos, donde se puedan ubicar los costos defensivos por concepto de protección al medio ambiente.

12. Las normas de calidad de agua del sector cafetalero deberán estar relacionadas al uso que se desea proteger y del grado de deterioro del recurso agua que pueda ser tolerado por la comunidad.

13. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales en Costa Rica se encuentran en la etapa previa al tratamiento biológico de las aguas, por lo tanto las bajas eficiencias se deben a la naturaleza esencialmente disuelta de los sólidos totales, pues con una sedimentación natural, sólo se puede remover el 20 % de los sólidos sedimentables y si es química hasta un 95 %, sin embargo, alrededor del 70 al 75 % de la contaminación es de naturaleza disuelta.

14. El subsector beneficiador de café, aún cuando realice un esfuerzo de inversión grande, no entrega el agua con las características de calidad que la recibe, presentando severas restricciones para múltiples usos como: Agricultura, acuacultura, riego, consumo humano, recreación, etc.

15. Ninguno de los beneficios cumple con los estándares indicados por el gobierno de Costa Rica para la industria cafetalera. Sólo los beneficios B2 y B4 cumplen con las exigencias en sus aguas de despulpado y lavado respectivamente. Esto es debido a que el Beneficio B2 cuenta con un sistema de tratamiento complementario y el B4 tiene tiempos de retención muy amplios (12d.)

XI. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ALVAREZ, J. 1993.** Desarrollo y evaluación del desempeño de un separador hidráulico para café. *Cenicafé* (Colombia) 44(1):5-9.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1992.** Standard methods for the examination of water and wastewater. 18 ed. Ed. A. Grenberg; L. Clesceri; A. Eaton. American Public Health Association. E.E.U.U. Cap. 1: 1-41 Cap. 2: 1-75.
- ARIAS, U.; NIGIANI, R. 1987.** Tratamiento anaeróbico y reutilización de las aguas residuales de lavado de café en reactores UASB a temperatura entre 20-25 °C. In Simposio Internacional sobre Utilización Integral de los Subproductos del Café (3, 1987, Guatemala). Memoria. Guatemala, p. 111-121.
- ASTORGA, Y.; COTO, J. 1996.** Situación de los recursos hídricos en Costa Rica. In UNA. Utilización y manejo sostenible de los recursos hídricos. Ed. J. Reynolds. Heredia, C.R. Editorial Fundación. p. 127-132.
- BAILLY, H.; SALÉE, B. ; GARCÍA, S. 1992.** Proyectos de tratamientos de aguas residuales de beneficios húmedos (en francés). *Café Cacao y Thé*, 26(2):129-141.
- BAJÖ, J. 1991.** Economics analysis of environmental impacts. In Linking the natural environmental and the economy: Essays from the eco-eco group. Ed. C. Folke; T. Kaberger. Netherlands, Kluwer Academic Publishers. v.1, p. 44-59.
- BARRIENTOS, E. s.f.** Evaluación de la pulpa de café como abono. Veracruz, Méx, Instituto Mexicano del café. 5 p.
- BLANK, L.; TARQUIN, A. 1992.** Ingeniería económica. Ed. C, Mendoza. 3 ed. México, D.F., MCGRAW HILL. 546 p.
- BONILLA, A.; MEZA, T. 1994.** Problemas de desarrollo sustentable: El caso de Costa Rica. Ed. R, Astúa. San José, Costa Rica, Editorial Alma Mater. 142 p.
- BRENES, E. 1995.** Evaluación de proyectos e impacto ambiental. Ed. E, Brenes; S, Cordero. Alajuela, Costa Rica. INCAE. 262 p.

- CALZADA, J.; PORRES, C. 1987.** Planta piloto para el tratamiento de efluentes del beneficiado de café. In Utilización Integral de los Subproductos del Café (3, 1987, Guatemala). Memoria. Guatemala p. 85-90.
- CALZADA, J; ROLZ, C. 1983.** Anaerobic digestion in the integrated utilization of coffee wastes. Proceedings of the Third International Symposium on Anaerobic Digestion. Boston, Massachusetts, 1983. p 315-324.
- CASTILLO, M.; BAILLY, H.; VIOLE, P.; POMMARES, P.; SALLEE. B. 1993.** Tratamiento de aguas residuales de café en la cuenca de Coatepec, Veracruz, México. In XV Coloquio Científico Internacional sobre el café, Montpellier, Francia. 1993. 43(2): 143-150.
- CHINCHILLA, E. 1987.** Atlas cantonal de Costa Rica. IFAN(Instituto de Fomento y Asesoría). Departamento Territorial Municipal. San José, Costa Rica. 396 p.
- CIRIACY, S. 1985.** Natural resource economics selected papers. Ed. R.C. Bishop; S.O. Andersen. London, U.K, Westview Press. 321 p.
- CLEVES, R. 1995.** Tecnología en beneficiado de café. San José, Costa Rica, Técnicafé Internacional. 176 p.
- CONSEJO MONETARIO CENTROAMERICANO. 1995.** Boletín estadístico 1995. San José, C.R. 140 p.
- Departamento Nacional de Planeación de Colombia, Bogotá, Col. 1993.** Manual metodológico para la identificación, preparación y evaluación de proyectos ambientales. Bogotá, Colombia. BID/ILPES. 250 p.
- DUICELA, L.; SOTOMAYOR, I. 1993.** Cosecha y beneficio. In Manual del cultivo del café. Ed. I. Sotomayor. Quevedo, Ecuador. INIAP (Estación Experimental Tropical Pichilingue) /GTZ/ FUNDAGRO (Fundación para el desarrollo Agropecuario) p. 198-219.
- COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS AGRONOMOS DE CENTRO Y CANARIAS. s.f.** Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural. Editorial Agrícola Española. Madrid, España. TRAGSATEC. 406 p.

- CORDERO, A. 1979.** Caracterización de aguas residuales del beneficiado de café: Tratamiento de Aguas Residuales del Beneficiado del Café. Centro de Investigación en Café (CICAPE). San José, Costa Rica, Oficina del Café. 23 p.
- EKINS, P. 1995.** On the correct treatment of defensive expenditures in the national accounts. Nairobi, Kenia. 42 p.
- FAIR, G.; GEYER, J.; OKUN, D. 1979.** Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. 3 ed. Cali, Colombia, LIMUSA. v.2, p. 764.
- FREDERICK, K. 1984.** Current water issues. Journal Soil & Water (EE.UU.) 39(2):86-91.
- GARCIA, N. 1988.** Cafetales y café: cosecha y beneficio. Caracas, Ven, 177-183 p.
- GOCHEZ, S. 1974.** Contaminación de las aguas por las aguas mieles del café. Tesis Ing. Quim. Ind. San Salvador, El Salvador, Universidad "José Simeón Cañas" (UCA). 78 p.
- IICA. 1985.** Redacción de referencias bibliográficas: Normas oficiales del IICA. 3 ed. Instituto Interamericano de Documentación e Información Agrícola (CIDIA). San José. C.R. 57 p.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CAFE. 1988.** Evaluación sobre el problema de aguas residuales en los beneficios húmedos de café. In Foro del Café, Xalapa. Méx. 57 p
- INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA. 1987.** Leyes y reglamentos usuales sobre café. San José, Costa Rica. 78 p.
- INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA. 1992.** Cumplimiento de las políticas del manejo de los efluentes del beneficiado de café en Costa Rica. Circular N° 370. San José. setiembre. C.R. 3 p.
- INSTITUTO DE ESTUDIOS TRIBUTARIOS CONTABLES. 1996.** Reglamento del impuesto sobre la renta. 6 ed. Ed. J. Estrada. San José, Costa Rica. 70 p.
- INSTITUTO DEL CAFE DE COSTA RICA. 1995.** Café declarado por los beneficiadores en la cosecha 1994-1995. San José, Costa Rica. 12 p.

