

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISMINUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PLUMROSE MATADERO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Areanella María León Chirinos
para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISMINUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PLUMROSE MATADERO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. José Ángel Sorrentino
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. José Luís Contreras

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Areanella María León Chirinos
para optar al Título
de Ingeniero Químico

Caracas, Noviembre de 2005

León C., Areanella M.

DISMINUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PLUMROSE MATADERO

Tutor Académico: Prof. José Ángel Sorrentino. Tutor Industrial: Ing. José Luís Contreras. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2005, p. 192.

Palabras Claves: aguas residuales, tratamiento de aguas, remoción de nutrientes, coagulación, floculación.

Resumen. Este proyecto se realizó con la finalidad de disminuir los niveles de nutrientes, fósforo y nitrógeno, del efluente de Plumrose Matadero. Para ello se realizó una revisión de las tecnologías empleadas que remueven estos compuestos de las aguas residuales, siendo seleccionada la coagulación-floculación empleada en un sistema de flotación por aire disuelto. Para evaluar los niveles de remoción alcanzados en este sistema se empleó una metodología que contempló, pruebas en campo y de laboratorio. Las pruebas en campo se realizaron manipulando las cuatro variables del sistema de flotación, concentración de coagulante y floculante, presión de operación y flujo de aire. Las pruebas de laboratorio se efectuaron en un equipo de jarras donde se determinaron las dosis óptimas de coagulante y floculante, se realizaron comparaciones entre dos tipos de coagulantes y se verificó su incidencia en la remoción de nutrientes. Los barridos realizados para cada una de las variables del sistema de flotación por aire disuelto dieron como resultado que las variables que tienen mayor incidencia en la remoción de nutrientes son la presión de operación y la concentración de coagulante. Al comparar los resultados obtenidos en campo y las pruebas realizadas en laboratorio no se observó una diferencia significativa entre los porcentajes de remoción. Sin

embargo, las pruebas realizadas con alumbre como coagulante dieron mejores resultados que los obtenidos empleando el coagulante utilizado por la empresa. A pesar de obtener porcentajes de remoción altos en el sistema de flotación por aire disuelto, no se alcanzan niveles de concentración de nutrientes establecidos por el MARNR. Adicionalmente se realizó un estudio de las corrientes que descargan en la planta de tratamiento de aguas residuales para identificar las fuentes de mayor aporte de nutrientes. Del estudio se concluyó que la corriente que sale del proceso de Matanza tiene la mayor incidencia en el aporte de nitrógeno y fósforo, seguida por la corriente de Tripería. Para alcanzar la disminución de los niveles de nutrientes se realizó una propuesta a la empresa que consiste en dos partes. La primera parte es crear un sistema de recolección de sangre por medio de canales con un grado de inclinación que permitan el transporte, por gravedad, de la sangre hacia los contenedores de almacenaje. Esto disminuiría los niveles de fósforo que entra a la planta de tratamiento de aguas residuales. La segunda parte de la propuesta es colocar sistemas de recolección de residuos sólidos en los drenajes de las áreas de picada-desposte, tripería y matanza con la finalidad de realizar una separación física que permita disminuir los niveles de nutrientes que entran a la planta.

Caracas, Noviembre de 2005.

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Areanella M. León C., titulado:

“Disminución de Nutrientes en el Efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Plumrose Matadero”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Maria Esperanza Rincones

Jurado

Prof. Wadou Baré

Jurado

Prof. José Ángel Sorrentino

Tutor Académico

A mi Señor Jesucristo...

A mis Padres...

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, por ser mi guía, fortaleza y sustento. Gracias por cambiar mi tristeza en gozo y llenar el vacío que había en mi corazón.

A mi Mamá, por todos los detalles pequeños y grandes que siempre has tenido conmigo. Por guiarme hacia el “Camino de la Verdad” y ser mi ejemplo de perseverancia.

A mi Papá, por siempre estar a mi lado, compartir mis triunfos y guiar mis pasos.

A mi Hermana, por compartir tantos momentos hermosos llenos de alegría.

A Andrés, por estar a mi lado y apoyarme en todas mis decisiones. Gracias por llenar mi vida de alegría e ilusiones.

