



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Universidad de Carabobo

**FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE UNA
EMPRESA DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS
VETERINARIOS**

Autores:

Carpio A., Yessika M.

C.I: 15600719

Quintero F., Oswaldo E

C.I.:15.533.358

Valencia, 15 de noviembre de 2006



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



Universidad de Carabobo

**FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE UNA
EMPRESA DE PRODUCTOS FARMACÉUTICOS
VETERINARIOS**

Prof. Maria C. Colmenares
Tutor Académico
Dra. Rosángel Fumero
Tutor Industrial

Autores:
Carpio A., Yessika M.
C.I: 15600719
Quintero F., Oswaldo E
C.I.:15.533.358

Valencia, 15 de noviembre de 2006



DEDICATORIA

Ante todo le doy gracias a Dios por estar siempre iluminando mi vida y no permitirme caer en los momentos difíciles.

A mi mami y a mi papi por apoyarme y guiarme por el camino del bien, por sus consejos y apoyo para el logro todas y cada una de mis metas, y de este trabajo que es una de las más importantes. Por eso les dedico este logro. Gracias...!

Mami, gracias por estar siempre en los momentos más críticos y brindarme tus más sabios consejos, por el tiempo que me prestaste para llevarme y traerme todas las veces que lo necesite, y por toooooooolloooooo lo que hiciste para ayudarme y hacerme más fácil la realización de este trabajo.

Papi, gracias por ayudarme en todo lo que estuvo a tu alcance, por brindarme tus conocimientos, por tu tiempo y por toda tu ayuda y colaboración.

Los amo mucho, son una parte muy importante de mi vida, no se que haría sin ustedes, los amo muchisisisimo....! Nunca lo olviden.

A mi hermanita Berioska por siempre estar ahí justo en el momento preciso, porque me ayudaste muchísimo y siempre estuviste pendiente de mi tesis. Tú eres parte importantísima de mi vida y este logro también es tuyo. Gracias y Te Quiero Mucho...!

A mi novio Luis Oscar, que siempre estuvo ahí, me dio su apoyo, sus consejos, me brindó su ayuda y sus conocimientos, gracias por tu



preocupación. Te amo, eres lo mejor y más bello que me ha pasado. Siempre te voy a amar.

A mis abuelos Sergio y Ofelia por su gran apoyo y ayuda, por su tiempo y disposición de colaborar en todo lo que estuvo a su alcance.

A mis tíos Sergio, Ofelia y Blanca por toda su ayuda y colaboración, por preocuparse y estar siempre al pendiente de mi.

A mis primitos Yeriuska, Yerika y Keny por su colaboración y momentos de alegría que me hacían olvidar las preocupaciones. Gracias...!

A mi primo Jorge porque gracias a ti conseguí mi tema de tesis. Gracias.

A mi suegro por su tiempo y su ayuda, Gracias...!

A mis bebes, Randy, Reggie y Génesis ustedes son mi alegría, mi distracción, y mi vida. Los Quiero Demasiado, ustedes son como mis hijos. I love you....!

A mis cuñados La Bella y Ramón, que siempre estuvieron tan preocupados por que terminara la bendita tesis, ya por fin la terminé, lo logré....!

Adriana, gracias por tu apoyo, colaboración y ayuda. Gracias por todo...!



Y por supuesto como me iba a olvidar de mi compañerito de tesis, Ozzy gracias por tu ayuda, y por soportarme, yo se que no fue fácil, pero ya por fin. JaJaJa

De una manera u otra todos me han ayudado mucho y por eso les dedico este logro que no es solo mío, sino también de ustedes, porque cada uno puso su granito de arena para ayudarme a alcanzarlo. Gracias y los quiero mucho.

Yessika Massiel Carpio Acosta

DEDICATORIA



Primeramente quiero agradecer a Dios, pues sin su ayuda esto no hubiese sido posible.

En segundo lugar quiero agradecer a todas las personas, que son muchos, y principalmente a mi familia que de alguna forma u otra estuvieron conmigo ayudándome desde el comienzo de mi carrera y porque no decirlo, desde el comienzo de mi vida como estudiante.

A todos ustedes les dedico esta tesis y este gran logro de muchos que vendrán.

Gracias...

Oswaldo Enrique Quintero Funes



AGRADECIMIENTOS

- *A la profesora María Cristina Colmenares por su gran ayuda y dedicación, para el logro de este trabajo.*

- *A el Laboratorio Veterinario La Caridad, C.A., por el financiamiento de esta investigación y a todo su personal por prestarnos su ayuda y colaboración para el desarrollo de este trabajo.*

- *A la Dra. Rosángel Fumero, Gerente de Producción del Laboratorio Veterinario La Caridad, por su tiempo, dedicación y colaboración.*

- *Al Ministerio del Ambiente seccional Aragua por prestarnos sus instalaciones para la realización de las pruebas de jarras y a todo su personal por el apoyo prestado.*

- *Y a todas las personas que colaboraron.*

Gracias

Palabras Claves o descriptores

- Factibilidad
- Caracterización de efluentes
- Sistema de tratamiento
- Efluentes líquidos
- Productos farmacéuticos
- DBO
- DQO
- Fenoles
- Sulfatos
- Sólidos Suspendidos
- Detergentes
- Diseño
- Oxidación Química
- Rentabilidad
- Aguas industriales
- Biodegradabilidad
- Pruebas de jarra
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Igualación



SUMARIO

La siguiente investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad técnico y económica de un sistema de tratamiento de efluentes líquidos de una empresa farmacéutica veterinaria, con la finalidad de adecuar las aguas de lavado provenientes de las áreas de producción a lo establecido en el decreto 883.

De la forma como se fueron desarrollando los objetivos de la investigación, esta se divide en tres fases: una primera fase relacionada con el estudio diagnóstico, que implicó un reconocimiento de campo de los procesos productivos a fin de identificar los posibles contaminantes provenientes de las áreas productivas de la empresa; además se realizaron entrevistas al personal para conocer los procesos productivos como los procedimientos de limpieza tanto de las áreas de producción y equipos.

Una vez realizado el diagnóstico, se procedió a la toma de muestras para la caracterización y la determinación del volumen de agua residual generada por lavado, definiendo así esta segunda parte como la fase experimental de la investigación. Finalmente, se generaron las alternativas para la solución del problema. La fase de generación de alternativas se basó en fundamentos teóricos y en opiniones suministradas por expertos en la materia; y su selección se logró a través de una matriz de selección.

En el desarrollo de la primera fase de la investigación se determinó que todas las aguas de lavado que provienen de los diferentes procesos son contaminantes y en su mayoría con materia orgánica no biodegradable. Así mismo, se observó que no se cuenta con un procedimiento de lavado que pueda garantizar un consumo mínimo de agua limpia y detergente.

Las alternativas propuestas para la reducción de contaminantes se basaron en un tratamiento fisicoquímico, variando entre una alternativa y otra la distribución de los equipos o etapas, y la cantidad de equipos necesarios para las mejoras del mismo.



Entre los resultados obtenidos se tiene que la alternativa seleccionada es la que consta del tratamiento de coagulación-floculación (Alternativa Nro.1) utilizando Policloruro de Aluminio, debido a que este puede actuar como coagulante y floculante a la vez, obteniéndose un porcentaje máximo de reducción de la DQO de 71,97% y de SS de un 97,97%.

Aunque esta propuesta no logra adaptar las concentraciones de DQO y fenoles establecido por el decreto 883, se recomienda a la empresa realizar un estudio mas avanzado de la oxidación química, tratamiento por medio del cual logra adaptarse el efluente a lo establecido por las normativas ambientales, este tratamiento fue comprobado pero es necesario seguir con la experimentación; también se recomienda la implementación de la alternativa seleccionada como una primera fase de tratamiento, que posteriormente deberá ser complementada con un tratamiento químico o biológico.

SUMMARY

The following investigation must like objective to evaluate economic and technical feasibility of a system of treatment of liquid remainders of a veterinary pharmaceutical company, with the purpose of adapting originating waters of washing of the areas of productions to the established in the decree 883.

Of the form as they went developing the objectives of the investigation, this can be divided in three phases: one first stage related to the study we diagnose that we imply a recognition of field of the productive processes in order to identify the possible polluting agents that come from the productive areas of the company; in addition interviews to the personnel were made to as much know the productive processes like the procedures cleaning of the areas of production and equipment.

Once made we diagnose, proceeded to the taking of sample for the characterization and determination of the volume of residual waters generated by washing, thus defining this second part like the experimental phase of the investigation finally, the alternatives for the solution of the problem were generated. The phase of generation of alternatives we are based on theoretical foundations and opinions provided by experts in the matter; and its selection profit through a selection matrix.

In the development of the first stage of the investigation we determine that all waters of washing that come from the different processes are polluting and in its majority with nonbiodegradable organic matter. Also, we are observed that it is not counted on a washing procedure that can guarantee and minimum detergent and water consumption.

The propose alternative for the reduction of polluting agents were based on a physics-chemical treatment, varying between an alternatives and another one the distribution of equipment or stages, and the amount of necessary equipment for the improvements.

Between the obtained result it is had alternative selected it is first, which consists of the coagulation flocculation treatment using polycloruro of aluminum because this it can act like coagulant and flocculant simultaneously, obtaining a maximum percentage of reduction of DQO of 71,97% and SS of a 97,97%.

Although with this proposal it is not managed to adapt the concentrations of DQO and phenols to the established by the decree 883 it is recommended to the company to make and advanced study but of the chemical oxidation, treatment by means of which the remainders to the established by the environmental norms manages to adapt, this treatment was verified but it is necessary to follow with the experimentation, also the implementation of the alternative selected like one first stage of treatment is recommended, that later must be complemented with a chemical or biological treatment.



ÍNDICE GENERAL

Introducción.....	01
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Descripción de Problema.....	03
1.2 Formulación del Problema.....	05
1.2.1 Situación Actual.....	05
1.2.2 Situación Deseada.....	05
1.3 Objetivos	
1.3.1 Objetivo General.....	05
1.3.2 Objetivos Específicos... ..	06
1.4 Justificación.....	06
1.5 Limitaciones.....	07
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes.....	08
2.1.1 Reactor Biológico SBR como una solución a los efluentes químicos y farmacéuticos.....	08
2.1.2 Tratamiento Químico de contaminantes orgánicos por el proceso fenton.....	09
2.1.3 Tratamiento Físico-Químico de aguas residuales de las industrias lácteas.....	09
2.1.4 Tratamiento Biológico de aguas residuales industriales con alta carga de nitrógeno....	10
2.1.5 Plantas compactas para el tratamiento de aguas industriales.....	11
2.1.6 Gestión de efluentes de alta carga orgánica.....	11
2.2 Contaminación de las aguas.....	12
2.3 Aguas residuales industriales.....	13
2.3.1 Características de las aguas residuales.....	13
2.4 Contaminantes prioritarios.....	14
2.4.1 Compuestos orgánicos.....	14
2.4.2 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).....	14
2.4.3 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	15
2.4.4 Compuestos Inorgánicos.....	15
2.4.5 pH y Alcalinidad.....	16
2.4.6 Temperatura.....	17



2.4.7 Oxígeno Disuelto.....	17
2.4.8 Sólidos.....	17
2.4.9 Aceites y Grasas.....	19
2.5 Nutrientes y Eutrofización.....	19
2.6 Tratamiento de las aguas residuales.....	20
2.7 Tratamiento Primario.....	22
2.7.1 Homogeneización.....	22
2.7.2 Neutralización.....	23
2.7.3 Proceso de Coagulación-Floculación.....	24
2.7.4 Etapas del proceso de Coagulación-Floculación.....	25
2.8 Pruebas de Jarra.....	28
2.8.1 Procedimiento de las pruebas de jarra.....	29
2.8.2 Equipo de pruebas de jarra.....	29
2.9 Tratamiento Físico-Químico.....	30
2.10 Sustancias Tóxicas.....	30
2.11 Precipitación Química.....	30
2.12 Oxidación Química (Proceso Fenton).....	32
2.13 Tratamiento Secundario.....	34
2.14 Procesado de Lodos.....	34
2.14.1 Lechos de secado de arena para lodos.....	35
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	
3.1 Proceso de Producción	37
3.2 Proceso de Limpieza y Desinfección de las Sub-Áreas de Producción.....	42
CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO	
4.1 Tipo de Investigación.....	45
4.2 Desarrollo Sistemático de la Investigación.....	46
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
5.1 Identificación de los diferentes procesos de producción que se llevan a cabo en la planta, que generan aguas de lavado contaminantes.....	55
5.2 Determinación de la cantidad de efluentes generados en los procesos de lavado.....	58



5.3 Caracterización de los efluentes que se generan en los procesos, por medio de pruebas de laboratorio.....	60
5.4 Establecimiento de las alternativas de tratamiento para efluentes líquidos con las características determinadas.....	68
5.5 Selección de la alternativa más adecuada de acuerdo a las características técnicas.....	74
5.6 Diseño de los equipos necesarios para la alternativa seleccionada.....	80
5.7 Determinación de los costos de inversión y beneficios generados para la alternativa seleccionada.	84
Conclusiones.....	87
Recomendaciones.....	89
Referencias Bibliográficas.....	90
Apéndice A. Leyes y Decretos Ambientales.....	93
Apéndice B. Tablas y Figuras Teóricas.....	97
Apéndice C. Datos y Resultados Experimentales.....	104
Apéndice D. Cálculos Típicos.....	109
Anexos. Cotizaciones.....	132



ÍNDICE DE TABLAS**CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Tabla 1.1 Productos Elaborados por la empresa Lavelaca.....	04
---	----

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Tabla 3.1 Productos elaborados por la empresa según su clase.....	39
---	----

CAPÍTULO IV. MARCO METODOLÓGICO

Tabla 4.1 Volumen de Agua de Lavado Recolectado Semanalmente.....	48
---	----

Tabla 4.2 Matriz de Selección de las Alternativas de Tratamiento Propuestas.....	52
--	----

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 5.1 Materias Primas utilizadas para algunos de los Productos elaborados por la empresa..	57
--	----

Tabla 5.2 Relación de Biodegradabilidad en función al Tipo de Tratamiento que puede aplicarse al Efluente.....	69
--	----

Tabla 5.3 Matriz de Selección de las Alternativas de Tratamiento Propuestas.....	79
--	----

Tabla 5.4 Resumen de resultados del diseño de el Tanque de Igualación.....	80
--	----

Tabla 5.5 Resumen de resultados del diseño de el Tanque de Coagulación-Floculación.....	81
---	----

Tabla 5.6 Resumen de resultados del diseño de el Sedimentador Primario.....	82
---	----

Tabla 5.7 Resumen de resultados del diseño de Los Lechos de Secado.....	83
---	----

Tabla 5.8 Resumen de resultados del diseño de Las Bombas Para El Sistema.....	83
---	----

Tabla 5.9 Costos de Inversión inicial.....	84
--	----

ÁPENDICE A. LEYES Y DECRETOS AMBIENTALES

Tabla A.1 Gaceta Oficial 4418 Sobre las normas de clasificación y control de vertidos líquidos	94
--	----

Tabla A.2 Marco Legal Ambiental de Aguas Residuales.....	96
--	----

APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS TEÓRICAS

Tabla B.1 Coeficiente de Resistencia (K) y Largo Equivalente (Le/D).....	99
--	----

Tabla B.2 Dimensiones de los Tubos de Acero Comercial.....	101
--	-----

APÉNDICE C. DATOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

Tabla C.1 Caracterización de las Aguas de Lavado.....	105
---	-----

Tabla C.2 Densidad del Agua de Lavado.....	106
--	-----

Tabla C.3 Volumen de Agua de Lavado Recolectado.....	106
--	-----



Tabla C.4 Caracterización y Porcentaje de Reducción de Contaminantes después de las Pruebas de Jarra.....	107
Tabla C.5 Datos Experimentales de las Pruebas de Jarra.....	108



ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Figura 2.1 Cono Imhoff.....	18
Figura 2.2 Identificación de Sólidos.....	18
Figura 2.3 Tanque de Igualación.....	23
Figura 2.4 Etapa de mezcla rápida.....	26
Figura 2.5 Etapa de mezcla lenta.....	26
Figura 2.6 Etapa de sedimentación.....	27
Figura 2.7 Etapas del proceso de coagulación-floculación.....	28
Figura 2.8 Equipo para pruebas de jarra.....	29

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Figura 3.1 Área de pesado.....	37
Figura 3.2 Organización esquemática de la producción.....	38
Figura 3.3 Adición de la materia prima en el área de Premezcla.....	40
Figura 3.4 Embalaje del área de Tabletas.....	41
Figura 3.5 Envasado de producto del área de Líquidos Orales.....	41
Figura 3.6 Recolección de residuos del área de Líquidos Orales.....	42
Figura 3.7 Primer lavado del área de Líquidos Orales.....	43
Figura 3.8 Lavado de equipos del área de Premezcla.....	43

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Figura 5.1 Plano de las sub-áreas de producción de la planta.....	56
Figura 5.2 Variación del volumen de agua de lavado recolectado por semana.....	59
Figura 5.3 Comparación semanal entre la concentración de DQO en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.....	61
Figura 5.4 Comparación semanal entre la concentración de Aceites y Grasas en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.....	62
Figura 5.5 Comparación semanal entre la concentración de Detergentes en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.....	63
Figura 5.6 Comparación semanal entre la concentración de DBO en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.....	64



Figura 5.7 Comparación semanal entre la concentración de Fenoles en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.....	65
Figura 5.8 Comparación semanal entre la concentración de Fósforo en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.....	65
Figura 5.9 Comparación semanal entre la concentración de Sólidos Suspendedos en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.....	66
Figura 5.10 Comparación semanal entre la concentración de Sulfatos en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.....	67
Figura 5.11 Relación de biodegradabilidad de las aguas de lavado a lo largo de la experimentación.....	62
Figura 5.12 Comparación entre la concentración de DBO antes y después de la realización de las pruebas de jarras.....	70
Figura 5.13 Comparación entre la concentración de DQO antes y después de la realización de las pruebas de jarras.....	70
Figura 5.14 Disminución de los valores de Sólidos Suspendedos (SS) después de la aplicación de las pruebas de jarra.....	71
Figura 5.15 Concentración de DQO luego de la realización de las pruebas de jarras y oxidación química con H_2O_2 y $FeSO_4$	72
Figura 5.16 Concentración de Fenoles luego de la realización de las pruebas de jarras y oxidación química con H_2O_2 y $FeSO_4$	73
Figura 5.17 Esquema general de diseño de la alternativa Nro. 1.....	75
Figura 5.18 Esquema general de diseño de la alternativa Nro. 2.....	76
Figura 5.19 Esquema general de diseño de la alternativa Nro. 3.....	77
APÉNDICE B. TABLAS Y FIGURAS TEÓRICAS	
Figura B.1 Diseño del Impulsor.....	98
Figura B.2 Diámetro Económico.....	102
Figura B.3 Rugosidad Relativa.....	103
APÉNDICE D. CÁLCULOS TÍPICOS	
Figura D.1 Esquema para la aplicación de la ecuación de Bernoulli.....	128





INTRODUCCIÓN

Actualmente la sustentabilidad del ambiente se encuentra en una posición desventajosa en relación a la calidad de vida de las futuras generaciones. Lamentablemente, a pesar de los esfuerzos puestos de manifiesto a través de acuerdos internacionales, declaraciones de principios y acciones sobre el desarrollo mundial sustentable, la pobreza, las enfermedades, el analfabetismo y el deterioro incesante de los ecosistemas no ha cesado.

Por ello, la explotación de los recursos renovables y no renovables, y la capacidad de los sistemas naturales para absorber las emisiones contaminantes derivadas de las acciones humanas, cuyos efectos secundarios implican altos costos para las generaciones futuras, tiene profundas implicaciones políticas pues apela a limitaciones en la capacidad de los individuos, las empresas y las naciones para utilizar estos recursos.

El término desarrollo sustentable reúne dos líneas de pensamiento en torno a la gestión de las actividades humanas: una de ellas concentrada en las metas de desarrollo y la otra en el control de los impactos dañinos de las actividades humanas sobre el ambiente. Es decir, “satisfacer las necesidades de esta generación sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades.”

La finalidad del presente trabajo es adecuar las aguas de lavado provenientes de las áreas de producción de la empresa a las normativas ambientales vigentes; y de esta forma contribuir con la preservación del medio ambiente.

Esta investigación presentó como objetivos específicos la identificación de los diferentes procesos de producción que se llevan a cabo en la planta, que generan aguas de lavado contaminantes. También la determinación de la cantidad de efluentes generados en los procesos de lavado, así como la caracterización de los efluentes que se generan en los procesos, por medio de pruebas de laboratorio y el establecimiento de las alternativas de tratamiento para efluentes líquidos con las características determinadas. Por último, la selección de la alternativa más adecuada de acuerdo a las características técnicas, el diseño de los equipos necesarios para la



alternativa seleccionada, y la determinación de los costos de inversión y beneficios generados para la alternativa seleccionada.

La metodología a seguir para el logro de los objetivos específicos planteados, se basó en la observación mediante visitas a las diferentes áreas de producción de la planta durante los procesos de producción y de lavado de cada área, además con el apoyo y la información suministrada por el personal especializado, seguido de la revisión de las hojas de seguridad de las materias primas, se identificó cuales procesos generan aguas de lavado contaminadas.

Posteriormente, se seleccionó el método más adecuado de determinación de la cantidad de efluentes generados y se registró el volumen de agua utilizado por semana. Después se estableció un tipo de muestra compuesta, recolectada diariamente en un lapso de una semana, se seleccionaron los parámetros a analizar por el laboratorio especializado de acuerdo al decreto 883 y procedió a la caracterización de los efluentes.

Seguidamente, se establecieron las alternativas de tratamiento de acuerdo a la bibliografía y a la consulta con expertos y tutores, y las distintas tecnologías existentes, también se realizaron pruebas de jarra. Luego se seleccionó la alternativa mas adecuada por medio de una matriz de selección. Y se procedió al diseño de los equipos de la alternativa seleccionada. Por último se realizó un estudio económico de los costos de inversión inicial y de operación en relación a la capacidad financiera de la empresa de afrontar los costos.

El trabajo se encuentra estructurado en cinco capítulos; el primero comprende el planteamiento del problema, la situación actual y deseada, objetivos, justificación y limitaciones. El segundo contiene el marco teórico de la investigación. El tercero describe en general el proceso productivo de la empresa y como se realizan los lavados de las áreas de producción. En el cuarto se muestra en detalle la metodología empleada para el desarrollo de los objetivos planteados. En el quinto se presentan la discusiones de los resultados obtenidos, el diseño de los equipos de la alternativa seleccionada y el estudio económico basado en los costos de inversión inicial y beneficios ambientales generados. Por ultimo se presentan las conclusiones y recomendaciones.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se plantea el problema a estudiar, a través de una descripción del mismo, una breve formulación, el objetivo general y los específicos, la justificación, y por último las limitaciones que se presentan.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Laboratorio Veterinario La Caridad C.A (LAVELACA), se encuentra ubicado en la carretera Nacional San Juan de los Morros-Villa de Cura, sector el Carmen, Edo. Aragua.

Esta empresa pertenece al grupo La Caridad C.A y nace a raíz de la necesidad de abaratar los costos de producción de pollos y huevos, a través de la minimización de los productos farmacéuticos veterinarios utilizados en las granjas pertenecientes al grupo.

LAVELACA produce medicinas veterinarias para uso avícola en mayor porcentaje, también produce medicinas para ganado porcino, vacuno, caprino y pequeños animales; además de elaborar desinfectantes para las áreas avícolas y ganaderas, cumpliendo con normas de calidad y buenas practicas de manufacturas. El 70% de la producción está destinado para el consumo de la integración y el 30% aproximadamente para la venta a los centros de distribución.

Entre los productos que se elaboran en la empresa podemos mencionar los citados en la Tabla 1.1.

Para la producción de las distintas medicinas y desinfectantes la empresa cuenta con áreas claramente delimitadas, una para la elaboración de medicinas y otra para los desinfectantes, estas a su vez están subdivididas de la siguiente forma, para el área de medicinas: se tienen dos reactores para la preparación de las diferentes soluciones líquidas y de las cremas y pomadas, un mezclador para la elaboración de polvos solubles, una línea semi-automatizada para el envasado de líquidos y otra manual para el envasado de polvos, un mezclador para la elaboración de premezclas o aditivos que se adicionan en el alimento de algunos animales; para los



desinfectantes se tiene: un reactor para los líquidos y una línea de envasado. Todos los procesos que se dan en la empresa son única y exclusivamente por carga.

TABLA 1.1
PRODUCTOS ELABORADOS POR LA EMPRESA LAVELACA

Producto	Tipo
Polvos Solubles	Anticoccidiales, antibióticos, polivitamínicos, antifungosos.
Líquidos Orales	En soluciones y suspensiones de antibióticos y polivitamínicos.
Premezclas	Antiparasitarios internos, antibióticos, minerales y promotor de crecimiento.
Desinfectantes Líquidos	De amonio cuaternario, yodo, creolina y glutaraldehído.
Champú	Antiparásito externo e insecticida.
Cremas y Pomadas	De yodo y antibióticos.
Tabletas	Antiparasitarias y polivitamínicos.
Formas farmacéuticas inyectables	Antibióticos y polivitamínicos.

Fuente: Información recopilada por los autores

Las operaciones de acondicionamiento para la puesta en marcha de los diferentes procesos de producción de la empresa, generan desechos y aguas que pudieran contener sólidos disueltos, espumas, y altos niveles de contaminantes tóxicos, además de condiciones de temperatura y pH, no aceptados por las Leyes Ambientales que se encuentran vigentes.

Por lo que la empresa se vio en la necesidad de disponer de una evaluación técnica y económica, que le permita tomar la decisión de implementar un sistema de tratamiento de efluentes líquidos, y de esta forma mantener bajo norma la concentración de contaminantes y las condiciones de temperatura y pH en los mismos, evitando así los daños causados al ambiente y el riesgo de acciones legales en contra de la empresa por las autoridades competentes.



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los efluentes líquidos generados durante las operaciones de lavado de equipos y áreas de trabajo, de los distintos procesos productivos de la empresa, pudieran contener altos niveles de contaminantes, que pueden causar daños al ambiente, debido a que a dichos efluentes no se les aplica ningún tipo de tratamiento previo a su descarga a los cuerpos de agua. Por esta razón, es importante para la empresa disponer de una evaluación técnico-económica que le permita implementar un sistema de tratamiento de efluentes líquidos y así, mantener bajo norma la concentración y las condiciones de temperatura y pH de los mismos.

1.2.1 Situación actual

Para la puesta en marcha de los diferentes procesos de producción de la empresa, es necesario el acondicionamiento de los equipos, tuberías y sitios de trabajo, mediante el lavado de los mismos, utilizando agua principalmente, lo que produce la mayor cantidad de efluentes líquidos con un alto contenido de contaminantes que en su mayoría son tóxicos. A dichos efluentes no se les aplica ningún tratamiento previo, a su descarga en los cuerpos de agua receptores, aun cuando estos pudiesen encontrarse fuera de los parámetros exigidos por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, lo que generaría acciones penales sobre la empresa.

1.2.2 Situación deseada

Disponer de una evaluación técnico-económica de un sistema de tratamiento de efluentes líquidos que permita mantener bajo norma la concentración de contaminantes en los mismos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la factibilidad técnico y económica de un sistema de tratamientos de efluentes líquidos de una empresa de productos farmacéuticos veterinarios.



1.3.2 Objetivos específicos

- 1.3.2.1 Identificar en los diferentes procesos que se llevan a cabo en la planta cuales generan aguas de lavado contaminantes para delimitar las áreas a estudiar.
- 1.3.2.2 Determinar la cantidad de efluentes generados en los procesos de lavado con la finalidad de conocer la cantidad de efluente y establecer el caudal a manejar por los equipos.
- 1.3.2.3 Caracterizar los efluentes que se generan en los procesos de lavado, por medio de pruebas de laboratorio que permitan obtener las características físico-químicas necesarias para el diseño.
- 1.3.2.4 Establecer las alternativas de tratamiento para efluentes líquidos con las características determinadas, con la finalidad de dar posibles soluciones que permitan adaptar los efluentes líquidos generados a lo establecido por la ley.
- 1.3.2.5 Seleccionar la alternativa más adecuada de acuerdo a las características técnicas con la finalidad de obtener el sistema de tratamiento más conveniente.
- 1.3.2.6 Dimensionar los equipos necesarios para la alternativa seleccionada, con el fin de determinar el tamaño de los mismos y la posible disposición en planta.
- 1.3.2.7 Determinar la factibilidad económica de la alternativa seleccionada con la finalidad de tener una base para una futura implementación.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Para la empresa LAVELACA es de vital importancia la implementación de un sistema de tratamiento de efluentes líquidos, lo que le permitiría adecuar los mismos a los parámetros establecidos por las leyes ambientales disminuyendo así el impacto ambiental que estos generan actualmente.

Por otra parte la realización de este proyecto servirá de ayuda y apoyo para futuras investigaciones en el área de tratamiento de agua, así como también contribuir con la aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y a la adquisición de nuevos conocimientos por parte de los autores.



También la realización de este Trabajo Especial de Grado permitirá a los autores cumplir con el último requisito exigido por la Universidad de Carabobo para obtener el título de Ingeniero Químico.

1.5 LIMITACIONES

- Costo que implica la realización de las pruebas de caracterización fisicoquímicas de los efluentes.
- Disposición de espacio en planta para la construcción y disposición de los equipos del sistema de tratamiento.
- El tiempo necesario para realizar un estudio más detallado de la oxidación química y el costo adicional asociado al mismo, ya que se necesitan más pruebas de caracterización.
- La disponibilidad de los costos de construcción y de los equipos necesarios para el cálculo de la inversión inicial.
- Concientización del personal para realizar la toma de muestras de la manera más adecuada.
- Localizar los laboratorios especializados para la realización de los análisis al menor costo posible.
- Disponibilidad de equipos de laboratorio para la realización de la parte experimental.



CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

En este capítulo se recopila toda la información teórica y antecedentes necesarios para comprender el funcionamiento y la importancia de los distintos procesos de tratamiento de efluentes líquidos contaminados, a través de los cuales se pueden adecuar los mismos a las normativas ambientales vigentes, disminuyendo así significativamente el impacto causado al ambiente.

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 REACTOR BIOLÓGICO SBR COMO SOLUCIÓN A LOS EFLUENTES QUÍMICOS Y FARMACÉUTICOS

En este artículo se explican las fases del sistema SBR (Reactor Batch en Serie) y se muestran las ventajas que ofrece aplicado a efluentes industriales, haciendo hincapié en su aplicación a la industria químico-farmacéutica.

El objetivo principal de esta investigación es mostrar las ventajas que ofrece el sistema SBR aplicado a efluentes industriales, principalmente aplicado a la industria química-farmacéutica.

Las principales conclusiones están orientadas a la aplicabilidad del sistema SBR donde se pueden mencionar, mayor rendimiento obtenido con respecto a un reactor mezcla completa, menores costos de mantenimiento, electricidad y materia prima, debido a la ausencia de los mismos y a los pocos equipos que este sistema presenta, etc.

Este artículo tiene semejanza con la investigación realizada en que se presenta una alternativa de tratamiento de efluentes principalmente de las industrias farmacéuticas. (García, I. 2003)



2.1.2 TRATAMIENTO QUÍMICO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS POR EL PROCESO FENTON

Este artículo trata principalmente de la utilización del reactivo Fenton (constituido por peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso) en el tratamiento de efluentes con alta carga orgánica; además de las diferentes aplicaciones y modalidades de este proceso.

El objetivo de esta investigación es difundir la potencialidad del proceso Fenton y la discusión de variantes que resultan de una intensificación y mayor automatización del proceso, tendientes a disminuir los costos operativos y facilitar el tratamiento de cargas con mayor concentración de contaminantes orgánicos y volúmenes variables.

Con la investigación se pudo concluir, que el tratamiento químico de contaminantes orgánicos utilizando el proceso Fenton es una alternativa económica, efectiva y versátil con un gran potencial de aplicación.

El estudio mostrado anteriormente tiene semejanza con el realizado en que, el tratamiento a realizar se aplica a efluentes con alta carga orgánica, además de presentar una estrategia de diseño del sistema, que permite a esta investigación tener una base a la hora de proponer algún tipo de tratamiento de efluentes. (López, G. y Martínez, E., 2001)

2.1.3 TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS INDUSTRIAS LÁCTEAS

En el presente artículo se muestran los resultados de un estudio de tratamiento físico-químico de aguas residuales de las industrias lácteas, además de hacer analogías con efluentes de alta carga orgánica.

Tiene como principal objetivo documentar la influencia de la concentración de reactivos usados y variaciones de las condiciones de tratamiento, para obtener las condiciones óptimas de operación.



Como conclusión de este artículo se podría mencionar que este tipo de estudios permite la determinación de la receta de tratamiento a ejecutar en planta a la hora de implementar un sistema de tratamiento.

La diferencia que presenta este artículo con la presente investigación, es principalmente el tipo de efluente a la cual se le realiza el tratamiento ya que, en el artículo hacen referencia a efluentes de industrias lácteas y en el caso de esta investigación, es de una industria farmacéutica, aunque se podrían decir que la semejanza está en que ambos efluentes presentan una alta carga orgánica. (Abia, L. y Rodríguez, M., 2002).

2.1.4 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES CON ALTA CARGA DE NITRÓGENO

Este artículo trata principalmente del diseño de un sistema de tratamiento de efluentes con alta carga de nitrógeno, haciendo hincapié en las consideraciones de diseño enfocadas en las características de los efluentes.

El objetivo de este artículo es proponer unas pautas de diseño de depuradoras biológicas de lodos activados para el tratamiento de efluentes industriales con alta carga de amonio.

Tal investigación permitió concluir que las aguas residuales industriales con alta carga de nitrógeno son efluentes que, a pesar de su complejidad, pueden ser tratados mediante el proceso biológico de lodos activados tomando en cuenta una serie de consideraciones de diseño.

La diferencia que presenta el artículo antes citado con la presente investigación podría ser principalmente el tipo de efluente, ya que en el artículo hacen referencia a efluentes con alta carga de nitrógeno, cosa que a la altura de esta investigación se desconoce, debido a que no se han realizado los análisis respectivos aunque también sugieren consideraciones de diseño de sistemas destinados al tratamiento de dichos efluentes, cosa que se podría tomar como una semejanza. (Carrera, J. y Lafuente, F., 2004)



2.1.5 PLANTAS COMPACTAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES

En general el artículo muestra la comparación entre dos plantas de tratamiento de efluentes contaminados, explicando ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

El objetivo principal presentado, es describir la composición y funcionamiento de dos plantas de tratamiento de efluentes industriales de alta contaminación en las que el tratamiento esta organizado en dos etapas, una con reactor biológico de alta carga y otra con biofiltración.

Como conclusión presenta a ambos procesos como interesantes para el tratamiento de efluentes de alta concentración, ya que suponen una instalación compacta, de fácil mantenimiento, de inversión moderada y sobre todo procesos ágiles, de fácil arranque y gran capacidad de respuesta.

Al igual que la presente investigación este artículo propone alternativas de tratamiento de efluentes haciendo hincapié en el diseño de dos sistemas en particular como los son, un proceso por biofiltración y otro por medio de reactor biológico. (Saez, A., 1997)

2.1.6 GESTIÓN DE EFLUENTES DE ALTA CARGA ORGÁNICA

En este artículo se hacen estudios a nivel bibliográfico sobre el tratamiento de efluentes, además de estrategias para la reutilización y disminución de los mismos, y alternativas para la disminución de la carga de contaminantes.

El objetivo de estudio de este artículo es el de presentar alternativas para la reducción de la carga contaminante en las aguas de las industrias madereras.

Como resultado del trabajo realizado se propusieron medidas internas a nivel de la empresa, tendientes al cierre de circuitos, reutilización de las aguas y segregación de corrientes, que contempla básicamente la segregación de las tres corrientes identificadas como las de mayor carga contaminante.



Al igual que todos los artículos presentados anteriormente se presenta una similitud con el estudio en cuestión en cuanto a la selección de sistemas de tratamiento de efluentes, aunque la diferencia que se puede encontrar está relacionada con el tipo de efluente o el tipo de empresa en la cual se realiza la investigación. (Bornhardt, C. y Diez, M., 1999)

2.2 CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

La eliminación de los residuos de origen humano ha constituido siempre un serio problema. Con el desarrollo de las áreas urbanas fue necesario construir sistemas de drenaje o alcantarillado para transportar estos residuos. El depósito normal fue siempre la corriente de agua más cercana. Rápidamente, se evidencio que los ríos y otros receptores de estas aguas tenían una capacidad limitada para asimilar estos materiales de residuos sin crear condiciones nocivas.

Históricamente, la mayor preocupación con respecto a la polución de las aguas superficiales fue su disponibilidad de oxígeno. Sin embargo, en las dos últimas décadas una preocupación creciente ha sido la contaminación de aguas superficiales y subterráneas con otros contaminantes de origen industrial o agrícola.

En la actualidad la amplia variedad de químicos orgánicos y metales pesados producidos y usados por la industria también han mostrado tener efectos contaminantes en las aguas superficiales y subterráneas. Estos compuestos causan preocupación en el campo de la salud pública y también pueden tener un impacto adverso en la vida acuática.

La extensa gama de contaminantes que se descargan en las aguas superficiales se pueden agrupar en dos categorías: Fuentes puntuales, donde entran las aguas negras domesticas e industriales. Y Fuentes no puntuales, que son las aguas de escurrimiento (provenientes de las lluvias), ya sean urbanas o agrícolas. (Clair, S. y Perry M., 2001)



2.3 AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

La mayor parte de las aguas residuales industriales no presentan un riesgo potencial de contaminación por microorganismos patógenos, pero si lo poseen en cuanto a los daños potenciales provocados al medio ambiente tanto de forma directa como indirecta por las reacciones químicas que ocasionan. Algunas de estas aguas industriales son directamente biodegradables y generan una demanda inmediata de oxígeno, pero otras son tóxicas y representan un riesgo potencial para el medio ambiente. (Perry, 2001)

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

En el caso de las aguas residuales de origen industrial, sus características fisicoquímicas varían ampliamente de una industria a otra, pero en general presentan problemas de acidez o alcalinidad, alta temperatura, grandes niveles de grasa y aceite, metales pesados, una gran demanda de oxígeno para la oxidación de materia química, sólidos disueltos y suspendidos.

Obviamente, dichas características influirán directamente sobre la tecnología a emplear en la depuración de las mismas, de ahí que los métodos para tratar este tipo de agua sean muy diversos y se tenga una constante investigación para desarrollar formas más avanzadas, y especialmente dirigidas al menor consumo de energía y productos químicos, así como al ahorro de espacios en las instalaciones, con el fin de cumplir con los requerimientos de vertido. (Perry, 2001)

Por la gran diversidad de sustancias contaminantes que existen, las características de las aguas residuales no se consideran en base a una sustancia u otra, sino que las sustancias de igual efecto contaminante se agrupan dentro de clases de contaminantes o características contaminantes. (Perry, 2001)

En la caracterización de un agua residual se determinan los elementos contaminantes o no, presentes, es decir, el tipo y cantidad de sustancia que esta contiene, para de esta manera asegurar el tipo de tratamiento que se debe aplicar para adecuar los contaminantes a los valores exigidos por las normativas ambientales.



Algunas de las características generales que se deben considerar a la hora de planificar los tratamientos son: Contaminantes prioritarios, Compuestos orgánicos, Compuestos inorgánicos, pH y alcalinidad, Temperatura, Oxígeno disuelto, Sólidos, Nutrientes y eutrofización, Aceites y grasas, etc.

Al llevar a cabo la caracterización de un agua residual es necesario e importante contar con un programa de muestreo apropiado que permita asegurar la representatividad de la muestra, y un análisis de laboratorio que asegure precisión y exactitud en los resultados. En general un programa de muestreo para caracterización de aguas, supone un análisis cuidadoso del tipo de muestras y parámetros que se deben analizar.

2.4 CONTAMINANTES PRIORITARIOS

La mayoría de las sustancias que conforman este grupo son orgánicas, aunque también se incluyen algunas inorgánicas, pero todas se consideran tóxicas. Sin embargo, la toxicidad de estas no es absoluta, depende de la concentración. De hecho muchas de estas sustancias son biodegradables. En este grupo podemos encontrar a los fenoles. (Perry, 2001)

2.4.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS

La composición orgánica de las aguas residuales industriales varía ampliamente, sobre todo debido a la diferencia de materias primas empleadas en cada industria. Entre estas sustancias orgánicas se incluyen proteínas, hidratos de carbono, grasas y aceites, productos petroquímicos, disolventes, productos farmacéuticos, moléculas de alta y baja masa molecular, sólidos y líquidos. (Perry, 2001)

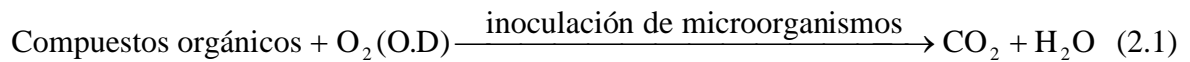
2.4.2 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)

La demanda biológica de oxígeno a los cinco días (DBO_5) es una medida de la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos. En este análisis se determina la demanda de oxígeno que provocan las sustancias orgánicas evacuadas por los vertidos industriales y urbanos al curso de agua que



los recibe; este parámetro se ha empleado para determinar la resistencia y los efectos de un vertido contaminante.

En el análisis se determina la demanda de oxígeno de un residuo expuesto a la acción de microorganismos (inoculación controlada) durante un período de incubación de cinco días. Esta demanda es debida a la degradación de las sustancias orgánicas de acuerdo a la siguiente ecuación simplificada, aunque también ciertas sustancias inorgánicas tales Fe^{2+} , S_x^{2-} y SO_3^{2-} pueden causar esta demanda de oxígeno.



En este análisis de laboratorio se mide el descenso de la concentración de oxígeno disuelto (O.D) en 5 días y se relaciona con la resistencia que presenta la muestra a su biodegradación. Si el análisis se prolonga durante 20 días, se obtiene la (DBO_{20}) cuyo valor es más próximo al de la demanda química de oxígeno. (Perry, 2001)

2.4.3 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

En la determinación de la DQO se emplea un oxidante químico fuerte en presencia de un catalizador y calor; este agente químico oxida la muestra. El valor de la DQO es superior a los resultados obtenidos de la DBO a los 5 o a los 20 días. Algunos compuestos orgánicos como la piridina, son resistentes a la oxidación química, dando un valor bajo de DQO. Una de las principales ventajas de la determinación de la DQO es el tiempo de análisis inferior a 3 horas, frente a los 5 o 20 días necesarios para la determinación de la DBO. (Perry, 2001)

2.4.4 COMPUESTOS INORGANICOS

Hay aguas residuales industriales que contienen altas concentraciones de compuestos inorgánicos como resultado de la incorporación al agua de sustancias químicas durante los procesos de fabricación. Las aguas residuales urbanas presentan un equilibrio entre el contenido en



compuestos orgánicos e inorgánicos, mientras que las aguas residuales industriales pueden presentar deficiencias en compuestos inorgánicos específicos.