- _____. 1995. Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica 1994. San José, Costa Rica. 127 p.
- LITTLE, T.; HILLS, F. 1990. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Editorial Trillas. México. 270 p.
- LÓPEZ, G.; LÓPEZ, J. 1993. Introducción al micro SAS: aplicación al análisis de experimentos agrícolas. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 101.
- MATA, A. 1982. La contaminación ambiental. Tecnología en Marcha (C. R.) 5(1-2):9-15.
- MAROZZI, M. 1996. Métodos de valoración económica del servicio de agua potable: Ajustes para la sostenibilidad del recurso. *In*. UNA. Utilización y manejo sostenible de los recursos hídricos. Ed. J. Reynolds. Heredia, C.R. Editorial Fundación. p. 81-88.
- METCALF, E. 1981. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Trad. J. Trillo Monsoriu; L. Virto Albert. 2 ed. Barcelona, España, Editorial Labor. p. 837.
- MEMORIAS DEL SEMINARIO TALLER NORMAS DE CALIDAD DE AGUA. 1986. Panamá. 1986. [Normas de Calidad de Aguas]. PRMC/OPS/RENARE/IRHE/ADAAN/MINISTERIO DE SALUD, Turrialba, Costa Rica, CATIE. v.1, 72 p.
- MENCIA, V. 1994. El tratamiento de las aguas provenientes del beneficiado del café. Santa Tecla, El Salvador, Departamento de Agroindustria/PROCAFE, 7 p.
- _____. 1995. Perfil de proyecto: Beneficios ecológicos. San Salvador, El Salvador, UCAFES. 8 p.
- MENDOZA, R.; BADO, L.; VASQUEZ, J.; CHONG, G.; GONZÁLEZ, R. 1994. Diagnóstico de la contaminación en las aguas residuales de los beneficios húmedos de café en Soconusco, Chiapas, México. Tapachula, Chiapas, México. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, 123 p.
- MIJARES, G. s.f. Tratamientos del agua residual. Caracas, Ven, Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, matemáticas y Naturales. v.3, p. 472.

- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y CRÍA, 1977.** Manual cafetero. FONCAFE (Fondo Nacional del Café). 139 P.
- MORALES, J. 1987.** Avance sobre el tratamiento de aguas residuales del beneficiado de café. In Utilización Integral de Subproductos del Café. (16, 1987, Guatemala). Memoria. Guatemala. p. 99-110.
- MORALES, J. s.f.** Aprovechamiento de los principales subproductos del café: Reutilización y prensado de pulpa en el beneficio de café. Huatusco, Méx. Instituto Mexicano de Café. p. 77-107.
- MONTGOMERY, D. 1991.** Diseño y análisis de experimentos. Trad. del Inglés J. Delgado; N. Grepe. México, Grupo Editorial Iberoamericana. 589 p.
- MUNGULA, E. 1972.** Efecto de la contaminación del agua sobre plantas y animales. In Primer Seminario sobre Evaluación de la Contaminación Ambiental. Centro de Capacitación de Personal de la C.F.E. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D. F. p. 79-94.
- ROJAS, G. 1995.** Costos de beneficiado 1993-1994. San José, Costa Rica, Instituto del Café en Costa Rica. San José, Costa Rica. 53 p.
- OCHOA, C.; RAMIREZ, J. 1993.** Reducción de la contaminación producida por los desechos sólidos y líquidos del beneficiado del café: Factibilidad técnica de las metodologías y tecnologías propuestas por el ICAFE. BID /ICAFE. Costa Rica. 10 p.
- PEICCE, 1993.** Acción cuencas río Pampe. Diagnóstico del componente de descontaminación de los residuos del beneficiado del café. In. Seminario- Taller sobre Mejoramiento en el Beneficiado del café: Un reto en aspectos energéticos y ambientales. (Enero-febrero) PROCAFE/CONSEJO SALVADOREÑO DEL CAFE. San Salvador, El Salvador. 17 p.
- RAMOS, A.; SALAZAR, M., s.f.** Tratamiento biológico de efluentes: Cultivo microalgas de clorofitas. In Utilización Integral de Subproductos del Café. (16, 1987, Guatemala) Memoria. Guatemala. p. 111-119.

- REYNOLDS, J. 1996.** Métodos de valoración económica del servicio de agua potable. In UNA. Utilización y manejo sostenible de los recursos hídricos. Heredia, C.R. Editorial Fundación. p. 81-88.
- RODAS, C. 1988.** Los desechos del beneficiado y la contaminación de las fuentes de agua. ANACAFE. Departamento de Asistencia Técnica. Subgerencia de Asuntos Agrícolas Guatemala, 16 p.
- SCHULZ, C.; OKUN, D. 1990.** Tratamiento de aguas residuales para países en desarrollo. México, LIMUSA. 391 p.
- SEQUEIRA, M.; RAMIREZ, J. 1991.** Estimación de la carga de desechos biodegradables vertidos por el procesamiento del café en las corrientes superficiales de la Cuenca, Virilla-Tárcoles. Ciencia y Química. 13(2):23-26.
- SÖDERBAUM, P. 1991.** An institutional perspective to environmental problems. In Linking the natural environmental and the economy: Essays from the eco-eco group. Ed. C. Folke; T. Kaberger. Amsterdam, Netherlands. Kluwer Academic Publishers, v.1, p. 32-42.
- TIETENBERG, T. 1992.** Environmental and Natural Resource Economics. 3 edición. New York, (E.U). HarperCollins Publishers. 677 p.
- TISDELL, C. 1994.** Economics of environmental conservation: Economics for environmental and ecological management. 3 ed. Amsterdam, ELSEVIER SCIENCE. v. 1, 233 p.
- URBINA, G. 1994.** Fundamentos de ingeniería económica. México, McGraw-Hill/Interamericana de México. 305 p.
- URPI, M. 1977.** Evaluación de los sistemas para tratar las aguas residuales del beneficiado del café. San José, Costa Rica, Oficina del Café. 23 p.
- VAN IERLAND, E. 1993.** Macroeconomic analysis of environmental policy. Amsterdam, ELSEVIER SCIENCE. v. 2, 297 p.
- VASQUEZ, R. 1991.** Influencia de la recirculación de las aguas de despulpado de café sobre su calidad. Noticiero del Café. (C.R.) 8(76): 3-6.

- VILLA, J. 1990. Cosecha y beneficiado del café. In El cultivo del café en México. Ed. A. S. Colín. Xalapa, Veracruz, México, Instituto Mexicano del Café/NESTLE. p. 193-211.
- VILLASEÑOR, A. 1987. Caficultura moderna en México. Ed. A. S. Colín. Chapingo, México. 469 p.
- VILLEGAS, J. 1995. Evaluación de la calidad del agua en la cuenca del río Reventado, Cartago, Costa Rica, bajo el enfoque de indicadores de sostenibilidad. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 145 p.
- VIQUEZ, M. 1983. Sistema internacional de pesos y medidas: unidades y conversiones. Cartago, C.R, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 192 p.
- ZULUAGA, V.; COOKMAN, G. 1987. Un sistema de filtro anaerobico de flujo ascendente (U.A.F.) para la biodigestión de aguas residuales del beneficiado de café. In Utilización Integral de Subproductos del Café. (16, 1987, Guatemala) Memoria. Guatemala. p. 122-128.
- ZULUAGA, J. s.f. Utilización integral de los subproductos del café. Chinchiná-Caldas, Colombia, CENICAFE. p. 63-75.



ANEXOS

Anexo 1. Ley de Conservación de la Vida Silvestre**Artículo 132**

Se prohíbe arrojar aguas servidas, aguas negras, desechos o cualquier sustancia contaminante en manantiales, ríos, quebradas, arroyos permanentes y no permanentes, lagos, marismas y embalses naturales o artificiales, esteros, tuberías, pantanos, aguas, dulces, salobres o saladas.