A Vianey y Darío, por su apoyo incondicional en cualquier situación.

A Italo, por ser quien eres, un amigo incondicional. Gracias por enseñarme el verdadero significado de la palabra “Amistad”.

A Benmi, por la amistad que me has brindado y por todas las llamadas de teléfono para preguntar que porcentaje está listo.

A mis compañeros de Plumrose Latinoamericana por su apoyo, amistad y ayuda. Especialmente a José y María Angélica por brindarme apoyo en todo momento.

A Carmen y Cosme, por haberme brindado su hogar y siempre tratar que me sintiera en casa a pesar de la distancia.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	v
LISTA DE SÍMBOLOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
OBJETIVOS	5
1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.1. Del Problema	6
1.2. De la Investigación	7
<i>CAPÍTULO I: Marco Teórico</i>	9
2.1. ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA CÁRNICA	10
2.1.1. Proceso Productivo	10
1.2. Impacto Ambiental	13
1.2.1. Empresas del sector cárnico	14
1.2.2. Contaminación de las aguas	15
1.2.2.1. Mataderos	15
1.2.2.2. Embutidoras	16
1.2.2.3. Procesadoras de desechos cárnicos	16
1.2.3. Origen de las aguas residuales en los mataderos	18
1.3. Característica de las aguas residuales	19
1.3.1. Características físicas	20
1.3.2. Características químicas	21
1.3.3. Características biológicas y microbiológicas	23
1.4. Disposición de aguas residuales	24
1.4.1. Normativa ambiental	25
2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	27
2.1. Pre-Tratamiento	28

2.1.1. Remoción de sólidos	28
2.1.1.1. Gruesos	28
2.1.1.2. Medianos y finos	29
2.1.1.3. Acondicionamiento Químico	29
2.1.1.3.1. Estabilidad de los coloides	30
2.1.1.3.2. Coagulación y Floculación	31
2.1.1.3.3. Sistemas de simulación del proceso	38
2.1.1.3.4. Equipos dosificadores de químicos	39
2.2. Tratamiento Primario	40
2.2.1. Flotación por aire disuelto	40
2.3. Tratamiento Secundario	41
2.3.1. Microorganismos	43
2.3.2. Aireación	47
3. TECNOLOGÍAS PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES, FÓSFORO Y NITRÓGENO	47
3.1. Fuentes de Fósforo y Nitrógeno	49
3.2. Tratamientos para la remoción físico-química simultánea de fósforo y nitrógeno	51
3.2.1. Tecnología de membranas	51
3.2.2. Electrodiálisis	53
3.2.3. Tratamiento electroquímico	53
3.2.4. Tratamiento por carbón activado	54
3.3. Tratamientos para la remoción biológica simultánea de fósforo y nitrógeno	54
3.3.1. Pozos abiertos con cultivo de algas	54
3.4. Tratamientos específico de remoción de fósforo	55
3.4.1. Proceso de cristalización	55
3.4.2. Separación magnética	55
3.4.3. Precipitación química	56
3.4.4. Remoción biológica de fósforo	57

3.5. Tratamientos específico de remoción de nitrógeno	58
3.5.1. Cloración hasta el punto de quiebre	58
3.5.2. Intercambio Iónico	59
3.5.3. Absorción de nitrógeno	59
3.5.4. Método Biológico	60
<i>CAPITULO II: Marco Metodológico</i>	63
4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	64
4.1. Aparato de prueba de jarras	64
4.2. Turbidímetro La Motte modelo 2020	65
4.3. Medidor de pH HannaInstruments modelo HI 8424	65
4.4. Espectrofotómetro Espectronic 20	66
4.5. Materiales de laboratorio	66
5.METODOLOGÍA	68
6. PLAN DE EXPERIENCIAS	73
6.1. Estudio de variación del caudal de entrada	73
6.1.1. Obtención de datos	73
6.1.2. Análisis estadísticos de variación de caudal	74
6.2. Caracterización de las aguas	74
6.3. Evaluación de corrientes que descargan en el sistema de tratamiento de aguas residuales	75
6.4. Determinación y evaluación de puntos y corrientes de interés	75
6.4.1.1. Proceso de matanza, picada y desposte	76
6.4.1.2. Proceso de higienización	76
6.5. Evaluación del sistema de flotación por aire disuelto	77
6.5.1. Variación del flujo de aire	77
6.5.2. Variación de la presión de operación	78
6.5.3. Variación de la dosificación de coagulante	78
6.5.4. Variación de la dosificación de floculante	79
6.6. Prueba de Jarras	80
<i>CAPITULO III: 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	83