La biodegradación de los compuestos orgánicos requiere cantidades de adecuadas de nitrógeno, fósforo, hierro y sales a nivel de traza. Las sales amoniacales o sales de nitratos pueden ser una fuente adecuada de nitrógeno, mientras que los fosfatos proporcionan el fósforo necesario. Las sales férricas o ferrosas presentes o la corrosión de los equipos de acero pueden proporcionar el hierro necesario. Otros elementos traza necesarios son el potasio, calcio, magnesio, cobalto, molibdeno, cloruros y azufre. (Perry, 2001)

2.4.5 pH y ALCALINIDAD

Las aguas residuales deben tener valores de pH entre 6 y 9 para que el impacto provocado al ambiente sea mínimo. Las aguas residuales con valores de pH inferiores a 6 tenderán a ser corrosivas debido al exceso de iones hidrogeno. Y las aguas que presentan un pH superior a 9 tenderán a ser incrustantes, causando problemas de depósito debido a la precipitación de los iones metálicos como carbonatos o como hidróxidos.

La alcalinidad es importante para mantener los valores de pH en niveles adecuados. Porque es importante que el agua disponga de una alcalinidad adecuada para neutralizar los componentes residuales ácidos así como aquellos derivados del metabolismo parcial de las sustancias orgánicas. Muchos compuestos orgánicos neutros tales como los hidratos de carbono, aldehídos, cetonas y alcoholes son biodegradados a través de intermedios ácidos que deberán ser neutralizados por la alcalinidad disponible.

Si la alcalinidad no es la adecuada, es preferible añadir carbonato de sodio que cal. Cuando se añade cal resulta difícil controlar adecuadamente el pH y este puede aumentar provocando la precipitación del calcio que forma parte de la alcalinidad. En algunas ocasiones resulta adecuado el empleo del bicarbonato de sodio como fuente de alcalinidad. (Perry, 2001)



2.4.6 TEMPERATURA

Las aguas residuales industriales tienden a presentar una temperatura superior a la de los cursos de agua. La temperatura no es un factor crítico cuando se encuentra por debajo de los 37 °C siempre que se vaya a proceder a un tratamiento biológico de las mismas, ya que es posible utilizar sistemas termófilos de tratamiento biológico de aguas residuales que operan a una temperatura en torno a los 65°C. En los climas donde las temperaturas invernales son extremadamente bajas, la temperatura ocasiona un descenso de la velocidad de reacción tanto de los tratamientos biológicos como químicos. Por ello, se intenta mantener una temperatura de funcionamiento entre 10 y 30 °C siempre que sea posible. (Perry, 2001)

2.4.7 OXIGENO DISUELTO

El oxígeno es un factor ambiental crítico para los cursos de agua, porque la vida acuática requiere unos niveles de oxígeno disuelto (O.D.) adecuados. Es importante que las aguas residuales tengan un nivel máximo de oxígeno disuelto cuando son vertidas y un mínimo de compuestos que demandan oxígeno para que el O.D. se mantenga a un nivel de 5mg/L.

El oxígeno es un gas con una solubilidad limitada en agua, 9,1 mg/L a 20 °C y 101,3 kPa (1 atm) de presión. Cuando la temperatura aumenta y la presión disminuye, por elevación sobre el nivel del mar, la solubilidad del oxígeno disminuye. El O.D. es mínimo cuando la DBO es máxima. Si la temperatura disminuye, los niveles de saturación de oxígeno disuelto aumentan, y disminuye la actividad metabólica. Los vertidos de aguas residuales con cierta temperatura tienden a agravar el problema de la presencia de oxígeno disuelto en las aguas receptoras. (Perry, 2001)

2.4.8 SÓLIDOS

Los sólidos totales son el residuo obtenido al someter a evaporación una muestra de agua residual a 103-105 °C, estos incluyen las fracciones que se muestran en la Figura 2.1. La primera fracción se obtiene al separar mediante un filtro de 2µm los sólidos disueltos (filtrado) de los sólidos que son retenidos por el filtro, denominados sólidos en suspensión. La combustión a 500 °C separa



los sólidos volátiles de las cenizas o sólidos fijos. Aunque las cenizas y los sólidos volátiles no diferencian entre los sólidos orgánicos e inorgánicos de forma precisa, debido a la pérdida de compuestos inorgánicos durante la combustión, la fracción de sólidos volátiles se emplea a menudo como una referencia del contenido de sólidos orgánicos.

Los sólidos sedimentables hacen referencia a aquellos sólidos que sedimentan en un cono Imhoff en una hora.



Figura 2.1 Cono Imhoff

Las aguas residuales industriales presentan variaciones sustanciales en el contenido de los distintos tipos de sólidos mencionados y se requiere un análisis detallado de la concentración y distribución de los mismos a la hora de establecer el proceso adecuado de tratamiento de las aguas residuales.

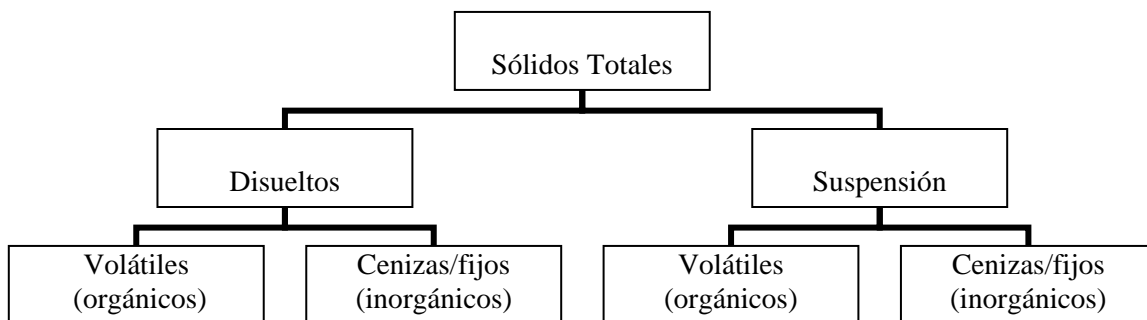


Figura 2.2 Identificación de sólidos

Fuente: Perry, 2001



2.4.9 ACEITES Y GRASAS

Estas sustancias se pueden encontrar en un gran número de aguas residuales industriales, como por ejemplo: procesado y envasado de carnes, petroquímicas y plantas de producción de jabón. Los aceites y grasas tienden a flotar sobre la superficie del agua, limitan la transferencia de oxígeno, interfieren en el uso recreativo de las zonas de baño y producen un impacto visual, haciendo de los cursos de agua un medio antiestético.

Para la determinación de estos compuestos se lleva a cabo una extracción con disolventes. Cabe destacar que bajo el término de “aceites y grasas” se engloban gran cantidad de sustancias que no son estrictamente grasas y aceites. Estas sustancias interfieren en otras operaciones de tratamiento, por ello, se eliminan en las etapas iniciales. (Perry, 2001)

2.5 NUTRIENTES Y EUTROFIZACIÓN

El nitrógeno y el fósforo causan problemas importantes en el medio ambiente y requieren una especial atención en los vertidos de aguas residuales industriales. El nitrógeno, el fósforo o ambos pueden provocar un aumento de la productividad biológica, disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto, dando lugar a la eutrofización de lagos, ríos, estuarios y aguas marinas.

Cuando la materia orgánica contiene nitrógeno reducido, éste se degrada generalmente produciendo amonio, el cual está en equilibrio químico con el amoníaco. Como el pK para la reacción $NH_3 \leftrightarrow NH_4^+$ es 9,3, el ión amonio es la especie presente en todos los sistemas de tratamiento biológicos considerando que funcionan a pH inferiores 8,5 y normalmente en el rango de pH entre 6,5 y 7,5. En las reacciones aerobias el amonio es oxidado por las bacterias nitrificantes (nitrosomonas) a nitrito; para cada mg de $NH_4^+ - N$ oxidado se requieren 3,43 mg de O.D. La oxidación posterior del nitrito por las bacterias nitrobacter produce nitrato, necesiándose una cantidad adicional de 1,14 mg de O.D.

El consumo total es de 4,57 mg. Por tanto, el nitrógeno orgánico y el amoniaco generan una gran demanda bioquímica de oxígeno en los cursos de agua. Esta demanda de oxígeno por parte del



nitrógeno se conoce como DBON, mientras que la DBO orgánica es DBOC (carbonosa). En el tratamiento de aguas residuales que presentan materia carbonosa y N orgánico y amoniacal, la demanda total de oxígeno (DTO) puede definirse a través de la siguiente fórmula:

$$DTO \cong 1,5DBO_5 + 4,5(NKT) \quad (2.2)$$

Donde NTK es el nitrógeno Kjeldahl total:

$$\text{Nitrógeno Kjeldahl total} = \text{nitrógeno orgánico} + NH_4^+ - N \quad (2.3)$$

El fósforo no se oxida ni se reduce biológicamente, aunque por acción biológica se puede obtener ortofosfato a partir de fósforo orgánico y polifosfatos. El ortofosfato puede eliminarse por oxidación química o por tratamiento biológico con fangos. Dentro de las aguas residuales industriales hay algunas que presentan bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo, nutrientes que se van a añadir siempre que se vaya a aplicar un tratamiento biológico de depuración, mientras que otras aguas residuales presentan altas concentraciones de dichos nutrientes. Por ejemplo, las aguas residuales derivadas de la fabricación de detergentes presentan altas concentraciones de fósforo. (Perry, 2001)

2.6 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales industriales presentan una alta heterogeneidad en cuanto a los contaminantes que las constituyen, además la normativa sobre vertido varía de acuerdo al cuerpo de agua receptor y la clase de contaminante.

Por tanto, no es posible establecer diseños normalizados para el control de la contaminación de las aguas residuales industriales. Cada instalación requiere un diseño específico para conseguir el funcionamiento óptimo de la planta. Los procesos que se aplican para el tratamiento de aguas residuales industriales son eficaces a la hora de eliminar más de un tipo de contaminante y en general son aplicables a varios tipos de instalaciones industriales. En la práctica, en el tratamiento



de aguas residuales industriales se combinan varios procesos a fin de conseguir el grado de depuración más alto al costo mas bajo.

En el proceso de diseño, lo mas adecuado es realizar ensayos de laboratorio y plantas piloto utilizando el agua residual industrial a tratar. Es fundamental conocer las variaciones temporales que presentan la concentración y composición de las aguas residuales industriales, el caudal y su efecto sobre el control operacional de los distintos procesos que conforman la estación de tratamiento. (Perry, 2001)

El diseño formal de una instalación depuradora de aguas residuales se basa en un procedimiento científico técnico y no en una estimación aleatoria, y sólo después de que se cumplieron las etapas de diseño preliminar se puede establecer con certeza el tipo de tratamiento y el monto de la inversión.

Por desgracia es usual que en el intento de reducir los costos que ocasionan los ensayos de laboratorio y los estudios en plantas pilotos, se empleen como base de diseño las características de las aguas residuales de plantas consideradas como similares, esto a menudo provoca fallos, retrasos e incrementa los costos. (Perry, 2001)

Entre los tipos y etapas de tratamiento, tenemos:

- Pretratamiento: Elimina sólidos sedimentables y flotantes
- Tratamiento primario: Elimina sólidos muy finos, emulsiones, coloides.
- Tratamiento secundario: Elimina materia orgánica biodegradable.
- Tratamiento terciario: Remueve nutrientes, DBO y SS remanentes.
- Desinfección: Elimina Virus, patógenos, oxidación de la materia orgánica total.
- Tratamientos Químicos: Elimina materia orgánica no biodegradable, contaminantes químicos.
- Manejo y disposición de lodos.



2.7 TRATAMIENTO PRIMARIO

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es la eliminación de contaminantes con el mínimo costo. Los sólidos en suspensión se eliminan mediante técnicas de separación física o química, gestionándose posteriormente como lodos. (Perry, 2001)

Este tipo de tratamiento se utiliza fundamentalmente para acondicionar el agua a fin de poder aplicar después algún método de tratamiento para disminuir o eliminar la contaminación orgánica o inorgánica. De igual modo, con el propósito de retirar sólidos perniciosos para el equipo de bombeo y equipo secundario.

Los métodos más comunes de tratamiento primario son: cribado, homogeneización, neutralización, sedimentación, separación de grasas y aceites (flotación), y coagulación.

2.7.1 HOMOGENEIZACIÓN

La homogeneización es una de las unidades de pretratamiento más importantes. La generación discontinua de corrientes residuales concentradas requiere de esta unidad, porque es importante homogenizar el caudal de las aguas residuales, su concentración e incluso ambos aspectos para equilibrar la carga hidráulica aplicada a las unidades de tratamiento.

Normalmente se aplica una agitación mecánica cuando se trata de aguas residuales en las que las interacciones son fundamentalmente químicas, mientras que las aguas residuales biodegradables requieren un mezclado por aireación a fin de mantener condiciones aerobias y prevenir la generación de olores desagradables.

Los sistemas de aireación por difusión son más adecuados que los equipos de aireación superficial mecánica cuando se opera bajo condiciones de carga variable. La homogeneización y la transferencia de oxígeno son factores importantes en las aguas residuales biodegradables.



La operación en ciclos regulares determina el tamaño del tanque de homogeneización. No se obtiene ninguna ventaja con un sobredimensionado de los tanques de homogeneización a la hora de equilibrar las variaciones que presentan las aguas residuales a tratar.

La operación industrial sobre la base de 5 días a la semana y 40 horas semanales hará que un tanque de homogeneización de 2 días tenga las dimensiones adecuadas para un funcionamiento continuo del sistema de tratamiento de las aguas residuales bajo condiciones uniformes. (Perry, 2001)



Figura 2.3 Tanque de Igualación

2.7.2 NEUTRALIZACIÓN

Las aguas residuales básicas o ácidas deben neutralizarse antes de su vertido. Los tanques de homogeneización pueden usarse como tanques de neutralización. Cuando se requiere una neutralización química independiente, el hidróxido de sodio es el agente alcalino más fácil de manipular en forma líquida, y puede emplearse a distintas concentraciones para la neutralización en línea con un equipo mínimo. Sin embargo, la cal sigue siendo el agente alcalino más empleado para la neutralización de ácidos. Aunque la piedra caliza proporciona velocidades de reacción lentas, y se aplica solo cuando se dispone de tiempo para que la reacción tenga lugar.

El ácido sulfúrico es el ácido más utilizado para neutralizar las aguas residuales con altos valores de pH a menos que pueda precipitar sulfato de calcio como resultado de la reacción de neutralización. De ser así, el ácido clorhídrico se puede utilizar para la neutralización de las aguas residuales básicas y para aguas residuales que sean débilmente básicas, el dióxido de carbono es adecuado para la neutralización. (Perry, 2001)



2.7.3 PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Para lograr la remoción de las partículas coloidales es necesario desestabilizar el medio acuoso mediante la adición de coagulantes: productos químicos con carga eléctrica contraria (coagulación), y propiciar el mezclado controlado para lograr aglutinar partículas coloidales (floculación), para que finalmente dichas partículas aglutinadas (flóculos), se encuentren bajo el efecto de la gravedad (sedimentación).

La fuerza de repulsión electrostática entre los coloides se puede reducir o neutralizar agregando iones positivos, los cuales neutralizan o disminuyen a valores muy bajos las cargas negativas de estos, este proceso recibe el nombre de Coagulación.

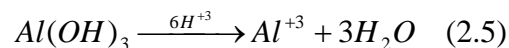
Una vez desestabilizadas las partículas coloidales estas se pueden aglomerar por las fuerzas de atracción de las masas, permitiendo así que las partículas aumenten de peso, esto se logra por la adición de sustancias de elevado peso molecular como polímeros: neutros, aniónicos o catiónicos. Este proceso recibe el nombre de floculación.

Entre los factores de afectan el proceso de coagulación-floculación tenemos:

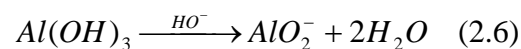
- **pH**

El pH afecta la solubilidad del precipitado formado, por ejemplo cuando se clarifica el agua residual con alumbre, el precipitado de hidróxido de aluminio se solubiliza en función del pH.

A pH ácido se disuelve el precipitado.



Y a pH alcalino, el hidróxido de aluminio se disuelve formando el ión plumbito.



Es por esto que este proceso requiere para una óptima eficiencia un pH óptimo donde la solubilidad del hidróxido de aluminio sea mínima.



- **Sales disueltas**

Estas producen reacciones colaterales, sustituyendo al aluminio en la precipitación, lo cual altera el rango óptimo de pH y la dosis óptima de coagulante.

- **Turbidez del líquido**

Cuando un líquido presenta baja turbidez, la concentración de las partículas coloidales es baja, por lo que se requiere una concentración relativamente alta de coagulante para favorecer el contacto de desestabilización, y aglomeración de las partículas.

- **Tipos de coagulante**

Los coagulantes más efectivos son los que tienen el catión de mayor valencia, esta relación de efectividad del coagulante en función del estado de oxidación del catión es conocida como regla de Hardy.

Aquellos coagulantes que dan precipitados que son insolubles en un rango mayor de pH son más eficientes y fáciles de operar que los que utilizan un rango pequeño de pH. (González, A., 1992)

2.7.4 ETAPAS DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

2.7.4.1 Mezcla Rápida

Esta etapa se lleva a cabo entre uno y tres minutos, es la más importante, pues en ella se desestabiliza el coloide, es decir, se neutraliza su carga eléctrica que origina la fuerza de repulsión entre las partículas. Si esta etapa no se cumple eficientemente, las siguientes fases del tratamiento tendrán eficiencias relativamente muy bajas. Esta etapa requiere para una mezcla completa un sistema de agitación mecánico de $0,02 \text{ Kw/m}^3$ y un valor de G por el orden de los 500 s^{-1} .



Figura 2.4 Etapa de mezcla rápida

2.7.4.2 Mezcla Lenta

La mezcla lenta tiene como finalidad favorecer el contacto entre las partículas coloidales desestabilizadas, y por lo tanto su fuerza de atracción. Para ello se agita lentamente el líquido en un tanque durante 15 o 20 minutos. La energía de agitación G (gradiente de velocidad) para esta mezcla esta comprendida entre 50 y 100 s^{-1} .

El método utilizado con más frecuencia para llevar a cabo la etapa de mezcla lenta es el de mezclado por medio de “paletas rotatorias”, este consiste en hacer girar unas paletas rotatorias con una velocidad por el orden de las 5-20 revoluciones por minutos, este sistema es bastante simple y requiere poco mantenimiento. Las desventajas principales son el costo y la posibilidad de tener floculación no uniforme, especialmente cerca de las paredes del tanque.

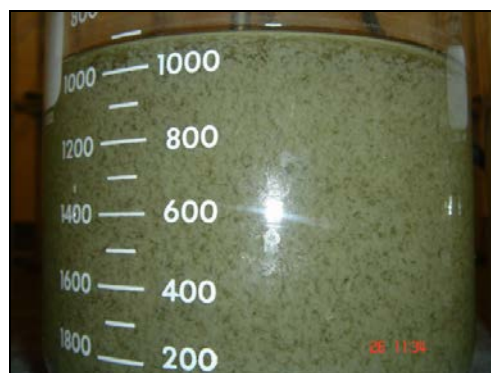


Figura 2.5 Etapa de mezcla lenta



2.7.4.3 Sedimentación

Esta última etapa del proceso permite que los flóculos formados en la fase lenta, se separen del seno del líquido por sedimentación por gravedad, los sólidos sedimentados son transportados en una tanquilla en el fondo del tanque donde se concentran y se envían por medio de bombas o gravedad a un sitio especial para su posterior tratamiento, usualmente es un sistema de deshidratación de lodos.

El tiempo de retención hidráulico del líquido en el tanque de sedimentación esta comprendido entre 1 y 2 horas.

Si las partículas coloidales fueron desestabilizadas y floculadas correctamente, los lodos obtenidos en el proceso de sedimentación contendrán los contaminantes que estaban presentes en el agua residual tratada. Si el lodo obtenido es de naturaleza inorgánica o de naturaleza orgánica pero altamente digeridos, entonces estos lodos generalmente son deshidratados en sistemas de secado de lodos en lechos de arena. En caso contrario, se deshidratan en sistemas no naturales como prensas, discos de rotación al vacío y centrífuga. (González, A., 1992)



Figura 2.6 Etapa de sedimentación

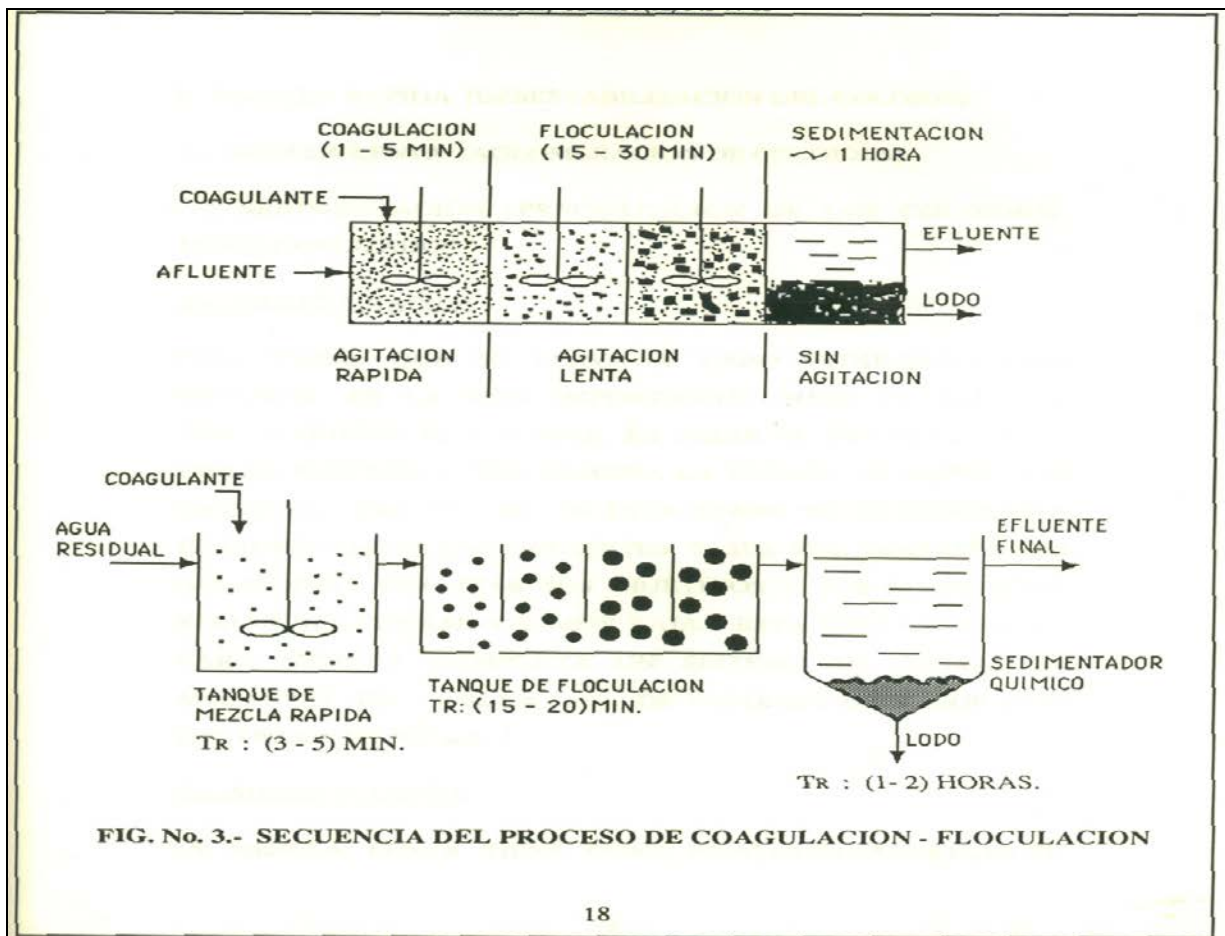


Figura 2.7 Etapas del proceso de coagulación-floculación.

Fuente: González, A., 1992

2.8 PRUEBAS DE JARRA

Entre los factores más importantes para obtener una alta eficiencia en el proceso de coagulación-floculación se encuentran la dosis y el pH óptimo. Debido a los diferentes factores involucrados en el proceso, como reacciones colaterales, intensidad y duración de la mezcla, sólidos suspendidos del líquido a tratar, etc., la determinación de estos factores estequiométricamente incluyen muchos errores que dan valores de dosificación alejados de la realidad, es por esto que la dosis y el pH óptimo del coagulante se determina a través de las pruebas de jarra.

Las pruebas de jarra son simulaciones a escala laboratorio de los procesos de mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación. (González, A., 1992)



2.8.1 PROCEDIMIENTO DE LAS PRUEBAS DE JARRA

- 1.- Se determina la dosis aproximada del coagulante, esto es la dosis mínima del coagulante para empezar la formación de flóculos.
- 2.- Se determina el pH óptimo, para ello se mantiene constante la dosis de coagulante aproximada y se varía el pH, el pH óptimo es aquel pH para el cual se obtiene la mínima concentración de contaminante en el efluente (sobrenadante de la sedimentación).
- 3.- Se determina la dosis óptima del coagulante, para lo cual se varía la dosis aproximada desde 0,25% al 200% manteniendo el pH óptimo constante. La dosis óptima de coagulante es aquella para la cual el efluente en la fase de sedimentación presenta la mínima concentración de contaminante.
- 4.- Con esta dosis óptima de coagulante y el pH óptimo se consigue la dosis óptima de floculante, al igual que se hace para conseguir la dosis de coagulante. (González, A., 1992)

2.8.2 EQUIPO DE PRUEBAS DE JARRA

El equipo para pruebas de jarras que consiste en un set de agitadores mecánicos controlados por un aparato que regula su velocidad y una lámpara de iluminación, con seis vasos de precipitados de 1 ó 2 L, como se muestra en la figura 2.8.

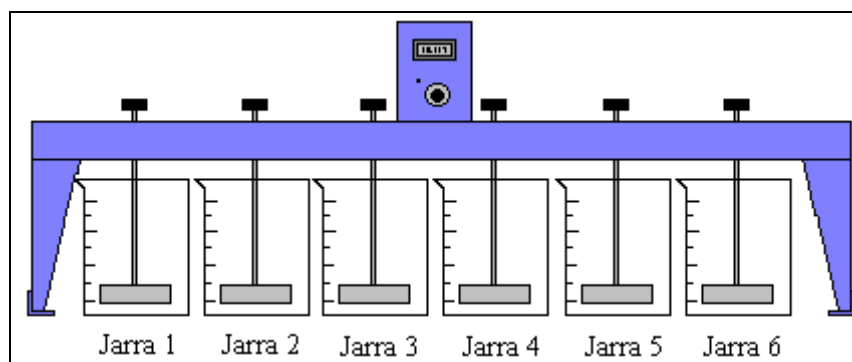


Figura 2.8 Equipo para Pruebas de Jarra



2.9 TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO

Estos procesos de tratamiento son mucho más costosos que los tratamientos biológicos, aunque se utilizan para la eliminación de aquellos compuestos que no se eliminan fácilmente por la biomasa, en general, estos procesos se utilizan normalmente en combinación con los tratamientos biológicos, aunque en algunas ocasiones son los únicos procesos que están presentes en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales industriales. (Perry, 2001)

2.10 SUSTANCIAS TÓXICAS

En la actualidad, la atención se ha centrado en los metales pesados y en los compuestos orgánicos implicados en la posible generación de cáncer. Para reducir el contenido en metales pesados y mantener el nivel de éstos por debajo de los niveles de toxicidad, es esencial llevar a cabo un pretratamiento de las corrientes residuales.

Los compuestos orgánicos tóxicos pueden ser destruidos mediante distintos sistemas de oxidación química. La incineración parece ser el método mas económico para destruir las sustancias orgánicas toxicas. Para que la incineración sea económicamente viable, los compuestos orgánicos deben ser separados de la corriente residual diluida y someterse a incineración como un concentrado.

Los compuestos tóxicos representan en la actualidad, el mayor desafío al que se enfrentan las industrias, dada la escasa atención prestada en el pasado a estos compuestos. (Perry, 2001)

2.11 PRECIPITACIÓN QUÍMICA

Los sólidos en suspensión de baja densidad y los sólidos coloidales pueden eliminarse mediante precipitación química y posterior, sedimentación por gravedad. En efecto, en la precipitación química se emplea para aglomerar los sólidos en suspensión no sedimentables generando partículas más grandes que sedimenten más rápidamente en los decantadores.



El sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso, la cal y los polielectrolitos se emplean como agentes coagulantes. La elección del coagulante depende de las características de las partículas a eliminar, del pH de las aguas residuales, del costo y de la disponibilidad del agente precipitante.

A pesar de que la precipitación química conlleva a una disminución importante de los sólidos en suspensión, supone también un incremento del volumen de lodos a gestionar.

La precipitación química requiere una mezcla rápida y un sistema de floculación dispuesto antes del decantador. Si el decantador empleado es rectangular, el tanque de mezcla rápida y las unidades de floculación se localizan antes del decantador. Si el decantador es circular, el tanque de mezcla rápida y las unidades de floculación se incorporan en el decantador.

Los tanques de mezcla rápida se diseñan para tiempos de retención de 30 s a caudal medio, disponiendo de la turbulencia suficiente para mezclar los reactivos químicos y el agua residual entrante. Las unidades de floculación se diseñan para una homogenización lenta con tiempos de retención de 20 minutos. Con estas unidades se intenta provocar la coalescencia de las partículas y aumentar su tamaño sin que se rompan los flóculos formados.

El parámetro utilizado para diseñar el tanque de mezcla rápida y los sistemas de floculación es la raíz cuadrada del gradiente de velocidad G , el cual está definido por la siguiente ecuación:

$$G = \left(\frac{P}{VU} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{s} \right) \quad (\text{Perry, 2001}) \quad (2.4)$$

Donde:

P = Potencia de entrada proporcionada al agua (ft.lb/s).

V = Volumen del tanque de mezcla o de la unidad de floculación (ft)³.

U = Viscosidad absoluta del agua (lb.s/ft²).



Una mezcla óptima requiere normalmente valores de G superiores a 1000 segundos inversos. Mientras que una floculación óptima tiene lugar cuando los valores de G están en el rango de 10 a 100 segundos inversos.

Mediante una precipitación química se pueden eliminar el 95% de los sólidos en suspensión, hasta un 50% de los compuestos orgánicos disueltos y prácticamente la totalidad de los metales pesados presentes en el agua residual. (Perry, 2001)

2.12 OXIDACIÓN QUÍMICA (PROCESO FENTON)

Los efluentes acuosos provenientes de una gran variedad de industrias químicas, petroquímicas y farmacéuticas contienen compuestos orgánicos como fenoles, bencenos, alcoholes, aminas, éteres y derivados aromáticos clorados en distintas concentraciones y combinaciones, que son tóxicos y peligrosos tanto para su descarga al medio ambiente como para su almacenamiento. En muchos casos estos efluentes son refractarios al tratamiento biológico, por lo que la biodegradación directa del efluente no constituye una verdadera alternativa.

Una alternativa especialmente relevante es el tratamiento químico con agentes químicos que transforman los contaminantes orgánicos en compuestos inocuos, dióxido de carbono y agua, por un proceso de oxidación.

El proceso de oxidación avanzada conocido como proceso Fenton la carga contaminante se trata con una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton), típicamente a presión atmosférica y temperatura entre 20 °C y 40 °C. Siguiendo una apropiada política para el agregado del reactivo Fenton en condiciones ácidas y con la temperatura apropiada, el proceso puede alcanzar una significativa degradación de los contaminantes orgánicos, comprendiendo:

- un cambio estructural de los compuestos orgánicos que posibilitan un eventual tratamiento biológico posterior.
- una oxidación parcial que redunde en una disminución de la toxicidad del efluente.
- una oxidación total de los compuestos orgánicos en sustancias inocuas que posibilitan una descarga segura del efluente sin necesidad de un posterior tratamiento.



Investigaciones recientes han permitido comprobar que el agente responsable de la oxidación es el radical hidroxilo \bullet OH. Este radical libre es en extremo reactivo y se forma por la descomposición catalítica del peróxido de hidrógeno en un medio ácido. El poder de oxidación de este radical es únicamente superado por el flúor.

Existen una gran variedad de compuestos orgánicos que son pasibles del ataque con el reactivo Fenton, algunos compuestos son más refractarios que otros, requiriendo de temperaturas más elevadas para su oxidación. Por ejemplo el benceno o el fenol se oxidan con relativa facilidad, mientras que los derivados clorados son menos reactivos y demandan mayor tiempo para su tratamiento o temperaturas más elevadas. En muchos casos, un substrato orgánico aparentemente refractario al tratamiento puede ser oxidado alterando las condiciones de temperatura, pH o concentración de catalizador.

Las condiciones óptimas del tratamiento dependerán necesariamente de cada efluente en particular, su composición y toxicidad.

La realización de estudios a escala laboratorio que permiten valorar la factibilidad, ajustar de las condiciones operativas y analizar el progreso de la oxidación, resultan imprescindibles para garantizar el éxito de tratamiento para un determinado efluente. El exhaustivo análisis de muestras antes, durante y pos tratamiento, son importantes para identificar intermediarios que son refractarios al tratamiento y cuya acumulación puede constituir un riesgo operativo.

A modo de ejemplo, la oxidación de un contaminante que contiene iso-propanol produce, entre otros intermediarios, acetona que es un compuesto totalmente refractario a la oxidación. El proceso debe contar por tanto con los medios que permitan eliminar éste y otros compuestos volátiles, evitando así la formación de una mezcla explosiva.

La efectividad y economía del proceso Fenton dependen crucialmente de dos aspectos claves: la política de agregado del reactivo Fenton y la estrategia elegida para el control de la exotermia de la reacción. La concentración y composición inicial de la carga orgánica que puede oxidarse en contraste con los requisitos para la descarga del efluente, determinarán la duración y consumos



(catalizador + peróxido) para cada lote. En el curso del tratamiento, el contenido del reactor se concentra en productos más y más refractarios a la oxidación lo que produce un incremento gradual de la medición de ORP.

En una operación por lotes, el agregado de peróxido puede interrumpirse cuando la señal de ORP alcanza un cierto nivel, digamos 350-400 milivoltios, permitiendo que el tratamiento continúe por algunos minutos. Si en este intervalo, el potencial ORP se estabiliza, puede considerarse que el tratamiento ha sido completado exitosamente. En caso contrario, el agregado de la mezcla oxidante debe comenzar nuevamente.

El tratamiento por lotes es muy flexible a variaciones en la composición de la carga, pero sólo es económicamente eficiente para pequeños volúmenes, por ejemplo lotes conteniendo mezclas de solventes que son típicos en industrias de la química fina o farmacéutica. Las principales desventajas son la baja automatización del proceso y la limitación que impone el control de la exotermia de la reacción. A medida que los volúmenes de contaminantes orgánicos son mayores, la eficiencia del tratamiento disminuye por el incremento de costos tanto de capital como operativos. (López y Martínez, 2001)

2.13 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Este tipo de tratamiento persigue la estabilización de los distintos compuestos presente en las aguas residuales mediante la acción de microorganismos, principalmente bacterias. Estos microorganismos se denominan en su conjunto como biomasa. Una fracción de los compuestos se oxida por acción microbiana liberando energía, que es empleada para producir nuevas unidades de protoplasma, y el resto se utiliza para generar masa celular. (Perry, 2001)

2.14 PROCESADO DE LODOS

Los lodos están constituidos principalmente por los sólidos eliminados del agua residual durante su tratamiento, por lo que pueden contener una gran variedad de contaminantes y productos de reacción del tratamiento químico como: sólidos orgánicos sedimentables, sólidos orgánicos



coloidales, sulfuros metálicos, hidróxidos y carbonatos de metales pesados, carbonato cálcico, jabones y detergentes precipitados, biomasa y fosfatos precipitados. El lodo después de ser sometido a concentración y deshidratación intensa contiene todavía un porcentaje de agua superior al 50% en peso, contaminantes disueltos como el amoníaco, contaminantes prioritarios y DQO no biodegradable.

El tratamiento general de lodos incluye la estabilización de los compuestos orgánicos biodegradables, la concentración y deshidratación y su posterior evacuación final, implicando la disposición de distintas unidades de proceso y procesos unitarios dentro de la instalación de tratamiento. (Perry, 2001)

2.14.1 LECHOS DE SECADO DE ARENA PARA LODOS

El proceso de secado de lodos se refiere generalmente a los sistemas de desaguado de lodos que buscan reducir el contenido de agua del lodo a menos de un 85%. Los objetivos del secado de lodo son principalmente los siguientes:

- Reducir costos de transporte del lodo al sitio de disposición.
- Facilitar el manejo del lodo. Un lodo seco permite su manejo con cargadores, garlanchas, carretillas, etc.
- Aumentar el valor calórico del lodo para facilitar su incineración.
- Minimizar la producción de lixiviados al disponer el lodo en un relleno sanitario.
- En general, reducir la humedad para disminuir el volumen de lodo, facilitar su manejo y hacer más económico su tratamiento posterior y disposición final.

Uno de los métodos más utilizados para el secado de lodos es el lecho de secado de arena, este constituye uno de los métodos más antiguos para reducir el contenido de humedad de los lodos en forma natural. Posiblemente es el método mas usado en plantas pequeñas, de menos de 100 L/s, para secado de lodos, durante los últimos 100 años.

El lecho típico para secado de lodos es una estructura rectangular poco profunda, formada por arena, grava y un sistema de drenaje para recolectar el filtrado de lodo. El lodo se aplica sobre el



lecho en capas de 20 a 30 cm. y se deja secar. El desaguado se realiza mediante drenaje de las capas inferiores y evaporación de la superficie por la acción del sol y el viento. Los lechos de secado requieren de poca atención en su operación. (Romero Rojas, 2000)

El lodo pierde su contenido de agua por dos procesos: el primero es debido al drenaje del lodo y dura entre 12 y 24 horas, y el segundo es el secado por la acción de la luz solar (evaporación) y el viento. El tiempo de secado del lodo depende de las condiciones climáticas, de la acción del viento y de la capacidad de drenaje del lodo, generalmente se requiere entre 7 y 15 días para lograr la deshidratación adecuada del lodo. (González, A., 2003)



CAPÍTULO III DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En este capítulo se presentan como son los procesos productivos y de lavado de la empresa, detallando un poco lo que es la metodología de producción y de lavado de una forma general para todas las sub-áreas de producción.

3.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN

A la hora de llevar a cabo cualquier proceso productivo en la empresa es necesario cumplir con ciertas medidas implementadas por el departamento de Control de Calidad para garantizar así la calidad del producto.

El departamento de almacén recibe la orden de producción (ODP) emitida por la Gerencia de Producción, y de acuerdo al producto a elaborar ubica la materia prima en el área de pesado (Figura 3.1), una vez que el personal de producción recibe y pesa la materia prima, control de calidad chequea los pesos de las mismas y verifica que sean los especificados en la ODP. (Figura 3.2)



Figura 3.1 Área de pesado

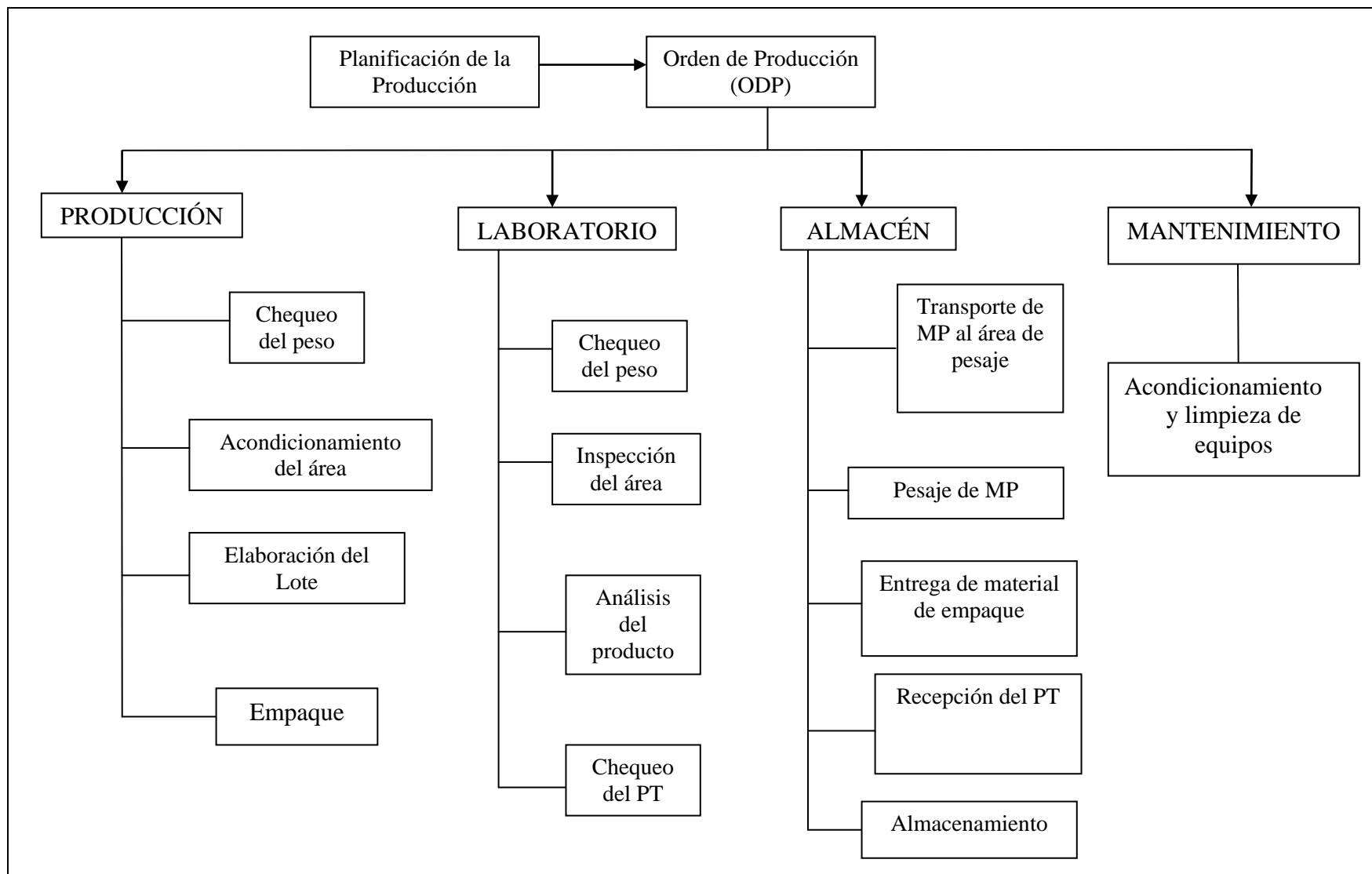


Figura 3.2 Organización esquemática de la producción

Fuente: Manual de Laboratorios Veterinarios La Caridad



El personal encargado del departamento de producción en conjunto con el de mantenimiento, acondicionan las áreas donde son elaborados los distintos productos (Figura 3.2), y una vez terminado nuevamente control de calidad verifica que el área de trabajo este limpia y ordenada, así como también que los operarios usen adecuadamente los implementos de seguridad, esto para evitar la contaminación tanto del producto como de los mismos operarios, luego de chequear todo esto, control de calidad da el sí para arrancar la elaboración del producto.

Con todas las inspecciones de rutina, chequeo de equipos, utensilios y materia prima efectuadas, se procede a cargar los mezcladores o reactores según el producto a elaborar, (ver Tabla 3.1) polvos solubles, premezclas, desinfectantes, líquidos orales y champú, todos estos productos se elaboran siguiendo las normas antes mencionadas y bajo casi los mismos procedimientos de manufactura.