Las instalaciones industriales y agroindustriales y demás instalaciones, deberán estar provistas de sistemas de tratamiento para impedir que los desechos sólidos o aguas contaminadas de cualquier tipo destruyan la vida silvestre. La certificación de calidad de aguas será dada por el Ministerio de Salud.

Quienes no cumplan con lo estipulado con este artículo serán multados con montos que irán entre 50,000 y 100,000 colones convertibles en pena de prisión de uno a dos años.

Transitorio III: Las industrias existentes en el país que arrojen aguas servidas, aguas negras, desechos o cualquier sustancia contaminante en manantiales, ríos, quebradas, arroyos permanentes y no permanentes, lagos, marismas y embalses naturales o artificiales, esteros, tuberías, pantanos, aguas, dulces, salobres o saladas contarán con un plazo de dos años después de la publicación de esta Ley para instalar el respectivo sistema de tratamiento de aguas servidas, sustancia contaminante, durante este plazo no le será aplicable la sanción estipulada en el artículo 132. Gaceta 235 del 7 de diciembre de 1992 (plazo vence el 8 de diciembre de 1994).

Fuente: Tomado de Reynolds, (1996).

Anexo 2. Resumen de los puntos relevantes para la reducción de la contaminación y consumo de agua por los beneficios de café.

PLAN DE ACCIÓN PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN Y EL CONSUMO DE LAS AGUAS POR LOS BENEFICIOS DE CAFÉ EN COSTA RICA

PERIODO 93-94

1. Revisión e implantación de acuerdo con el marco jurídico vigente.
2. Reducción y medición del consumo de agua, implantando la recirculación de las aguas dentro de las diferentes etapas del proceso de beneficiado.
3. Establecer una eficiente separación de la pulpa y el agua mediante el tamizado de las aguas de lavado y un procesamiento final adecuado de la pulpa.
4. Establecer una sola descarga al cuerpo receptor de los efluentes, para facilitar el control de estos.

PERIODO 95-96

1. Disminuir en un 50 % los sólidos suspendidos en las aguas residuales y disponer adecuadamente de los lodos tratados.
2. Implantar el despulpado en seco y el transporte no hidráulico de pulpa.

PERIODO 96-97

1. Dar tratamiento anaerobio a los materiales disueltos hasta lograr una reducción del 80 % en la DBO5 y DQO.

Fuente: Instituto del Café de Costa Rica. (1992). Circular N° 370. San José. C.R. 3p



Anexo 3. Encuesta de tipo estructurado para definir el tipo de sistema de tratamiento de aguas utilizado y modificaciones realizadas.

Beneficio: (1) 2 3 4 5 6 7 8

1. Modificaciones en el beneficio

- Recirculación Sí; No; despulpado lavado
- Despulpado en seco Sí; No.
- Conducción de la pulpa no hidráulicamente Sí; No.
- Tamizado de aguas Sí; No.

2. Sistema de tratamiento de aguas residuales:

- Tamizado Sí; No.
- Sedimentador Sí; No.
- Laguna de oxidación anaerobica Sí; No.
- Reactor anaerobico (tanque) Sí; No.

2. Características de operación de los sistemas:

- **SEDIMENTADOR:** Tiempo de retención hidráulica
- Caudal continuo Sí; No.
 - Tiempo de retención del agua en el sedimentador.
 - 1 hora Cuanto?
 - 3 horas
 - 24 horas

- Dimensiones del sedimentador

- Largo; Ancho; Alto ó Diámetro

- Dimensiones laguna de lodos

- Largo; Ancho; Alto

- Dimensiones laguna de oxidación anaerobica

- Largo ; Ancho; Alto **3. Insumos y productos utilizados**- microorganismos (Hongos, bacterias y/algas) Sí No
Cuales _____;- Inoculo - Sulfato de aluminio Sí; No; cantidad Kg- Cal Sí ; No; cantidad Kg.- Carbón activado Sí; No; cantidad Kg.- Arena sílica (filtrado) Sí; No; cantidad Kg.- Otros **4. Rendimiento en beneficiado (café procesado por hora)** fanegas/hora

Anexo 4. Análisis químico de las aguas de entrada (#3) y salida (#1) del Beneficio B1.



Laboratorio
microquímica S.A.
LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

Nº 33908

05 de setiembre de 1995

Señores
COMPañIA SANTA ROSA LTDA.
Atención: Sr. José E. Cruz Campos
S.O.

MUESTRA: AGUAS

FECHA DE RECIBIDO: 29-08-95

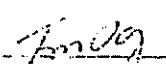
LUGAR DE MUESTREO: COMPañIA SANTA ROSA LTDA.

PERSONAL QUE MUESTREA: COMPañIA SANTA ROSA LTDA.

	#1	#2	#3
pH	6,32±0,07	6,07±0,02	6,31±0,02
Turbidez	100±20	70±10	10±20
Sólidos totales mg/l	1410±10	140±10	350±10
Sólidos disueltos mg/l	1100±10	100±10	340±10
Sólidos suspendidos mg/l	310±10	40±5	10±2
Sólidos sedimentales ml/l	7,0±0,2	<0,1±0,1	<0,1±0,1
D.Q.O. (demanda química de oxígeno) mg/l	2090±40	1410±30	280±6
D.B.O. ₅ (demanda bioquímica de oxígeno) mg/l	1800±70	1150±50	70±30

**Nota: ESTE RESULTADO ES EL PROMEDIO DEL REPETIDO Y VALIDADO POR EL PROFESIONAL QUÍMICO COLEGIADO

METODO UTILIZADO: Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water. 16th Ed., 1995.


Dra. Florencia Antillón G.
NOC 517

Anexo 5. Base de datos de los indicadores de calidad de aguas de ocho beneficios de café en Costa Rica.