<i>CAPITULO IV: 8.CONCLUSIONES Y 9.RECOMENDACIONES</i>	140
10.BIBLIOGRAFÍA	145
11.CÁLCULOS TIPO	149
12. ANEXOS	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema general de Matadero Plumrose	13
Figura 2: Diagrama de bloques del tratamiento de aguas residuales	28
Figura 3: Tipo de Sólidos que conforman al agua residual	29
Figura 4: Estabilidad de los coloides	30
Figura 5: Polímero Coagulante	32
Figura 6: Doble capa eléctrica	33
Figura 7: Polímero Floculante	34
Figura 8: Esquema del sistema de lodos activados	42
Figura 9: Bacterias (<i>Green Anabaena</i>)	44
Figura 10: Coliforme (<i>Esccherischia Coli</i>)	44
Figura 11: Algas (<i>tipo verde</i>)	45
Figura 12: Ciliados	46
Figura 13: Rotífero	46
Figura 14: Proceso de Membranas	52
Figura 15: Porosidad de las membranas	52
Figura 16: Proceso de electrodiálisis	53
Figura 17: Proceso de remoción magnética de fósforo	56
Figura 18: Proceso biológico de asimilación de nitrógeno, nitrificación y denitrificación	60
Figura 19: Equipo de Jarras	64
Figura 20: Turbidímetro	65
Figura 21: Medidor de pH	65

Figura 22: Espectrofotómetro	66
Figura 23: Destilador de NTK	67
Figura 24: . Aporte de Fósforo Total de las corrientes de interés al afluente de la PTAR	88
Figura 25: Comparación de aporte de fósforo Total entre dos corrientes de interés	89
Figura 26: Aporte de Nitrógeno Total de las corrientes de interés al afluente de la PTAR	90
Figura 27: Comparación de aporte de Nitrógeno Total entre dos corrientes de interés	91
Figura 28: Aporte de Sólidos Totales de las corrientes de interés al afluente de la PTAR	92
Figura 29: Comparación de aporte de Sólidos Totales entre dos corrientes de interés	93
Figura 30: Aporte de Sólidos Suspendidos Totales de las corrientes de interés al afluente de la PTAR	94
Figura 31: Comparación de pH en la higienización diaria de las áreas de producción	96
Figura 32: Aporte de fósforo total y ortofosfatos del proceso de higienización diaria de las áreas de producción a la PTAR	97
Figura 33: Aporte de Nitrógeno Total de las corrientes de interés al afluente de la PTAR	98
Figura 34: Entrada de los cerdos a la etapa de escaldado	101
Figura 35: Desechos provenientes del primer corte para desviscerar al cerdo	102
Figura 36: Aporte de Sólidos Totales que tiene el proceso de higienización y saneamiento al afluente de la PTAR	102

Figura 37: Rangos del Consumo de Agua Blanca en Matadero Plumrose	104
Figura 38: Control del Consumo de Agua Blanca en Matadero Plumrose	105
Figura 39: Rangos del Consumo de Agua Blanca en Matadero Plumrose modificada	106
Figura 40: Control del Consumo de Agua Blanca en Matadero Plumrose modificada	106
Figura 41: Rangos de Agua Residual que entra a la PTAR	107
Figura 42: Control de Agua Residual que entra a la PTAR	108
Figura 43: Eficiencia de remoción de sólidos totales y suspendidos totales, turbidez con respecto a la variación de la concentración de coagulante	111
Figura 44: Eficiencia de remoción de fósforo total y ortofosfatos con respecto a la variación de la concentración de coagulante	113
Figura 45: Eficiencia de remoción de nitrógeno total y amoniacal con respecto a la variación de la concentración de coagulante	114
Figura 46: Eficiencia de remoción de sólidos totales y suspendidos totales, turbidez con respecto a la variación de floculante	116
Figura 47: Eficiencia de remoción de fósforo total y ortofosfatos con respecto a la variación de floculante	117
Figura 48: Eficiencia de remoción de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal con respecto a la variación de floculante	118
Figura 49: Eficiencias de remoción de sólidos totales y suspendidos totales y turbidez con respecto a la variación de la presión de operación	120
Figura 50: Eficiencias de remoción de fósforo total y ortofosfatos con respecto a la variación de la presión de operación	121
Figura 51: Comportamiento de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal con respecto a la variación de la presión de operación	122