TABLA 3.1
PRODUCTOS ELABORADOS POR LA EMPRESA SEGUN SU CLASE

CLASE	PRODUCTO
Líquidos Orales	Sulfatrin; Laveforte B12; Hepatogen liquido; Coccifin, Tianfenicol 20%; Doxinor; Norfloxacin 20%; Quinoplus; Renovador L.C; Roxafin.
Premezclas	Larvakill; Cerdimulin; Clortetraciclina; Nistanmina 5,5%.
Desinfectantes	Creolin; Iodopovidona; Macrokill-20; Amoc 20% etc.
Champú y Pomadas	Van selsum; Piokill; Pomada yodo yodurada.
Polvos Solubles	Amprolium 98%; Colidoxina; Colimicina; Furaltadona; Coliprim-A; Eritromicina 11; Fungofin; Neofin L.C; Oxitretaciclina 20; Fosfomicina 18% Lavelav 46%; Fostycina.

Fuente: Información recopilada por los autores



El agregado de las materias primas a los mezcladores y reactores se hace de forma manual por parte de los operarios (Figura 3.3), excepto la alimentación de agua destilada que se bombea a los tanques de mezclado. En esta etapa se realiza un estricto control de la adición de la materia prima así como también de los tiempos de adición de las mismas, cumpliendo con las normas de seguridad e higiene establecidas por la empresa.



Figura 3.3 Adición de la materia prima en el área de Premezcla

Durante y al final del proceso de mezclado se realizan chequeos del producto, aquí el departamento de control de calidad toma muestras directamente de los mezcladores y les realiza análisis tanto fisicoquímicos como microbiológicos, esto para verificar la identidad del producto y chequear la concentración del principio activo dentro de la mezcla, para garantizar la calidad del producto y así subsanar cualquier inconveniente durante la elaboración del lote.

Ya finalizada la etapa de mezclado, está listo el producto para ser envasado o empaquetado según sea el producto y la presentación del mismo. Previo a la finalización del proceso de mezclado el departamento de almacén hace entrega del material de empaque al personal en el área de producción y estos realizan el embalaje del producto (Figura 3.4), ya sea ensacado, blisteadado o envasado en frasco de vidrio o plástico, tal como se muestra a continuación. (Figuras 3.5)



Figura 3.4 Embalaje del área de Tabletas



Figura 3.5 Envasado de producto del área de Líquidos Orales

El departamento de control de calidad realiza el chequeo del embalaje, envase, peso y presentación del producto. El producto terminado es entregado en almacén, donde se clasifica según el tipo y se almacena hasta su despacho.

La limpieza y desinfección de las áreas es parte importante del proceso productivo ya que de ello depende la calidad del producto. Por esta razón, como última o primera etapa de todo proceso de manufactura, está el acondicionamiento y limpieza de todas las áreas productivas de la empresa. Esto para evitar la contaminación cruzada y la producida a causa de polvo y microorganismo que puedan afectar la integridad del producto.



3.2 PROCESO DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DE LAS SUB-ÁREAS DE PRODUCCIÓN

3.2.1 Recolección de Residuos sólidos que hayan podido caer durante la fabricación de los productos, así como también el material de empaque de las materias primas que fueron usadas, los mismos se depositan en bolsas plásticas (generalmente en la misma bolsa en la que fueron llevados al área de trabajo), la bolsa se identifica y se lleva al área de almacenamiento de materiales residuales y desechos sólidos.



Figura 3.6 Recolección de residuos del área de Líquidos Orales

3.2.2 Aspirado una vez recogido los sólidos y residuos de mayor tamaño, se recogen mediante la aspiradora robot, sólidos granulados, polvo, etc., lo máximo permitido por la misma.

3.2.3 Primer Enjuague, se rocía con agua todas las zonas del lugar de trabajo, piso, paredes, utensilios y equipos utilizados, para esto se utiliza una manguera conectada a la línea de agua y a la vez que se rocía se restriega con un cepillo para remover sólidos que se hayan aglomerado por la adición del agua. Los equipos y utensilios portátiles se lavan en el área, de manera de no salir de ésta con equipos impregnados del producto elaborado, lo cual puede contaminar otras áreas.



Figura 3.7 Primer lavado del área de Líquidos Orales

3.2.4 Lavado con agua y jabón industrial luego del primer enjuague, se restriega con cepillo las paredes, pisos, utensilios y equipos utilizados.



Figura 3.8 Lavado de equipos del área de Premezcla

3.2.5 Segundo Enjuague, que al igual que en el primero se rocía agua por toda el área para eliminar el jabón utilizado en el lavado.

3.2.6 Limpieza de equipos, los cuales una vez realizado el segundo enjuague, se rocían con alcohol para garantizar su desinfección y a la vez agilizar el proceso de secado.

En general se realizan dos tipos de limpieza. Una limpieza menor, que comprende los pasos del 1



al 3 de la metodología de lavado, ésta se realiza cuando en una misma área se van a manufacturar lotes de un mismo producto, ya que no se va a cambiar de principio activo, y una limpieza mayor, comprendiendo los pasos del 1 al 6 de la metodología de lavado, efectuándose ésta cuando se realizan lotes de productos diferentes, lo cual es necesario para eliminar las trazas que pudieran quedar del principio activo del producto anterior, también se realiza limpieza mayor cada tres veces que se efectúa una limpieza menor o cuando el área tiene mas de siete días de inoperabilidad.

Culminada la limpieza del área, equipos y utensilios de trabajo, control de calidad revisa y certifica el área para ser utilizada nuevamente en la elaboración de algún otro producto.



CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se presenta el tipo de trabajo científico al cual pertenece la investigación y el tipo de investigación de acuerdo al nivel de profundidad que se desea alcanzar, además de la metodología aplicada para el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos y así el cumplimiento del objetivo general.

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo se clasifica de acuerdo a su diseño en, de campo experimental, ya que la recolección de los datos deberá realizarse directamente en la empresa, en cada uno de los procesos de producción, sin la manipulación de las variables, además de aplicársele distintos tratamientos a las muestras a tomar, para observar y analizar los efectos de los mismos.

Para alcanzar el objetivo general de la investigación, se iniciará con una investigación de tipo exploratoria hasta un nivel de profundidad, que permita realizar un estudio de factibilidad, por lo que se clasifica dentro del tipo de proyecto factible.

De acuerdo al tipo de diseño a aplicar y nivel de profundidad que se desea alcanzar, se podrán obtener resultados que permitan seleccionar las posibles alternativas de solución tanto a nivel técnico como económico y la posibilidad que tenga la empresa de implementar la alternativa seleccionada.

Los pasos a seguir para el cumplimiento del objetivo general de esta investigación son:

- Identificación de los diferentes procesos de producción que se llevan a cabo en la planta, que generan aguas de lavado contaminantes.
- Determinación de la cantidad de efluentes generados en los procesos de lavado.
- Caracterización de los efluentes que se generan en los procesos, por medio de pruebas de laboratorio.



- Establecimiento de las alternativas de tratamiento para efluentes líquidos con las características determinadas.
- Selección de la alternativa más adecuada de acuerdo a las características técnicas.
- Diseño de los equipos necesarios para la alternativa seleccionada.
- Determinación de los costos de inversión y beneficios generados para la alternativa seleccionada.

4.2 DESARROLLO SISTEMÁTICO DE LA INVESTIGACIÓN

4.2.1 Identificar en los diferentes procesos que se llevan a cabo en la planta cuales generan aguas de lavado contaminantes para delimitar las áreas a estudiar.

4.2.1.1 Observación de los procesos de elaboración de los diferentes productos.

Mediante visitas a las diferentes áreas de producción de la planta y el apoyo del personal de cada área de producción, se logra una mejor comprensión de los distintos procesos productivos de la empresa, lo que permite reconocer como se realiza cada proceso de producción y que productos se elaboran en cada área.

4.2.1.2 Reconocimiento de los procesos de lavado de los equipos en planta.

Mediante observación directa en el momento de realizar los lavados, tanto de los equipos como de las áreas de trabajo, conociendo las técnicas realizadas de acuerdo a la necesidad del proceso, y los productos que se fabrican en cada área, se determina si el proceso puede generar efluentes que puedan contener contaminantes. Esto tomando en cuenta la información suministrada por el personal especializado que labora en estas áreas de producción y la suministrada por el gerente de producción de acuerdo a su experiencia y conocimientos sobre el grado de toxicidad y contaminación de la materia prima de los productos que se elaboran en cada área.



4.2.1.3 Revisión de las hojas de seguridad de las materias primas utilizadas en cada proceso.

Solicitando las hojas de seguridad de cada una de las materias primas utilizadas para la elaboración de los distintos productos fabricados en la empresa, tomando en cuenta la toxicidad, la información técnica, los datos físico-químicos y componentes de éstas, y comparándolos con los parámetros físico-químicos que aparecen en el decreto 883 (Normas sobre la clasificación y control de vertidos líquidos), se pueden determinar cualitativamente cuales serían los posibles contaminantes presentes en las aguas residuales provenientes de las distintas áreas de producción.

4.2.2 Determinar la cantidad de efluentes generados en los procesos de lavado con la finalidad de conocer la cantidad de efluente y establecer el caudal a manejar por los equipos.

4.2.2.1 Tormenta de ideas.

Para establecer los posibles métodos que permitan determinar la cantidad de efluentes generados en los procesos de lavado, se realizan reuniones con el personal de producción de manera de definir la forma más adecuada, dependiendo de los recursos con los que cuenta la empresa, para la captación del efluente.

4.2.2.2 Selección del método más adecuado de determinación del caudal.

De acuerdo a la disponibilidad de la empresa y a los requerimientos en cuanto a la cantidad de agua necesaria para la realización de los lavados de cada una de las áreas de producción, se establece que la recolección es manual con ayuda de una aspiradora robot. Esta forma de recolección manual, es ventajosa porque permite observar directamente las condiciones de la muestra. Se va almacenando en un tanque toda el agua de lavado que se recolecta en cada una de las áreas, durante una semana de trabajo.



4.2.2.3 Determinación del caudal.

El procedimiento a seguir es registrar el volumen de muestra, que se recolecta durante el periodo de tiempo de una semana, observando directamente en el tanque utilizado para el almacenamiento de la misma, el cual se encuentra graduado con una apreciación de 200 L.

El modelo de tabla donde se recolectan los datos de volumen de agua recolectado cada semana, se muestra a continuación.

TABLA 4.1
VOLUMEN DE AGUA DE LAVADO RECOLECTADO SEMANALMENTE

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Volumen (l)									

4.2.2.4 Generación de nuevas metodologías para el lavado de equipos.

Se discute con el personal de trabajo la manera más adecuada de realizar el lavado de los equipos, tomando en cuenta la disponibilidad económica de la empresa, consumo de tiempo y recursos a la hora de la realización de los lavados, para garantizar de esta manera una reducción de costos y minimizar la cantidad de efluentes que se generan con los métodos actuales.

4.2.2.5 Selección de la metodología para el lavado de equipos.

La selección de la metodología de lavado de áreas y equipos es tomada en base a una pequeña comparación cualitativa, entre la propuesta y la actual, de costos de inversión y operación. Además de evaluar el impacto que tendrá la misma en las características del efluente con relación a la concentración de detergentes.



4.2.3 Caracterizar los efluentes que se generan en los procesos de lavado, por medio de pruebas de laboratorios que permitan obtener las características físico-químicas necesarias para el diseño.

4.2.3.1 Selección del tipo y tiempo de captación de las muestras.

Se establece que la muestra debe ser de tipo compuesta y proporcional al volumen recolectado, es decir, una serie de muestras instantáneas que al unir las, dan una medida de las concentraciones de los contaminantes sobre un periodo de tiempo determinado. El tiempo de muestreo se basa en la frecuencia con la cual se realizan los lavados de las áreas de producción y que depende de los tipos de productos que se realicen durante una semana de trabajo. En general, se estima un tiempo de muestreo que pueda abarcar la gran mayoría de los productos que se realizan en la empresa.

4.2.3.2 Captación de la muestra.

La modalidad de captación de la muestra es manual debido a que no se requiere de algún equipo para su realización. Los envases donde fueron recolectadas las muestras son suministrados por los laboratorios que realizan los análisis de las mismas. La cantidad de muestra requerida para el análisis depende del número de parámetros a determinar, en este caso el volumen requerido es suministrado por el laboratorio el cual es de 6,5 litros. Las muestras una vez recolectadas, el mismo día, son transportadas a los laboratorios donde se realizan los análisis

4.2.3.3 Selección del tipo de análisis a realizar de acuerdo a los requerimientos de materia prima y los establecimientos de la norma ambiental.

Los parámetros a medir en el estudio de las aguas de lavado, son determinados mediante el análisis de los datos técnicos de las materias primas utilizadas en los procesos productivos y el uso del decreto 883.



4.2.3.4 Realización de los análisis.

La realización de los diferentes análisis es por parte de laboratorios especializados, que prestan sus servicios para la caracterización de aguas residuales.

4.2.3.5 Análisis de los resultados presentados por el laboratorio.

Las características de cada una de las muestras analizadas se promedian y almacenan bajo el formato original, una vez presentados los resultados por el laboratorio, se analizan para ser usado en la generación de alternativas.

4.2.4 Establecer las alternativas de tratamiento para efluentes líquidos con las características determinadas, con la finalidad de dar posibles soluciones que permitan adaptar los efluentes líquidos generados a lo establecido por la ley.

4.2.4.1 Investigación exhaustiva de los diferentes sistemas de tratamiento.

Mediante consulta con expertos, tutores y detallada revisión bibliográfica, se establecen las distintas tecnologías referentes al tratamiento de efluentes líquidos.

4.2.4.2 Reconocimiento de las distintas tecnologías referentes al tratamiento de efluentes.

Para el reconocimiento de las distintas tecnologías es necesario realizar comparaciones entre las mismas, estudiando las variables influyentes y su aplicación a los efluentes generados.

4.2.4.3 Generación de alternativas para el tratamiento de efluentes líquidos con las características determinada.

Para la generación de alternativas de tratamiento de efluentes líquidos, se toman en cuenta los contaminantes que se desean remover, teniendo presente las distintas tecnologías que puedan existir para tal fin y haciendo un análisis cualitativo de costos de inversión inicial, costos



operativos, costos de mantenimiento y espacio físico disponible. También se realizan pruebas de jarra con la intención de verificar la efectividad de un posible tratamiento físico-químico como parte de una alternativa de tratamiento, además de otras simulaciones que permitan adaptar los efluentes a los requerimientos establecidos por la ley y tener así una base técnica de cada tecnología.

4.2.4.4 Presentación de las propuestas de tratamiento.

La presentación de las alternativas se hace en forma esquemática, explicando de una manera general las características, ventajas y desventajas de cada alternativa planteada.

4.2.5 Seleccionar la alternativa más adecuada de acuerdo a las características técnicas con la finalidad de obtener el sistema de tratamiento más conveniente.

4.2.5.1 Elaboración de la matriz para las alternativas de tratamiento seleccionadas.

Mediante reuniones con el personal de la empresa se establecen los criterios de evaluación y ponderación que constituyen la matriz, basado en un análisis cualitativo de costos y características técnicas de cada alternativa.

Para el diseño y desarrollo de la matriz, se asigna la siguiente ponderación a los criterios de evaluación: 45% para los costos de inversión inicial, 25% para los costos de operación, 10% para el requerimiento de espacio y de 20% para los costos de mantenimiento, esto tomando en cuenta el nivel de importancia de cada uno de estos criterios para la empresa, también se fija una escala de valores que permite evaluar cada criterio y así realizar comparaciones entre los resultados obtenidos para cada tecnología.

La escala de valores va del 1 al 3, de la siguiente manera:

1=Bajo, 2=Medio, 3=Alto

A continuación se muestra un modelo de la matriz de selección. (Tabla 4.2)



TABLA 4.2
MATRIZ DE SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS
DE TRATAMIENTO PROPUESTAS

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	%	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
Costos de Inversión Inicial	45			
Costos de Operación	25			
Requerimiento de Espacio Físico	10			
Costos de Mantenimiento	20			
Total	100			

La alternativa seleccionada es la que arroje los mejores resultados, es decir, que la que presente el total más bajo.

4.2.5.2 Análisis de resultados.

El análisis se basa principalmente en los criterios establecidos para la matriz una vez seleccionada la alternativa, en función de la ponderación y las necesidades de la empresa.

4.2.6 Dimensionar los equipos necesarios para la alternativa seleccionada con el fin de determinar el tamaño de los mismos y la posible disposición en planta.

4.2.6.1 Revisión bibliográfica y consultas con los tutores y/o expertos en el área.

Mediante análisis de las variables y características necesarias para el diseño de los equipos se investiga en la bibliografía especializada y se consulta con expertos en el área, para comparar los distintos equipos encontrados en la bibliografía, en función a sus características y requerimientos.



4.2.6.2 Selección y establecimiento de las características y variables de diseño de los equipos.

Se seleccionan los equipos que forman parte del sistema, para esto, se compara la función del equipo dentro del sistema de tratamiento y se ve su importancia en el mismo. Luego se establecen las características y variables de diseño de los equipos, tomando en cuenta su funcionamiento y los resultados obtenidos durante la toma de muestras y pruebas de jarra. Las principales variables para el diseño de los equipos es el volumen de agua a manejar por el sistema y el tiempo de retención de la misma en los equipos.

4.2.6.3 Cálculo de las características de diseño.

Mediante la información obtenida de la revisión bibliográfica sobre las ecuaciones de diseño y con los datos experimentales, teóricos y supuestos, se desarrollan las mismas y de esta manera se obtienen las características de los equipos.

4.2.7 Determinar la factibilidad económica para la alternativa seleccionada con la finalidad de tener una base para una futura implementación.

4.2.7.1 Determinación de los costos de los equipos que conforman el sistema de tratamiento.

Los costos de los equipos se adquieren mediante cotizaciones obtenidas de diversas empresas, se hace un estudio de los costos, tomando en cuenta el valor actual de los equipos en el mercado, mediante comparaciones de precio, disponibilidad de los materiales y equipos necesarios.

4.2.7.2 Cálculo de los indicadores económicos para la alternativa seleccionada, y análisis de los resultados.

Como indicadores económicos se toman los costos de inversión inicial y de operación, en relación a la capacidad financiera de la empresa para afrontar estos costos, también se toman en cuenta las multas y sanciones aplicadas por la Ley penal del ambiente en los casos de vertidos ilícitos, ahora para definir si es económicamente factible la alternativa seleccionada se procede al



cálculo de la relación costo-beneficio, tomando como costo: la inversión inicial para la construcción de la planta de tratamiento, y como beneficio: lo que dejaría de percibir la empresa durante el tiempo de la sanción, más el valor de la multa.

Además también se comparó con una alternativa propuesta por la empresa, la cual se basaba en la incineración del efluente.



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan y discuten los resultados experimentales, que permiten la generación de alternativas y la posterior selección y estudio técnico económico de la alternativa seleccionada.

5.1 Identificación de los diferentes procesos de producción que se llevan a cabo en la planta, que generan aguas de lavado contaminantes.

Por medio de visitas a la empresa y una detallada inspección visual de las áreas en donde se realizan los procesos productivos de la empresa, área de almacén, pesaje, producción, y empaque, se pudo observar que los procesos son sencillos y la mayor parte del trabajo es realizada manualmente, además de que todos siguen la misma metodología de trabajo (ver figura 3.8). También con la ayuda del personal de cada área de producción, se pudo lograr una mejor comprensión de los procesos y de los productos que se elaboran en cada área.

El área de producción se divide en sub-áreas (Figura 5.1) de la siguiente manera: polvos solubles, champú y pomadas, desinfectantes, líquidos orales y premezclas, cabe destacar que en cada una de estas sub-áreas se realizan una variedad de productos de la misma categoría, además, la forma de producción de los distintos productos es netamente por carga (batch).

Para la puesta en marcha de la producción de un determinado producto, es necesario que el sitio de trabajo cumpla con estrictas normas de higiene, por lo que se necesita que tanto los equipos como el lugar estén limpios. El lavado de área de producción y los equipos se realiza rociando agua por toda la zona que se desea limpiar y restregando con jabón. Es en este momento que se genera la mayor cantidad de efluente contaminado, debido a los residuos que puedan encontrarse tanto en los equipos como en paredes y pisos.

Al igual que en los procesos productivos, no existen diferencias relevantes entre el sistema de lavado de un producto a otro, aunque en algunos casos, como es el de lavado después

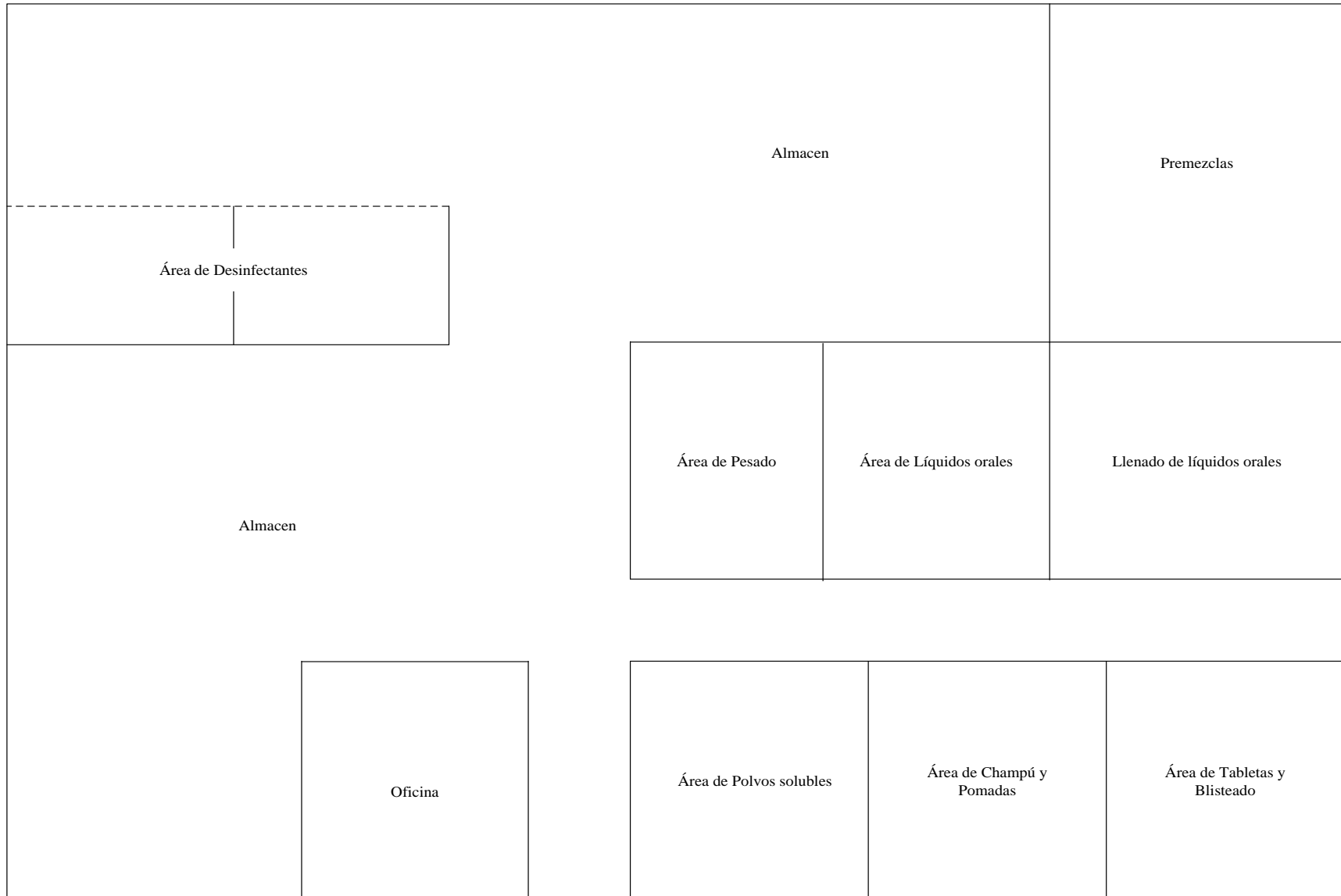


Figura 5.1 Plano de las sub-áreas de producción de la planta



de la producción de champú, se pudo observar que se necesita más tiempo y una mayor cantidad de agua en relación a otros productos, esto debido a la misma naturaleza del producto. Una vez reconocidos los procesos productivos y procedimientos de lavado se investigó acerca de las diferentes sustancias utilizadas en los diferentes procesos productivos y que forman parte de los residuos que se vierten en los diferentes drenajes durante cada lavado. En la tabla 5.1 se presentan las materias primas utilizadas por algunos de los productos que se llevan a cabo en la empresa.

TABLA 5.1
MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS PARA ALGUNOS DE LOS PRODUCTOS
ELABORADOS POR LA EMPRESA

Producto	Composición
POLVOS SOLUBLES	
Colidoxina	Doxiciclina HCL, Colistina Sulfato, Bromexina HCL, Excipientes.
Fosfomicina 18%	Fosfomicina Disódica y Excipientes estabilizadores.
Furaltadona	Furaltadona, Excipientes.
Coliprim-A	Tylosina Tartrato, Colistina Sulfato, Sulfametazina, Brozime, Excipientes.
LÍQUIDOS ORALES	
Coccifin	Sulfaquinoxalina, Pirimetamina, Disolvente.
Sulfatrin	Sulfadiazina Sódica, Trimethoprim glutamato, Excipientes.
Renovador	Mezcla de vitaminas y aminoácidos
Hepatogen Líquido	Fosforil colamina 3 cianocoalamina, Inositol, Colina, Sorbitol, Sulfato sódico, Sulfato magnésico, Diluyentes
DESINFECTANTES	
Creolin	O-Bencil-p-clorofenos, Exofene, X1 loles, Jabones, Secuestrantes, Disolventes.
Iodopovidona 10%	Yodo Povinil, Diluyentes.
Macrokill-20	Cloruro de Benzalconium, Glutaraldehido, Surfactantes.
PREMEZCLAS	
Larvakill	Ciromacina, Excipientes
Nistanina 5,5%	Nistanina, Excipientes

Fuente: Lavelaca



Por medio de la revisión de las hojas de seguridad de las distintas materias primas se puede obtener con más detalle el contenido químico del producto y su impacto en el medio ambiente, además de determinar cuales de ellos están regulados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (M.A.R.N). De igual manera, se manejó información acerca de la biodegradabilidad y toxicidad de las mismas. También se verificó con el decreto 883, Normas sobre la clasificación y control de vertidos líquidos, cuales de los parámetros físico-químicos que están regulados en este pueden estar presente en las aguas de lavado provenientes del área de producción. Debido al tipo de empresa y gracias a la revisión efectuada a las hojas de seguridad de las materias primas que ahí se utilizan, se observó que en su mayoría las materias primas utilizadas son de origen orgánico, esto podría dar una visión del contenido químico del efluente.

5.2 Determinación de la cantidad de efluentes generados en los procesos de lavado.

Debido a que la empresa no cuenta con equipos de medición para determinar la cantidad de efluentes que se generan en el área de producción, ni con un tanque para almacenarlos, fue necesario realizar reuniones con el personal para discutir la forma mas adecuada para la determinación de la cantidad de efluentes generado por lavado.

Primero se planteó la posibilidad de cuantificar el tiempo que las válvulas de suministro de agua permanecen abiertas durante el lavado, y luego cuantificar de forma manual el caudal que suministran las mangueras, por medio del registro del tiempo de recolección de un determinado volumen; el problema que se presenta utilizando este método es que no se puede llevar un control estricto del tiempo que permanecen las mangueras abiertas, debido a que en un mismo momento se pueden estar lavando varias sub-áreas, y además existe más control hacia los operarios en cuanto a la racionalización del agua, lo que no permite cuantificar el volumen real de agua utilizado.

El método que se estableció fue el de recolección manual, con la ayuda de una aspiradora robot, donde toda el agua de lavado se almacenaba en un tanque, por un periodo de tiempo de una semana, simulando de esta manera un tanque de igualación. El tiempo de recolección se fijó en una semana porque los volúmenes diarios que se obtienen son pequeños como para la realización



de un tratamiento diario, y hasta en algunos casos hay días en los que no se realizan lavados, esto es a causa de la planificación de la producción de la semana.

Los volúmenes recolectados durante las nueve semanas que duró la fase experimental se muestran en la figura 5.2, donde puede observarse que el volumen varía considerablemente entre una semana y otra, esto debido a que la producción es por batch, ya que, de acuerdo a la cantidad de producto a elaborar va a depender la cantidad de lotes a realizar y dependiendo del tiempo necesario para culminar la producción de un determinado producto, va a depender la frecuencia y profundidad de la limpieza que se realiza en un área determinada, y por consiguiente va a afectar la cantidad de agua de lavado generada.

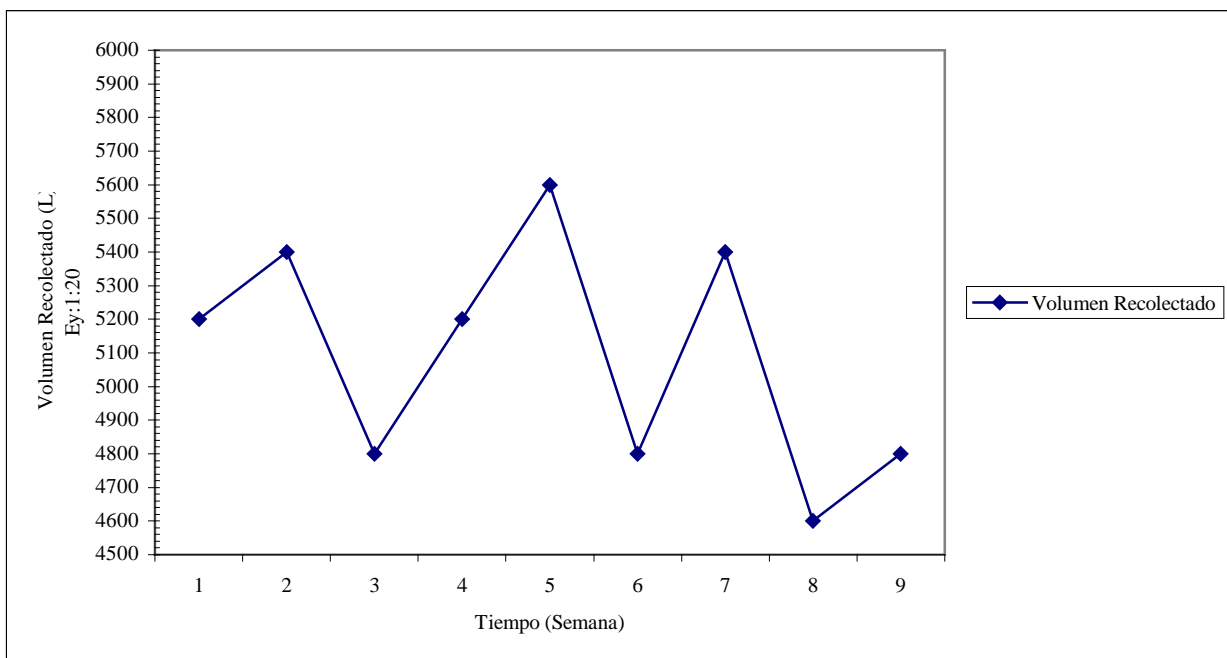


Figura 5.2 Variación del volumen de agua de lavado recolectado por semana.

De la figura anterior (Figura 5.2) se toma el volumen promedio de las nueve semanas como volumen de diseño sin dejar por fuera al volumen máximo registrado en la semana 5 con un valor de 5600 l. Además se tomó un porcentaje de sobrediseño del 20%.



5.3 Caracterización de los efluentes que se generan en los procesos, por medio de pruebas de laboratorio.

Para la caracterización de los efluentes, se procedió a programar el procedimiento de muestreo según la norma COVENIN 2709:2002 (Norma Venezolana de Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Guía para la técnica de muestreo). Según lo establecido por la norma y las necesidades de la empresa el tipo de muestra a recolectar es compuesta y el tiempo de captación se efectuara durante las nueve semanas que dura la fase experimental. Para la captación de la muestra a analizar se recolectó el volumen necesario para la realización de los análisis, según el laboratorio especializado.

La comparación entre los parámetros físico-químicos que se encuentran regulados por el Decreto 883 y en base a las materias primas de los productos elaborados, se establecieron las siguientes características a analizar para el agua residual:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Aceites y Grasas
- Detergentes
- Fenoles
- Fósforo Total
- Nitrógeno Total
- Sulfatos
- Sólidos totales (ST)
- Sólidos Suspendidos (SS)
- pH

Según los resultados reportados por el laboratorio (Apéndice C Tabla C.1), se puede observar que el valor de los parámetros analizados variaba mucho entre una semana y otra, y por lo general la mayoría de los parámetros no cumplían con los límites máximos permitidos.



En las figuras que se presentan a continuación se muestra gráficamente la evolución de todos los parámetros físico-químicos analizados a lo largo de la fase experimental, comparándose con los límites máximos permitidos por la ley. Con este conjunto de valores, es posible tener una visión más clara de la situación de la empresa, puesto que se trata de observar el comportamiento de los efluentes, ya que, es la primera vez que se realiza este tipo de análisis a las aguas.

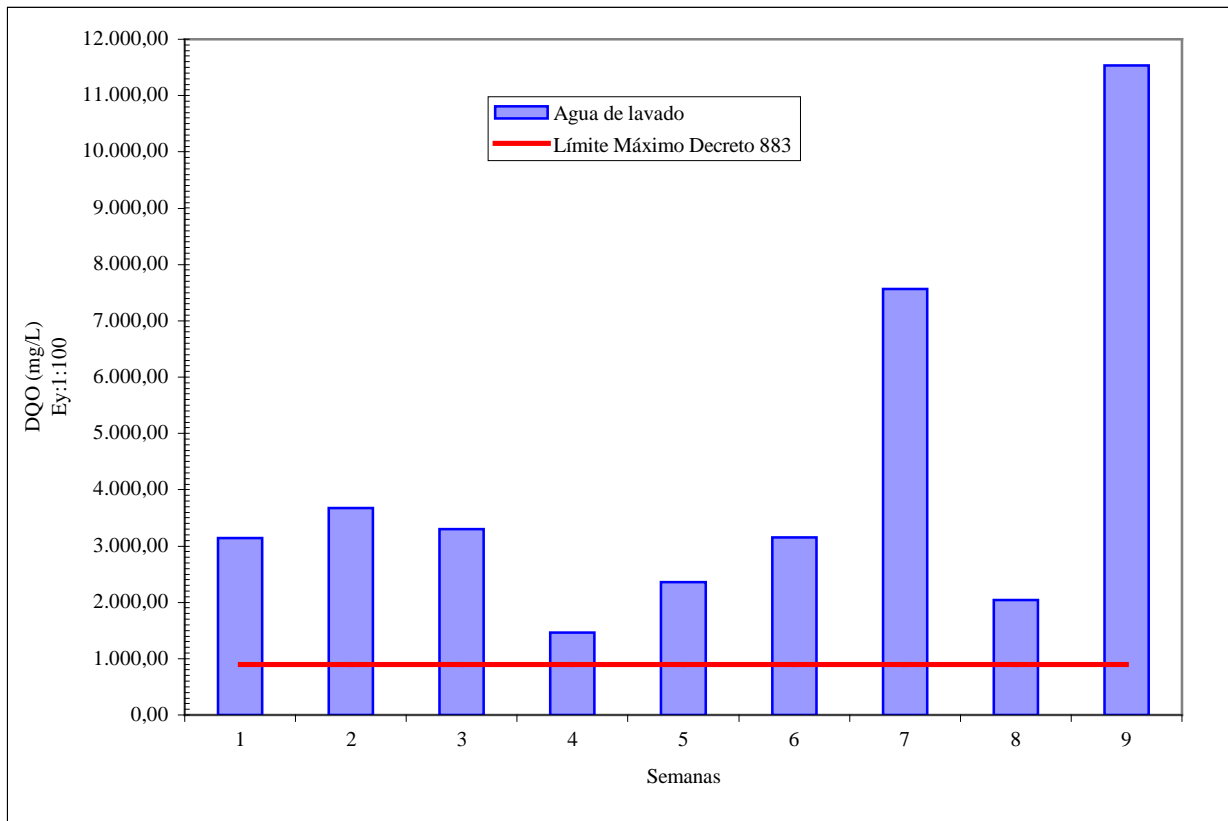


Figura 5.3 Comparación semanal entre la concentración de DQO en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.

Se puede observar que los valores de DQO presentados se encuentran muy por encima de límite máximo permitido, esto debido a la naturaleza química de las materias primas utilizadas en la elaboración de los productos, y que en su mayoría son de origen orgánico. Los valores elevados observados en las semanas 7 y 9 respectivamente, son por la presencia de fenoles provenientes de la producción de desinfectantes, en gran parte esto hace que el contenido del efluente sea no biodegradable.

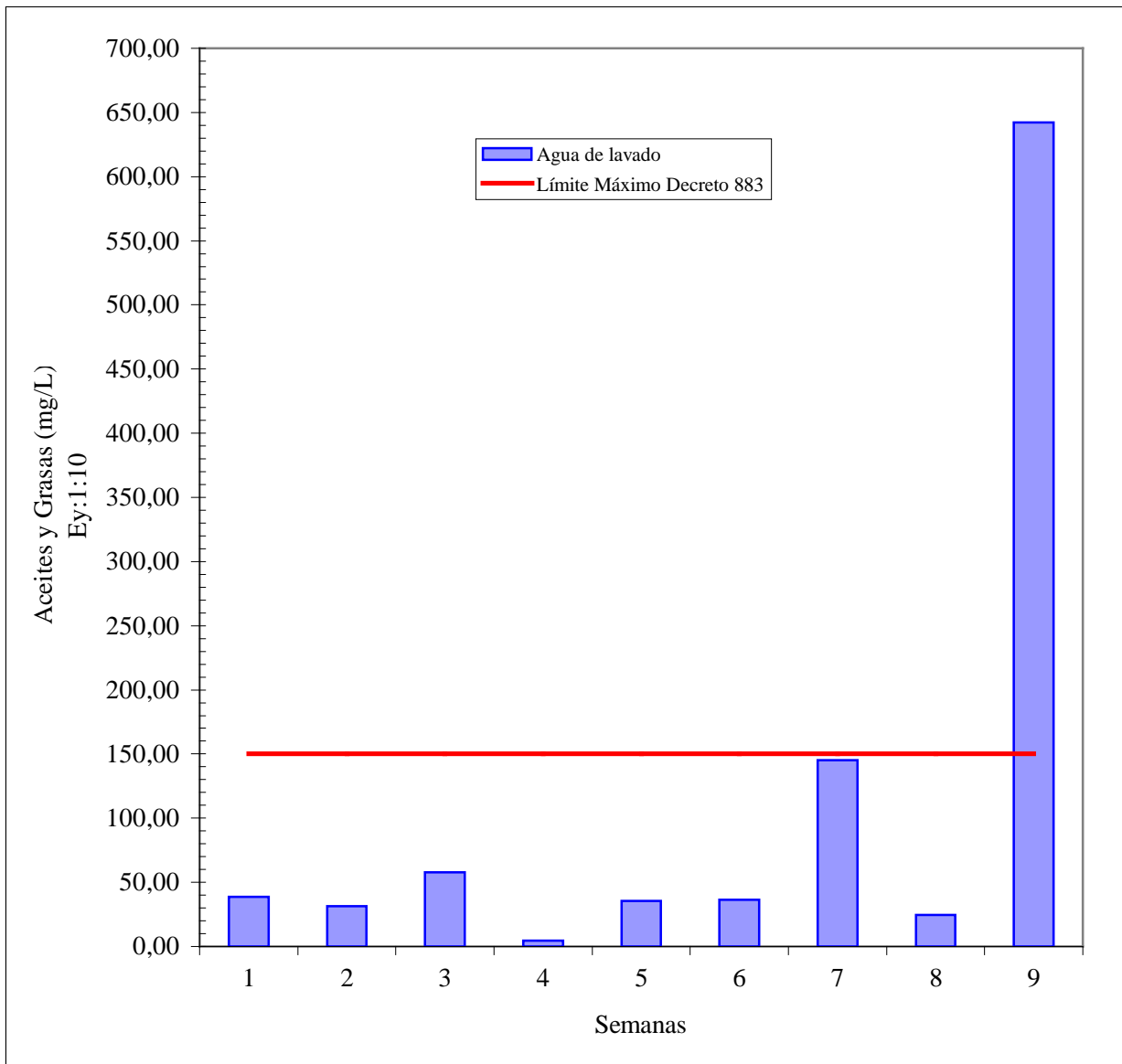


Figura 5.4 Comparación semanal entre la concentración de Aceites y Grasas en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.

Aunque en la mayoría de los valores de aceites y grasas están por debajo del límite máximo establecido por la ley, se observan valores altos en las semanas 7 y 9 (Figura 5.3) tomando en cuenta que es una empresa de productos farmacéuticos, pero esto es debido al contenido graso que presentan las materias primas utilizadas en la elaboración de cremas y pomadas durante estas semanas que incrementan este valor.

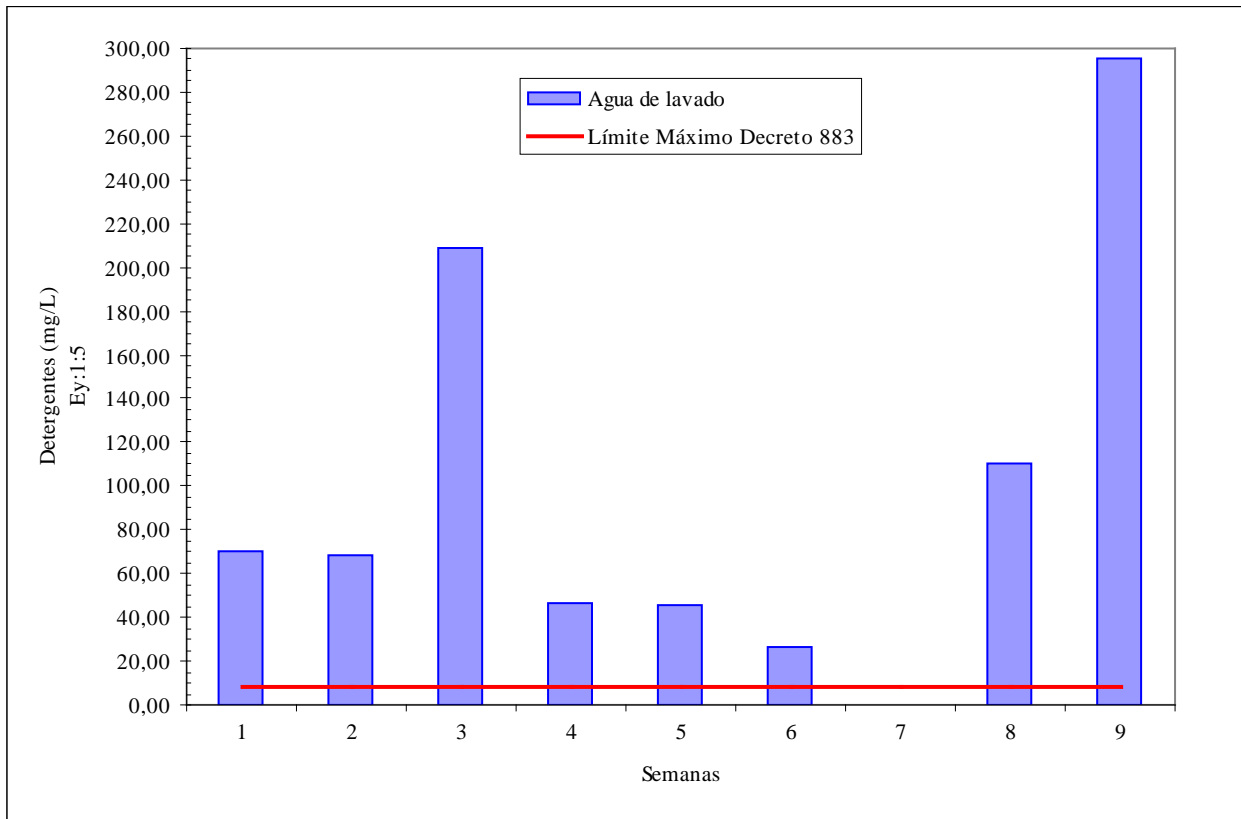


Figura 5.5 Comparación semanal entre la concentración de Detergentes en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.