Bene	Med	DBO	DQO	pH	Turb	ST	SS	SDT	Q	Conduc	TC
1	1	2010	4800	5.1	600	2880	2467	413	8.6	333	18.2
1	1	.	.	4.4	.	.	.	.	8.6	556	19.2
1	1	.	.	4.5	.	.	.	.	7.2	512	19.1
1	1	.	.	4.4	.	.	.	.	7.2	605	21.5
1	1	.	.	4.4	.	.	.	.	7.2	577	22.3
1	1	.	.	4.3	.	.	.	.	5.5	618	22.5
1	1	.	.	5.9	.	.	.	.	2.7	321	22.4
1	1	.	.	6.1	.	.	.	.	7.2	382	22.2
1	1	.	.	6.2	.	.	.	.	7.2	343	21.5
1	1	2120	5110	4.7	404	3450	2429	.	11.6	599	21.4
1	1	.	.	4.5	.	.	.	.	11.6	740	21.6
1	1	.	.	4.7	.	.	.	.	15.1	580	21.6
1	1	.	.	5	.	.	.	.	12.1	680	21.3
1	1	.	.	5.1	.	.	.	.	11.8	521	21.5
1	1	.	.	5.4	.	.	.	.	14.1	377	20.9
1	1	1700	2980	4.2	352	4070	1900	2190	12.7	641	21.1
1	1	.	.	4.7	.	.	.	.	12.7	448	20.3
1	1	.	.	4.8	.	.	.	.	11.4	631	21.1
1	1	.	.	5.7	.	.	.	.	6.1	390	20.6
1	1	.	.	6.2	.	.	.	.	12.7	339	20.7
1	1	.	.	6.8	.	.	.	.	4.4	256	21.1
1	2	3500	4400	4.2	300	3946	1800	2150	8.6	770	18.5
1	2	.	.	4.3	.	.	.	.	8.6	679	19.4
1	2	.	.	4.2	.	.	.	.	7.2	691	19.2
1	2	.	.	4.4	.	.	.	.	7.2	429	21.1
1	2	.	.	4.2	.	.	.	.	7.2	546	21.7
1	2	.	.	4.2	.	.	.	.	5.5	620	22
1	2	.	.	4.1	.	.	.	.	2.7	639	21.9
1	2	.	.	4.1	.	.	.	.	7.2	616	21.6
1	2	.	.	4.2	.	.	.	.	7.2	594	21.5
1	2	3670	5110	4.3	290	4350	1680	.	6.7	965	21.8
1	2	.	.	4.4	.	.	.	.	6.9	853	21.7
1	2	.	.	4.5	.	.	.	.	7.5	836	21.7
1	2	.	.	4.7	.	.	.	.	6.7	659	21.3
1	2	.	.	4.8	.	.	.	.	6.8	701	21.5
1	2	.	.	4.7	.	.	.	.	7.5	656	21.3
1	2	3020	5170	4.2	400	5140	1850	3290	12.7	641	21.1
1	2	.	.	4.7	.	.	.	.	12.7	448	20.3
1	2	.	.	4.8	.	.	.	.	11.4	631	21.1
1	2	.	.	5.7	.	.	.	.	6.1	390	20.6
1	2	.	.	6.2	.	.	.	.	12.7	339	20.7
1	2	.	.	6.8	.	.	.	.	4.4	256	21.1
1	3	6160	10200	4.7	440	9676	1900	7776	7.2	605	19.4
1	3	.	.	7.6	.	.	.	.	5.4	760	19.3
1	3	.	.	4.6	.	.	.	.	2.7	825	19.2
1	3	.	.	4.7	.	.	.	.	7.2	1128	19.2
1	3	.	.	4.6	.	.	.	.	4.3	1089	19.3
1	3	.	.	6.2	.	.	.	.	4.8	881	18.5
1	3	4730	10960	4.7	360	7520	.	.	20	1095	22.1
1	3	.	.	4.7	.	.	.	.	15	1051	21.8
1	3	.	.	4.6	.	.	.	.	16	911	21.5
1	3	.	.	4.6	.	.	.	.	15	987	21.6
1	3	.	.	4.6	.	.	.	.	9.2	771	21.5
1	3	.	.	4.5	.	.	.	.	10	784	21.6
1	3	9000	12640	4.8	840	13200	2600	10600	16.9	1323	23.3
1	3	.	.	4.8	.	.	.	.	11.7	1133	22.5
1	3	.	.	4.7	.	.	.	.	19.1	1230	22.9
1	3	.	.	4.8	.	.	.	.	19.9	1133	22.2
1	3	.	.	4.7	.	.	.	.	19	1220	22.3

1	3	.	.	4.6	.	.	.	.	19.7	1061	21.9
1	4	7050	10300	4.6	396	9266	1867	7399	5.4	515	19.3
1	4	.	.	7	.	.	.	.	2.7	692	19.3
1	4	.	.	4.4	.	.	.	.	7.2	827	19.1
1	4	.	.	4.5	.	.	.	.	4.3	1019	19.2
1	4	.	.	4.5	.	.	.	.	4.8	1138	19.3
1	4	.	.	4.5	.	.	.	.	7.2	1112	18.5
1	4	4570	9360	4.5	408	6220	4000	.	5.9	969	21.9
1	4	.	.	4.5	.	.	.	.	6.3	1083	22
1	4	.	.	4.5	.	.	.	.	5.7	1091	21.7
1	4	.	.	4.4	.	.	.	.	4.5	1050	22.2
1	4	.	.	4.4	.	.	.	.	5.3	1030	22.1
1	4	.	.	4.4	.	.	.	.	6.2	995	22.1
1	4	5690	8830	4.6	630	8200	4200	4000	3.1	919	23.2
1	4	.	.	4.6	.	.	.	.	3.8	1057	22.8
1	4	.	.	4.6	.	.	.	.	3.6	1099	23
1	4	.	.	4.6	.	.	.	.	5.4	1145	22.7
1	4	.	.	4.5	.	.	.	.	7.2	1111	22.6
1	4	.	.	4.6	.	.	.	.	4.9	1121	22.4
2	1	1500	1940	4.63	170	2130	1040	.	16.68	503	22.9
2	1	.	.	4.61	210	.	.	.	17.9	492	23.1
2	1	.	.	4.63	170	.	.	.	17.9	509	23.4
2	1	.	.	4.86	100	.	.	.	17.9	607	23.7
2	1	.	.	4.73	77	.	.	.	19.24	566	24
2	1	.	.	4.95	92	.	.	.	19.24	424	26.9
2	1	.	.	4.94	125	.	.	.	17.9	416	26.7
2	1	1540	2440	4.78	348	2338	1067	1271	4.3	608	26.5
2	1	.	.	4.75	.	.	.	.	10.75	607	24.9
2	1	.	.	4.76	.	.	.	.	10.75	546	25.4
2	1	.	.	4.17	.	.	.	.	10.75	545	50.1
2	1	.	.	4.19	.	.	.	.	10.75	592	41.1
2	1	.	.	4.89	.	.	.	.	10.75	435	23.8
2	1	.	.	5.03	.	.	.	.	10.75	407	23.1
2	1	.	.	5.74	.	.	.	.	10.75	317	23.1
2	1	.	.	6.08	.	.	.	.	10.75	317	23
2	1	1100	2740	5.83	.	2650	1000	1650	3.02	391	24.2
2	1	.	.	6.38	.	.	.	.	3.48	326	23
2	1	.	.	4.6	.	.	.	.	4.18	594	22.8
2	1	.	.	4.49	.	.	.	.	4.65	656	22.9
2	1	.	.	4.89	.	.	.	.	5.11	486	22.9
2	1	.	.	4.55	.	.	.	.	2.26	573	23
2	1	.	.	5.3	.	.	.	.	3.58	482	23.4
2	2	1400	1790	4.46	115	1414	300	.	17.9	727	23.2
2	2	.	.	4.44	100	.	.	.	17.9	720	23.4
2	2	.	.	4.47	100	.	.	.	17.9	711	23.6
2	2	.	.	4.48	100	.	.	.	19.24	710	23.8
2	2	.	.	4.48	115	.	.	.	19.24	697	24.1
2	2	.	.	4.48	100	.	.	.	17.9	672	24.7
2	2	.	.	4.49	98	.	.	.	16.68	650	25.7
2	2	1650	1770	4.81	84	1436	259	1177	6.46	610	24.7
2	2	.	.	6.32	.	.	.	.	6.32	772	27.6
2	2	.	.	4.65	.	.	.	.	6.46	642	26.9
2	2	.	.	4.8	.	.	.	.	7.94	468	34.8
2	2	.	.	4.69	.	.	.	.	8.42	426	42.8
2	2	.	.	4.93	.	.	.	.	8.75	527	27.5
2	2	.	.	4.8	.	.	.	.	7.94	576	24
2	2	.	.	4.88	.	.	.	.	8.42	578	23.7
2	2	.	.	4.74	.	.	.	.	8.75	579	23.1
2	2	1000	1430	4.7	.	1600	530	1070	6.86	717	23.2
2	2	.	.	4.67	.	.	.	.	6.91	740	24.7
2	2	.	.	4.65	.	.	.	.	7.7	747	23
2	2	.	.	4.7	.	.	.	.	8.65	753	23
2	2	.	.	4.76	.	.	.	.	8.75	738	22.9
2	2	.	.	4.73	.	.	.	.	8.6	773	23.5

2	2	.	.	4.74	.	.	.	.	9.84	755	23
2	3	4400	7900	5.27	176	7288	800	.	2.17	782	26.4
2	3	.	.	5.19	260	.	.	.	13	896	26.1
2	3	.	.	4.61	272	.	.	.	8.53	1240	.
2	3	.	.	4.62	188	.	.	.	13	1082	22.4
2	3	.	.	4.42	268	.	.	.	0.6	1187	21.7
2	3	.	.	4.35	280	.	.	.	4.4	1366	21.8
2	3	.	.	4.29	220	.	.	.	6.3	1395	21.8
2	3	.	.	4.21	316	.	.	.	1.8	1331	21.6
2	3	6700	11900	6.08	3.28	10132	2594	7538	10.75	1170	23.4
2	3	.	.	5.7	.	.	.	.	10.75	1334	23.8
2	3	.	.	5.41	.	.	.	.	10.75	1359	22.6
2	3	.	.	5.37	.	.	.	.	10.75	1245	23.1
2	3	.	.	5.1	.	.	.	.	10.75	1514	22.5
2	3	.	.	5.45	.	.	.	.	10.75	1329	22
2	3	.	.	4.79	.	.	.	.	7.17	941	24.4
2	3	.	.	4.89	.	.	.	.	7.17	10.23	21.7
2	3	.	.	5.23	.	.	.	.	7.17	1119	21.9
2	3	.	.	4.75	.	.	.	.	7.17	1206	29.1
2	3	.	.	4.7	.	.	.	.	7.17	1367	23.6
2	3	.	.	4.61	.	.	.	.	10.75	1163	23
2	3	5360	9480	4.99	.	10200	2320	7880	6.08	1226	22.5
2	3	.	.	5	.	.	.	.	6.19	1196	22.5
2	3	.	.	4.97	.	.	.	.	6.34	1185	22.6
2	3	.	.	4.91	.	.	.	.	5.42	1210	22.6
2	3	.	.	4.96	.	.	.	.	6.27	1195	22.1
2	3	.	.	4.97	.	.	.	.	7.28	1201	22.3
2	3	.	.	4.98	.	.	.	.	5.48	1202	22.5
2	4	1090	1200	4.54	62	918	139	.	2.17	480	.
2	4	.	.	4.6	65	.	.	.	13	994	26.6
2	4	.	.	4.72	84	.	.	.	8.53	502	22.6
2	4	.	.	4.7	72	.	.	.	13	610	21.8
2	4	.	.	4.64	120	.	.	.	0.6	534	21.6
2	4	.	.	4.6	112	.	.	.	4.4	535	21.6
2	4	.	.	4.51	128	.	.	.	6.3	552	21.8
2	4	.	.	4.51	152	.	.	.	1.8	563	21.8
2	4	950	1050	6.22	120	952	252	700	1.9	440	22.8
2	4	.	.	6.08	.	.	.	.	4.35	440	22.9
2	4	.	.	6.08	.	.	.	.	3.93	442	22.6
2	4	.	.	5.76	.	.	.	.	7.94	440	23.2
2	4	.	.	5.38	.	.	.	.	0.91	462	22.4
2	4	.	.	5.69	.	.	.	.	7.94	476	21.9
2	4	.	.	6.07	.	.	.	.	1.04	476	21.9
2	4	.	.	5.24	.	.	.	.	7.18	501	23.2
2	4	.	.	5.58	.	.	.	.	2.8	509	21.7
2	4	.	.	4.77	.	.	.	.	1.46	512	21.8
2	4	.	.	5.24	.	.	.	.	1.96	431	30.5
2	4	.	.	5.38	.	.	.	.	6.19	365	40.2
2	4	.	.	5.38	.	.	.	.	2.17	507	22.3
2	4	1060	1350	4.74	.	1560	840	720	11.45	764	22.1
2	4	.	.	4.72	.	.	.	.	13.5	765	22.5
2	4	.	.	4.75	.	.	.	.	13.5	774	22.5
2	4	.	.	4.73	.	.	.	.	12.45	763	22.2
2	4	.	.	4.72	.	.	.	.	11.06	770	22.1
2	4	.	.	4.74	.	.	.	.	11.06	774	22.3
2	4	.	.	4.75	.	.	.	.	10.5	779	22.4
3	1	4800	5740	4.48	120	4000	500	3500	4.07	744	24.3
3	1	.	.	4.46	.	.	.	.	3.86	741	24.3
3	1	.	.	4.47	.	.	.	.	3.82	761	24.1
3	1	.	.	4.45	.	.	.	.	3.86	789	24.1
3	1	.	.	4.44	.	.	.	.	3.86	789	23.8
3	1	.	.	4.43	.	.	.	.	3.7	793	23.9
3	1	.	.	4.42	.	.	.	.	3.54	805	23.5
3	1	.	.	4.43	.	.	.	.	3.54	845	24.1

3	1	4650	5545	4.77	115	3800	525	3400	4.1	751	23.5
3	2	6300	10640	3.6	480	9870	7820	.	4.66	1296	24
3	2	.	.	4.1	.	.	.	.	4.33	1380	24
3	2	.	.	4.45	.	.	.	.	3.17	1320	24.2
3	2	.	.	4.32	.	.	.	.	1.64	1172	23.7
3	2	.	.	4.29	.	.	.	.	2.25	1098	23.6
3	2	.	.	4.35	.	.	.	.	1.15	1027	23.6
3	2	3980	4970	4.09	220	3640	400	.	7.98	1052	22.6
3	2	.	.	4.07	.	.	.	.	4.82	1012	22.7
3	2	.	.	4.07	.	.	.	.	14.22	1038	22.5
3	2	.	.	4.1	.	.	.	.	12.2	1027	23.1
3	2	.	.	4.09	.	.	.	.	12.2	983	23.1
3	2	.	.	4.1	.	.	.	.	12.2	1023	23
3	3	4400	4560	4.28	320	3240	1500	1740	3.54	1026	24.9
3	3	.	.	4.36	.	.	.	.	4.07	1054	24.5
3	3	.	.	4.37	.	.	.	.	3.86	1054	24.7
3	3	.	.	4.44	.	.	.	.	3.82	1048	24.8
3	3	.	.	4.46	.	.	.	.	3.86	1039	24.8
3	3	.	.	4.45	.	.	.	.	3.86	1034	24.5
3	3	.	.	4.46	.	.	.	.	3.7	1035	24.6
3	3	.	.	4.47	.	.	.	.	3.54	1026	24.2
3	3	4050	5000	4.22	272	5260	1400	.	4.66	996	24
3	3	.	.	4.28	.	.	.	.	4.33	974	23.9
3	3	.	.	4.57	.	.	.	.	3.17	975	23.9
3	3	.	.	4.46	.	.	.	.	1.64	983	24.3
3	3	.	.	4.39	.	.	.	.	2.25	968	24
3	3	.	.	4.39	.	.	.	.	1.15	980	23.3
3	3	3940	4350	4.23	200	3600	125	.	4.82	1030	23.4
3	3	.	.	4.35	.	.	.	.	14.22	1087	23.3
3	3	.	.	4.37	.	.	.	.	12.2	1139	22.9
3	3	.	.	4.38	.	.	.	.	12.2	1123	22.8
3	3	.	.	4.34	.	.	.	.	12.2	1105	23.4
3	3	.	.	4.3	.	.	.	.	7.98	1089	23.5
3	4	1040	1410	6.15	28	1330	112	1218	0.31	477	22.9
3	4	.	.	6.37	.	.	.	.	0.42	340	22.6
3	4	.	.	6.25	.	.	.	.	0.67	406	22.5
3	4	.	.	6.24	.	.	.	.	0.58	396	22.9
3	4	.	.	6.28	.	.	.	.	0.6	395	23.5
3	4	.	.	6.31	.	.	.	.	0.69	379	22.9
3	4	.	.	6.28	.	.	.	.	0.69	364	23
3	4	1900	3300	5.01	252	4270	115	1100	2.38	751	22.6
3	4	.	.	5.59	.	.	.	.	0.74	400	22.4
3	4	.	.	5.56	.	.	.	.	0.51	379	22.2
3	4	.	.	5.44	.	.	.	.	0.57	384	22.1
3	4	.	.	5.04	.	.	.	.	1.79	509	22.8
4	1	22400	46186	5.09	.	53700	12700	41000	.	2386	19.5
4	1	22700	42918	4.94	.	42200	13700	28500	.	4966	21
4	1	16380	41200	4.61	.	41640	8800	32840	.	4320	22.6
4	2	8950	27250	4.13	.	27370	21700	5670	1.559	3447	20.8
4	2	9440	22400	4.09	.	23500	9200	14300	2.542	1702	20.5
4	2	13300	32200	4.66	.	33650	24100	9550	2	1975	20.6
4	3	4850	12100	4.2	.	12700	6600	6100	.	1212	19.5
4	3	4900	15240	4.15	.	18550	11500	7050	.	2076	21.3
4	4	215	366	5.54	.	628	165	463	8.33	110	19.2
4	4	400	550	5.2	.	700	250	630	7.5	185	19.5
5	1	3200	6580	4.87	.	7710	2150	5560	7.16	551	18.4
5	1	.	.	5.03	.	.	.	.	10	536	17.8
5	1	.	.	4.96	.	.	.	.	4.13	549	17.5
5	1	.	.	5.46	.	.	.	.	7.61	545	17.3
5	1	.	.	5.41	.	.	.	.	8.27	552	17.7
5	1	.	.	5.4	.	.	.	.	8.85	599	17.8
5	1	.	.	5.34	.	.	.	.	5.67	538	17.6
5	1	4900	7980	5.56	.	6892	850	6042	10.75	804	28.3
5	1	3200	5130	5.56	.	5958	1500	4458	7.568	566	16.6