Los valores de detergentes se encuentran muy por encima de la norma, debido a que el lavado de los equipos se realiza con grandes cantidades de jabón industrial no biodegradable, haciendo que a su vez se incremente la DQO del efluente.

Como se puede observar en la figura 5.6 los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) sobrepasaron los límites máximos permitidos en la mayoría de los casos y solo en dos ocasiones, semanas 3 y 4 se encontraron muy por debajo. Aunque se observan valores altos en comparación con el límite máximo permitido estos no garantizan la biodegradabilidad del efluente, ya que como se venía explicando las materias primas utilizadas son de origen orgánico y no biodegradables.

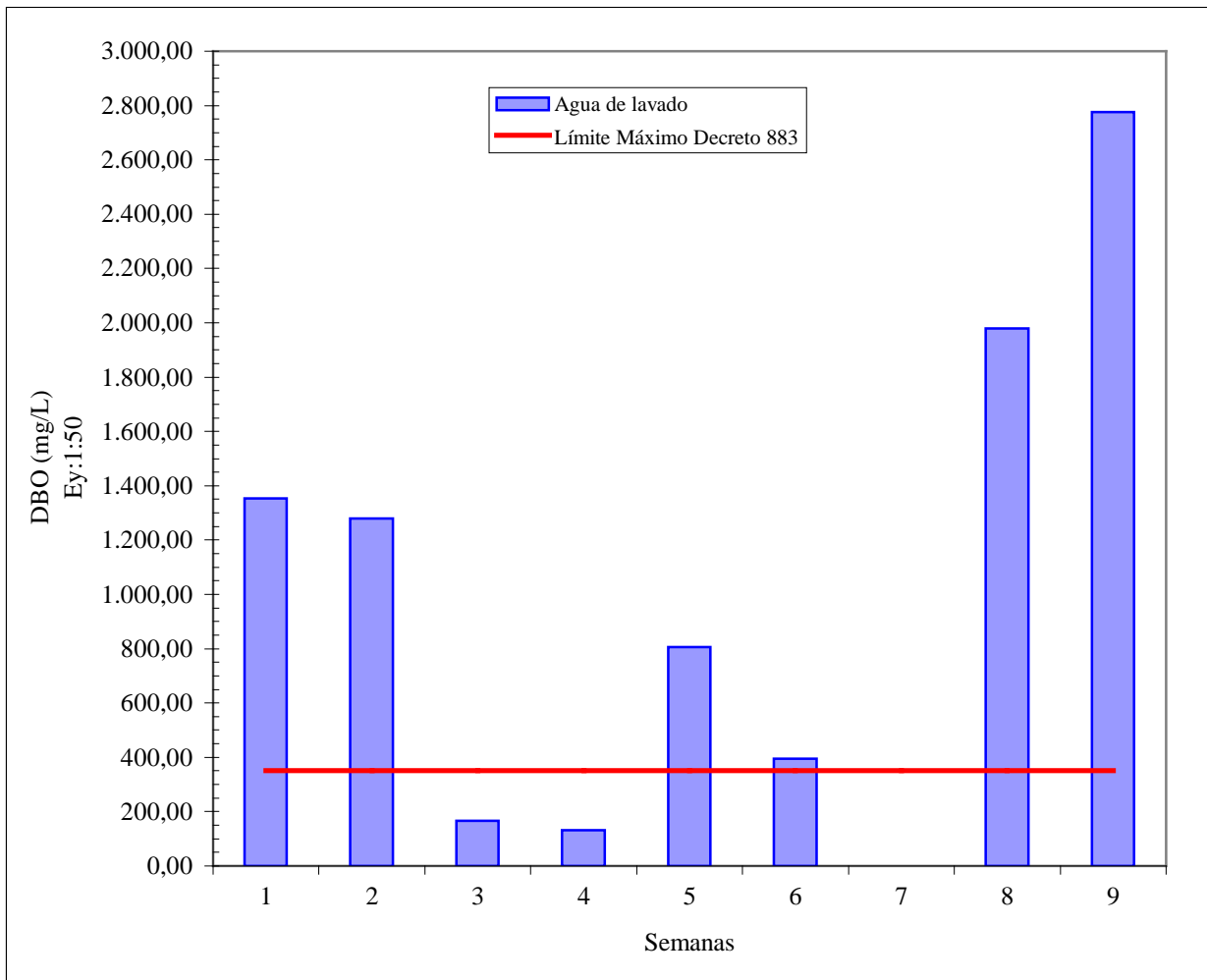


Figura 5.6 Comparación semanal entre la concentración de DBO en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.

Los valores de los fenoles para toda la fase experimental siempre estuvieron muy por encima del máximo permitido, aunque para la mayor parte del tiempo de experimentación siempre se mantuvo en el mismo rango, solo para la semana 9 se nota un aumento exagerado, y por esta misma razón no se muestra en la figura 5.7, la concentración fue de 150mg/L (Apéndice C Tabla C.1) y esto es debido, a que en la producción de esa semana se realizó un desinfectante, el cuál contiene una gran proporción de fenoles.

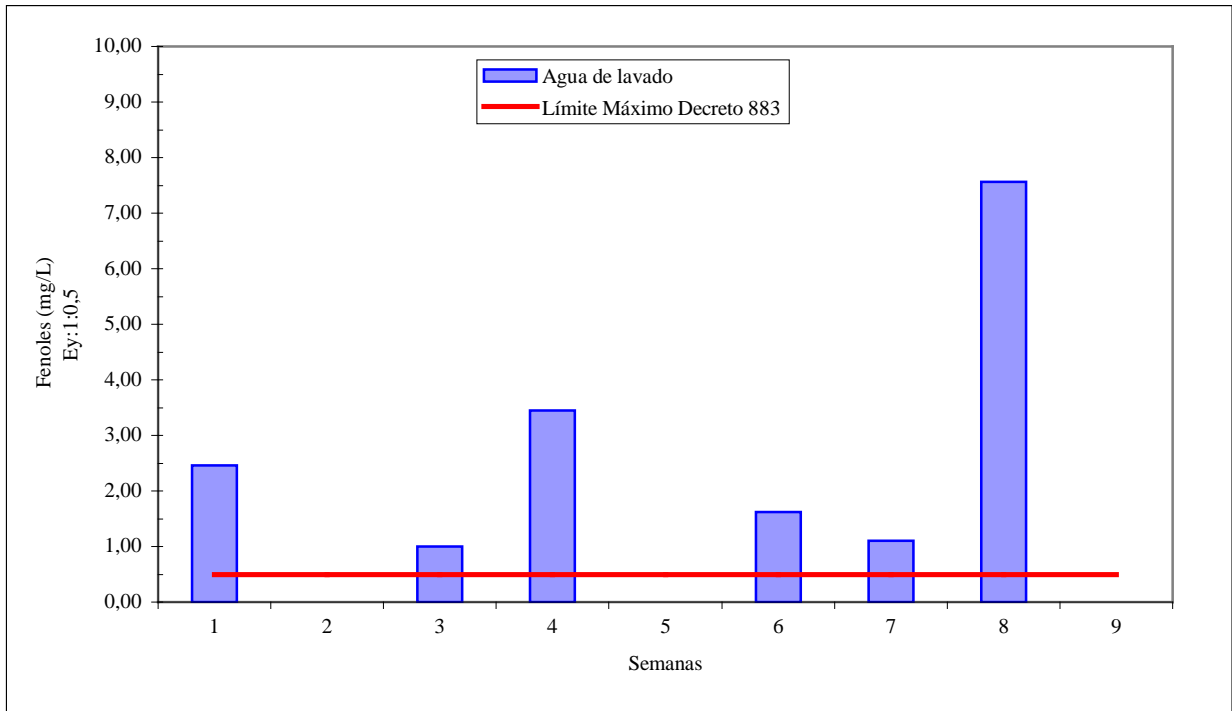


Figura 5.7 Comparación semanal entre la concentración de Fenoles en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.

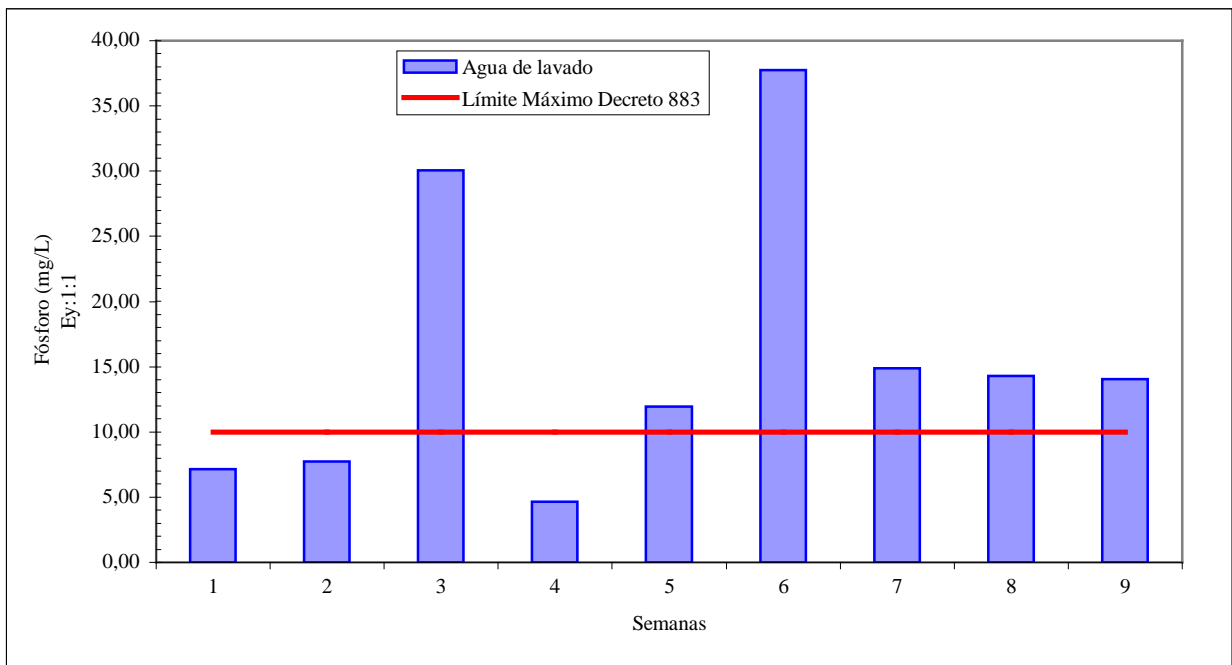


Figura 5.8 Comparación semanal entre la concentración de Fósforo en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.



La concentración de fósforo se ve afectada principalmente por los productos FOSTYCINA, FOSFOMICINA18% y HEPATOGEN LÍQUIDO, los cuales presentan a este dentro de su formulación ya sea como excipiente o principio activo, y son realizados con mucha frecuencia.

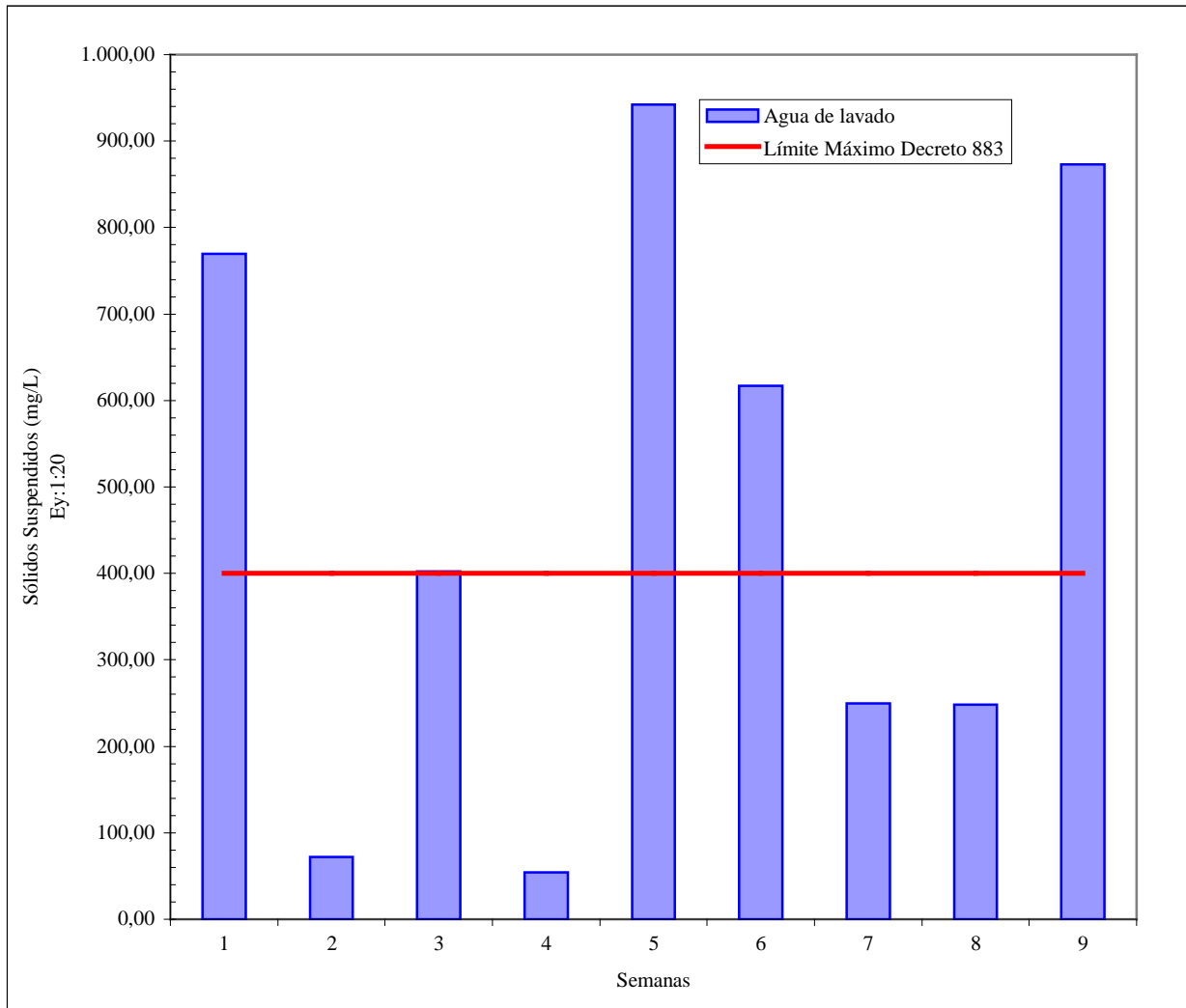


Figura 5.9 Comparación semanal entre la concentración de Sólidos Suspendidos en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.

La cantidad de sólidos suspendidos se debe al lavado de las áreas de champú, polvos solubles y en general a todas las áreas que utilicen excipientes o principios activos en forma de polvos que sean poco solubles en el agua.

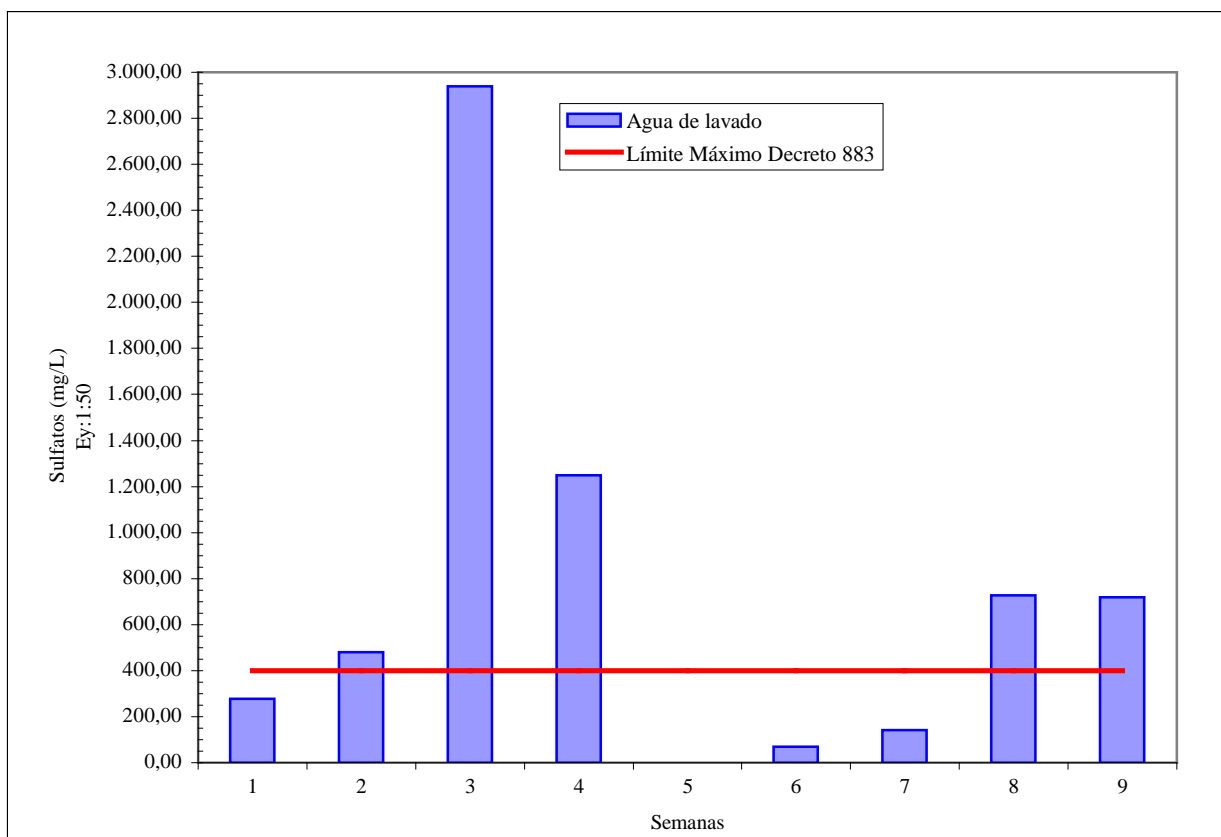


Figura 5.10 Comparación semanal entre la concentración de Sulfatos en las aguas de lavado y el Límite Máximo permitido por el Decreto 883.

Las altas concentraciones de sulfatos mostradas son debidas a la presencia de los mismos en dos de las clases de productos elaborados en esa semana, polvos solubles y líquidos orales. En la semanas 3, 4, 8 y 9 donde se observan valores muy por encima de lo establecido por la ley, fueron semanas donde la producción tanto de polvos solubles como líquidos orales ocupó la mayor parte de la producción total de la semana.

En las figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.10, se puede apreciar la ausencia del valor correspondiente a una determinada semana, esto se debe a que en estos casos no fue posible la realización del análisis por parte del laboratorio especializado debido a que no ofreció valores registrables.

Otro punto a destacar es la presencia valores muy altos para una semana, en relación a resultados anteriores o posteriores al mismo. Esto se debe a la actividad productiva que se esté



desempeñando en la planta en ese momento, y surgen de manera aleatoria, pues la producción como se ha venido explicando no se desarrolla en forma continua sino por lotes; de tal manera que los valores elevados no se pueden descartar a la hora de tomar un promedio, pues pueden surgir en cualquier momento y deben ser tomados para el diseño del sistema de tratamiento.

5.4 Establecimiento de las alternativas de tratamiento para efluentes líquidos con las características determinadas.

Es necesario saber que para el diseño de sistemas de tratamiento de efluentes deben considerarse la DQO, DBO y los sólidos suspendidos (SS) como variables fundamentales de diseño, incluyéndose también en estas, el caudal a ser manejado por la planta. Es por eso, que se debe saber el porcentaje de biodegradabilidad del efluente el cual permite conocer que tan susceptible es el efluente a ser tratado biológicamente o químicamente (Figura 5.11).

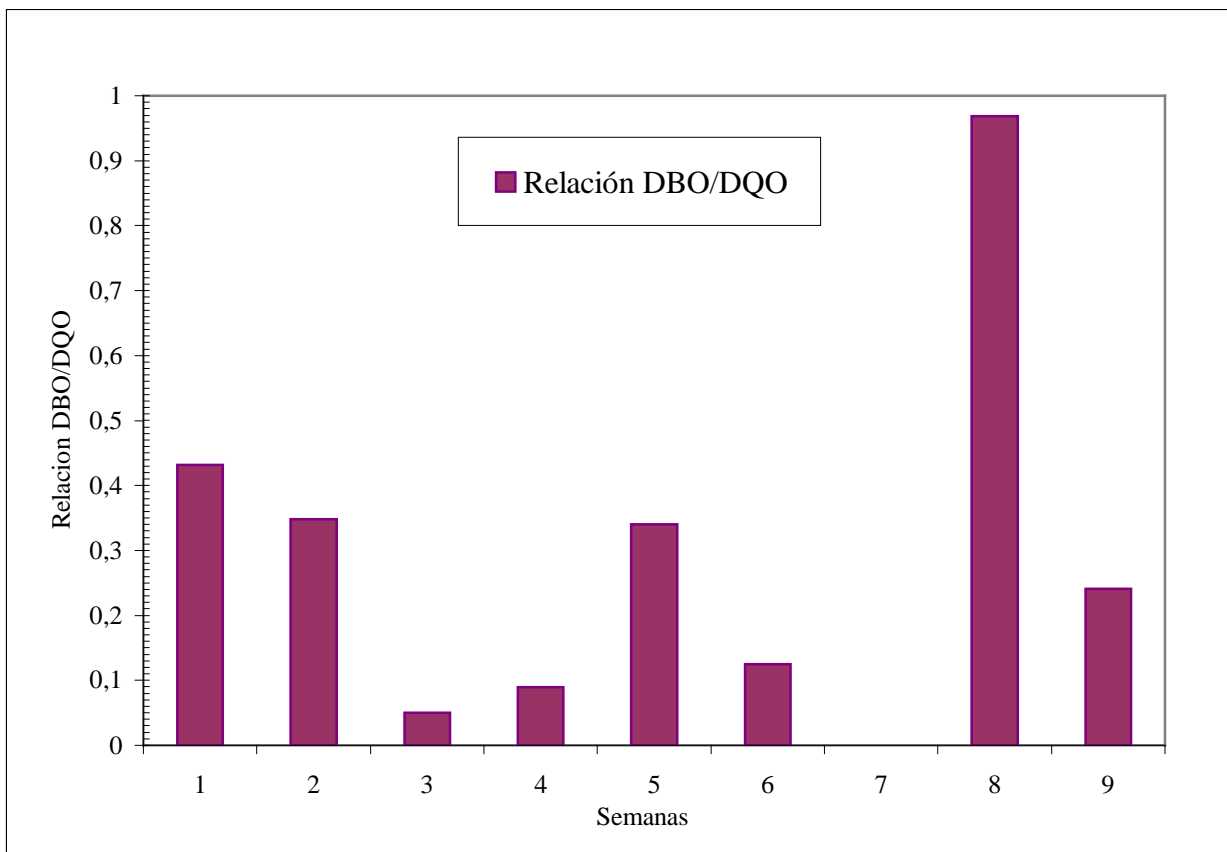


Figura 5.11 Relación de biodegradabilidad de las aguas de lavado a lo largo de la experimentación.



Se puede apreciar en la figura 5.11 que los valores de biodegradabilidad son en su mayoría inferiores al cincuenta por ciento (50%), a excepción de la semana 8, lo que indica lo poco biodegradable del efluente.

Según la bibliografía especializada, existe un rango de valores que permiten definir una vía de tratamiento específica basada en la biodegradabilidad del efluente (Tabla 5.2).

TABLA 5.2
RELACIÓN DE BIODEGRADABILIDAD EN FUNCIÓN AL TIPO DE TRATAMIENTO
QUE PUEDE APLICARSE AL EFLUENTE

% DBO/DQO	Tipo de Tratamiento
10-40	Tratamiento químico o fisicoquímico
40-60	Tratamiento químico y luego biológico
>60	Tratamiento biológico

Fuente: Metcalf y Eddy, 1996

Con estos datos y los resultados obtenidos de la tabla 5.2, se puede escoger como vía de tratamiento, el tratamiento fisicoquímico como una primera fase de tratamiento. Por lo general, el tratamiento fisicoquímico se emplea en los casos donde los valores de sólidos suspendidos (SS) están por encima de los máximos permitidos o cuando estos entorpezcan algún tratamiento específico.

Es por esto que, en primer lugar se propuso un tratamiento fisicoquímico del efluente, esto mediante coagulación-floculación de los SS. En esta etapa, se puede eliminar el DQO que pueda encontrarse en forma de sólidos. Pero luego es necesaria la evaluación de un tratamiento secundario bien sea por oxidación química o biológico, que permita adecuar los efluentes a lo establecido por el decreto 883.

Para verificar la eficiencia del tratamiento y tener los parámetros necesarios para el diseño del mismo es indispensable la realización de pruebas de jarras, que no son más que simulaciones del proceso de coagulación-floculación a escala de laboratorio. Estas se realizaron durante las últimas cuatro semanas de experimentación. (Ver figuras 5.12, 5.13 y 5.14)

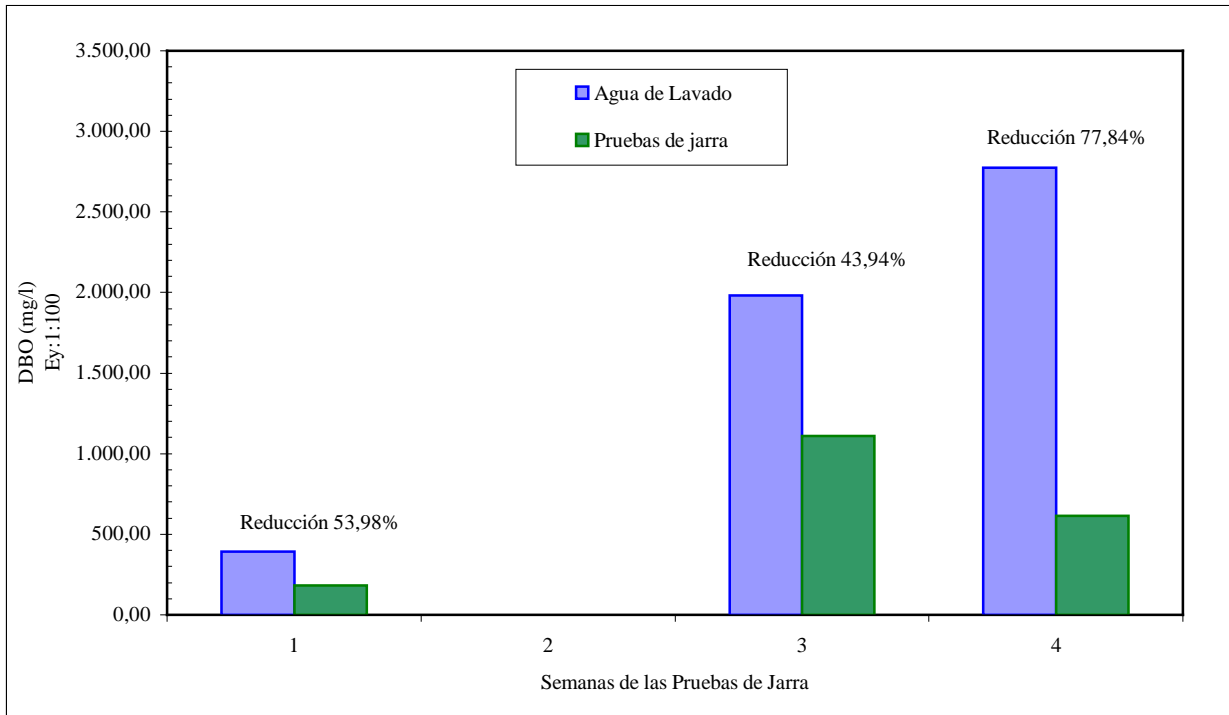


Figura 5.12 Comparación entre la concentración de DBO antes y después de la realización de las pruebas de jarras.

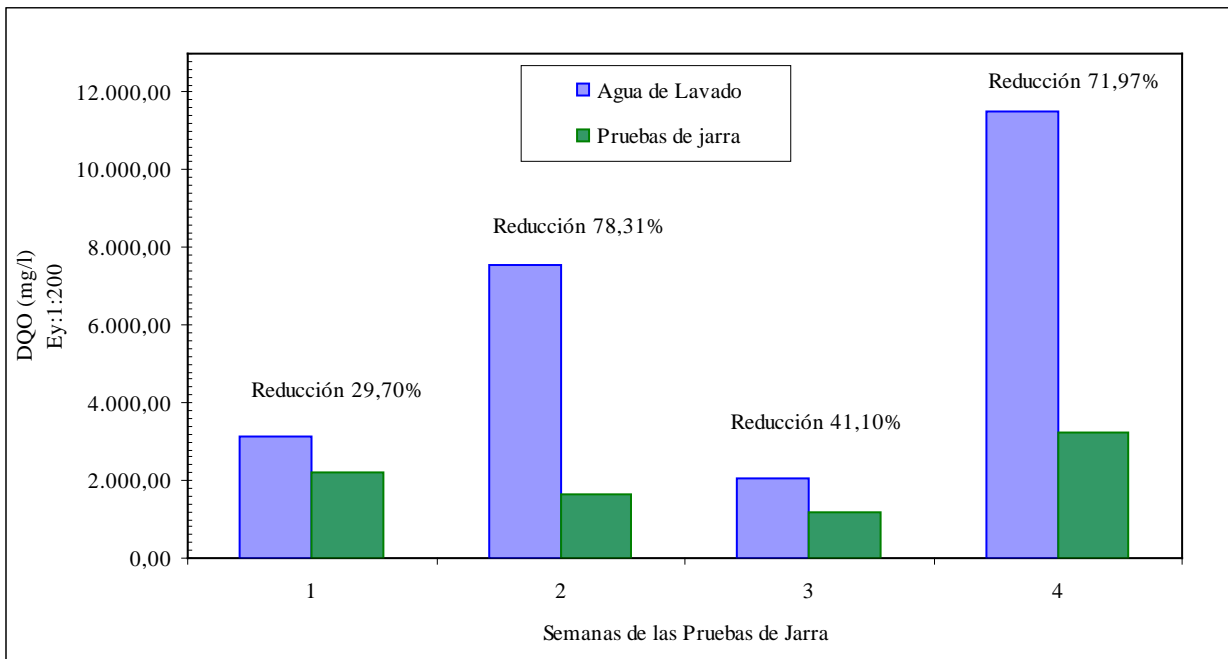


Figura 5.13 Comparación entre la concentración de DQO antes y después de la realización de las pruebas de jarras.

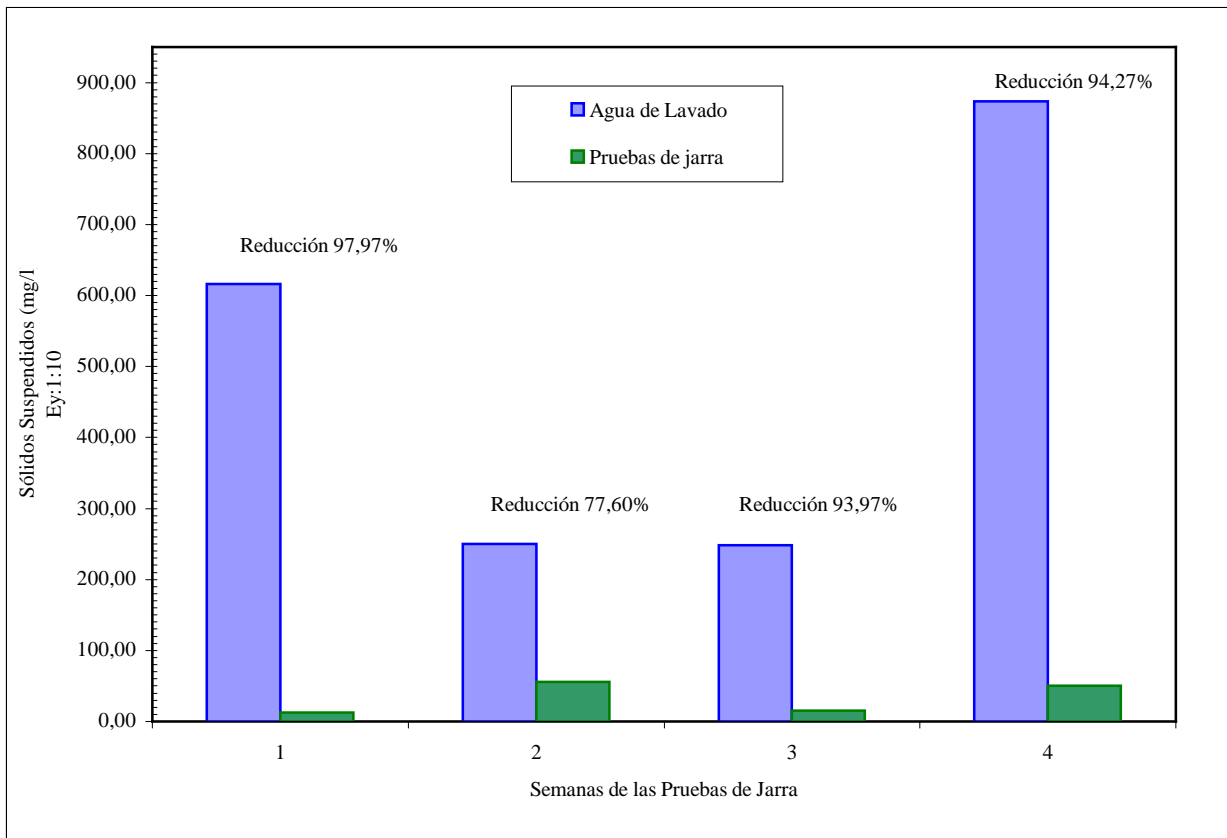


Figura 5.14 Disminución de los valores de Sólidos Suspendidos después de la aplicación de las pruebas de jarra.

Las figuras 5.12, 5.13 y 5.14 muestran como los valores de DBO, DQO y SS disminuyen considerablemente con el tratamiento fisicoquímico, como también se puede observar la disminución de los sulfatos, detergentes, fenoles y demás parámetros analizados (Apéndice C Tabla C.4). Además se observa que a pesar de disminuir la concentración de los contaminantes, algunos siguen estando fuera de los estándares establecidos por la ley, como es el caso de la DQO y los fenoles.

En las pruebas de jarras que fueron realizadas se utilizó como coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) y como floculante un polímero no iónico cuyas especificaciones no fueron suministradas por la empresa facilitadora de dichos reactivos, se contaba además con Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) el cual se descarto por el problema que existe con los sulfatos en estas aguas en particular.



Como se mencionó anteriormente algunos valores no fueron adaptados a lo establecido por la ley y en vista de esto, luego de la etapa experimental, se realizó una prueba de oxidación química del efluente para verificar la eficiencia de esta ante la problemática existente con los fenoles y la DQO. La oxidación química fue realizada con Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) como oxidante y Sulfato Ferroso ($FeSO_4$) como catalizador, controlando la reacción mediante el potencial de oxido reducción.

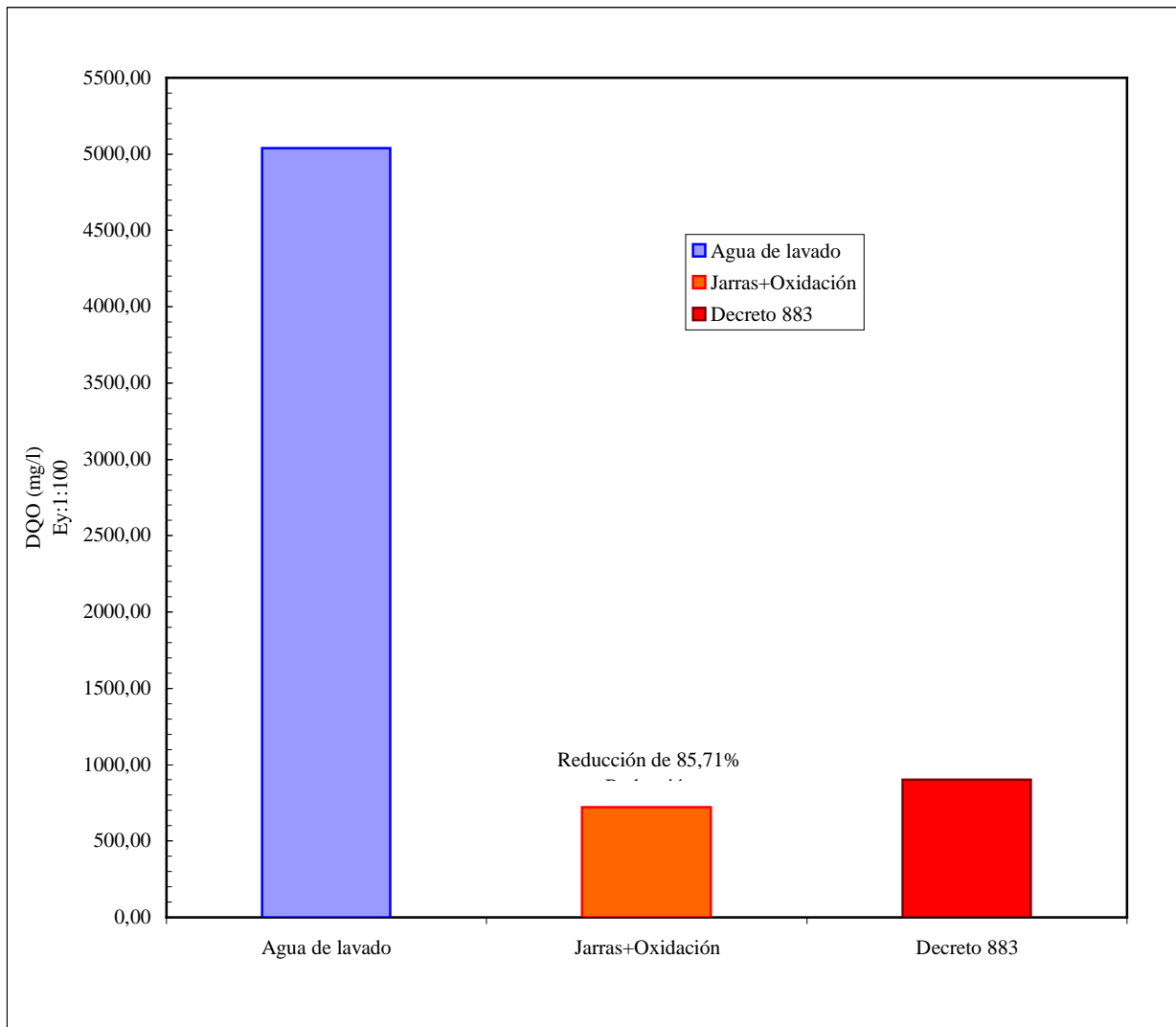


Figura 5.15 Concentración de DQO luego de la realización de las pruebas de jarras y oxidación química con H_2O_2 y $FeSO_4$.

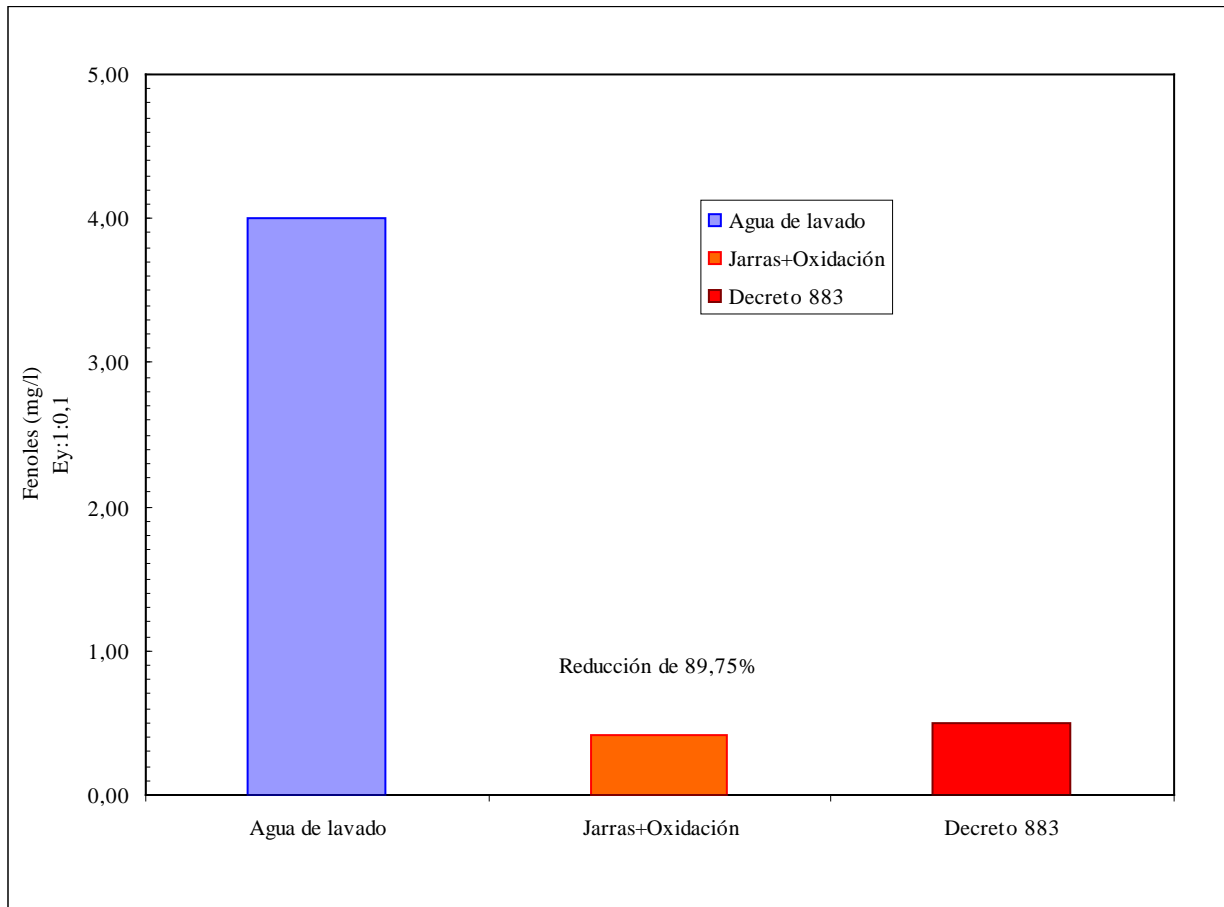


Figura 5.16 Concentración de Fenoles luego de la realización de las pruebas de jarras y oxidación química con H_2O_2 y $FeSO_4$.