5	1	7700	16525	4.56	.	18200	9300	8900	,	1163	22.8
5	2	1660	3100	3.91	.	3610	130	3480	14.6	341	17.6
5	2	.	.	4.01	.	.	.	.	15.76	365	17.4
5	2	.	.	4.15	.	.	.	.	13.5	397	17.6
5	2	.	.	4.27	.	.	.	.	10.5	425	17.7
5	2	.	.	4.42	.	.	.	.	12.45	453	17.8
5	2	.	.	4.47	.	.	.	.	10.5	451	17.7
5	2	.	.	4.43	.	.	.	.	8.42	447	17.9
5	2	.	.	4.47	.	.	.	.	7.18	440	18.2
5	2	.	.	4.43	.	.	.	.	5.78	437	17.9
5	2	.	.	4.48	.	.	.	.	5.17	446	17.8
5	2	3100	4615	4.35	.	4084	257	3827	7.689	643	17.8
5	2	2060	3075	4.02	.	3418	126	3292	9.269	5.29	17.6
6	1	3730	6860	6.09	.	8274	1600	6674	10.84	460	17.6
6	1	5380	8602	5.56	.	7090	860	6230	15.35	643	18
6	1	3530	9175	5.89	.	8904	2025	6869	15.05	539	18.7
6	2	500	992	5.77	.	1296	800	496	25.93	215	17.7
6	2	1316	2765	5.15	.	5826	1700	4126	26.37	365	17.4
6	2	662	1811	5.05	.	3828	2550	1274	18.42	246	15.3
6	3	4850	7795	5.52	.	7126	1540	5586	15.347	647	18
6	3	4330	9671	5.8	.	9468	4267	5201	15.05	562	18.8
6	3	4034	7274	6.1	.	9468	1860	7608	10.84	484	17.6
6	4	1350	3250	5.05	.	3128	1533	1595	26.37	353	17.8
6	4	570	1240	5.51	.	1718	1133	585	25.93	257	17.6
6	4	643	1646	5.14	.	3616	1050	2566	18.42	227	15.3
7	1	3100	5220	3.86	.	3668	886	2802	.	715	22.1
7	1	2800	4500	4.02	.	3400	755	2506	.	695	21.9
7	2	3300	4660	4.56	.	4212	1850	2364	27	633	19.3
7	2	3390	8490	5	.	.	.	.	28	874	23
7	2	3370	4650	4.72	.	4174	1450	2722	26.17	581	19.4
7	3	1750	3530	4.87	.	3880	1100	2780	.	445	19.1
7	3	2590	4200	4.61	.	4202	1466	2736	.	535	19.1
7	4	4600	8500	5.37	.	9152	1900	7252	.	867	19.7
7	4	4500	8290	5.2	.	8540	1560	6585	.	825	19.8
8	1	907	2025	4.16	.	1756	980	776	21.77	383	17.1
8	1	995	2100	4.3	.	1854	1020	825	20.5	420	17.5
8	2	1450	2000	4.3	.	1760	800	960	28.34	247	18.2
8	2	810	1295	5.05	.	1138	733	405	34.37	248	13.1
8	2	624	1343	4.56	.	1554	650	904	32.74	317	17
8	3	4900	6640	4.3	.	5196	1100	4096	23.58	921	21.1
8	3	4260	5600	4.21	.	5112	875	4237	18.58	1197	18.8
8	3	5570	5830	4.78	.	4350	700	3650	33.72	649	17.2
8	3	2290	4153	3.98	.	2844	975	.	15.42	594	20.2
8	4	4400	6240	4.29	.	5800	1883	3917	23.58	882	20.2
8	4	19250	28000	4.28	.	28180	6400	21780	.	2000	25.6
8	4	5550	8740	4.77	.	6910	1400	5243	33.72	820	17.1
8	4	4308	8844	4.45	.	6668	1425	5510	15.42	956	20.2

Anexo 6. Programa de SAS para análisis de varianza y comparación de medias por contrastes ortogonales por beneficio.

```
Options ps=60 ls=78 nodate pageno=1;
Data a;
Infile 'a:\Basedat.prn' firstobs=3;
Input Bene Med DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
if bene=1 then do;
    if med=1 then medb=3;
    if med=2 then medb=4;
    if med=3 then medb=1;
    if med=4 then medb=2;
end;
if bene=2 then do;
    if med=1 then medb=3;
    if med=2 then medb=4;
    if med=3 then medb=1;
    if med=4 then medb=2;
end;
if bene=3 then do;
    if med=1 then medb=2;
    if med=2 then medb=3;
    if med=3 then medb=1;
    if med=4 then medb=4;
end;
if bene=4 then do;
    if med=1 then medb=1;
    if med=2 then medb=2;
    if med=3 then medb=3;
    if med=4 then medb=4;
end;
if bene=5 then do;
    if med=1 then medb=1;
    if med=2 then medb=2;
end;
if bene=6 then do;
    if med=1 then medb=3;
    if med=2 then medb=1;
    if med=3 then medb=2;
    if med=4 then medb=4;
end;
if bene=7 then do;
    if med=1 then medb=4;
    if med=2 then medb=2;
    if med=3 then medb=3;
    if med=4 then medb=1;
end;
if bene=8 then do;
```

```

        if med=1 then medb=4;
        if med=2 then medb=3;
        if med=3 then medb=2;
        if med=4 then medb=1;
end;
data b1;set a;
if bene=1;
Proc glm;
Class medb;
model DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
title 'Análisis para el beneficio 1';
proc univariate plot normal;
var rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
data b2;set a;
if bene=2;
Proc glm;
Class medb;
model DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
title 'Análisis para el beneficio 2';
proc univariate plot normal;
var rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
data b3;set a;
if bene=3;
Proc glm;
Class medb;
model DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
title 'Análisis para el beneficio 3';
proc univariate plot normal;
var rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;

```

```
data b4;set a;
if bene=4;
Proc glm;
Class medb;
model DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
title 'Analisis para el beneficio 4';
proc univariate plot normal;
var rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
data b5;set a;
if bene=5;
Proc glm;
Class medb;
model DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC = medb;
means medb / duncan tukey;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1;
output out=res
r=rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
title 'Analisis para el beneficio 5';
proc univariate plot normal;
var rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
data b6;set a;
if bene=6;
Proc glm;
Class medb;
model DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
title 'Analisis para el beneficio 6';
proc univariate plot normal;
var rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
data b7;set a;
if bene=7;
Proc glm;
Class medb;
model DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
```

```
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
title 'Analisis para el beneficio 7';
proc univariate plot normal;
var rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
data b8;set a;
if bene=8;
Proc glm;
Class medb;
model DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast 'ly2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
title 'Analisis para el beneficio 8';
proc univariate plot normal;
var rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Run;
```


Anexo 7. Programa de SAS para análisis de varianza para rangos y comparación de medias por contrastes ortogonales.

```
Options ps=60 Ls=78 nodate pageno=1;
Data a;
Infile 'a:\Basedat.prn' firstobs=3;
Input Bene Med DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
if bene=1 then do;
    if med=1 then medb=3;
    if med=2 then medb=4;
    if med=3 then medb=1;
    if med=4 then medb=2;
end;
if bene=2 then do;
    if med=1 then medb=3;
    if med=2 then medb=4;
    if med=3 then medb=1;
    if med=4 then medb=2;
end;
if bene=3 then do;
    if med=1 then medb=2;
    if med=2 then medb=3;
    if med=3 then medb=1;
    if med=4 then medb=4;
end;
if bene=4 then do;
    if med=1 then medb=1;
    if med=2 then medb=2;
    if med=3 then medb=3;
    if med=4 then medb=4;
end;
if bene=5 then do;
    if med=1 then medb=1;
    if med=2 then medb=2;
end;
if bene=6 then do;
    if med=1 then medb=3;
    if med=2 then medb=1;
    if med=3 then medb=2;
    if med=4 then medb=4;
end;
if bene=7 then do;
    if med=1 then medb=4;
    if med=2 then medb=2;
    if med=3 then medb=3;
    if med=4 then medb=1;
end;
if bene=8 then do;
```

```

    if med=1 then medb=4;
    if med=2 then medb=3;
    if med=3 then medb=2;
    if med=4 then medb=1;
end;
Proc sort; by Bene;
Proc npar1way wilcoxon;
by Bene;
Class medi;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
data b1;set a;
if bene=1;
proc rank;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
ranks rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Proc glm;
Class medb;
model rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
title 'Analisis para el beneficio 1';
proc univariate plot normal;
var rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
data b2;set a;
if bene=2;
proc rank;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
ranks rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Proc glm;
Class medb;
model rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
title 'Analisis para el beneficio 2';
proc univariate plot normal;
var rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;

data b3;set a;
if bene=3;

```

```

proc rank;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
ranks rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Proc glm;
Class medb;
model rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
title 'Analisis para el beneficio 3';
proc univariate plot normal;
var rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
data b4;set a;
if bene=4;
proc rank;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
ranks rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Proc glm;
Class medb;
model rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
title 'Analisis para el beneficio 4';
proc univariate plot normal;
var rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
data b5;set a;
if bene=5;
proc rank;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
ranks rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Proc glm;
Class medb;
model rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1;
output out=res
r=rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;

title 'Analisis para el beneficio 5';
proc univariate plot normal;

```

```

var rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
data b6;set a;
if bene=6;
proc rank;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
ranks rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Proc glm;
Class medb;
model rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
title 'Analisis para el beneficio 6';
proc univariate plot normal;
var rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
data b7;set a;
if bene=7;
proc rank;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
ranks rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Proc glm;
Class medb;
model rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;
output out=res
r=rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
title 'Analisis para el beneficio 7';
proc univariate plot normal;
var rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;
data b8;set a;
if bene=8;
proc rank;
var DBO DQO pH Turb ST SS SDT Q Conduc TC;
ranks rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC;
Proc glm;
Class medb;
model rDBO rDQO rpH rTurb rST rSS rSDT rQ rConduc rTC = medb;
*means medb / duncan tukey;
contrast '1y2 vs 3y4' medb 1 1 -1 -1;
contrast '1 vs 2' medb 1 -1 0 0;
contrast '3 vs 4' medb 0 0 1 -1;

```

```
output out=res  
r=rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;  
title 'Análisis para el beneficio 8';  
proc univariate plot normal;  
var rrDBO rrDQO rrpH rrTurb rrST rrSS rrSDT rrQ rrConduc rrTC;  
run;
```

Anexo 8. Programa SAS para efectuar la regresión del parámetro DBO y DQO.

```
Data Ben3;
Infile 'a: / Baedat.prn' firstobs=3;
Input Bene Med DBO DQO;
proc glm;
Model dbo=dqo;
output predicted=py;
proc plot;
Plot dbo*dqo='*'py* dqo+' / overlay;
Run;
```

Anexo 9. Costo del tratamiento de aguas del beneficio B1

A. COSTOS FIJOS DE INVERSIÓN	US \$	
1. Sistema de recirculación de aguas		
Equipo	5142.23	
Mano de obra	2001.89	
Costo total de sistema de recirculación de aguas		7143.12
2. Transporte no hidráulico de pulpa		
Insumos y materiales	17552.56	
Mano de obra	4133.27	
Costo Total de transporte no hidráulico de pulpa		21685.83
3. Sistema de despulpado en seco		
Maquinaria	32425.12	
Insumos y materiales	8589.52	
Mano de obra	6128.6	
Costo Total de despulpado en seco		47143.12
4. Tamizado		
Equipo	1159.23	
Mano de obra	255.06	
Costo Total de Tamizado de aguas		1414.29
5. Sedimentador		
Insumos y materiales	9216.98	
Mano de obra	4925.95	
Costo total del sedimentador		14142.93
6. Laguna de lodos		
Mano de obra	1178.58	
Costo total de Laguna de lodos		1178.58
7. Otros		
2 Agua pulpa (desmucilaginado mecánico)	8132.19	8132.19
A. COSTOS FIJOS TOTALES		100840.06
B. COSTOS VARIABLES DE OPERACION		
1. Insumos		
Ingredientes de fumigación para la pulpa y laguna de lodos	117.85	
Cal (CaO) para laguna de lodos y patio de broza	3535.73	
2. Mantenimiento		
Limpieza de sedimentadores	466.26	
Movilización de broza y fletes de transportación	6462.8	
TOTAL DE COSTOS VARIABLES		10582.64
C. COSTO TOTAL DE LA INVERSION		111422.7

Anexo 10. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B2

A. COSTOS FIJOS DE INVERSIÓN	US \$	
1. Sistema de recirculación de aguas		
Costo Total de Recirculación de aguas	7500	
2. Transporte no hidráulico de pulpa		
Costo Total de transporte no hidráulico de pulpa	8500	
3. Sistema de despulpado en seco		
Costo Total de despulpado en seco	10800	
4. Tamizado		
Costo Total de Tamizado de aguas	1800	
5. Sedimentador		
Costo total del sedimentador	15150	
6. Laguna de lodos		
Costo total de Laguna de lodos	2100	
7. Mano de obra		
Costo total de mano de obra y adecuación	6185.01	
COSTO FIJOS TOTALES		52035.01
B. COSTOS DE OPERACION		
Limpieza de sedimentadores y mantenimiento de aguas	12370.12	
Insumos (cal)	1000	
COSTOS VARIABLES TOTALES	13370.12	13370.12
C. COSTO TATAL DE LA INVERSION		65405.13