Se observa como disminuye en un 85,71% la concentración de DQO y en un 89,75% la de fenoles, después de la oxidación, indicativos de que ambos parámetros son susceptibles a la degradación mediante oxidación con el Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y el Sulfato Ferroso ($FeSO_4$).

Aunque se pudo apreciar la susceptibilidad de ambos contaminantes frente a la oxidación con Peróxido de Hidrogeno (H_2O_2) y Sulfato Ferroso ($FeSO_4$) no se planteara ninguna alternativa referida a esta etapa de tratamiento ya que, no se pudo realizar una análisis mas detallado que pudiera arrojar resultados más confiables para un posterior diseño e implementación, esto debido al tiempo estimado para el desarrollo de la investigación y a los costos que ocasionan la realización de estas pruebas.



5.4.1 Descripción de las alternativas de tratamiento propuestas:

Alternativa # 01:

Un tanque de igualación, seguido de un tratamiento fisicoquímico de coagulación-floculación (con ambas etapas en un mismo tanque) y clarificación mediante sedimentación. El lodo del sedimentador primario es destinado en un lecho de secado de arena, una vez deshidratados se almacenan para la realización de análisis de lixiviados. Estos lodos deben ser manejados por la empresa según el decreto 2635 sobre el control de la recuperación de Materiales Peligrosos. (Figura 5.17)

Alternativa #02:

Al igual que la alternativa anterior, esta posee las mismas etapas de tratamiento diferenciándose solo en la etapa de coagulación-floculación, aquí cada operación se lleva a cabo en tanques por separado, un tanque para la coagulación y otro para la floculación. (Figura 5.18)

Alternativa # 03:

Un tanque de igualación con el doble del volumen de la alternativa anterior, esto por si existen grandes incrementos de volumen ocasionado por el uso indiscriminado del agua, por falta de metodologías de limpieza, y pensando en una posible ampliación de la planta a futuro, una etapa de tratamiento fisicoquímico de coagulación-floculación en tanques por separado y posterior a esto el efluente pasa a un sedimentador primario para clarificar el efluente. El tratamiento de los lodos se realiza mediante centrifugación. (Figura 5.19)

5.5 Selección de la alternativa más adecuada de acuerdo a las características técnicas.

Para la escogencia de la alternativa más adecuada, se hizo uso de una matriz de selección que permitiera elegir el sistema de tratamiento según las necesidades de la empresa. Como consecuencia de esto, fue necesario realizar reuniones con la gerencia de la empresa para así fijar los criterios a evaluar en dicha matriz, a estos se les fue asignada una ponderación en un rango del 1 al 100% de acuerdo al nivel de importancia que tenga este para la empresa.

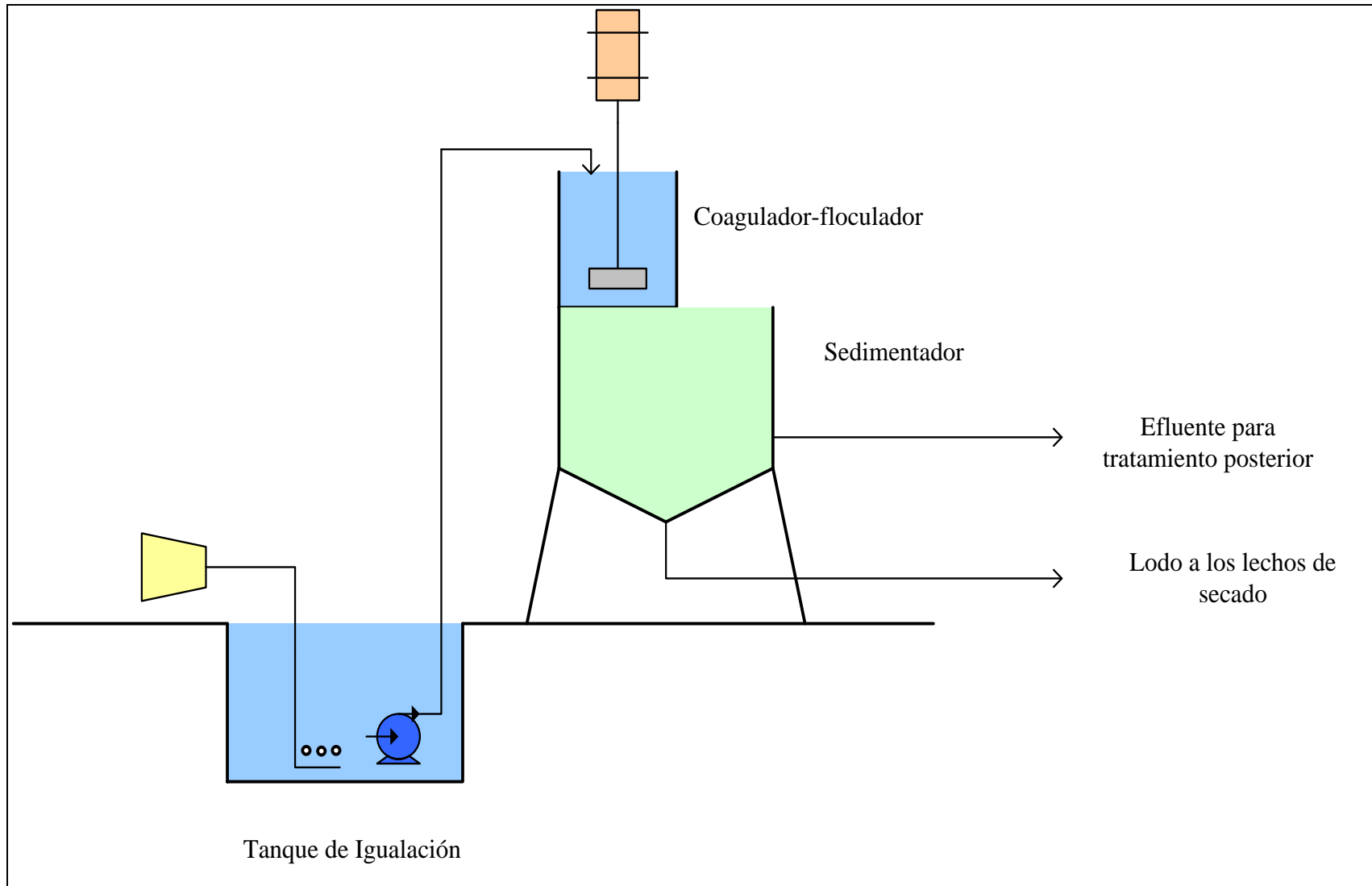


Figura 5.17 Esquema general de diseño de la alternativa Nro. 1

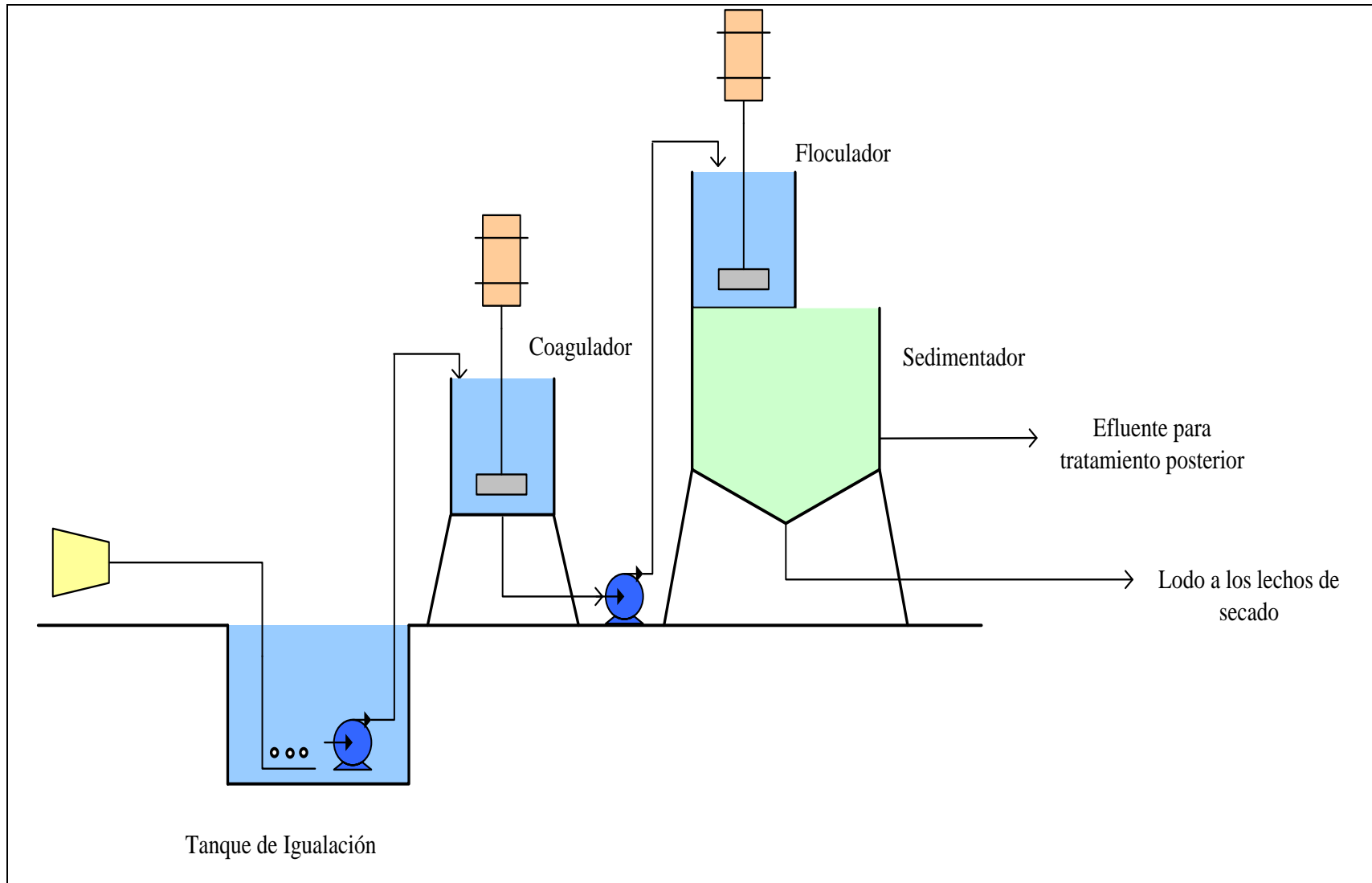


Figura 5.18 Esquema general de diseño de la alternativa Nro. 2

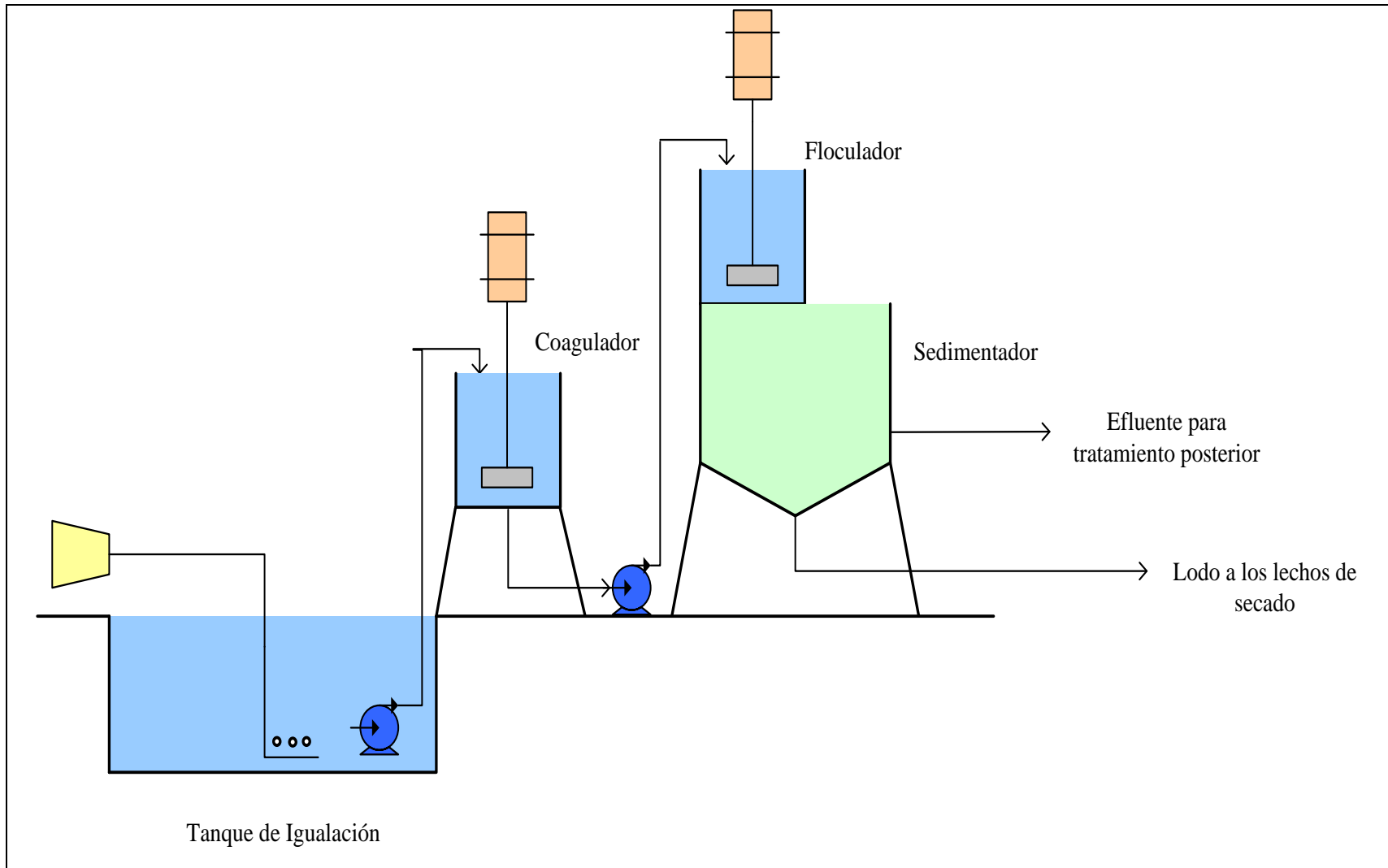


Figura 5.19 Esquema general de diseño de la alternativa Nro. 3



Primero, se seleccionó como criterio a evaluar el costo de inversión inicial al cual se le fijo una ponderación del 45%. Como es de saberse las empresas están en la búsqueda continua de eficiencia y economía en sus procesos, es por esta razón que a este se le asigno la mayor ponderación. Para la evaluación de este criterio se tomó en cuenta el costo de los equipos en relación a la cantidad de equipos que conforman las alternativas, ya que, es lógico pensar que mientras más equipos sean empleados estas tendrán un mayor costo de inversión inicial.

En segundo lugar, fue escogido el costo operativo del sistema o alternativa de tratamiento, dándole a este un valor de 25%. Tanto los costos de inversión inicial, como los operativos pueden estimarse de forma cuantitativa basándonos en la cantidad de equipos empleados, a mayor cantidad de equipos, ha de esperarse que los costos operativos aumenten y también tomando en cuenta los tipos de reactivos utilizados para la puesta en marcha del sistema.

Se fija como tercer y cuarto criterio evaluativo de la matriz el costo de mantenimiento de los equipos y el espacio físico disponible, dándole a estos una ponderación del 20% y el 10% respectivamente, siendo estos los criterios de menor ponderación lo que refleja una menor importancia, al no ser considerados problemáticos para la empresa.

De igual manera se escogieron valores para la evaluación final de las alternativas, los cuales están comprendidos a escala del 1 al 3 de la siguiente manera:

1= Bajo, 2= Medio, 3= Alto

En la tabla 5.3 se presentan los resultados obtenidos una vez desarrollada la matriz de selección.



TABLA 5.3
MATRIZ DE SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO
PROPUESTAS

Criterios de Evaluación	Ponderación (%)	Alternativa # 01	Alternativa # 02	Alternativa # 03
Costos de Inversión Inicial	45	2	2	3
Costos de Operación	25	1	2	2
Requerimiento de Espacio Físico	10	1	2	3
Costos de Mantenimiento	20	2	3	3
Total	100	1,65	2,20	2,75

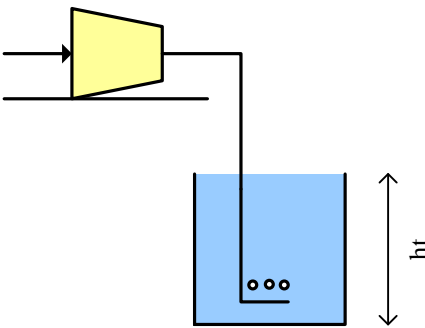
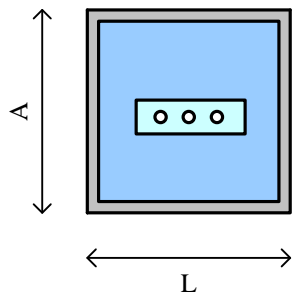
De acuerdo a la escala de valores tomada para la evaluación de los criterios, mientras menores sean los valores asignados, mejor será la alternativa, de acuerdo a esto la primera alternativa, es la seleccionada, ya que, su resultado fue el menor con un valor de 1,65 asegurando así, que esta alternativa presenta los valores mas bajos de los criterios evaluados.



5.6 Diseño de los equipos necesarios para la alternativa seleccionada.

TABLA 5.4

RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE EL TANQUE DE IGUALACIÓN

VISTA LATERAL		VISTA DE PLANTA	
			
CARACTERÍSTICAS			
DEL TANQUE		DEL SOPLADOR	
Volumen (V_t) m^3	6,20	Tipo de difusor	Tubo plástico poroso
Área (A_t) m^2	3,10	Número de difusores ($Nro.Difusores$) a dim	3
Altura (ht) m	2,00	Caudal de aire (Q_{aire}) m^3 / s	0,0031
Ancho (A) m	1,55	Presión Total Requerida (P_T) psi	3,228
Largo (L) m	2,00	Potencia Suministrada (P_s) hp	0,154

El tanque de igualación a utilizar será subterráneo y de concreto, el mezclado de las aguas se realizará mediante aireación por medio de un compresor y un difusor de tubo plástico.



TABLA 5.5
RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE EL TANQUE DE
COAGUALACIÓN-FLOCULACIÓN

VISTA LATERAL		VISTA DE PLANTA	
CARACTERÍSTICAS			
DEL TANQUE CF		DEL IMPULSOR	
Volumen ($V_{t_{CF}}$) m^3	6,20	Tipo de mezclador	Mecánico Tipo 2
Área ($A_{t_{CF}}$) m^2	3,10	Diámetro del impulsor (D_i) m	0,66
Altura ($h_{t_{CF}}$) m	2,00	Espesor de las paletas (t) m	0,165
Diámetro ($D_{t_{CF}}$) m	2,00	Velocidades del motor (rpm)	20-100
Ancho de los tabiques (W) m	0,066	Potencia suministrada (P_{s_i}) hp	1,99

Las etapas de coagulación y floculación se llevarán a cabo en un mismo tanque de forma cilíndrica. La agitación se llevará a cabo mediante un agitador de paletas planas acoplado a un motor que permita alcanzar las velocidades tanto para mezcla rápida (100 rpm) como para mezcla lenta (20 rpm).



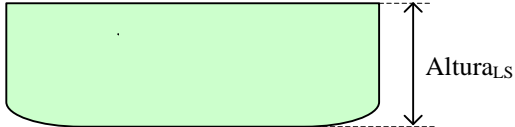
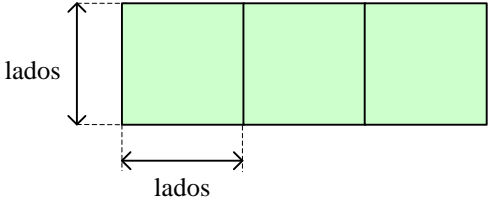
TABLA 5.6
RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE EL SEDIMENTADOR PRIMARIO

VISTA LATERAL		VISTA DE PLANTA	
CARACTERÍSTICAS			
Volumen (V_s) m^3	18,60	Diámetro (D_s) m	2,60
Altura (h_s) m^2	4,09	Tiempo de retención (t_R) h	1,5
Atura del cono (h_{cono}) m	0,876	Altura de descarga del líquido (h_d) m	0,96
Altura del cilindro (h_{cil}) m	3,21	Diámetro de descarga de lodo (D_d) m	0,39

Para la unidad de sedimentación se utilizará un tanque cónico cilíndrico (Figura 5.5), los lodos del sedimentador serán drenados por gravedad a una unidad de deshidratación de lodos, la cual se diseñó tomando en cuenta la cantidad de lodo que se genera en el sedimentador y donde a través de la acción del sol ocurrirá la deshidratación.

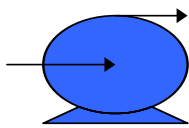


TABLA 5.7
RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE LOS LECHOS DE SECADO

VISTA LATERAL		VISTA DE PLANTA	
			
CARACTERÍSTICAS			
Nro de Lechos (a dim)	3	Longitud de los lados (<i>Lados</i>)m	0,86
Altura (<i>Altura_{LS}</i>)m	0,7	Área de cada lecho (<i>a_{LS}</i>)m ²	0,74

Para el traslado de las aguas residuales desde el tanque de igualación ubicado por debajo del suelo hasta el equipo de coagulación-floculación, es necesario la utilización de una bomba centrífuga sumergible. Los resultados de las características de las bombas utilizadas se muestran en la figura 5.7.

TABLA 5.8
RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE LAS BOMBAS PARA EL SISTEMA

BOMBA SUMERGIBLE			
			
CARACTERÍSTICAS			
Cabezal requerido (<i>H_B</i>)m	9,1814	Potencia (<i>P_{Bomba}</i>)hp	0,56
Diámetro de la tubería	2 pulgadas catalogo 40		
BOMBA DOSIFICADORA DE PAC			
Caudal de dosificación (<i>Q_{dosif}</i>)L/s	10-15		



5.7 Determinación de los costos de inversión y beneficios generados para la alternativa seleccionada.

Concluido el diseño de los equipos principales que conforman la alternativa propuesta, se procedió a estimar los costos de inversión necesarios para la realización del estudio económico, en la presente investigación solo se determinará el costo de inversión inicial para poner en funcionamiento la alternativa seleccionada.

La inversión inicial es el conjunto de desembolsos necesarios para la construcción y compra de los equipos para hacer funcionar el proceso. Estos costos se obtuvieron por medio de cotizaciones solicitadas a empresas constructoras y en otros casos fue necesario recurrir a personas expertas en el área. Se estimó la inversión inicial en un valor de Bs. 43.377.072,11, y en la tabla 5.9 se muestra de forma detallada los costos de construcción y compra de cada uno de los componentes de cada unidad de tratamiento.

TABLA 5.9
COSTOS DE INVERSIÓN INICIAL

Equipo	Descripción	Cantidad	Costo Total
Tanque de igualación	Construcción	01	3.975.329,17
	Difusores de tubo poroso	03	547.200,00
	Compresor	01	1.900.000,00
	Bomba Sumergible	01	2.500.000,00
Tanque de Coagulación-floculación	Construcción	01	6.535.717,75
	Bomba dosificadora	01	3.050.000,00
	Medidor de pH	01	1.650.000,00
	Mezclador de paletas	01	7.957.200,00
Sedimentador	Construcción	01	12.483.799,67
Lechos de Secado	Construcción	01	2.201.825,52
Tuberías y Accesorios	Varios	--	576.000,00
TOTAL			43.377.072,11



Aunque los resultados obtenidos luego de las pruebas de jarra no fueron los esperados se observa una gran disminución de la carga de contaminantes del efluente, lo cual podría ser un primera fase para un tratamiento que cumpla con las normas establecidas por los decretos ambientales, la inversión inicial total necesaria para la realización y puesta en marcha de un sistema de tratamiento basado en Coagulación-floculación (Tratamiento físico-químico) es de Bs. 43.377.072,11.

Además a esto hay que incluir el costo asociado al uso de reactivos, que se encuentra alrededor de Bs. 2.300.000, 00 en Policloruro por tratamiento.

Los beneficios que se obtendrían al implementar este sistema de tratamiento de efluentes no son de tipo económico, ya que esta inversión no genera ingresos de forma directa, sino mas bien los relacionados con el ahorro de dinero referente a las multas o sanciones que están alrededor de 300 a 1000 días de sueldo mínimo y de 3 meses a 1 año de prisión (Ley Penal del Ambiente). En la actualidad se está exigiendo la presentación de cronogramas para la solución de los problemas supervisados por el M.A.R.N. y de acuerdo al cumplimiento o no del mismo se aplican sanciones de cierre temporal o total de la empresa.

Como se explicó anteriormente la implementación del sistema de tratamiento seleccionado o la presentación de éste como proyecto ante el M.A.R.N podría servir de ayuda en el caso que se fuesen a tomar medidas legales contra la empresa, según lo que establece la ley penal del ambiente y que podría ocasionar pérdidas millonarias a la empresa.

Para determinar la factibilidad económica de la alternativa, se realizó una relación de los costos que acarrea la construcción de la planta de tratamiento en relación a los beneficios que dejaría de percibir la empresa por un cierre temporal sumado a esto el pago de las multas que conlleva el no cumplimiento de lo establecido por la ley penal del ambiente.

Entonces, se dice que la alternativa es factible si esta relación es menor a 1, porque de esta manera los beneficios son mayores que los costos, el valor obtenido fue de 0,04 lo que quiere decir que es económicamente factible.



También se realizó la comparación de lo que costaría el incinerar los efluentes generados, siendo esta la primera opción con la que contaba la empresa para la solución del problema, este costo está alrededor de los cuatro millones de bolívares por aproximadamente 2000 kg, esto varía dependiendo del tipo de efluente.

Según los resultados, semanalmente se recolecta aproximadamente una cantidad de 5140 l, lo que generaría un costo equivalente a la construcción de la planta mensualmente. Por lo que se descarta completamente esta alternativa, además tomando en cuenta la composición de las aguas estas contienen compuestos que no pueden ser incinerados, como los fenoles y compuestos clorados.



CONCLUSIONES

- Todos los procesos de lavado de las áreas de producción de la empresa generan aguas contaminadas y el volumen generado de lavado por semana osciló entre 4.600 l y 5.600 l durante las nueve semanas de experimentación.
- La cantidad de efluente generada depende de la planificación semanal de la producción.
- Los valores de concentración de DQO oscilaron entre (1.468-11.600) mg/l y es principalmente debido al tipo de materia prima con la que trabaja la empresa.
- El valor de concentración más alto de aceites y grasa fue de 640 mg/l debido a la elaboración de un lote de pomadas realizado en la semana 9 y además influyó la elaboración de desinfectantes.
- Los valores altos de detergentes son debido a que en el proceso de lavado no se ha normalizado una concentración específica de detergentes para tal fin.
- Los valores de concentración de DBO oscilaron entre (131-2.800) mg/l.
- El valor más elevado de concentración de fenoles fue de 150 mg/l.
- La concentración de Sólidos suspendidos fue variables a lo largo de la experimentación, el valor más elevado fue de 942 mg/l en la semana 7.
- Los valores más elevados de concentración de fósforos fueron 30,07 y 37,75 mg/l.
- El valor más alto de concentración de sulfatos fue de 2.940 mg/l debido a la manufactura de productos que en su formulación presentan sulfatos ya sea como excipientes o principio activo.
- De acuerdo a la biodegradabilidad del efluente la mejor vía de tratamiento para el mismo es Físico-Químico.
- Con el tratamiento físico-químico con Policloruro de Aluminio (PAC) como coagulante se obtiene una reducción máxima de 78,31% en la concentración de DQO.
- La concentración de Sólidos suspendidos presentó una reducción máxima de experimentación de 97,97% usando PAC como coagulante.
- El tratamiento físico-químico de coagulación-floculación usando PAC disminuye en un 70% la concentración de los contaminantes.
- El tratamiento físico-químico de coagulación-floculación utilizando PAC no es eficiente para eliminar fenoles y DQO en este tipo de efluentes.



- Los fenoles y la DQO se mantuvieron por encima del máximo establecido por el decreto 883 después de las pruebas de jarra.
- La oxidación química con Peróxido de hidrogeno y Sulfato ferroso disminuye la concentración de fenoles y DQO en un 89 y 85% respectivamente.
- Los fenoles y la DQO son susceptibles a la oxidación química con Peróxido de hidrogeno y Sulfato ferroso.
- El tratamiento físico-químico es una buena opción como tratamiento primario de éste efluente.
- El análisis económico se realizó basado en los costos iniciales de inversión.
- La alternativa seleccionada presenta un costo de inversión inicial de Bs. 43.377.072,11.
- La relación costo-beneficio fue de 0,04.
- La alternativa selecciona es técnica y económicamente factible como una etapa previa a un tratamiento biológico o de oxidación química.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda la realización de un plan de gestión ambiental tomando en cuenta como primera fase la implementación del sistema de tratamiento seleccionado como el inicio a la solución del problema que presenta la empresa en cuanto al vertido de efluentes líquidos en el ambiente.
- En virtud del uso indiscriminado del agua por parte de los operarios, se recomendó el uso de aspersores de agua tipo pistola, para tener un mayor control del volumen de agua que se utiliza para la realización de los lavados.
- Se recomienda la implementación de una metodología de lavado que estandarice la cantidad y el tipo de detergente utilizado.
- Se recomienda un estudio más avanzado de la oxidación química como tratamiento posterior para la eliminación del DQO y fenoles remanentes.
- En el momento de la implementación del sistema se recomienda disponer de un equipo de pruebas de jarra para determinar las dosis de reactivos necesarias para el tratamiento fisicoquímico.
- Se recomienda almacenar por separado los efluentes provenientes del área de desinfectantes para luego ser dosificado a la entrada del sistema (tanque de igualación), para aumentar la eficiencia del sistema, disminuyendo tanto la DQO como los fenoles.
- Se recomienda manejar los desechos sólidos de acuerdo a lo establecido en el decreto 2635.
- Se recomienda la evaluación de un tratamiento secundario, que permita adecuar los valores de DQO y fenoles a lo establecido por el decreto 883.
- Se recomienda la realización de una simulación del sistema de tratamiento mediante la utilización de un software adecuado.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIA, L. y RODRIGUEZ, M., 2002. **“Tratamiento físico-químico de aguas residuales de las industrias lácteas”**. Ingeniería Química N° 391.
- BORNHARDT, C. y DIEZ, M., 1999. **“Gestión de efluentes de alta carga orgánica”**. Universidad de la Frontera. (Chile). Ingeniería Química. N° 353.
- CLAIR S., PERRY L. y GENE F., 2001. **“Química para Ingeniería Ambiental”**. Cuarta Edición. McGraw Hill. Colombia.
- CORRERA, J. y LAFUENTE, F., 2004. **“Tratamiento biológico de aguas residuales industriales con alta carga de nitrógeno”**. Universidad Autónoma de Barcelona. Ingeniería Química N° 409.
- DAUTANT, Rafael, 1981. **“Tratamiento de Aguas Residuales”**. Universidad de Carabobo. Venezuela.
- DAVIS M. y MASTEN S., 2005. **“Ingeniería y Ciencias Ambientales”** McGraw Hill. México.
- GACETA OFICIAL 4.358, 1992. **“Ley Penal del Ambiente”**. Venezuela.
- GACETA OFICIAL 4.418, 1995. **“Decreto 883. Norma sobre la clasificación y control de vertidos líquidos”**. Venezuela.
- GACETA OFICIAL 5.245, 1998. **“Decreto 2635. Manejo de desechos peligrosos y recuperación de materiales peligrosos”**. Venezuela
- GACETA OFICIAL 31.004 y 36.838, 1976 y 1999. **“Ley Orgánica del Ambiente”**. Venezuela.
- GARCIA, I. 2003. **“Reactor biológico SBR como solución a los efluentes químicos y farmacéuticos”**. Departamento I+D de Nilo Medio Ambiente, S.L. Ingeniería Química N° 375.
- GONZALEZ, A., 1992. **“Coagulación-Floculación”**. Contraser. Maracay. Venezuela.
- GONZALEZ, A., 2003. **“Tratamiento de aguas residuales”**. Contraser. Maracay. Venezuela.
- GUANIPA, V., 2000. **“Herramientas de trabajo para fenómenos de transporte I”**. Universidad de Carabobo. Venezuela.



- HIMMELBLAU, David M., 1997. **“Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química”**. Sexta Edición. Pearson Educación. México.
- LOPEZ, G. y MARTINEZ, E., 2001. **“Tratamiento químico de contaminantes orgánicos por el proceso Fenton”**. Instituto de Desarrollo y Diseño. Universidad Tecnológica Nacional (Argentina). Ingeniería Química N° 375.
- LOPEZ, J. Y ROMARIS, L., 2004. **“Evaluación y Mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa CAVIM gerencia metalmecánica”**
- METCALF y EDDY., 1996. **“Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización”**. Tercera edición. McGraw Hill. México.
- NORMA COVENIN 2709, 2002. **“Aguas Naturales, Industriales y Residuales. Guía para las técnicas de muestreo”**. 1era. Revisión. Fondonorma. Venezuela.
- PERRY R. y GREEN D., 2001. **“Manual del Ingeniero Químico”**. Séptima edición. McGraw Hill. España.
- RIVAS MIJARES, G., 1978. **“Tratamiento de Aguas Residuales”**. Segunda Edición. Madrid, España.
- ROMERO ROJAS, J., 2001. **“Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño”**. Primera edición. Colombia.
- SAEZ, A., 1997. **“Plantas compactas para el tratamiento de aguas industriales”**. Degremont Medio Ambiente, S.A. Ingeniería Química. N° 336.
- SILVA CISNEROS, J., 1995. **“Transporte de Momento para Ingenieros de Procesos”**. Universidad de Carabobo. Venezuela.



REFERENCIAS ON-LINE

- **Difusores de aire**
Disponible en: http://www.equiposan.com/aerador_espanhol.htm
- **Fotocatálisis heterogénea**
Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos21/fotocatalisis-heterogenea>
- **Industrias Farmacéuticas**
Disponible en: <http://www.mtas.es/insht/EncOIT/pdf/tomo3/79.pdf>
- **Intra. Equipos para el tratamiento de aguas**
Disponible en: <http://www.ahsa-intra.com>
- **Marco Legal Ambiental**
Disponible en: <http://www.mipagina.cantv.net/alicontraser/marco.htm>
- **Oxidación Química**
Disponible en: <http://www.fmcforet.com/productes/ohp.htm>
- **Tratamiento Biológico**
Disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/tratamiento-biologico.htm>



APÉNDICE A
LEYES Y DECRETOS AMBIENTALES



TABLA A.1

GACETA OFICIAL 4418 SOBRE LAS NORMAS DE CLASIFICACIÓN Y CONTROL DE VERTIDOS LÍQUIDOS

Decreto N° 883 Caracas Lunes 18 de Diciembre 1995 N° 5.021			
De las Descargas a Cuerpos de Agua		De las Descargas a redes Cloacales	
Parámetros Físico-Químicos	Limites Máximos o Rangos	Parámetros Físico-Químicos	Limites Máximos o Rangos
Aceites Minerales e Hidrocarburos	20 mg/L	Aceites Minerales e Hidrocarburos	20 mg/L
Aceites y grasas	20 mg/L	Aceites y grasas	150 mg/L
Cadmio Total	0,2 mg/L	Cadmio Total	0,2 mg/L
Cianuro Total	0,2 mg/L	Cianuro Total	0,2 mg/L
Cloruros	1.000 mg/L	Cobalto Total	0,5 mg/L
Cobalto Total	0,5 mg/L	Cobre Total	1,0 mg/L
Cobre Total	1,0 mg/L	Cromo Total	2,0 mg/L
Color Real	500 Unidades de Pt-Co	DBO ₅ , 20°C	350 mg/L
Cromo Total	2,0 mg/L	DQO	900 mg/L
DBO ₅ , 20°C	60 mg/L	Detergentes	8,0 mg/L
DQO	350 mg/L	Fenoles	0,5 mg/L
Detergentes	2,0 mg/L	Fósforo Total	10 mg/L
Espuma	Ausente	Manganeso Total	10 mg/L
Estaño	5,0 mg/L	Mercurio Total	0,01 mg/L
Fenoles	0,5 mg/L	Níquel Total	2,0 mg/L



TABLA A.1 (Continuación)

GACETA OFICIAL 4418 SOBRE LAS NORMAS DE CLASIFICACIÓN Y CONTROL DE VERTIDOS LÍQUIDOS

Decreto N° 883 Caracas Lunes 18 de Diciembre 1995 N° 5.021			
De las Descargas a Cuerpos de Agua		De las Descargas a redes Cloacales	
Parámetros Físico-Químicos	Limites Máximos o Rangos	Parámetros Físico-Químicos	Limites Máximos o Rangos
Fósforo Total	10 mg/L	Nitrógeno Total	40 mg/L
Manganeso Total	2,0 mg/L	Ph	6-9
Mercurio Total	0,01 mg/L	Plomo Total	0,5 mg/L
Nitrógeno Total	40 mg/L	Selenio	0,2 mg/L
Nitrito + Nitrato	10 mg/L	Sólidos Flotantes	Ausentes
pH	6-9	Sólidos Suspendidos	400 mg/L
Plomo Total	0,5 mg/L	Sólidos Totales	1.600 mg/L
Sólidos Flotantes	Ausentes	Sulfatos	400 mg/L
Sólidos Suspendidos	80 mg/L	Temperatura	40 °C
Sólidos Sedimentables	1,0 mg/L	Vanadio	5,0 mg/L
Sulfatos	1.000 mg/L	Zinc	10 mg/L
Sulfitos	2,0 mg/L		
Sulfuro	0,5 mg/L		
Zinc	5,0 mg/L		

Fuente: <http://www.mipagina.cantv.net/alicontraser/marco.htm>



TABLA A.2
MARCO LEGAL AMBIENTAL DE AGUAS RESIDUALES

MARCO LEGAL AMBIENTAL (AGUAS RESIDUALES)			
NOMBRE	GACETA OFICIAL	DECRETO N°	OBJETIVO
Ley Orgánica del Ambiente y su Reglamento	31.004 (16-06-76) y 36.838 (26-11-99)		Establece las Bases para la Conservación, Defensa y Mejoramiento Ambiental.
Ley Penal del Ambiente	4358 (03-01-92)		Clasifica los Delitos Penales y Establece sus Sanciones.
Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente	35946 (25-04-96)	1257 (13-03-96)	Establece las Normas sobre la Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente.
Normas sobre la Clasificación y Control de la Calidad de las Aguas. Cuenca del Lago de Valencia	5305 (01-02-99)	3219 (13-01-99)	Limites sobre Descargas en Cuerpos de Aguas y Redes Cloacales.
Normas sobre la Clasificación y Control de Vertidos Líquidos	4418 (27-04-92)	883 (11-10-95)	Limites Sobre Descargas en Cuerpos de Aguas y Redes Cloacales.
Guardería Ambiental	34.678 (19-03-91)	1221 (02-11-90)	Atribuciones y Coordinación del Ejercito de la Guardería Ambiental. (Vigilancia, Sanción, Represión de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente).
Desechos Peligrosos	5245 (03-08-98)	2635 (22-07-98)	Manejo de Desechos Peligrosos y Recuperación de Materiales Peligrosos.
Desechos no Peligrosos	4418 (27-04-92)	2216 (23-04-92)	Manejo de Desechos no Peligrosos.
Cuenca del Río Yaracuy	36.344 (28-11-97)	2181 (29-10-97)	Normas para la Clasificación y el Control de la Cuenca del Río Yaracuy.
Ley Orgánica de Procedimientos Administrativos	2.818 (01-07-81)		Actos Administrativos. En Especial el Título III. Reglamentación de las Actividades Previstas en las Leyes.
Ley de Sustancias, Materiales y Desechos Peligrosos	5554 (13-11-2001)		Normativas. Sanciones.
Ley Forestal de Suelos y Aguas.	1.004 (26-01-96)	156 (28-04-97)	Rige la Conservación, Fomento y Aprovechamiento de los Recursos Naturales.