Anexo 11. Costo del tratamiento de aguas del beneficio B3

A. COSTOS FIJOS DE INVERSIÓN	US \$	
1. Sistema de recirculación de aguas		
Maquinaria	2801.89	
Insumos y materiales	5259.16	
Mano de obra	2235.84	
Costo total de sistema de recirculación de aguas		10296.89
2. Transporte no hidráulico de pulpa		
Maquinaria	5400	
Insumos y materiales	6550	
Mano de obra	5168.09	
Costo Total de transporte no hidráulico de pulpa		17118.09
3. Sistema de despulpado en seco		
Maquinaria	21986.51	
Insumos y materiales	25011	
Mano de obra	11154.38	
Costo Total de despulpado en seco		58151.89
4. Tamizado		
Maquinaria	1470.87	
Insumos y materiales	3127.08	
Mano de obra	2063.87	
Costo Total de Tamizado de aguas		6661.82
5. Sedimentador		
Maquinaria y Equipo (Tornado aireador)	14832.92	
Insumos y materiales	14775.46	
Mano de obra	12030.6	
Costo total del sedimentador		41638.98
6. Laguna de lodos		
Insumos y materiales	1920	
Mano de obra	3564.97	
Costo total de Laguna de lodos		5484.97
7. Otros		
Ampliación del patio de broza	3177	
Desviación del mucilago a la laguna de lodos	3260.95	
Costo Total de Mejoras		6437.95
A. COSTOS FIJOS TOTALES		145790.59
B. COSTOS VARIABLES DE OPERACION		
1. Insumos		
Cal (CaO)	1536.3	
Bacterias (Polibac)	13860.53	
2. Mantenimiento		
Limpieza de sedimentadores	3282.36	
Movilización de broza	7640.2	
TOTAL DE COSTOS VARIABLES		26319.39
C. COSTO TATAL DE LA INVERSION		172109.98

Anexo 12. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B4

	Costo US \$	
1. Sistema de recirculación de aguas		
Materiales y Equipo		
Bomba 4"	1550	
Bomba 2"	1250	
Bomba 2"	1250	
Motor 12 HP	1050	
Motor 3 HP	450	
Motor 2 HP	300	
Tubería y accesorios	100	
Costo total de materiales y equipo		
Mano de Obra		
Mano de obra por instalación	500	
Costo Total de Recirculación de aguas		6450
2. Transporte no hidráulico de pulpa		
Materiales y Equipo		
Escurreidor con motorreductor de 2.5 HP	1650	
30 metros de transportador con motorreductor de 4 HP	4175	
3 metros de transportador con cedazo perforado y motorreductor de 2.5 HP	1085	
Mano de obra		
Instalación	1000	
Costo Total de transporte no hidráulico de pulpa		7910
3. Tamizado de las aguas		
Materiales y Equipo		
Tamiz de 75 mm	2750	
Mano de obra		
Instalación	500	
Costo Total de Tamizado de aguas	3250	3250
4. Sedimentador		
Obra	4710	
Mano de obra especializada		
Planos y supervisión	700	
Costo total del sedimentador		5410
COSTO FIJO TOTAL		23020
5. Costo de Operación		
Insumos		
Biowatercien	490	
Energía Eléctrica	720	
Mano de Obra		
Revisión de niveles	350	
Limpieza de lodos	950	
Transporte de lodos	1800	
COSTO VARIABLE TOTAL		4310
TOTAL DE LA INVERSION		27330

Anexo 13. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B5.

SOCIEDAD AGRICOLA COMERCIAL LA HILDA S.A.
CEDULA JURIDICA N° 3-101-0061-33-11

Setiembre 19, 1996

Señor
Erick Roberto Salguero
CATIE

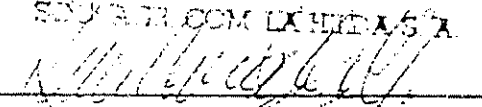
Estimado señor:

Los únicos datos que podemos proporcionarle de los solicitados por usted mediante fax son los que a continuación enumero:

- 1 - Costos reciclado de aguas y todo el proceso: \$1.884.655.00
- 2 - Costo sedimentador y laguna..... \$8.785.062.00
- 3 - Respuesto a pregunta N°20: (Fanegas procesadas)
 - Noviembre 28, 1995..... 163-00-0
 - Diciembre 4, 1995..... 199-00-0
 - Diciembre 8, 1995..... 207-10-0
 - Diciembre 12, 1995..... 346-19-0

Aclaremos que debido a que la contabilidad no hizo una clasificación de los diferentes procesos, como usted lo solicita, no es imposible cumplir con el cuestionario.

Atentamente,

SOCIEDAD AGRICOLA COMERCIAL LA HILDA S.A.

 VICTOR M. MORALES UVALDE
 ADMINISTRADOR

als

Anexo 14. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B6

Oct. 31 '96 15:17

Ben. Bella Vista

TEL 2796732

P. 1

Beneficio Bella Vista S. A.

Teléfono: 279-5216 - Fax: 279-6732

Apartado 14-2250 - Tres Ríos, Cartago

PARA:

ERICK SALGUEIRO.

FAX 556 1533-.

CHANCADO ENSECO Y TRANSPORTE BROZA	₡ 5.935.000.00
TAMIZADO Y RECIRCULACION DE AGUAS.	₡ 2.400.000.00
SEDIMENTADOR Y LAGUNA DE LODOS.	₡ 2.465.000.00
MANO DE OBRA (MANTENIMIENTO MENSUAL)	₡ 92.106.00
	<hr/>
TOTAL:	₡ 10.892.106.00

ATENTAMENTE



 ADOLFO ZEUNER F.

GERENTE.

Anexo 15. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B7

A. COSTOS FIJOS DE INVERSIÓN	US \$
1. Sistema de recirculación de aguas	
Maquinaria	
Insumos y materiales	
Mano de obra	
Costo total de sistema de recirculación de aguas	11785.78
2. Transporte no hidráulico de pulpa	
Maquinaria	
Insumos y materiales	
Mano de obra	
Costo Total de transporte no hidráulico de pulpa	37714.5
3. Sistema de despulpado en seco	
Maquinaria	
Insumos y materiales	
Mano de obra	
Costo Total de despulpado en seco	105232.14
4. Tamizado	
Maquinaria	
Insumos y materiales	
Mano de obra	
Costo Total de Tamizado de aguas	14010.94
5. Sedimentador	
Maquinaria y Equipo (Tornado aireador)	
Insumos y materiales	
Mano de obra	
Costo total del sedimentador	61841.89
6. Laguna de lodos	
Insumos y materiales	
Mano de obra	
Costo total de Laguna de lodos	9162.86
7. Otros	
Adecuación de beneficio	44785.97
Costo Total de mejoras	
 A. COSTOS FIJOS TOTALES	 284534.08
 B. COSTOS VARIABLES DE OPERACION	
1. Insumos	
Ingredientes de fumigación para la pulpa y laguna de lodos	2629.06
2. Mantenimiento	
Limpieza de sedimentadores y sistema de tratamiento de aguas	48321.71
Movilización de brosa y fletes de transportación	54858.11
TOTAL DE COSTOS VARIABLES	105808.88
 C. COSTO TATAL DE LA INVERSION	 390342.96

Anexo 16. Costos del tratamiento de aguas del beneficio B8

A. COSTOS FIJOS DE INVERSIÓN	US \$
1. Sistema de recirculación de aguas	
Costo Total de Recirculación de aguas	82140.39
2. Transporte no hidraulico de pulpa	
Costo Total de transporte no hidraulico de pulpa	19470.67
3. Sistema de despulpado en seco	
Costo Total de despulpado en seco	64397.62
4. Tamizado	
Costo Total de Tamizado de aguas	7809.76
5. Sedimentador	
Costo total del sedimentador	25425.14
6. Laguna de lodos	
Costo total de Laguna de lodos	9082.35
7. Mano de obra	
Costo total de mano de obra y adecuación	24077.31
COSTO FIJOS TOTALES	232403.24
B. COSTOS DE OPERACION	
Limpieza de sedimentador	33908.27
Mantenimiento de aguas	13178.04
COSTOS VARIABLES TOTALES	47086.31
C. COSTO TOTAL DE LA INVERSION	279489.55