Fuente: <http://www.mipagina.cantv.net/alicontraser/marco.htm>



APÉNDICE B
TABLAS Y FIGURAS TEÓRICAS

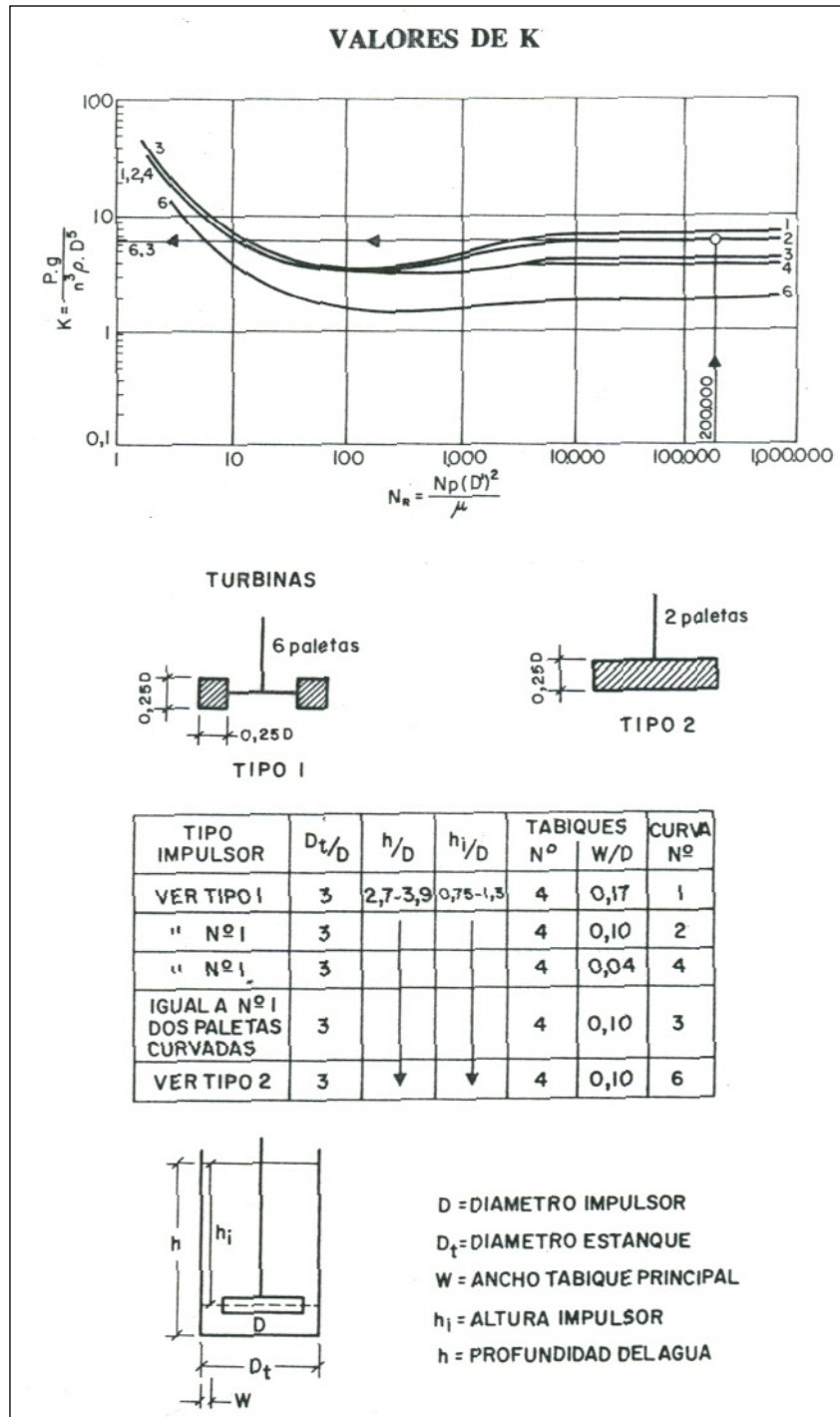


Figura B.1 Diseño del Impulsor

Fuente: Rivas Mijares, 1978



TABLA B.1
COEFICIENTES DE RESISTENCIA (K) Y LARGO EQUIVALENTE (Le/D)

Valores del Coeficiente de resistencia (K) o Largo Equivalente representativo en diámetro de tubería (Le/D) de varias válvulas y ajustes [⊗]		
Descripción	K	(L/D)
Válvula de globo		
Convencional		
Sin obstrucción en el asiento de tipo plano, en chaflán o clavija –Completamente abierta.		340
Con disco de chaveta o de aleta - Completamente abierta.		450
De asiento biselado –Completamente abierta.	6.0	
–1/2 abierta.	9.5	
De asiento compuesto –Completamente abierta.	6.0	
–1/2 abierta.	8.5	
Modelo Y		
(Sin obstrucción en el asiento de tipo plano, en chaflán o de clavija).		
Con vástago a 60 grados del cauce de l a tubería –Completamente abierta.		175
Con vástago a 45 grados del cauce de l a tubería –Completamente abierta.		145
De tapón –Completamente abierta.	9.0	
–3/4 abierta.	13.0	
–1/2 abierta.	36.0	
–1/4 abierta.	112.0	
Válvula de diafragma –Completamente abierta.	2.3	
–3/4 abierta.	2.6	
–1/2 abierta.	4.3	
–1/4 abierta.	21.0	
Válvulas angulares		
Convencional		
Sin obstrucción en el asiento de tipo plano, en chaflán o clavija –Completamente abierta.		145
Con disco de chaveta o de aleta –Completamente abierta.		200
Válvula de compuerta <i>O DE BOLA VB</i>		
Disco de cuña, doble o de clavija –Completamente abierta. <i>100%</i>		13
–3/4 abierta.		35
–1/2 abierta.		160
–1/4 abierta.		900
Tubería Conduit –Completamente abierta.		3*
Válvulas de retención <i>Ó CHECK</i>		
De disco –Completamente abierta.	10.0	
Giro convencional –0,5 [^] –Completamente abierta.		135
Giro de despeje –0,5 [^] –Completamente abierta.		50
Alza o cierre del globo –2,0 [^] –Completamente abierta.		**
Alza o cierre angular –2,0 [^] –Completamente abierta.		***
En línea de municiones, 2.5 vertical y 0.25 horizontal –Completamente abierta.		150
De bisagra –Completamente abierta.	2.0	100
De columpio –Completamente abierta.	2.5	
Válvulas de aspiración con cedazo		
Con disco de tipo alza vertical –3,0 [^] –Completamente abierta.		420
Con disco articulado cuero –4,0 [^] –Completamente abierta.		75

Puede estimarse el valor de L/D para una **Válvula de bola** 100% abierta con la L/D de una válvula de compuerta 100% abierta.
^{*} El largo equivalente exacto es igual al largo de las caras de las bridas o extremos de soldadura.
^{**} Igual que para globo.
^{***} Igual que para angular.
[^] La presión de caída mínima calculada, (lbf/pulg²) a través de la válvula para proporcionar suficiente flujo para alzar el disco por completo.

Fuente: Guanipa, 2000



TABLA B.1 (Continuación)
COEFICIENTES DE RESISTENCIA (K) Y LARGO EQUIVALENTE (Le/D)

Valores del Coeficiente de resistencia (K) o Largo Equivalente representativo en diámetro de tubería (Le/D) de varias válvulas y ajustes, continuación ⊗

Descripción	K	(L/D)
Válvulas de mariposa		
φ= 5°	0.24	
φ= 10°	0.52	
φ= 20°	1.54	
φ= 40°	10.8	
φ= 60°	118.0	
De 6 pulg y mayores (General) –Completamente abierta.		20
Grifos		
Directo a través.		
Área rectangular de la clavija al 100% del área del tubo –Completamente abierta.		18
Válvulas de tres conductos		
Área rectangular de la clavija igual al 80% del área del tubo –Completamente abierta.		
Flujo directamente a través.		44
Flujo a través de bifurcación.		140
Válvula de pie –Completamente abierta.	15.0	
Y o Válvula de escape –Completamente abierta.	3.0	
De llave ciega.		
φ= 5°	0.05	
φ= 10°	0.29	
φ= 20°	1.56	
φ= 40°	17.3	
φ= 60°	206.0	
Medidor de agua, de disco.	7.0	350
De pistón.	15.0	
Rotatoria (disco de estrella).	10.0	
De rueda de turbina.	6.0	
Codos		
90° estándar o normal.		30
45° estándar o normal.		16
90° de radio corto.	0.9	41
90° de radio medio.	0.75	
90° de radio largo.		20
Para calle a 90°.		50
Para calle a 45°.		26
Para esquina cuadrada.		57
Curvatura de 180°.	1.6	75
Te normal o estándar.		
Con flujo a todo lo largo (paso recto).	0.4	20
Con flujo a través de la rama (salida lateral) –Usada como L al entrar a una bifurcación.		60
Con flujo que se bifurca.	1.0	
Patrón cerrado de tubo de retorno		50
Acoplamiento , <i>ADJUNTA, NIPLE, CONECTOR</i>	0.04	
Unión	0.04	

Puede estimarse el valor de L/D para una Válvula de bola 100% abierta con la L/D de una válvula de compuerta 100% abierta.
 ⊗ Información extraída de las siguientes fuentes: McCabe, W. y otros, "Operaciones Unitarias en Ingeniería Química", Cuarta Edición, McGraw-Hill, España, 1991; Streeter, V., "Mecánica de los Fluidos", Octava Edición, McGraw-Hill, México, 1988; Barderas, M., "Problemas de Flujo de Fluidos", Primera Edición, Editorial Limusa, México, 1990; Welty, J. y otros, "Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa", Segunda Edición, Editorial Limusa, México, 1994; White, F., "Mecánica de Fluidos", Primera Edición, McGraw-Hill, México, 1983; Geankoplis, C., "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", Tercera Edición, Editorial Continental, México, 1998; Perry, R., "Manual del Ingeniero Químico", Sexta Edición, McGraw-Hill, México, 1992; y Foust, A. y otros, "Principios de Operaciones Unitarias", Segunda Edición, Editorial Continental, México, 1989.

Fuente: Guanipa, 2000



TABLA B.2
DIMENSIONES DE LOS TUBOS DE ACERO COMERCIAL

Tamaño nominal del tubo en plg	Diámetro exterior en plg	Cédula No.	Espesor de la pared en plg	Diám interior en plg	Área de la sección transversal del metal en plg ²	Área de la sección interna en pies ²	Circunferencia en pies, o superficie pies ² /pies de longitud	
							Externa	Interna
1/8	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563
1/4	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.0954
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.0792
3/8	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.1293
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.1110
1/2	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.1630
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.1430
3/4	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.2158
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.1942
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.2745
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.2505
1 1/4	1.660	40	0.140	1.380	0.669	0.01040	0.435	0.362
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335
1 1/2	1.900	40	0.145	1.610	0.799	0.01414	0.498	0.422
		80	0.200	1.500	1.068	0.01225	0.498	0.393
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.542
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508
2 1/2	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.609
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.917	0.804
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.917	0.760
3 1/2	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.930
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.882
4	4.500	40	0.237	4.026	3.173	0.08840	1.178	1.055
		80	0.337	3.826	4.407	0.07986	1.178	1.002
5	5.563	40	0.258	5.047	4.304	0.1390	1.456	1.322
		80	0.375	4.813	6.112	0.1263	1.456	1.263
6	6.625	40	0.280	6.065	5.584	0.2006	1.734	1.590
		80	0.432	5.761	8.405	0.1810	1.734	1.510
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.090
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	2.000
10	10.75	40	0.365	10.020	11.90	0.5475	2.814	2.620
		80	0.593	9.564	18.92	0.4989	2.814	2.503
12	12.75	40	0.406	11.938	15.77	0.7773	3.338	3.13
		80	0.687	11.376	26.03	0.7058	3.338	2.98

Fuente: Foust, A. y otros, "Principios de Operaciones Unitarias", Segunda Edición, Editorial Continental, México, 1989.

Fuente: Guanipa, 2000

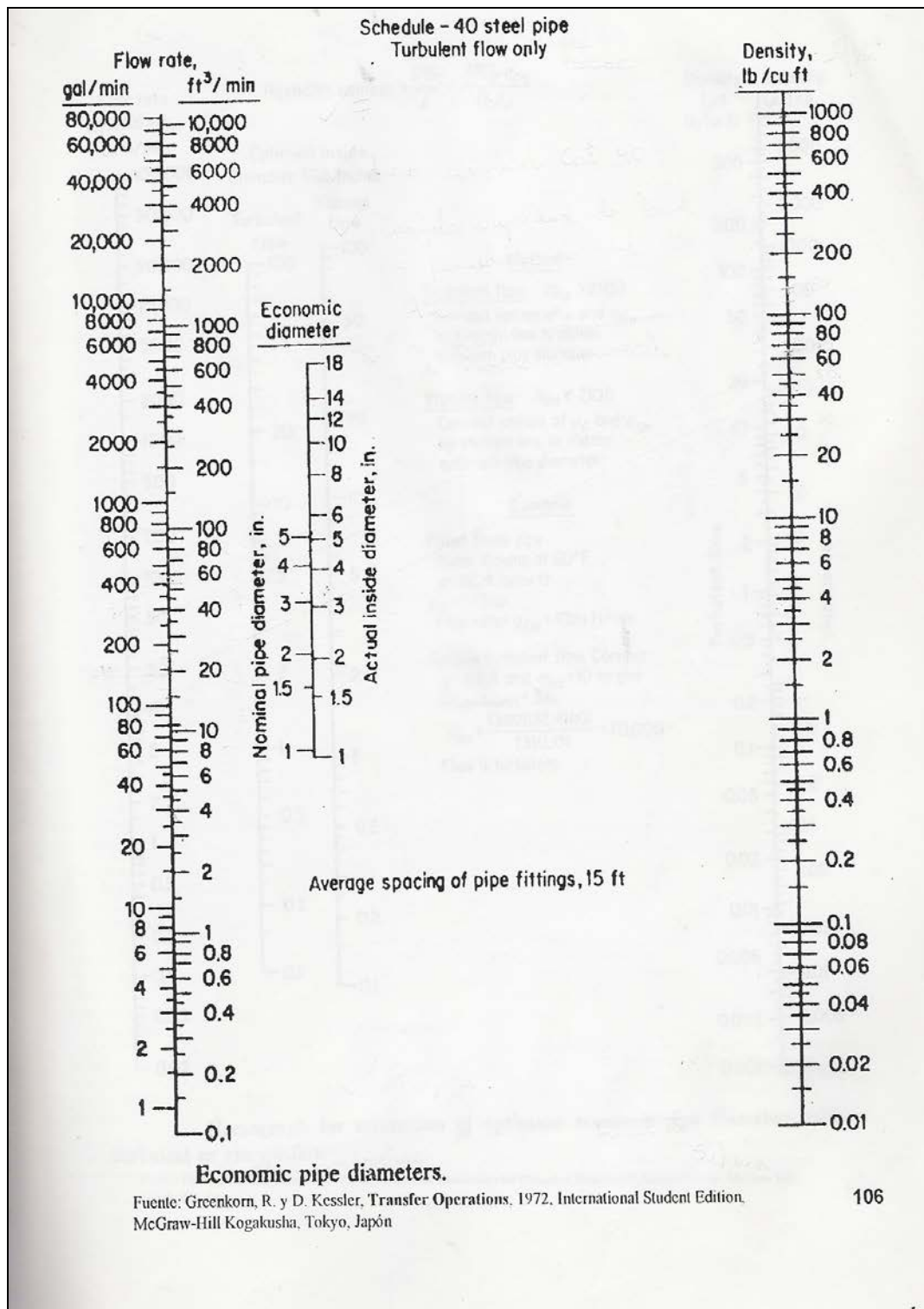


Figura B.2 Diámetro económico

Fuente: Guanipa, 2000

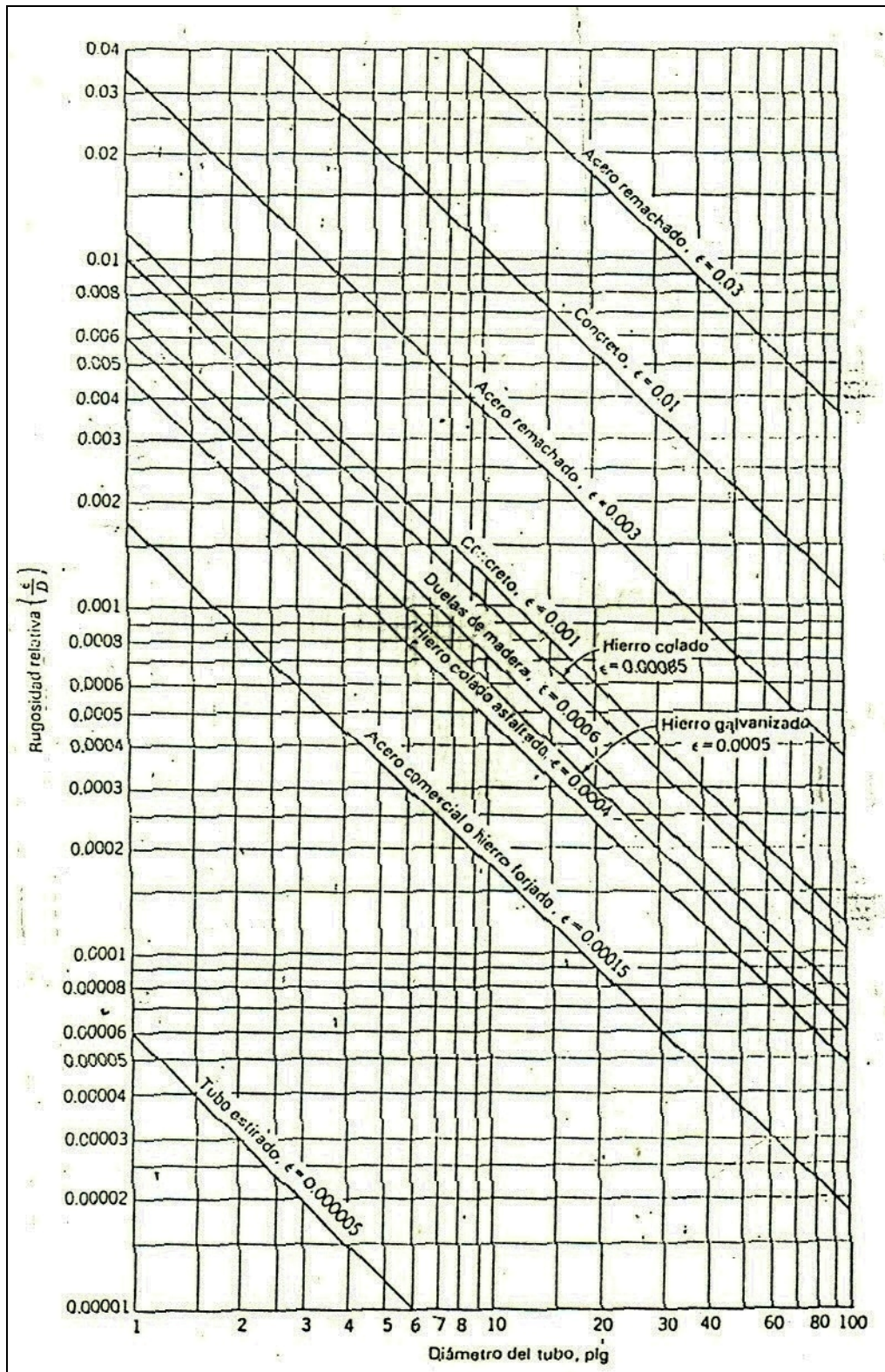


Figura B.3 Rugosidad Relativa

Fuente: Guanipa, 2000



APÉNDICE C
DATOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES



TABLA C.1
CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS DE LAVADO

Parámetros Físico-Químicos (mg / l)	Límites Máximos (mg / l)	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
Aceites y Grasas	150	38,80	31,20	57,60	4,40	35,50	36,40	145,20	24,80	642,40
DBO _{5,20C}	350	1.353,50	1.279,00	166,00	131,39	805,00	394,37	---	1.980,00	2.775,00
DQO	900	3.137,00	3.670,00	3.303,00	1.468,00	2.364,00	3.152,00	7.570,00	2.044,00	11.530,00
Detergentes	8	70,40	68,80	208,40	46,80	45,30	26,50	0,05	109,90	295,40
Fenoles	0,5	2,459	0,000	1,000	3,443	---	1,623	1,108	7,565	150,000
Fósforo Total	10	7,16	7,72	30,07	4,66	11,95	37,75	14,90	14,30	14,05
Nitrógeno Total	40	0,200	0,501	32,170	0,608	10,610	33,06	15,7	1,905	1,706
pH	6-9	7,98	7,02	7,10	7,09	6,41	6,00	6,82	6,27	7,84
Sólidos Suspendidos	400	769,90	71,69	402,00	54,16	942,10	616,66	250,00	248,57	873,33
Sólidos Totales	1600	1.775,00	1.285,00	5.465,00	970,00	2.180,00	2.340,00	2.375,00	1.365,00	1.845,00
Sulfatos	400	278,00	480,00	2.940,00	1.250,00	---	70,40	140,80	728,00	720,00

■ Valores por encima del límite máximo establecido por el decreto 883

■ Límites máximos permitidos por el decreto 883



TABLA C.2
DENSIDAD DEL AGUA DE LAVADO

Semana	Masa del picnómetro lleno <i>(m_{pl})g</i>	Densidad $(\rho) \frac{kg}{m^3}$
1	38,45	999,20
2	38,40	997,20
3	39,44	1038,80
4	38,52	1002,00
5	39,46	1039,60
6	38,42	998,00
7	39,48	1040,40
8	38,43	998,40
9	39,18	1028,40

Masa del picnómetro vacío: 13,45g

Volumen del picnómetro: 25 ml

TABLA C.3
VOLUMEN DE AGUA DE LAVADO RECOLECTADO

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Volumen (l)	5200	5400	4800	5200	5600	4800	5400	4600	4800



TABLA C.4
CARACTERIZACIÓN Y PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES DESPUÉS
DE LAS PRUEBAS DE JARRA

Parámetros físico-químicos (mg/l)	Semana 6			Semana 7			Semana 8			Semana 9		
	Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra	Red.
Aceites y Grasas	36,40	39,60	-8,79	145,20	32,00	77,96	24,80	4,80	80,65	642,40	6,00	99,07
DBO _{5,20C}	394,37	181,50	53,98	---	---	---	1.980,00	1.110,00	43,94	2.775,00	615,00	77,84
DQO	3.152,00	2.216,00	29,70	7.570,00	1.642,00	78,31	2.044,00	1.204,00	41,10	11.530,00	3.232,00	71,97
Detergentes	26,50	8,96	66,19	0,05	0,01	80,00	109,90	16,78	84,73	295,40	3,96	98,66
Fenoles	1,623	1,482	8,69	1,108	0,774	30,14	7,565	2,860	62,19	150,000	93,200	37,87
Fósforo Total	37,75	8,10	78,54	14,90	2,15	85,57	14,30	0,79	94,48	14,05	0,14	99,00
Nitrógeno Total	33,06	23,28	29,58	15,7	1,91	87,83	1,905	2,328	22,20	1,706	1,184	30,60
pH	6,00	9,44	---	6,82	7,60	---	6,27	7,12	---	7,84	6,80	---
Sólidos Suspendidos	616,66	12,50	97,97	250,00	56,00	77,60	248,57	15,00	93,97	873,33	50,00	94,27
Sólidos Totales	2.340,00	2.095,00	10,47	2.375,00	1.205,00	49,26	1.365,00	1.350,00	1,10	1.845,00	890,00	51,76

■ Valores por encima del límite máximo establecido por el decreto 883



TABLA C.5
DATOS EXPERIMENTALES DE LAS PRUEBAS DE JARRA

Semana	Dosis de Coagulante (Dc)ml	Dosis de Floculante (Df)ml	pH Óptimo	Volumen de Lodo (Vl)ml
6	35	0	8,00	150
7	80	0,3	8,30	200
8	60	0,5	8,50	60
9	260	1,5	8,00	300

Coagulante: Policloruro de Aluminio

Floculante: Polímero no iónico

Concentración de Coagulante: 1% v/v

Concentración de Floculante: 1% v/v

Tiempo de Coagulación: 1 minuto

Tiempo de Floculación: 15 minutos



APÉNDICE D
CÁLCULOS TÍPICOS



Características de diseño para el Tanque de igualación

Consideraciones para el diseño del equipo:

- Mezclado por inyección de aire
- Sección transversal rectangular
- Tiempo de retención 5 días (V_m)

1.- Volumen promedio de agua recolectada

$$V_m = \sum_{i=1}^n \frac{V_{S_i}}{n} \cdot F_{C_1} \quad (\text{I}) \quad (\text{Himmelblau, 1997})$$

Donde:

V_m : Volumen promedio (m^3)

V_{S_i} : Volumen recolectado por semana (l)

n : Número de muestras (adim)

F_{C_1} : Factor de conversión $\left(0,001 \frac{m^3}{l}\right)$

Sustituyendo los datos correspondientes del Apéndice C de la tabla C.3 en la ecuación I, se obtiene:

$$V_m = \left(\frac{5200l + 5400l + 4800l + 5200l + 5600l + 4800l + 5400l + 4600l + 4800l}{9} \right) 0,001 \frac{m^3}{l}$$

$$V_m = 5,14m^3$$

2.- Volumen del tanque de igualación

$$V_t = V_m + 0,2 \cdot V_m \quad (\text{II}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

V_t : Volumen del tanque de igualación (m^3)



Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación II, se obtiene:

$$V_t = 5,14m^3 + 0,2(5,14m^3)$$

$$V_t = 6,168m^3 \cong 6,20m^3$$

3.- Área del tanque

$$A_t = \frac{V_t}{ht} \quad \text{(III) (Navarro)}$$

Donde:

A_t : Área del tanque (m^2)

ht : Altura del tanque (m)

Suponiendo un valor de $ht = 2,00m$ y sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación III, se obtiene:

$$A_t = \frac{6,20m^3}{2m}$$

$$A_t = 3,10m^2$$

4.- Longitudes de la sección transversal del tanque

$$A_t = L \cdot A \quad \text{(IV) (Navarro)}$$

Donde:

L : Largo de la sección transversal del tanque (m)

A : Ancho de la sección transversal del tanque (m)

Asumiendo un valor de $2,00m$ para el Largo de la sección transversal, despejando y sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación IV, se obtiene:

$$A = \frac{3,10m^2}{2,00m}$$

$$A = 1,55m$$



5.- Caudal de aire requerido para un mezclado homogéneo en el tanque

$$Q_{aire} = R_{aire} \cdot V_t \cdot F_{c_2} \quad (V) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

Q_{aire} : Caudal de aire requerido $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

R_{aire} : Requerimiento de aire por unidad de volumen (*cfm*)

F_{c_2} : Factor de conversión $\left(\frac{1 \text{ min}}{60s}\right)$

Según el Water Environment Treatment el valor de R_{aire} está entre $(20-30) \text{ pie}^3 / \text{min}$ por cada 1000 pie^3 de volumen en el tanque.

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación V y asumiendo un valor de $R_{aire} = 30 \text{ pie}^3 / \text{min}$, se obtiene:

$$Q_{aire} = \frac{30 \text{ pie}^3 / \text{min}}{1000 \text{ pie}^3} \cdot 6,2m^3 \cdot \left(\frac{1 \text{ min}}{60s}\right)$$

$$Q_{aire} = 0,0031 \frac{m^3}{s}$$

6.- Número de difusores

$$Nro.Difusores = \frac{Q_{aire}}{Q_{difusor} \cdot F_{c_3}} \quad (VI) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

$Nro.Difusores$: Número de difusores (adim)

$Q_{difusor}$: Caudal de aire por difusor $\left(\frac{m^3}{h}\right)$

F_{c_3} : Factor de conversión $\left(\frac{1h}{3600s}\right)$



Para tubos porosos el Caudal de aire por difusor está comprendido entre $(4,07-6,80) \frac{m^3}{h}$.

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación VI, y tomando un valor para el caudal de

cada difusor de $6,00 \frac{m^3}{h}$, se obtiene:
$$Nro.Difusores = \frac{0,0031 \frac{m^3}{s}}{6,00 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}$$

$$Nro.Difusores = 1,86 \cong 2$$

7.- Densidad de las aguas de lavado

$$\rho = \frac{m_{pll} - m_{pv}}{vp} \quad \text{(VII) (Perry, 2001)}$$

Donde:

m_{pll} : Masa del picnómetro lleno (kg)

m_{pv} : Masa del picnómetro vacío (kg)

vp : Volumen del picnómetro (mL)

Sustituyendo los datos correspondientes del Apéndice C de la tabla C.2 para la semana 1, se obtiene:

$$\rho = \frac{(38,45g - 13,47g)}{25ml} \cdot \frac{1kg}{1000g} \cdot \frac{1000l}{1m^3} \cdot \frac{1000ml}{1l}$$

$$\rho = 999,20 \frac{kg}{m^3}$$

8.- Densidad promedio de las aguas de lavado

$$\rho_m = \sum_{i=1}^n \rho_i \quad \text{(VIII) (Himmelblau, 1997)}$$



Donde:

ρ_i : Densidad del agua de lavado $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$$\rho_m = \left(\frac{999,20 + 997,20 + 1038,80 + 1002,00 + 1039,60 + 998,00 + 1040,40 + 998,40 + 1028,40}{9} \right) \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_m = 1015,78 \frac{kg}{m^3}$$

9.- Peso específico del agua de lavado

$$\gamma = \rho_m \cdot \frac{g}{gc} \quad (\text{IX}) \quad (\text{Silva, 1995})$$

Donde:

γ : Peso específico del agua de lavado $\left(\frac{N}{m^3}\right)$

gc : Factor de conversión de Newton $\left(1 \frac{kg \cdot m}{N \cdot s^2}\right)$

g : Aceleración normal de gravedad $\left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)$

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación IX, se obtiene:

$$\gamma = 1015,78 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{9,81 \frac{m}{s^2}}{1 \frac{kg \cdot m}{N \cdot s^2}}$$

$$\boxed{\gamma = 9964,78 \frac{N}{m^3}}$$

10.- Presión de descarga del soplador

$$P_1 = \gamma \cdot H_1 \quad (\text{X}) \quad (\text{Silva, 1995})$$

Donde:

P_1 : Presión de la columna de agua a la altura de la descarga (Pa)

H_1 : Altura del nivel del líquido hasta la descarga del soplador (m)



Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación X, se obtiene:

$$P_1 = 9964,78 \frac{N}{m^3} \cdot 1,65m$$

$$P_1 = 16441,89 \frac{N}{m^2} = 16441,89 Pa$$

11.- Presión generada por el difusor

$$P_2 = \gamma \cdot H_2 \cdot Fc_4 \text{ (XI) (Dautant, 1981)}$$

Donde:

P_2 : Presión generada por el difusor (Pa)

H_2 : Pérdidas generadas por el difusor ($pu\lg$)

Fc_4 : Factor de conversión $\left(\frac{0,0254m}{1pu\lg} \right)$

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XI, se obtiene:

$$P_2 = 9964,78 \frac{N}{m^3} \cdot 11,5 pu\lg \cdot \left(\frac{0,0254m}{1pu\lg} \right)$$

$$P_2 = 2910,71 Pa$$

Según Dautant 1981, la caída de presión generada por un difusor que maneja un caudal de $6 \frac{m^3}{h}$ es de $11,5 pu\lg$. (Dautant, 1981)

12.- Pérdidas por fricción, equipos y accesorios

$$(P_3 + P_4) = 0,15 \cdot (P_1 + P_2) \text{ (XII) (Dautant, 1981)}$$

Donde:

$(P_3 + P_4)$: Pérdidas de presión generadas por fricción, equipos y accesorios (Pa)



Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XI, se obtiene:

$$(P_3 + P_4) = 0,15 \cdot 19352,60 Pa$$

$$(P_3 + P_4) = 2902,89 Pa$$

13.- Presión total requerida por el soplador

$$P_T = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) F_{C_5} \quad (\text{XIII}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

P_T : Presión total requerida por el soplador (*psi*)

F_{C_5} : Factor de conversión $\left(\frac{1 psi}{6894,757 Pa} \right)$

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XIII, se obtiene:

$$P_T = (19352,60 Pa + 2902,89 Pa) \left(\frac{1 psi}{6894,757 Pa} \right)$$

$$P_T = 3,228 psi$$

14.- Potencia requerida por el soplador en el tanque

$$Pdif = 75 \cdot 10^{-6} \cdot V_t \cdot F_{C_6} \quad (\text{XIV}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

$Pdif$: Potencia requerida por el soplador en el tanque (*hp*)

F_{C_6} : Factor de conversión $\left(\frac{1 gal}{0,00378 m^3} \right)$

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XIV, se obtiene:

$$Pdif = 75 \cdot 10^{-6} \frac{hp}{gal} \cdot 6,2 m^3 \cdot \frac{1 gal}{0,00378 m^3}$$

$$Pdif = 0,123 hp$$



15.- Potencia suministrada por el soplador en el tanque

$$P_s = \frac{P_{dif}}{\varepsilon} \quad (\text{XV}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

P_s : Potencia suministrada por el soplador (hp)

ε : Eficiencia del motor (adim)

Según (Metcalf y Eddy, 1996) la eficiencia de los compresores normalmente se encuentra entre (0,70-0,90).

Asumiendo una eficiencia de 0,80 y sustituyendo en la ecuación X IV, se obtiene:

$$P_s = \frac{0,123hp}{0,80}$$

$$P_s = 0,154hp$$

Características de diseño para el Coagulador-Floculador

Consideraciones para el diseño del equipo:

- Sección transversal circular
- El mezclado es mecánico por medio de un mezclador de paletas tipo 2 (Ver Apéndice B Tabla B.1)
- La velocidad de agitación para la mezcla rápida (coagulación) es de 100 rpm y un tiempo de agitación de 3 minutos
- La velocidad de agitación para la mezcla lenta es de 20 rpm y un tiempo de mezclado de 15 minutos
- Se fija un volumen para el tanque coagulador-floculador de $6,20 \text{ m}^3$

16.- Área del tanque de Coagulación-Floculación

$$At_{CF} = \frac{V_{t_{CF}}}{ht_{CF}} \quad (\text{XVI}) \quad (\text{Rivas Mijares, 1978})$$



Donde:

At_{CF} : Área del tanque de coagulación-floculación (m^2)

ht_{CF} : Altura del tanque de coagulación-floculación (m)

Vt_{CF} : Volumen del tanque de coagulación-floculación (m^3)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XVI y suponiendo una altura de 2m, se obtiene:

$$At_{CF} = \frac{6,20m^3}{2m}$$

$$At_{CF} = 3,10m^2$$

Según Rivas Mijares, 1978 debe cumplirse la siguiente condición $ht_{CF} \geq Dt_{CF}$

17.- Diámetro del tanque de coagulación-floculación

$$At_{CF} = \frac{\pi(Dt_{CF})^2}{4} \quad (\text{XVII}) \quad (\text{Navarro})$$

Donde:

Dt_{CF} : Diámetro del tanque (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XVII, se obtiene:

$$Dt_{CF} = \left(\frac{4 \cdot 3,10m^2}{\pi} \right)^{0,5}$$

$$Dt_{CF} = 1,987m$$

Se determina que la altura supuesta es correcta.

Por medio de la Figura B.1 del Apéndice B y tomando en cuenta el tipo de impulsor se obtienen las relaciones que se presentan a continuación, con las cuales se determinan las especificaciones del mezclador o impulsor:



18.- Diámetro del impulsor

$$\frac{Dt_{CF}}{Di} = 3 \quad (\text{XVIII}) \quad (\text{Rivas Mijares, 1978})$$

Donde:

Di : Diámetro del impulsor (m)

Sustituyendo los datos correspondientes y despejando de la ecuación XVIII, se obtiene:

$$Di = \frac{1,987m}{3}$$

$$\boxed{Di = 0,66m}$$

19.- Altura del impulsor

$$\frac{hi}{Di} = 1 \quad (\text{XIX}) \quad (\text{Rivas Mijares, 1978})$$

Donde:

hi : Altura del impulsor (m)

Sustituyendo los datos correspondientes y despejando de la ecuación XIX, se obtiene:

$$\boxed{hi = 0,66m}$$

20.- Ancho de los tabiques

$$\frac{W}{Di} = 0,10 \quad (\text{XX}) \quad (\text{Rivas Mijares, 1978})$$

Donde:

W : Ancho de los tabiques (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XX y despejando, se obtiene:

$$W = 0,10 \cdot 0,66m$$

$$\boxed{W = 0,066m}$$



21.- Ancho de las paletas

$$t = 0,25Di \quad (\text{XXI}) \quad (\text{Rivas Mijares, 1978})$$

Donde:

t : Ancho de las paletas (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXI, se obtiene:

$$t = 0,25 \cdot 0,66m$$

$$\boxed{t = 0,165m}$$

22.- Potencia del impulsor

$$Pi = \frac{K \cdot \rho m \cdot n^3 \cdot Di^5}{gc1} Fc_6 \quad (\text{XXII}) \quad (\text{Rivas Mijares, 1978})$$

Donde:

K : Constante del impulsor (adim)

ni : Velocidad del impulsor (rps)

Pi : Potencia del impulsor (hp)

Fc_6 : Factor de conversión $\left(\frac{1hp}{76kgf \cdot m/s} \right)$

$gc1$: Factor de conversión de Newton $\left(9,8 \frac{kg \cdot m}{kgf \cdot s^2} \right)$

Se asume régimen de flujo turbulento con un Número de Reynolds de 800000 se entra a la grafica de la Figura B.1 del Apéndice B y se obtiene un valor de $K=2$

$$Pi = \frac{2 \cdot 1015,78 \frac{kg}{m^3} \cdot (1,67rps)^3 (0,66m)^5}{9,8 \frac{kg \cdot m}{kgf \cdot s^2}} \left(\frac{1hp}{76kgf \cdot m/s} \right)$$

$$\boxed{Pi = 1,59hp}$$

23.- Potencia suministrada por el impulsor

$$Psi = \frac{Pi}{\varepsilon} \quad (\text{XXIII}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$



Donde:

Psi : Potencia suministrada por el impulsor (hp)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXIII, se obtiene:

$$Psi = \frac{1,59hp}{0,80}$$

$$Psi = 1,99hp$$

Características de diseño para el Sedimentador Primario

Consideraciones para el diseño del equipo:

- Tiempo de descarga 0,5h
- Altura útil 3,5m
- Tiempo de retención de 1,5h

24.- Caudal de entrada al sedimentador

$$Qop = \frac{Vt}{td} \quad (\text{XXIV}) \quad (\text{Silva, 1995})$$

Donde:

td : Tiempo de descarga (h)

Qop : Caudal de operación de los equipos $\left(\frac{m^3}{h}\right)$

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXIV, se obtiene:

$$Qop = \frac{6,20m^3}{0,5h}$$

$$Qop = 12,40 \frac{m^3}{h}$$

25.- Volumen del sedimentador

$$Vs = Qop \cdot t_R \quad (\text{XXV}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$



Donde:

V_S : Volumen del sedimentador (m^3)

t_R : Tiempo de retención (h)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXV, se obtiene:

$$V_S = 12,40 \frac{m^3}{h} \cdot 1,5h$$

$$\boxed{V_S = 18,60m^3}$$

26.- Área del sedimentador

$$A_s = \frac{V_S}{hu} \quad (\text{XXVI}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

A_s : Área del sedimentador (m^2)

hu : Altura útil (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXVI, se obtiene:

$$A_s = \frac{18,60m^3}{3,5m}$$

$$\boxed{A_s = 5,31m^2}$$

27.- Diámetro del sedimentador

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot A_s}{\pi}} \quad (\text{XXVII}) \quad (\text{Navarro})$$

Donde:

D_s : Diámetro del sedimentador (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXVII, se obtiene:

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,31m^2}{\pi}}$$

$$\boxed{D_s = 2,60m}$$



28.- Volumen del cono

$$V_{cono} = V_{lodo_{PJ}} \cdot V_t \cdot F_{c_7} \quad (\text{XXVIII}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

V_{cono} : Volumen de la sección cónica (m^3)

$V_{lodo_{PJ}}$: Volumen de lodo recolectado en las pruebas de jarra $\left(\frac{ml \text{ lodo}}{l \text{ agua de lavado}} \right)$

F_{c_7} : Factor de conversión $\left(\frac{1l}{1000ml} \right)$

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXVIII, se obtiene:

$$V_{cono} = \left(\frac{250ml \text{ lodo}}{1l \text{ agua de lavado}} \right) \cdot 6,20m^3 \cdot \frac{1l}{1000ml}$$
$$\boxed{V_{cono} = 1,55m^3}$$

29.- Altura del cono

$$V_{cono} = \frac{\pi D s^2}{12} h_{cono} \quad (\text{XXIX}) \quad (\text{Navarro})$$

Donde:

h_{cono} : Altura del cono (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXIX, se obtiene:

$$h_{cono} = \frac{12 \cdot 1,55m^3}{\pi \cdot (2,60m)^2}$$
$$\boxed{h_{cono} = 0,876m}$$

30.- Volumen del cilindro

$$V_{cil} = V_s - V_{cono} \quad (\text{XXIX}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

V_{cil} : Volumen de la sección cilíndrica (m^3)



Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXIX, se obtiene:

$$V_{cil} = 18,60m^3 - 1,55m^3$$

$$\boxed{V_{cil} = 17,05m^3}$$

31.- Altura del cilindro

$$V_{cil} = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} h_{cil} \quad (\text{XXXI}) \quad (\text{Navarro})$$

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXI y despejando, se obtiene:

$$h_{cil} = \frac{4 \cdot 17,05m^3}{\pi \cdot (2,60m)^2}$$

$$\boxed{h_{cil} = 3,21m}$$

32.- Altura real del sedimentador

$$h_s = h_{cil} + h_{cono} \quad (\text{XXXII}) \quad (\text{Navarro})$$

Donde:

h_s : Altura del sedimentador (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación (XXXII), se obtiene:

$$h_s = 3,21m + 0,876m$$

$$\boxed{h_s = 4,09m}$$

33.- Altura de descarga del líquido clarificado

$$h_d = h_{cono} + 0,10h_{cono} \quad (\text{XXXIII}) \quad (\text{Dautant, 1981})$$

Donde:

h_d : Altura de descarga del líquido (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXIII, se obtiene:

$$h_d = 0,876m + 0,10 \cdot 0,876m$$

$$\boxed{h_d = 0,96m}$$



34.- Diámetro de descarga del lodo

$$Dd = 0,15Ds \text{ (XXXIV) (Dautant, 1981)}$$

Donde:

Dd : Diámetro de descarga del lodo (m)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXIV, se obtiene:

$$Dd = 0,15 \cdot 2,60m$$

$$Dd = 0,39m$$

35.- Diámetro de la tubería

Para la determinación del diámetro de las tuberías se utiliza el Nomograma de diámetro económico de tuberías para flujo turbulento (ver Apéndice B Figura B.2), con los valores de

$\rho m = 1015,78 \frac{kg}{m^3}$ y $Qop = 12,40 \frac{m^3}{h}$, y se obtiene:

$Deconómico = 2 \text{ pulg}$

$\phi i = 0,0525m$

Catalogo 40

36.- Área de la sección transversal de la tubería

$$A_{tubería} = \pi \frac{\phi i^2}{4} \text{ (XXXV) (Navarro)}$$

Donde:

$A_{tubería}$: Área de la sección transversal de la tubería (m^2)

ϕi : Diámetro de la tubería (m)



Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXV, se obtiene:

$$A_{tubería} = \pi \frac{(0,0525m)^2}{4}$$

$$A_{tubería} = 0,00216m^2$$

37.- Velocidad en el punto 2

$$V_2 = \frac{Qop}{A_{tubería}} \quad (XXXVI) \quad (Silva, 1995)$$

Donde:

V_2 : Velocidad en el nivel 2 (m/s)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXVI, se obtiene:

$$V_2 = \frac{12,40 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1h}{3600s}}{0,00216m^2}$$

$$V_2 = 1,5911m/s$$

38.- Número de Reynolds

$$Re = \frac{Ve \cdot \phi i \cdot \rho m}{\mu} \quad (XXXVII) \quad (Silva, 1995)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds (a dim)

μ : Viscosidad del fluido $\left(\frac{kg}{m \cdot s}\right)$

Ve : Velocidad del fluido en el tramo de descarga (m/s)

Como el fluido es agua, se asume una viscosidad igual a la del agua a $27^\circ C$ igual a $1,0469 \cdot 10^{-5} kg/m \cdot s$.

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXVII, se obtiene:

$$Re = \frac{1,5911m/s \cdot 0,0525m \cdot 1015,78kg/m^3}{1,0469 \cdot 10^{-5} kg/m \cdot s}$$



$$\text{Re} = 8105176,78$$

39.- Rugosidad Relativa

Para la determinación de la rugosidad relativa se utilizó la figura B.3 del Apéndice B, tomando como datos el diámetro y el material de la tubería, y como material se escogió acero comercial.

$$R_{\text{Relativa}} = 0,0009a \text{ dim}$$

40.- Factor de Darcy

Este factor se encuentra utilizando la rugosidad relativa y el número de Reynolds. (En la calculadora HP)

$$fd = 0,019a \text{ dim}$$

41.- Pérdidas por fricción en el tramo desde el tanque de igualación hasta el tanque de coagulación-floculación.

$$h_L = \frac{fd \cdot Ve^2}{2 \cdot g} \left[\frac{L_t}{\phi i} + \sum \frac{Le}{D} \right] \text{ (XXXVIII) (Silva, 1995)}$$

Donde:

h_L : Pérdidas por tramo de tubería y accesorios (m)

fd : Factor de fricción de Darcy ($a \text{ dim}$)

$\frac{Le}{D}$: Longitud equivalente ($a \text{ dim}$)

L_t : Longitud de la tubería (m)

Accesorios del tramo de tubería: 2 codos de 90° y 1 válvula de globo (ver Apéndice B Tabla B.2)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXVIII, se obtiene:



$$h_L = \frac{0,019 \cdot (1,5911 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \left[\frac{10,10 \text{ m}}{0,0525 \text{ m}} + 2 \cdot 30 + 340 \right]$$
$$h_L = 1,4524 \text{ m}$$

42.- Cabezal requerido por la bomba del tanque de igualación subterráneo

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + (Z_2 - Z_1) + h_L - H_B = 0 \quad (\text{XXXIX}) \quad (\text{Silva, 1995})$$

Donde:

V_1 : Velocidad en el nivel 1 (m/s)

P_1 : Presión en el nivel 1 (Pa)

P_2 : Presión en el nivel 2 (Pa)

$(Z_2 - Z_1)$: Diferencia de altura entre los puntos 1 y 2 (m)

H_B : Cabezal de la bomba (m)

Consideraciones para la aplicación de la ecuación de Bernoulli

Las presiones de ambos puntos se hacen iguales a cero por estar al ambiente, la velocidad en el punto 1 se hace igual a cero porque esta velocidad en comparación con la del punto 2 es muy pequeña y se desprecia.

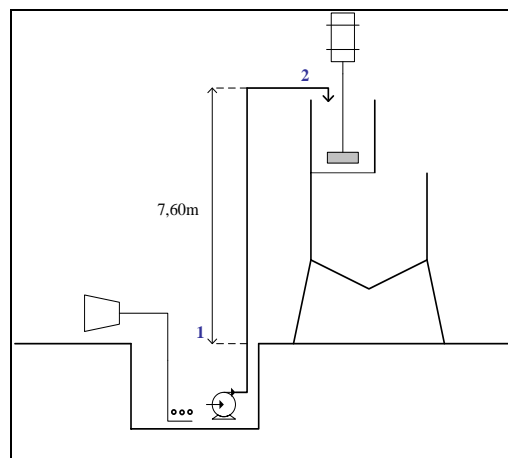


Figura D.1 Esquema para la aplicación de la ecuación de Bernoulli



Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXIX, se obtiene:

$$H_B = \frac{(1,5911m/s)^2}{2 \cdot 9,81m/s^2} + (7,60m - 0m) + 1,4524m$$

$$H_B = 9,1814m$$

43.- Potencia de la bomba

$$P_{Bomba} = \frac{H_B \cdot \gamma \cdot Q_{op}}{Eficiencia} \cdot Fc_3 \cdot Fc_6 \quad (XXXX) \quad (Silva, 1995)$$

Donde:

P_{Bomba} : Potencia de la bomba sumergible (*hp*)

Eficiencia : Eficiencia de la bomba (0,75a dim)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación (XXXX), se obtiene:

$$P_{Bomba} = \frac{9,1814m \cdot 1015,78Kgf/m^3 \cdot 12,4m^3/h \left(\frac{1h}{3600s}\right) \cdot \left(\frac{1hp}{76Kgf \cdot m/s}\right)}{0,75}$$

$$P_{Bomba} = 0,56hp$$

Características de diseño para los lechos de secado

Consideraciones para el diseño

- Altura de 0,7m
- Número de lechos igual a 3

44.- Volumen de sólidos

$$Area_{LS} = \frac{V_{solido}}{Altura_{LS}} \quad (XXXXX) \quad (Navarro)$$

Donde:

V_{solido} : Volumen de solidos (m^3)



$Area_{LS}$: Área total del lecho de los lechos de secado (m^2)

$Altura_{LS}$: Altura de los lechos (m)

Según (Romero Rojas, 2000) la altura de los lechos de secado esta comprendida entre (0,7-1,4)m

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXXI, se obtiene:

$$Area_{LS} = \frac{1,55m^3}{0,7m}$$

$$Area_{LS} = 2,21m^2$$

45.- Área de cada lecho de secado

$$a_{LS} = \frac{Area_{LS}}{Nro.Lechos} \quad (XXXXII) \quad (Navarro)$$

Donde:

a_{LS} : Área de cada uno de los lechos de secado (m^2)

$Nro.Lechos$: Cantidad de lechos de secado (a dim)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXXII, se obtiene:

$$a_{LS} = \frac{2,21m^2}{3}$$

$$a_{LS} = 0,74m^2$$

46.- Dimensiones de cada uno de los lechos

$$Lados = \sqrt{a_{LS}} \quad (XXXXIII) \quad (Dautant, 1981)$$

Donde:

$Lados$: Longitud de cada uno de los lados del lecho (m)



Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXXIV, se obtiene:

$$Lados = \sqrt{0,74m^2}$$

$$\boxed{Lados = 0,86m}$$

47.- Beneficio

$$Beneficio = Multas + Producción_{Mensual} \cdot tiempo_{Cierre} \quad (XXXXIV)$$

Donde:

Multas : Multa por vertidos ilícitos según la ley penal del ambiente (*Bs*)

Producción_{Mensual} : Producción mensual (*Bs*)

tiempo_{Cierre} : Tiempo de cierre temporal por construcción de la planta (*meses*)

Beneficio : Ahorro por multas y cierre temporal (*Bs*)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXXIV, se obtiene:

$$Beneficio = 17.077.000,00Bs + 350.000.000,00Bs \cdot 3$$

$$\boxed{Beneficio = 1.067.077.000,00Bs}$$

48.- Relación Costo-Beneficio

$$Relación_{C-B} = \frac{Costo}{Beneficio} \quad (XXXXV)$$

Donde:

Costo : Costos de construcción de la planta (*Bs*)

Relación_{C-B} : Relación de factibilidad (*a dim*)

Sustituyendo los datos correspondientes en la ecuación XXXXIV, se obtiene:

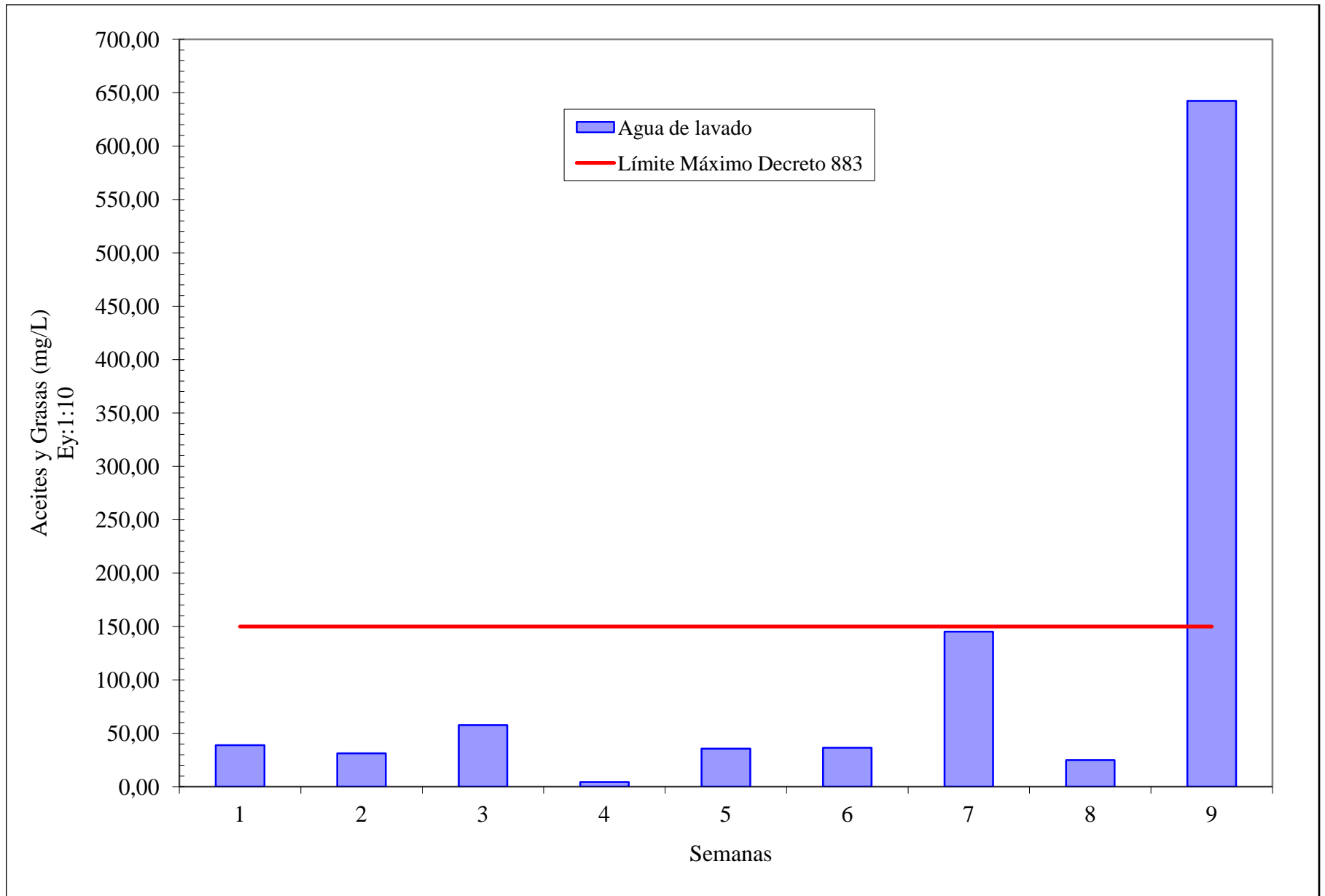
$$Relación_{C-B} = \frac{43.377.072,11Bs}{1.067.077.000,00Bs}$$

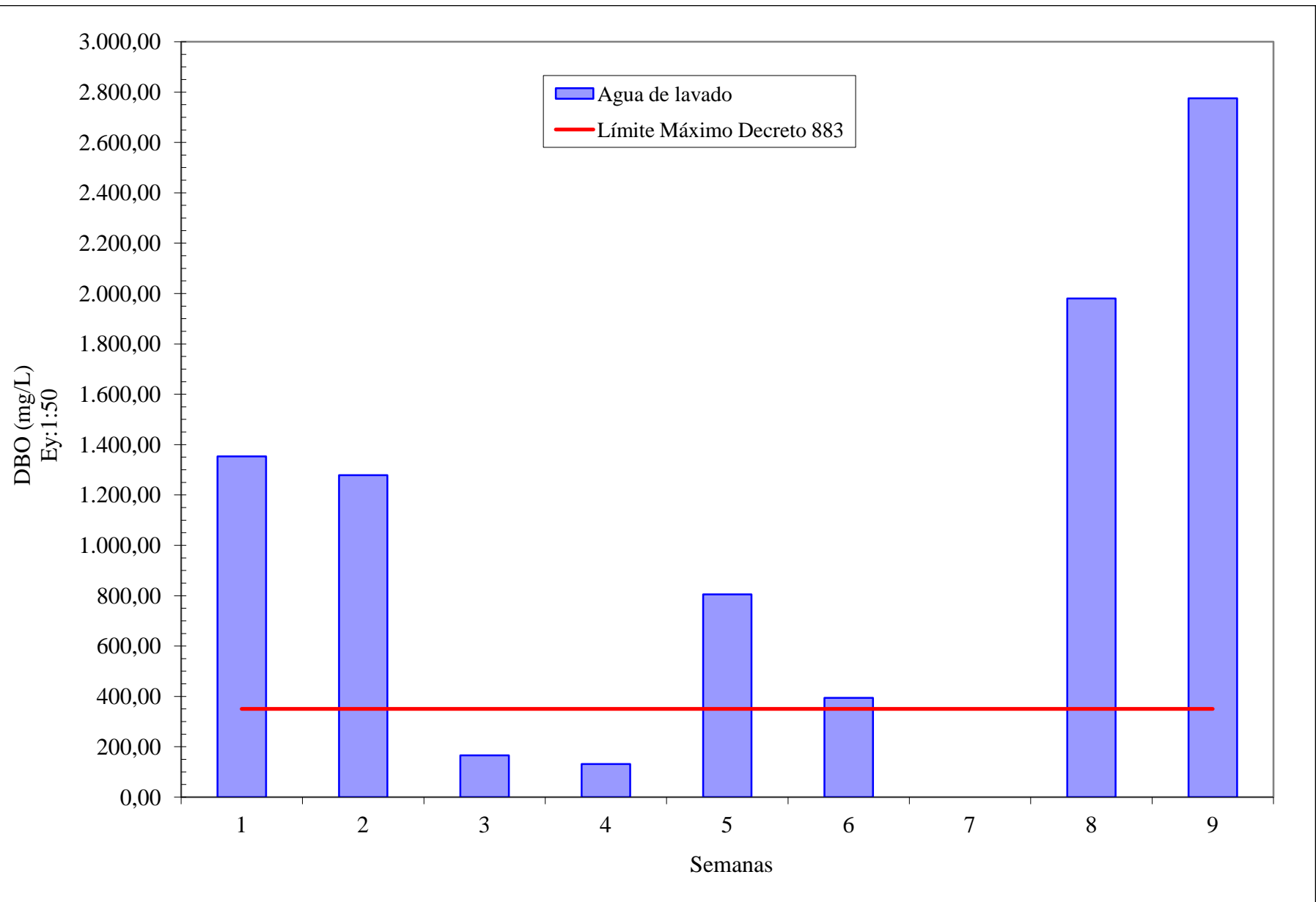
$$\boxed{Relación_{C-B} = 0,04a \text{ dim}}$$

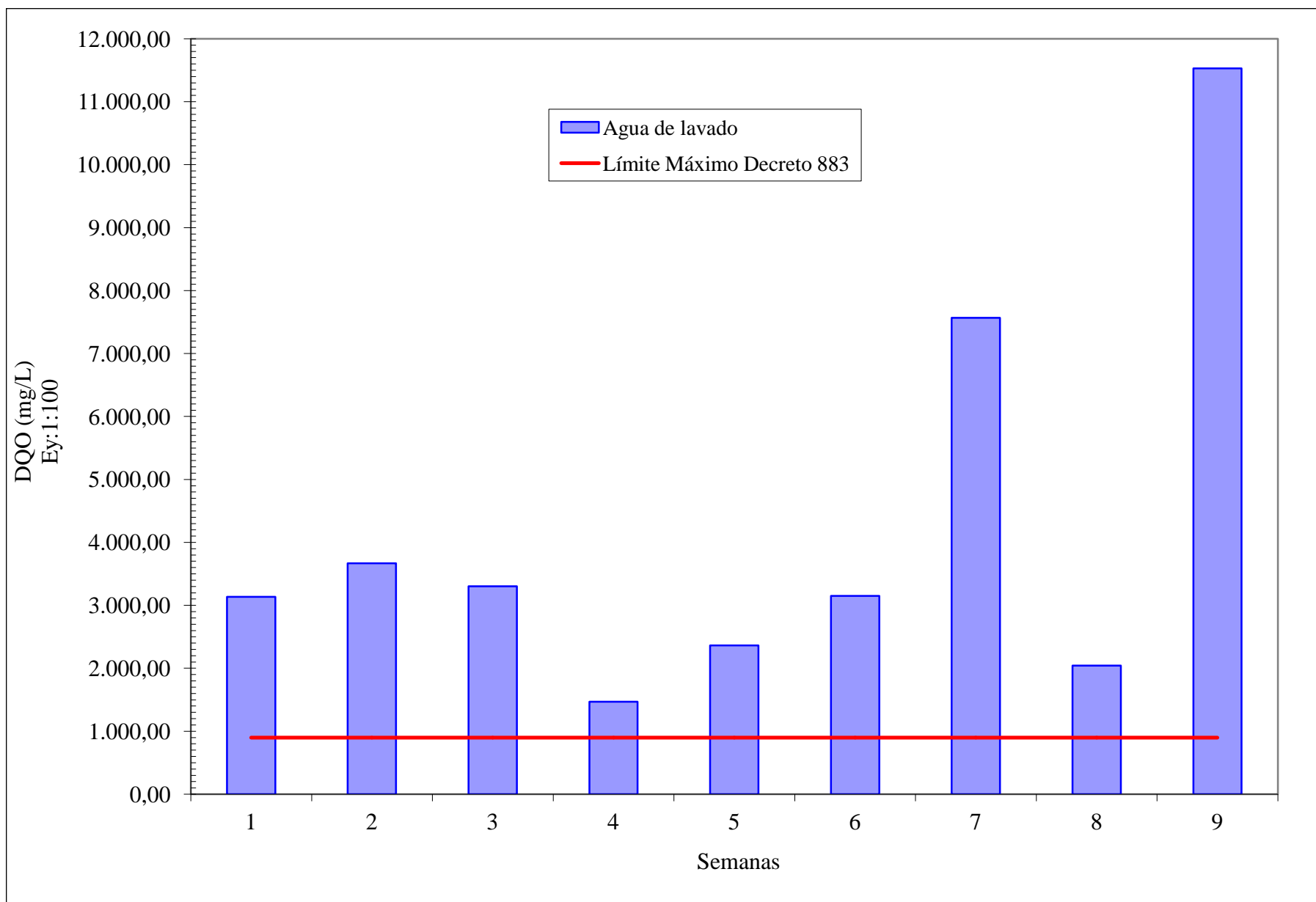


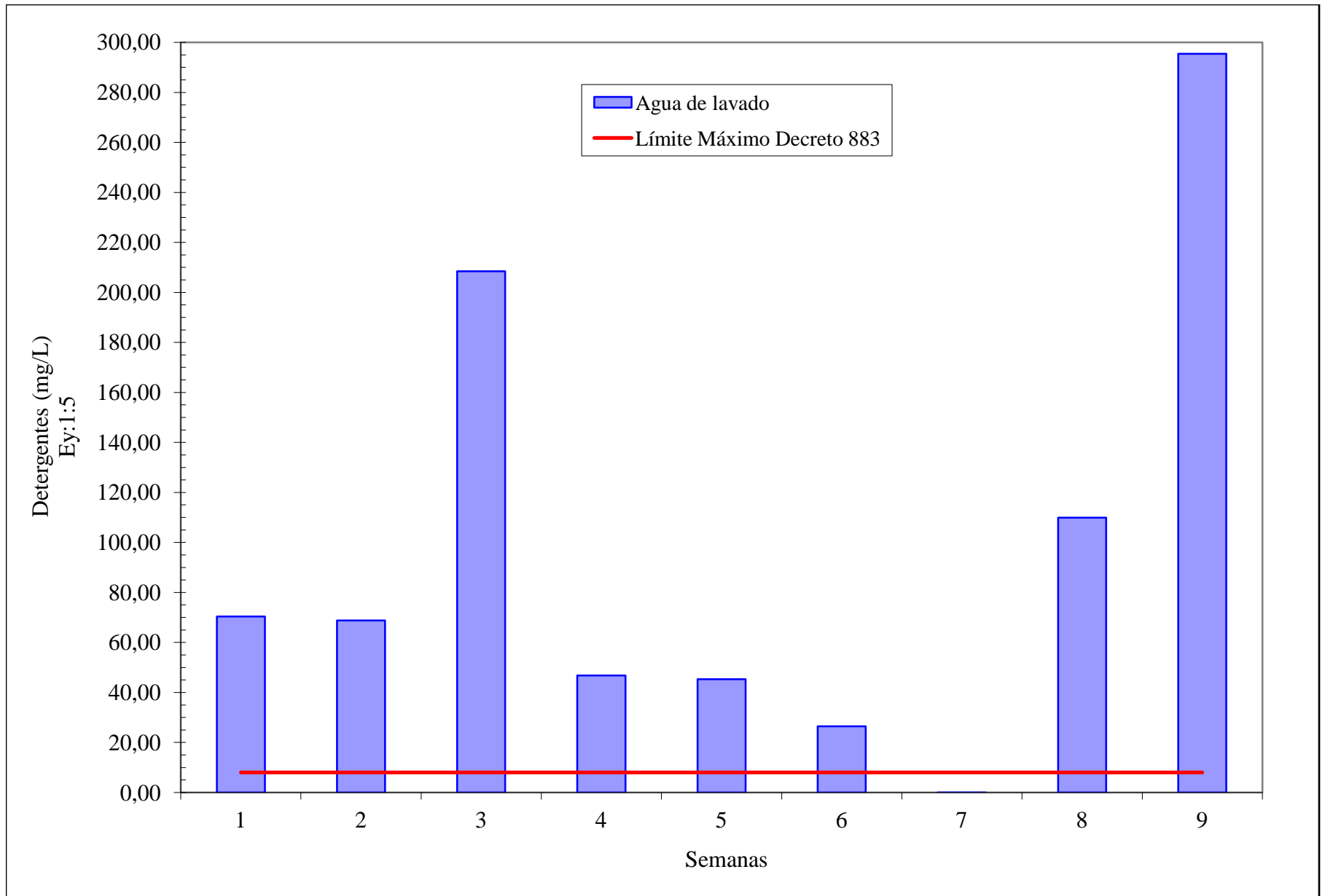
ANEXOS

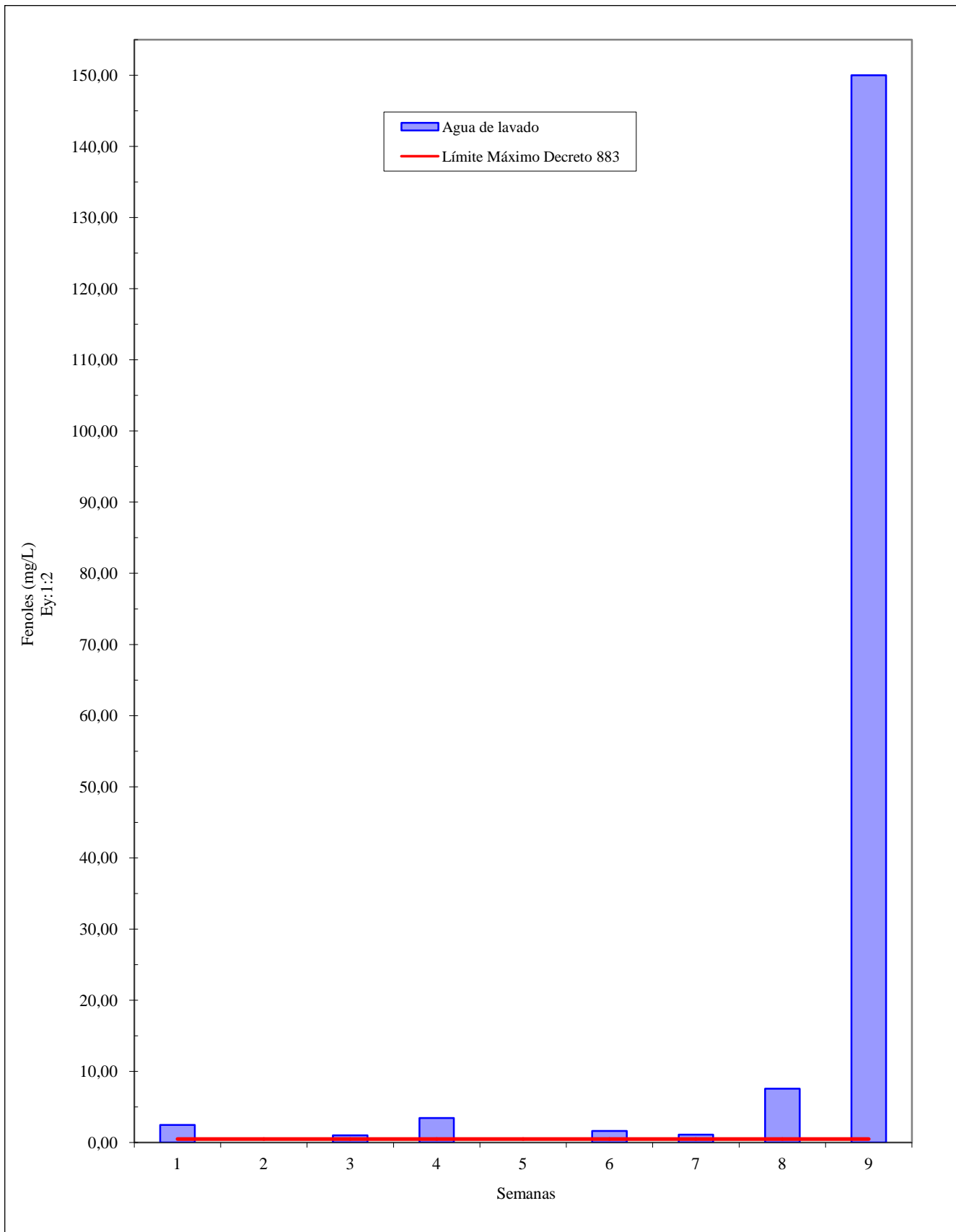
		1	2	3
Inversion inicial	0,45	2	2	3
Costos de operación	0,25	1	2	2
Espacio fisico	0,1	1	2	3
Costos de mantenimiento	0,2	2	3	3
		1,65	2,2	2,75

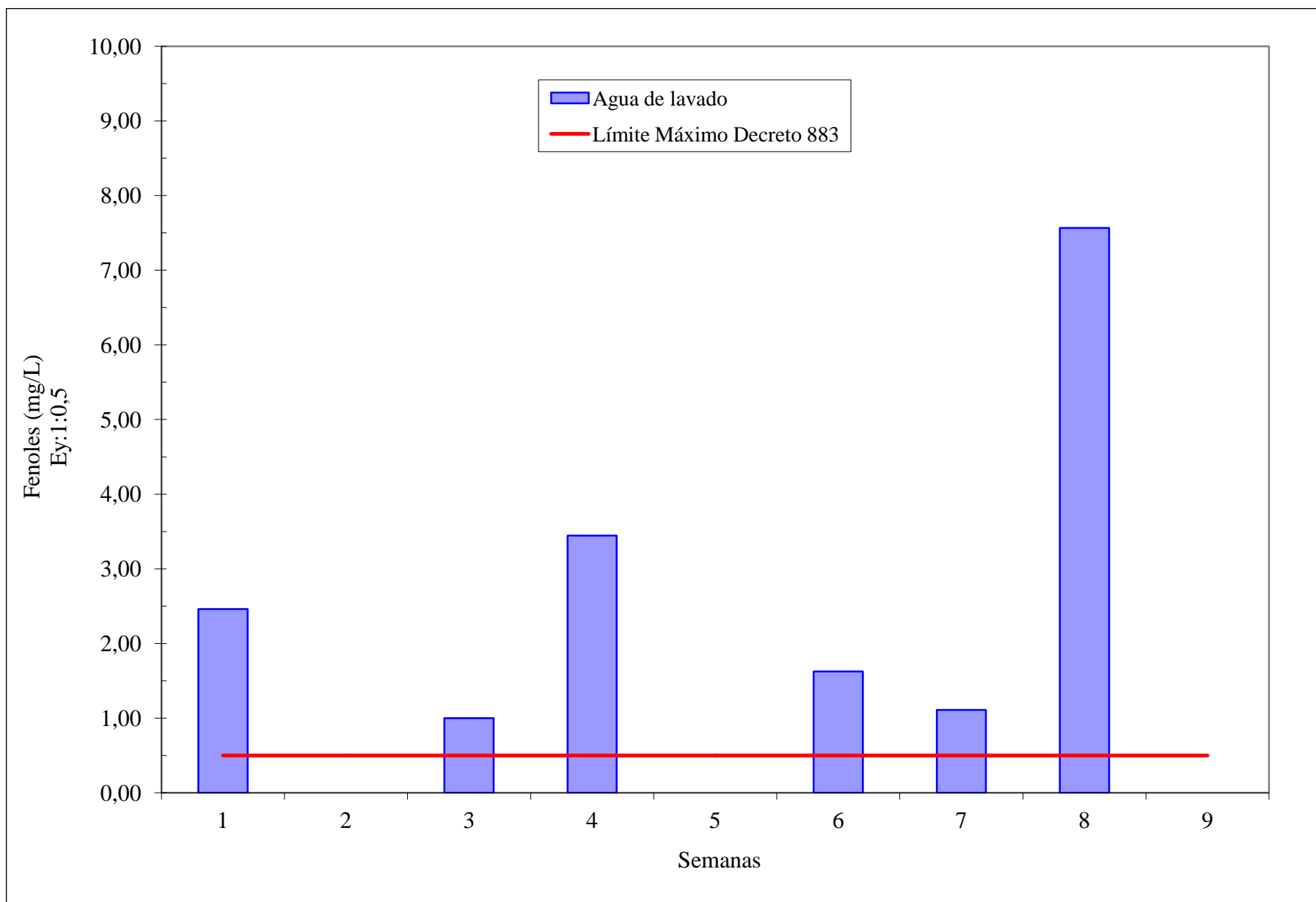


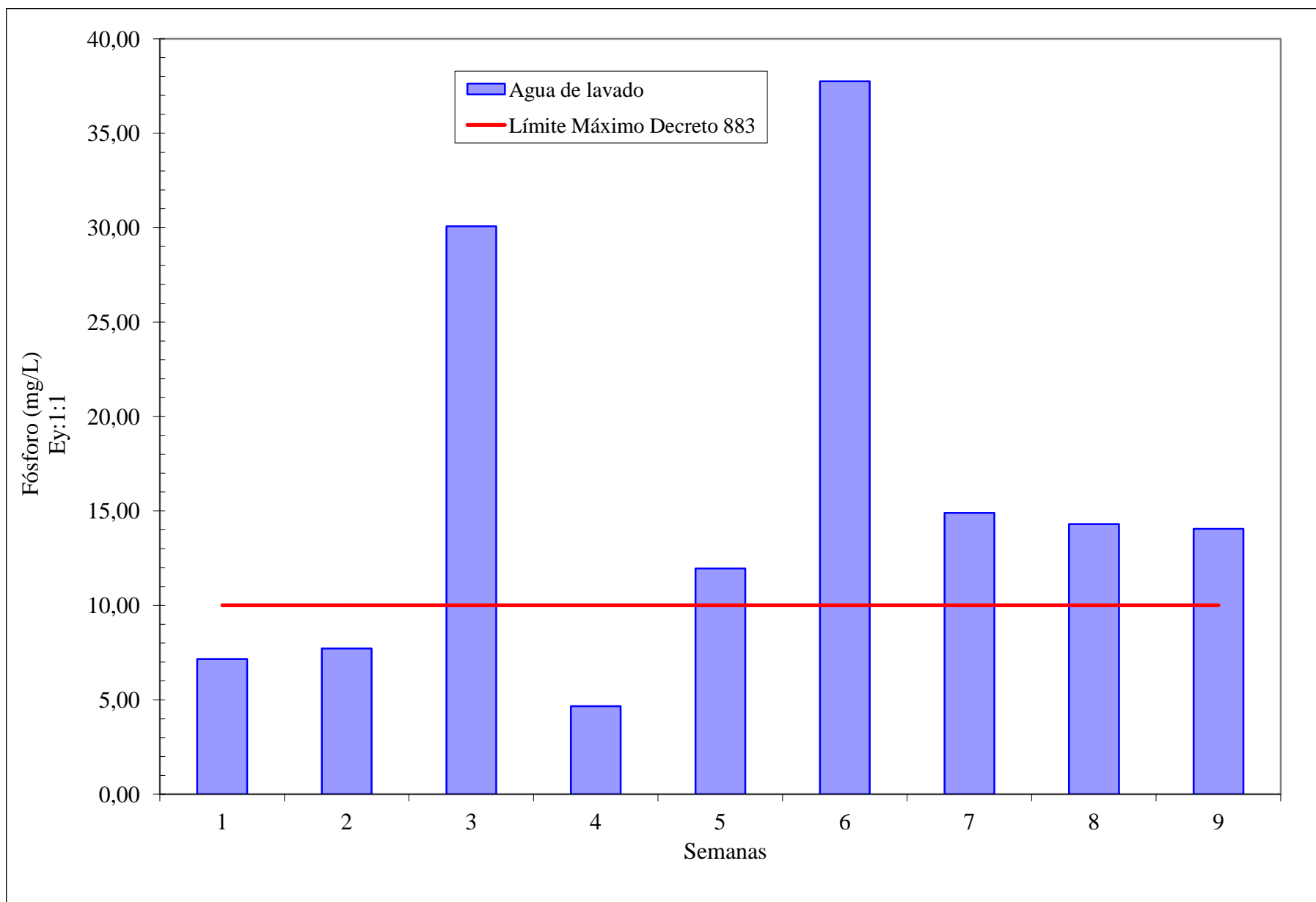


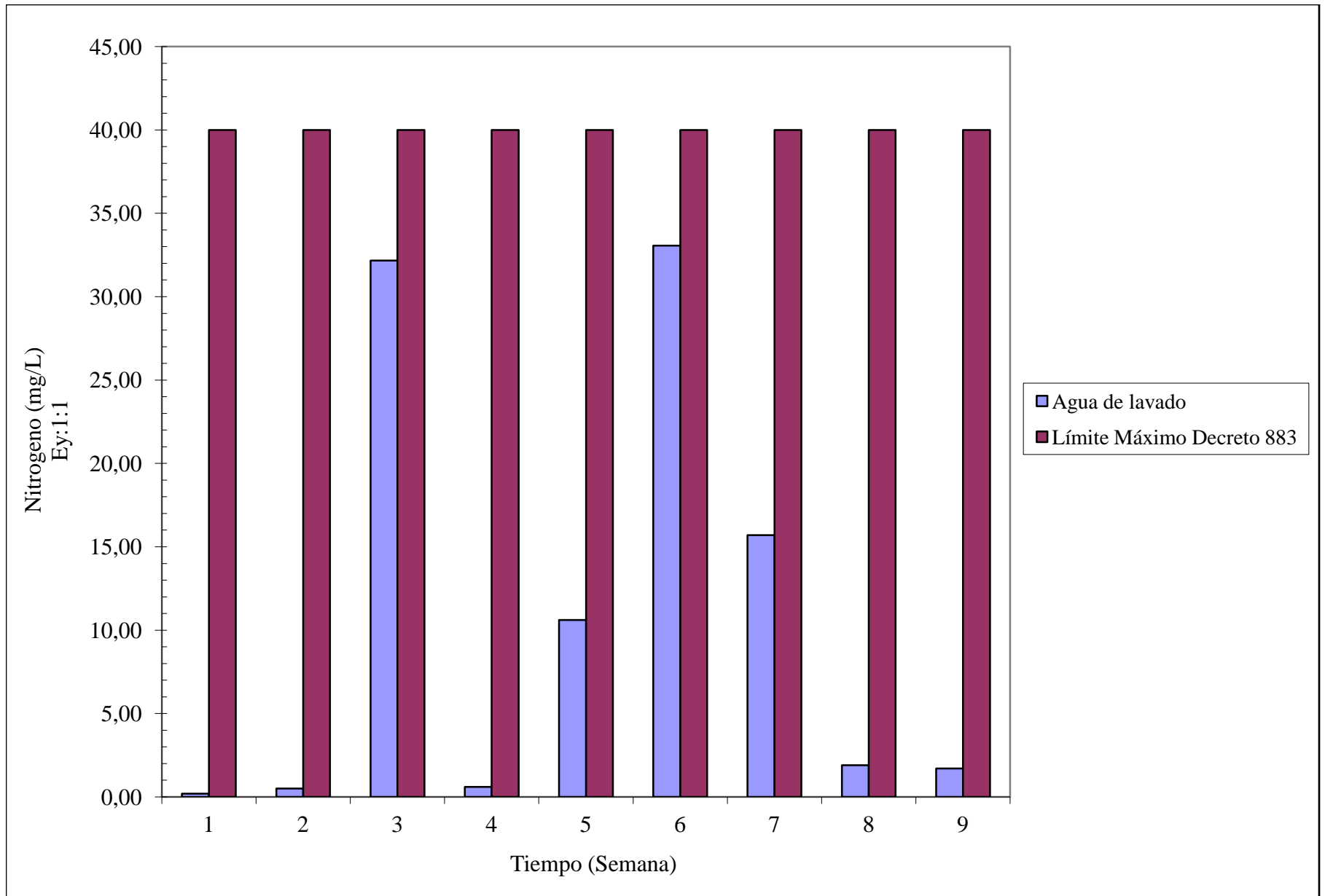


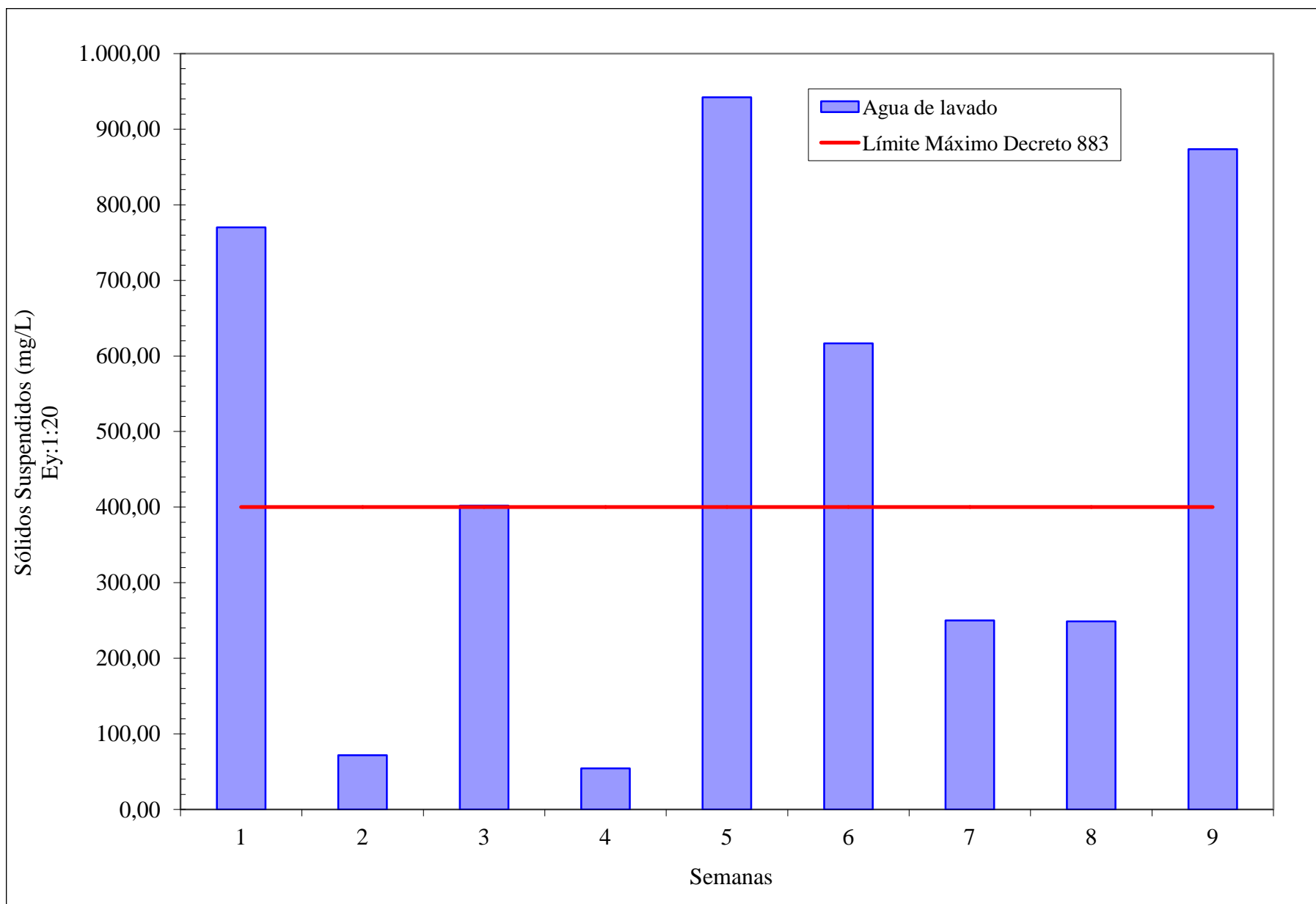


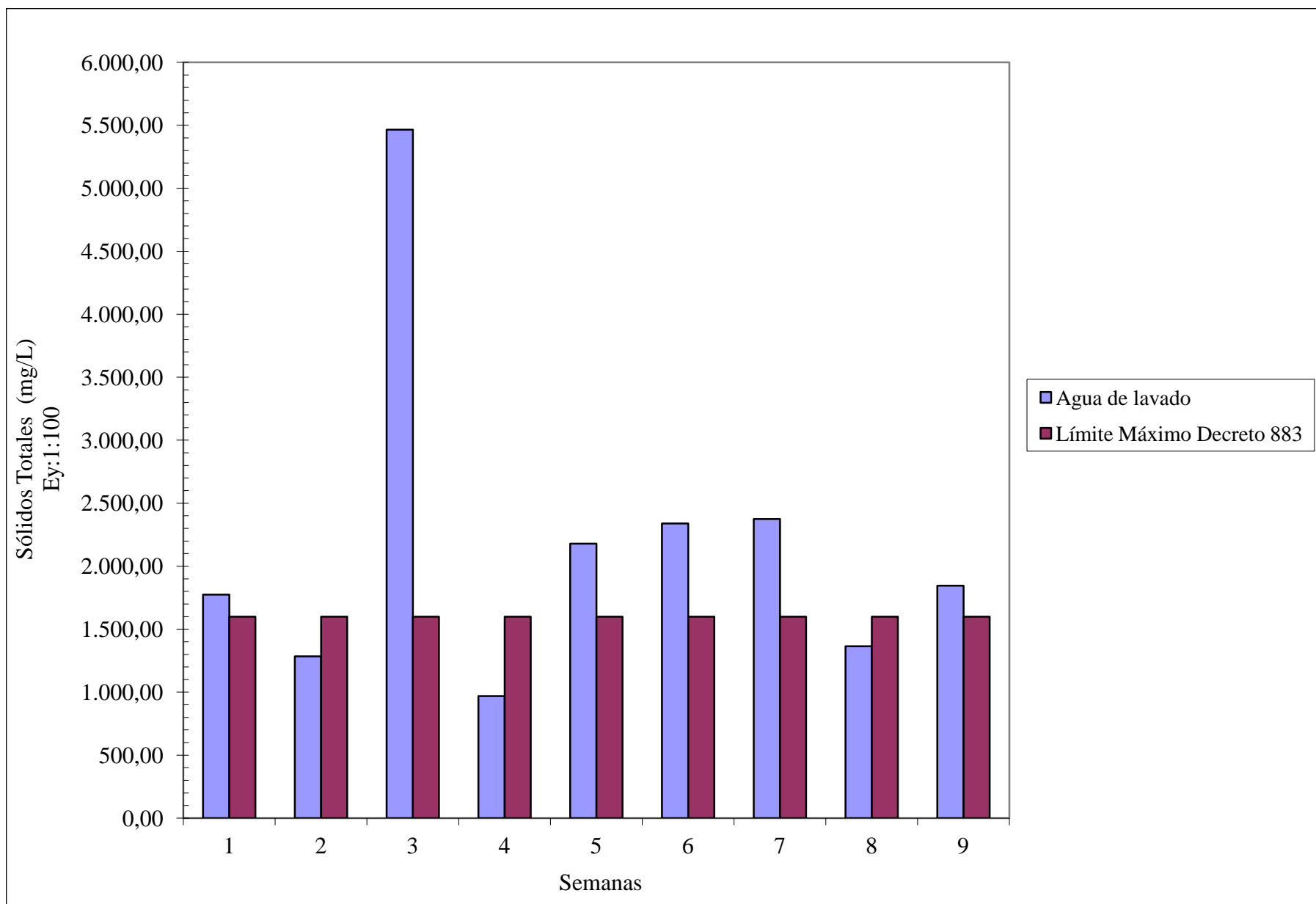


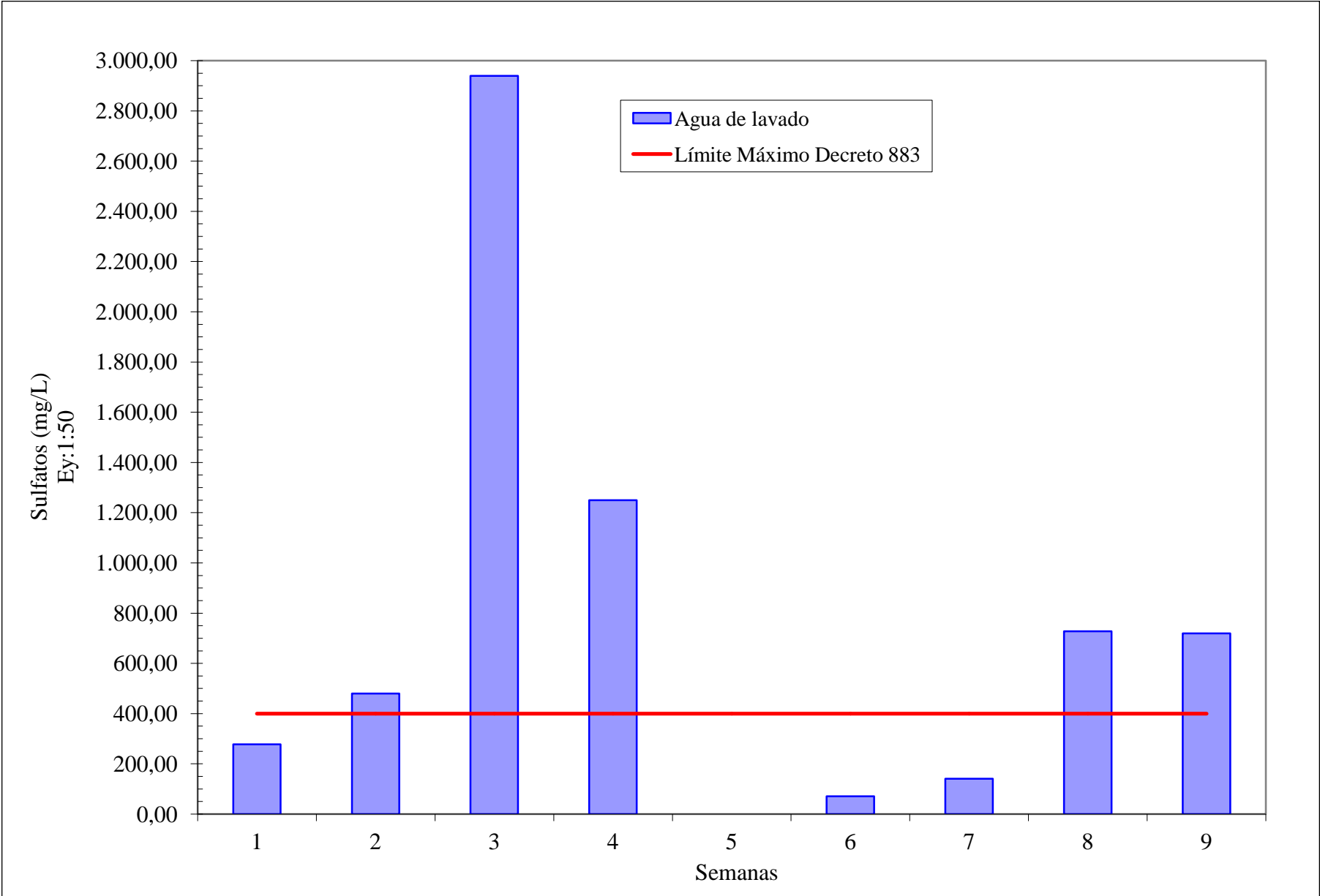


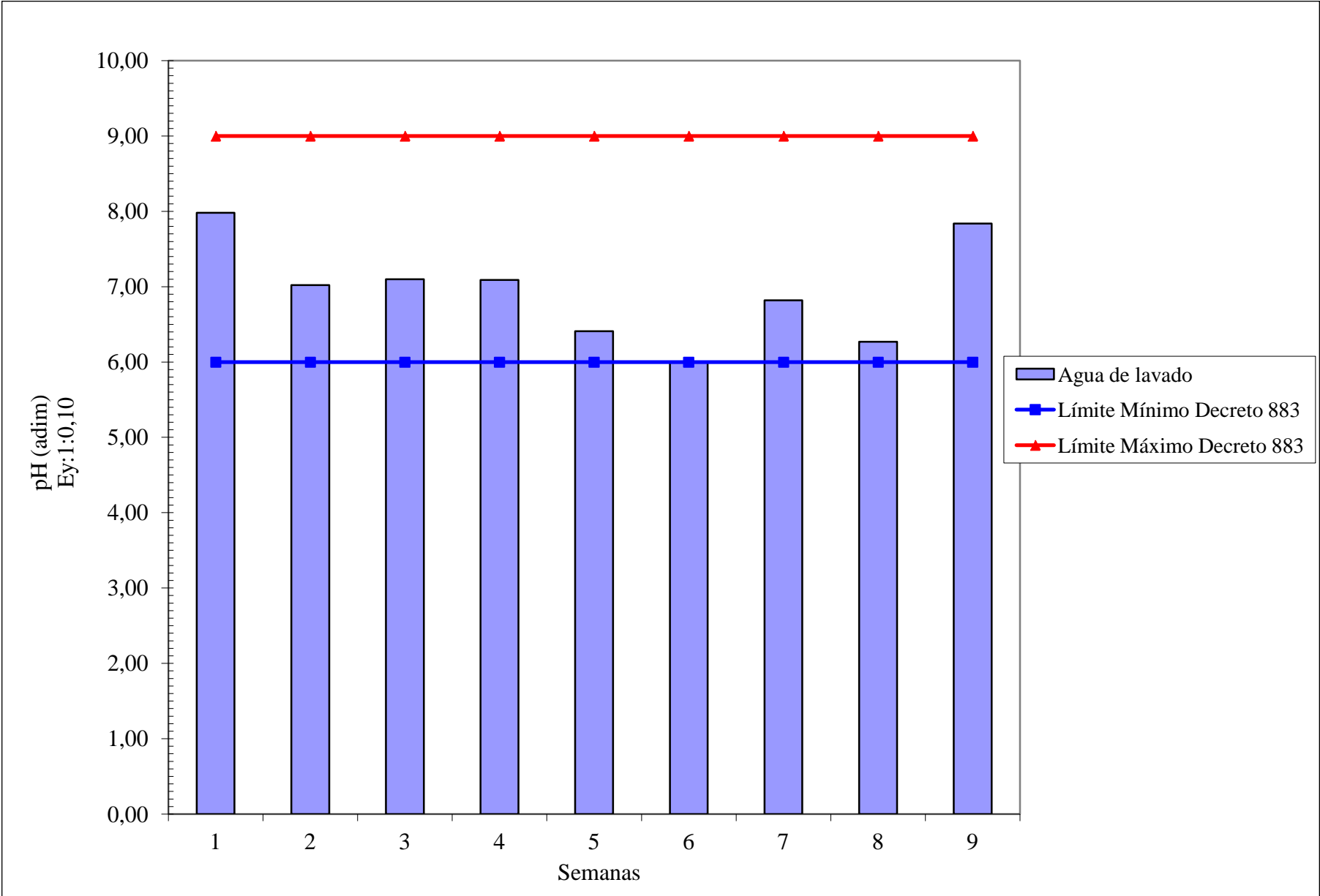


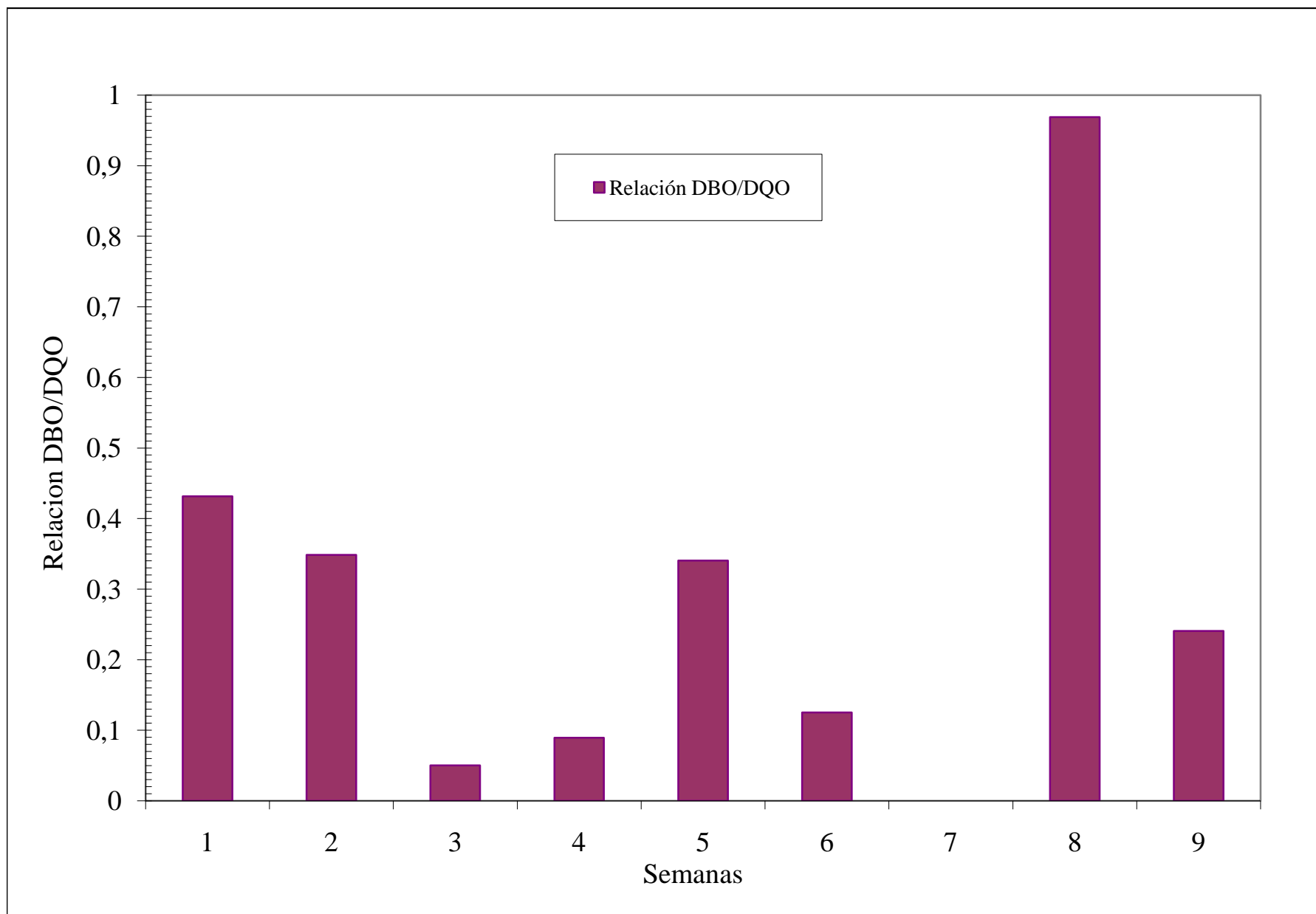


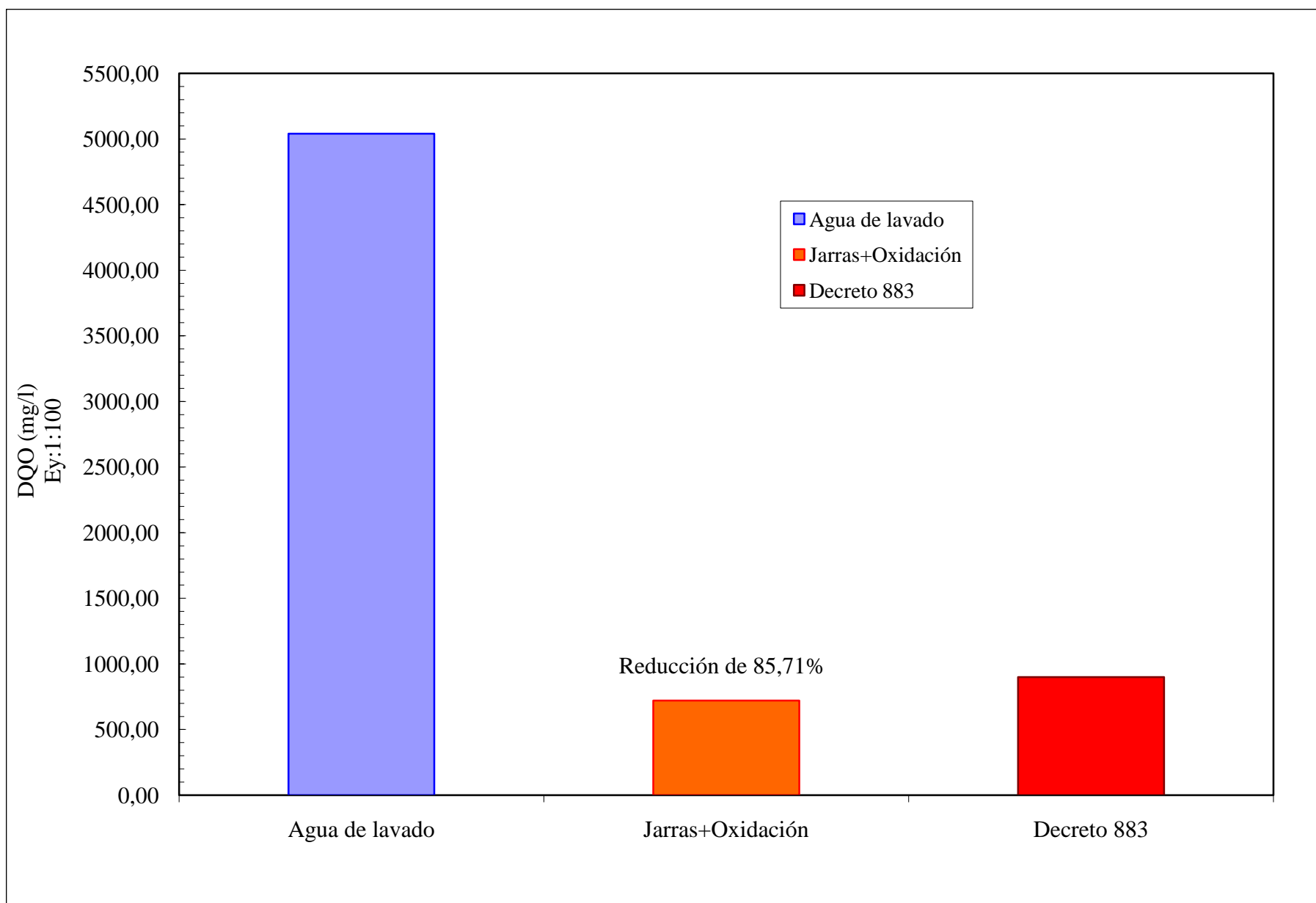


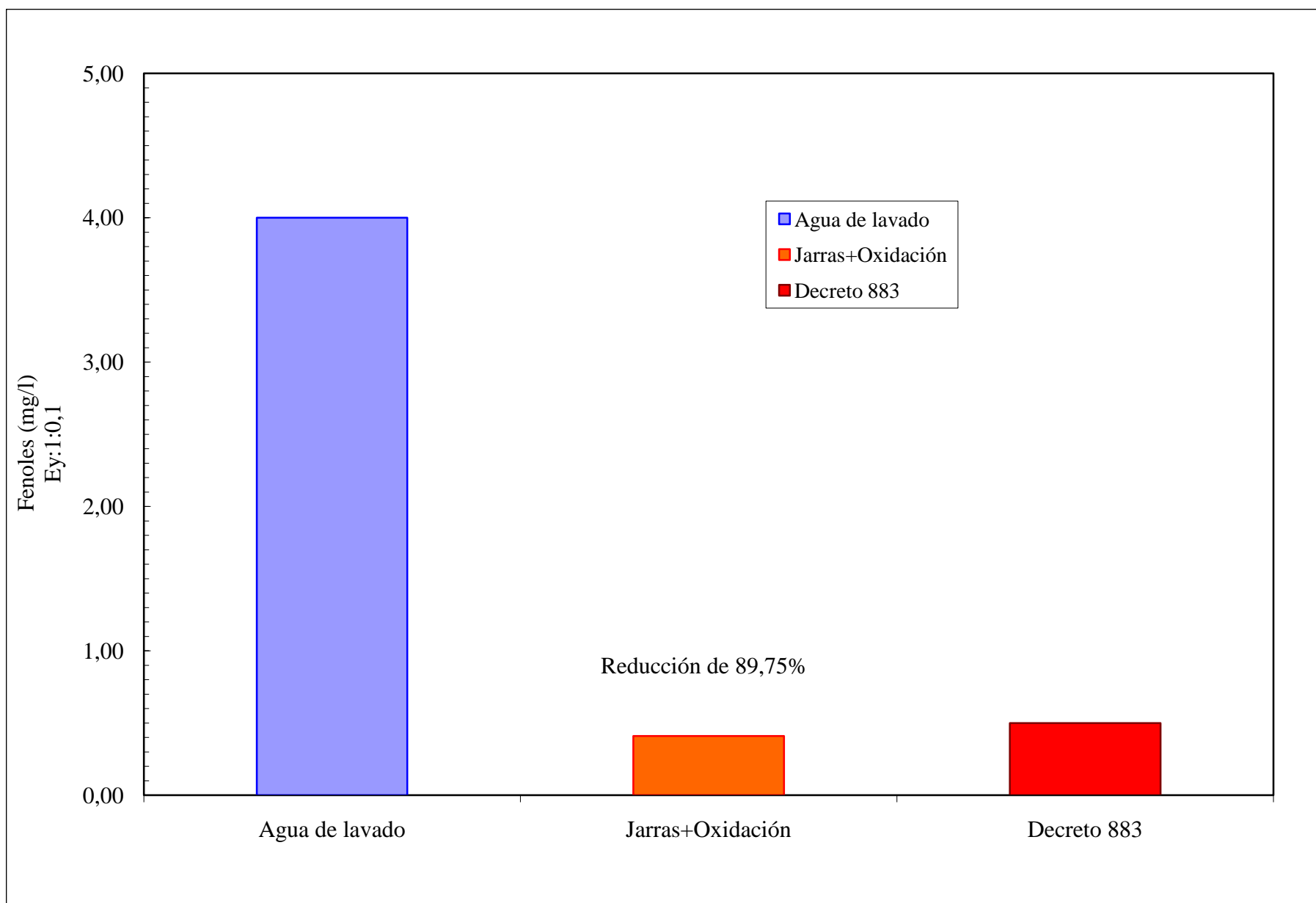


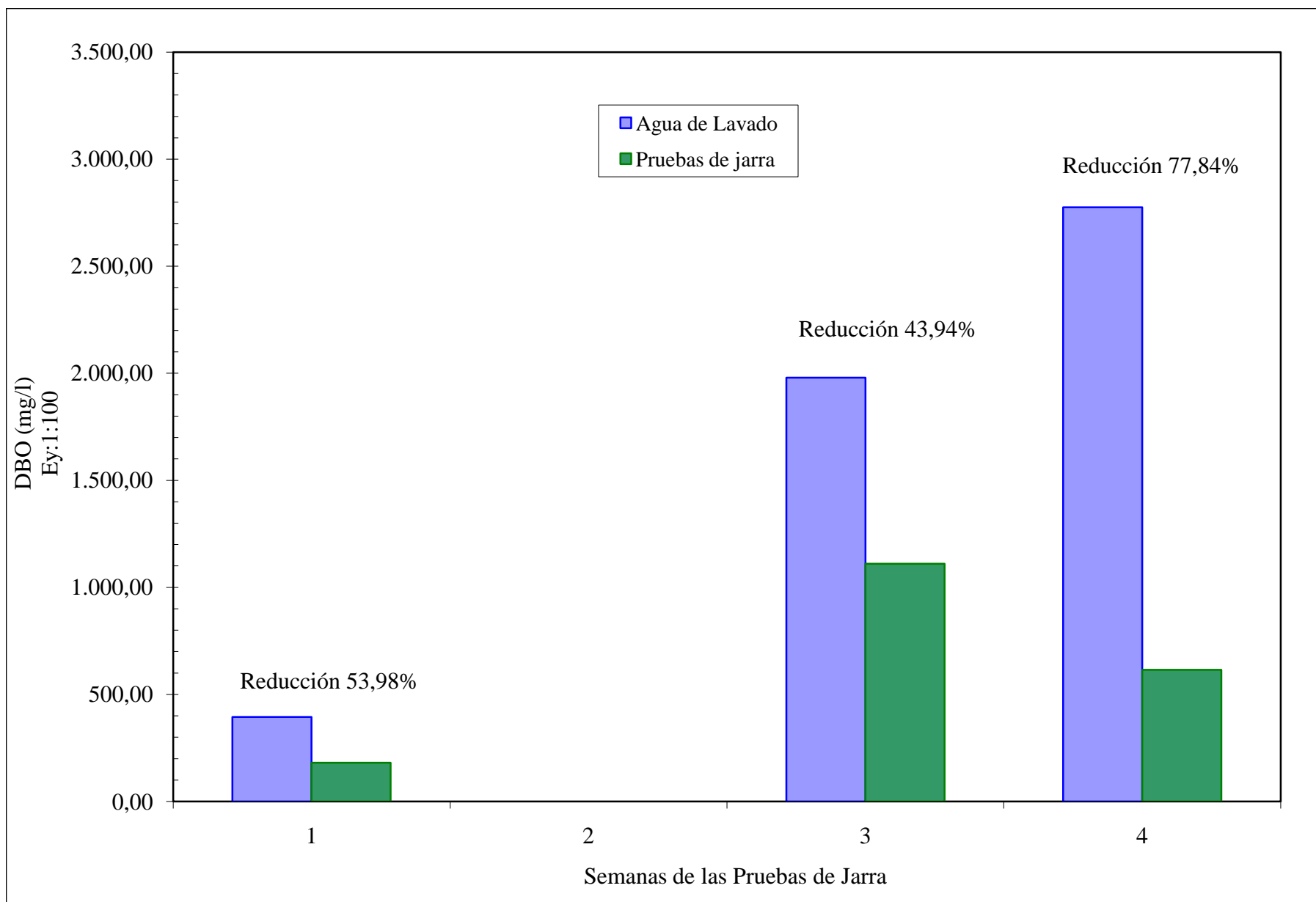


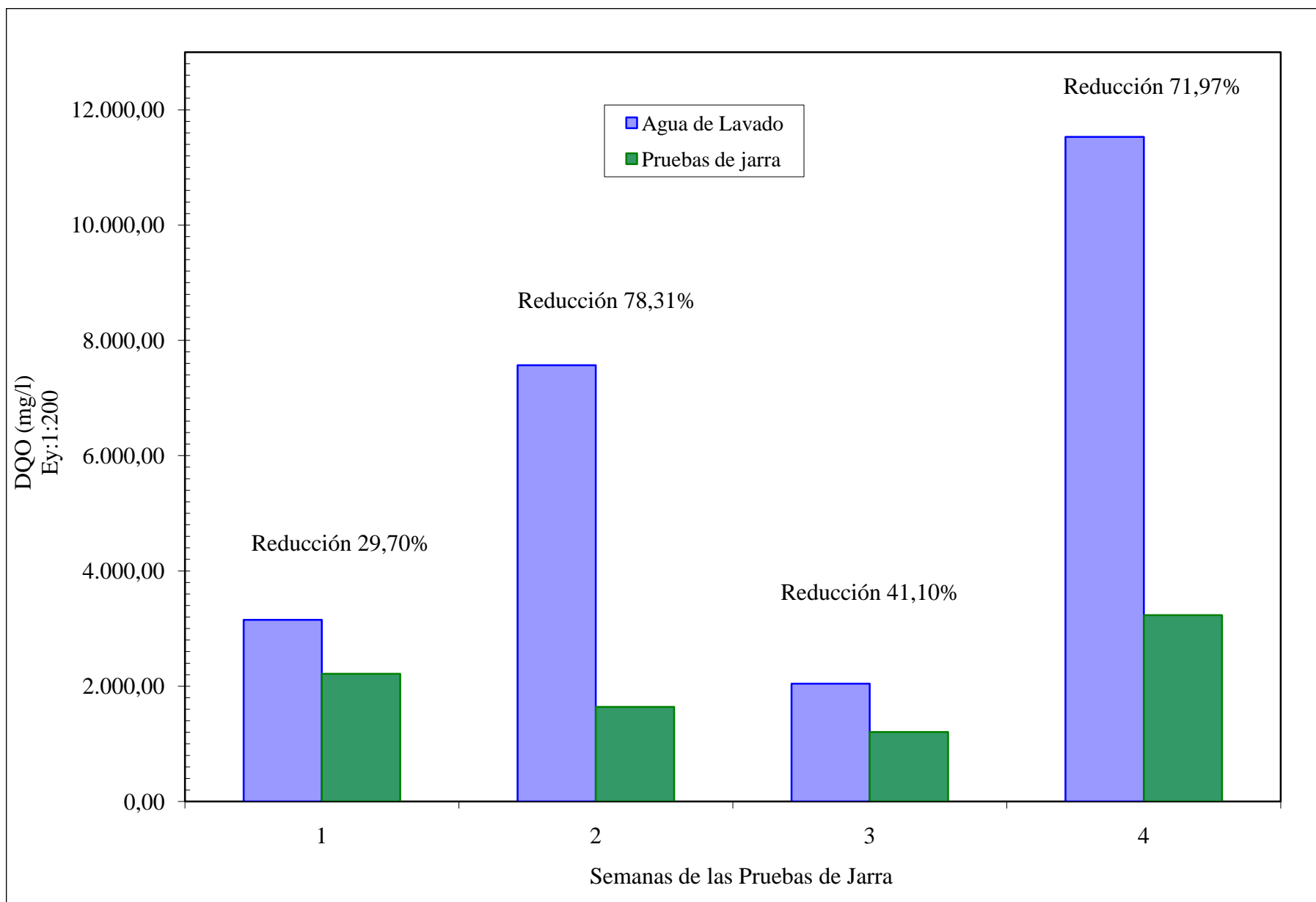


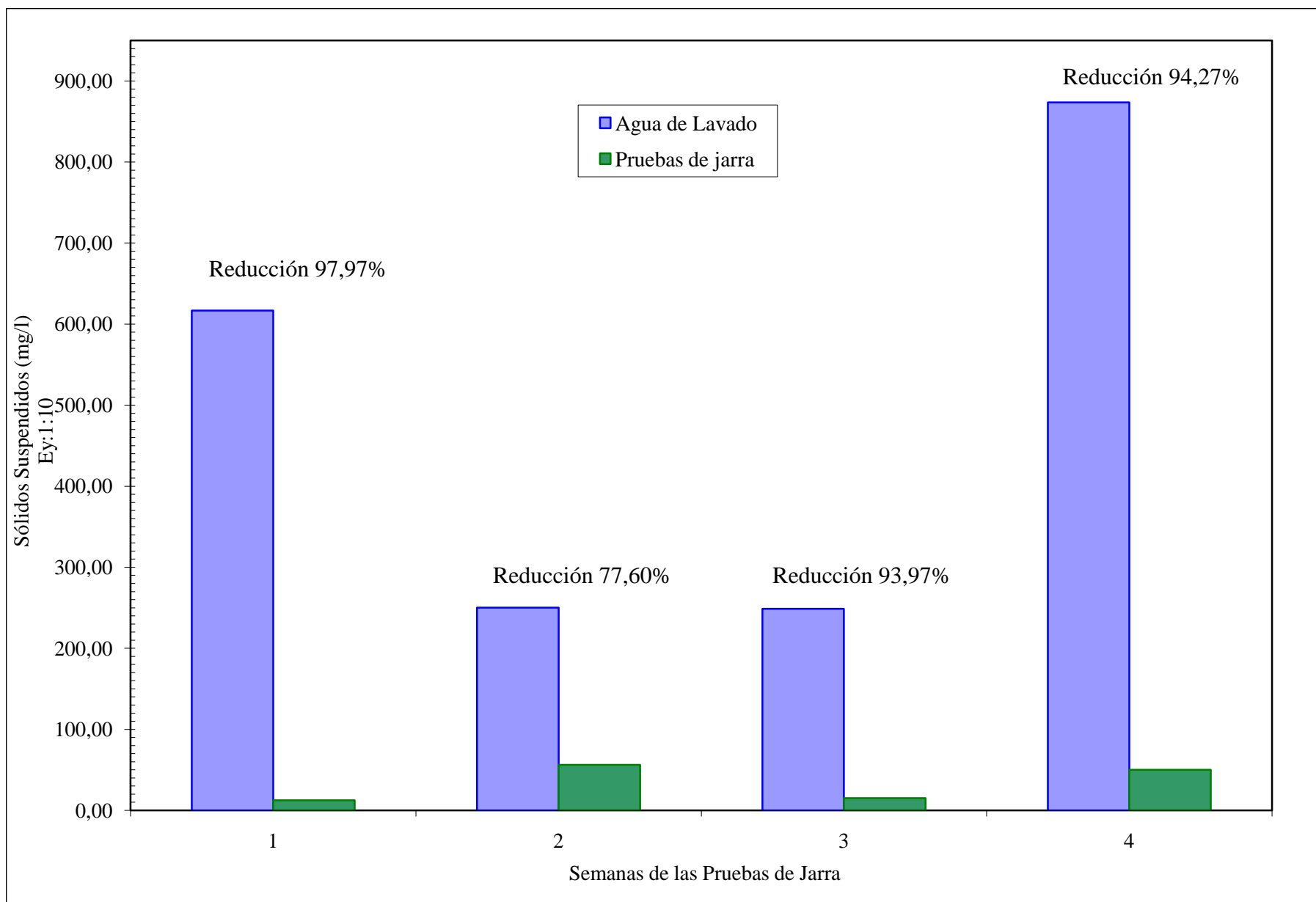












Parámetros Físico-Químicos	Límites Máximos	Análisis							
		Muestra 1 02/12/2005	Muestra 2 09/02/2006	Muestra 3 16/02/2006	Muestra 4 02/03/2206	Muestra 5 03-11/05/06	Muestra 6 12-18/05/06		%
		Cruda	Cruda	Cruda	Cruda	Cruda	Cruda	Jarra	Red.
Aceites y Grasas	150	38,80	31,20	57,60	4,40	35,50	36,40	39,60	-8,79
DBO _{5,20C}	350	1.353,50	1.279,00	166,00	131,39	805,00	394,37	181,50	53,98
DQO	900	3.137,00	3.670,00	3.303,00	1.468,00	2.364,00	3.152,00	2.216,00	29,70
Detergentes	8	70,40	68,80	208,40	46,80	45,30	26,50	8,96	66,19
Fenoles	0,5	2,459	0,000	1,000	3,443	---	1,623	1,482	8,69
Fósforo Total	10	7,16	7,72	30,07	4,66	11,95	37,75	8,10	78,54
Nitrógeno Total	40	0,200	0,501	32,170	0,608	10,610	33,06	23,28	29,58
pH	6 9	7,98	7,02	7,10	7,09	6,41	6,00	9,44	-57,33
Sólidos Suspendidos	400	769,90	71,69	402,00	54,16	942,10	616,66	12,50	97,97
Sólidos Totales	1600	1.775,00	1.285,00	5.465,00	970,00	2.180,00	2.340,00	2.095,00	10,47
Sulfatos	400	278,00	480,00	2.940,00	1.250,00	---	70,40	52,00	26,14
							PAC:	35	mL
							Polímero:	N/A	mL

Relación DBO/DQO								
DBO/DQO	0,43146318	0,34850136	0,05025734	0,08950272	0,34052453	0,1251174	0	0,9687
Promedio	0,29425692	0,29425692	0,29425692	0,29425692	0,29425692	0,2942569	0,2942569	0,2943

Aguas de lavado		1	2	3	4	5	6	7	8
Aceites y Grasas	150	38,80	31,20	57,60	4,40	35,50	36,40	145,20	24,80
DBO _{5,20C}	350	1.353,50	1.279,00	166,00	131,39	805,00	394,37	---	#####
DQO	900	3.137,00	3.670,00	3.303,00	1.468,00	2.364,00	3.152,00	7.570,00	#####
Detergentes	8	70,40	68,80	208,40	46,80	45,30	26,50	0,05	109,90

Pruebas de Jarra									Oxidación	
Muestra 7			Muestra 8			Muestra 9			Muestra 9	
19-25/05/06		%	26/05-01/06/06		%	02-08/06/06		%	19-27/06/06	
Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra + Oxidación
145,20	32,00	77,96	24,80	4,80	80,65	642,40	6,00	99,07		
---	---	#####	1.980,00	1.110,00	43,94	2.775,00	615,00	77,84		
7.570,00	1.642,00	78,31	2.044,00	1.204,00	41,10	11.530,00	3.232,00	71,97	5.040,00	720,00
0,05	0,01	80,00	109,90	16,78	84,73	295,40	3,96	98,66		
1,108	0,774	30,14	7,565	2,860	62,19	150,000	93,200	37,87	4,000	0,410
14,90	2,15	85,57	14,30	0,79	94,48	14,05	0,14	99,00		
15,7	1,91	87,83	1,905	2,328	-22,20	1,706	1,184	30,60		
6,82	7,60	-11,44	6,27	7,12	-13,56	7,84	6,80	13,27		
250,00	56,00	77,60	248,57	15,00	93,97	873,33	50,00	94,27		
2.375,00	1.205,00	49,26	1.365,00	1.350,00	1,10	1.845,00	890,00	51,76		
140,80	113,53	19,37	728,00	530,00	27,20	720,00	372,00	48,33		
PAC:	80	mL	PAC:	60	mL	PAC:	260	mL	PAC:	250
Polímero:	0,3	mL	Polímero:	0,5	mL	Polímero:	1,5	mL	Polímero:	1,5

0,2406765
0,2942569

Jarras	5	6	7	8
DQO	3.152,00	7.570,00	#####	11.530,00
	2.216,00	1.642,00	#####	3.232,00
SS	616,66	250,00	248,57	873,33
	12,50	56,00	15,00	50,00
	394,37		#####	2.775,00

DQO
Fenoles

150,00	181,50	#####	615,00
14,05			
1,71			
7,84			
873,33			
1.845,00			
720,00			
<hr/>			
150			
350			
900			
8			
0,5			
10			
40			
6			
400			
1600			
400			
9			
<hr/>			

%		
Red.	Cruda	
#¡DIV/0!	112,92	150,00
#¡DIV/0!	1110,53	350,00
85,71	4248,67	900,00
#¡DIV/0!	96,84	8,00
89,75	20,900	0,500
#¡DIV/0!	15,84	10,00
#¡DIV/0!	10,718	40
#¡DIV/0!	6,95	6,00
#¡DIV/0!	469,82	400,00
#¡DIV/0!	2177,78	1.600,00
#¡DIV/0!	825,90	400,00
mL		
mL		

9

Oxidación		
Agua de lavadc Jarras+Oxida Decreto 883		
5040,00	720,00	900
4,00	0,41	0,5

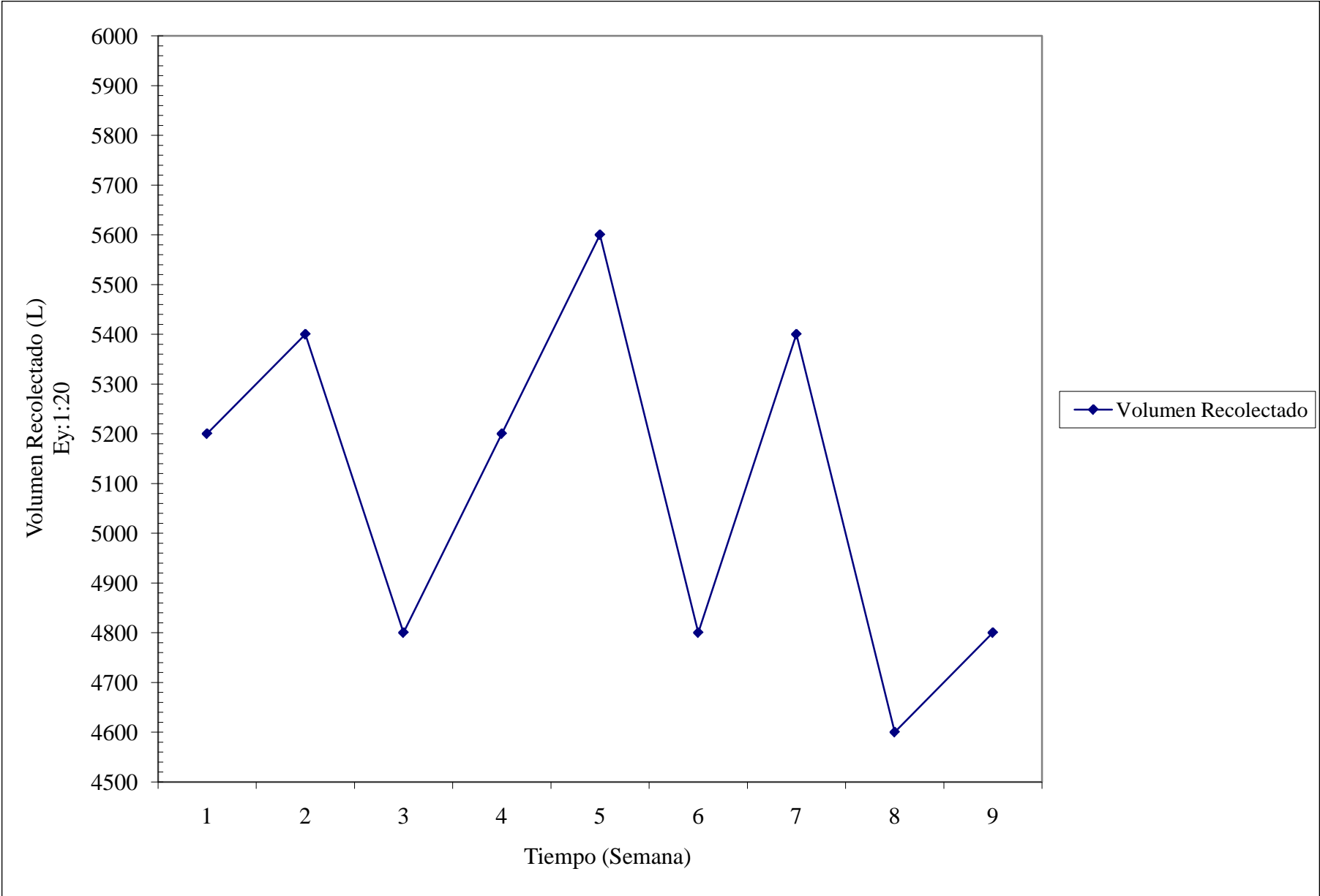
Parámetros Físico-Químicos	Límites Máximos	Análisis					Muestra 6		
		Muestra 1 02/12/2005	Muestra 2 09/02/2006	Muestra 3 16/02/2006	Muestra 4 02/03/2206	Muestra 5 03-11/05/06	12-18/05/06		%
		Cruda	Cruda	Cruda	Cruda	Cruda	Cruda	Jarra	Red.
Aceites y Grasas	150	38,80	31,20	57,60	4,40	35,50	36,40	39,60	-8,79
DBO _{5,20C}	350	1.353,50	1.279,00	166,00	131,39	805,00	394,37	181,50	53,98
DQO	900	3.137,00	3.670,00	3.303,00	1.468,00	2.364,00	3.152,00	2.216,00	29,70
Detergentes	8	70,40	68,80	208,40	46,80	45,30	26,50	8,96	66,19
Fenoles	0,5	2,459	0,000	1,000	3,443	---	1,623	1,482	8,69
Fósforo Total	10	7,16	7,72	30,07	4,66	11,95	37,75	8,10	78,54
Nitrógeno Total	40	0,200	0,501	32,170	0,608	10,610	33,06	23,28	29,58
pH	6 9	7,98	7,02	7,10	7,09	6,41	6,00	9,44	-57,33
Sólidos Suspendidos	400	769,90	71,69	402,00	54,16	942,10	616,66	12,50	97,97
Sólidos Totales	1600	1.775,00	1.285,00	5.465,00	970,00	2.180,00	2.340,00	2.095,00	10,47
Sulfatos	400	278,00	480,00	2.940,00	1.250,00	---	52,00	70,40	-35,38
							PAC:	35	mL
							Polímero:	N/A	mL

Pruebas de Jarra									Oxidación	
Muestra 7			Muestra 8			Muestra 9			Muestra 9	
19-25/05/06		%	26/05-01/06/06		%	02-08/06/06		%	19-27/06/06	
Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra	Red.	Cruda	Jarra + Oxidación
145,20	32,00	77,96	24,80	4,80	80,65	642,40	6,00	99,07		
---	---	#####	1.980,00	1.110,00	43,94	2.775,00	615,00	77,84		
7.570,00	1.642,00	78,31	2.044,00	1.204,00	41,10	11.530,00	3.232,00	71,97		
0,05	0,01	80,00	109,90	16,78	84,73	295,40	3,96	98,66		
1,108	0,774	30,14	7,565	2,860	62,19	150,000	93,200	37,87		
14,90	2,15	85,57	14,30	0,79	94,48	14,05	0,14	99,00		
15,7	1,91	87,83	1,905	2,328	-22,20	1,706	1,184	30,60		
6,82	7,60	-11,44	6,27	7,12	-13,56	7,84	6,80	13,27		
250,00	56,00	77,60	248,57	15,00	93,97	873,33	50,00	94,27		
2.375,00	1.205,00	49,26	1.365,00	1.350,00	1,10	1.845,00	890,00	51,76		
113,53	140,80	-24,02	728,00	530,00	27,20	720,00	372,00	48,33		
PAC:	80	mL	PAC:	60	mL	PAC:	260	mL	PAC:	250
Polímero:	3	gotas	Polímero:	0,5	mL	Polímero:	1,5	mL	Polímero:	1,5

observacion: esta muestra pudo haber entrado dentro de parametros si no se hubiese trabajado al ojo %

%
Red.
#####
#####
#####
#####
#####
#####
#####
#####
#####
#####
#####
mL
mL

;



Semana	1	2	3	4	5
Volumen	5200	5400	4800	5200	5600

DENSIDAD

Semana	Masa del picnómetro lleno (<i>mpll</i>)g	Densidad (ρ) $\frac{kg}{m^3}$		
1	38,45	999,20		
2	38,4	997,20		
3	39,44	1038,80		
4	38,52	1002,00		
5	39,46	1039,60		
6	38,42	998,00		
7	39,48	1040,40		
8	38,43	998,40	PESO ESPECÍFICO:	9964,78
9	39,18	1028,40	DENSIDAD PROMEDIO:	1015,78

Masa del picnómetro vacío: 13,45g
 Volumen del picnómetro : 25 ml

De
 Espesor
 Di

Atubería

V2=Ve
 HB
 Re

A 0,00216482
 D 0,052500738

hL
 Pboma

Rugosidad

6	7	8	9
4800	5400	4600	4800

N/m3	P1	16441,89 P1+P2	19352,60	
kg/m3	P2	2910,71 PT	22255,49	3,228

P3+P4	2902,89 Pi	1,59 Psi(hp)	1,99
-------	------------	--------------	------

2,0000 pulg

0,0525 m

0,00216 m2

1,5911 m/s	Z2-Z1	7,6
9,1814 m	Viscosidad	1,05E-05
8105176,783	fd	0,019
	Qop	12,4
1,4524 m		
42,83172859 kgf.m/s	total tuberias	10,1
0,56 hp		

9,00000E-04