Figura 52: Eficiencia de remoción de sólidos totales y suspendidos totales, turbidez con respecto a la variación del flujo de aire	123
Figura 53: Eficiencia de remoción de fósforo total y ortofosfatos con respecto a la variación del flujo de aire	124
Figura 54: Eficiencia de remoción de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal con respecto a la variación del flujo de aire	125
Figura 55: Comparación entre dosis de coagulante MQ-131 y floculante MQ-297 para la remoción de fósforo total	128
Figura 56: Comparación entre dosis de coagulante MQ-131 y floculante MQ-297 para la remoción de nitrógeno total	130
Figura 57: Comparación entre dosis de coagulante Alumbre y floculante MQ-297 para la remoción de fósforo total	131
Figura 58: Comparación entre dosis de coagulante Alumbre y floculante MQ-297 para la remoción de ortofosfatos	132
Figura 59: Comparación entre dosis de coagulante Alumbre y floculante MQ-297 para la remoción de nitrógeno total	133

LISTA DE SÍMBOLOS

R:	Distancia entre centros de las partículas floculadas
d₁:	Diámetro de partícula N° 1 (mm)
d₂:	Diámetro de partícula N° 1 (mm)
dn/dt:	Diferencial con respecto al tiempo del número de partículas
D₁₂:	Constante de difusión
n₁:	Concentración de partícula N° 1
n₂:	Concentración de partícula N° 2
V_B:	Volumen de Tiosulfato de Sodio consumido en la titulación por el Blanco (ml)
V_A:	Volumen de Tiosulfato de Sodio consumido en la titulación por la muestra (ml)
N_T:	Normalidad del Tiosulfato de Sodio (Eq/l)
F:	Factor para llevar gramos a miligramos
F_d:	Factor de dilución
V_M:	Volumen de Muestra
V:	Volumen de consumido den la titulación de la muestra (ml)
V_o:	Volumen de titulante consumido en la titulación del blanco (ml)
N:	Normalidad del ácido (Eq/l)
E:	Miligramos equivalentes a 1 mililitro de 0,1 N HCl
ST:	Sólidos Totales (ppm)
SST:	Sólidos Suspendidos Totales (ppm)
P_i:	Peso inicial del crisol (g)
P_{f1}:	Peso final 1 del crisol (g)
P_{f2}:	Peso final 2 del crisol (g)
PE:	Peso equivalente de Cloruro de Sodio
K:	Partes de Reactivo (Ca ⁺² o Mg ⁺²) en la mezcla (Adim.).

- L:** Peso molecular del reactivo en forma de Cloruro (CaCl_2 o MgCl_2) (g/mol).
- M:** Partes totales en solución (Adim.).
- N:** Peso Molecular del reactivo (Ca^{+2} o Mg^{+2}) (g/mol).
- D:** Cantidad de detergente a agregar (g).
- C:** Concentración deseada en la solución (ppm).
- V:** Volumen de agua a utilizar para la disolución (l).
- σ :** Desviación Estándar.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Impacto ambiental de la industria cárnica	14
Tabla N° 2: Volumen de agua consumida por animal	16
Tabla N° 3: Grado de contaminación de las aguas residuales	17
Tabla N° 4: Clasificación según uso de las aguas del Embalse Taiguaiguay	25
Tabla N° 5: Parámetros de descarga al Lago de Valencia y a la red hidrográfica tributaria	26
Tabla N° 6: Polímeros	38
Tabla N° 7: Índice de floculación de Willcomb	38
Tabla N° 8: Clasificación de microorganismos	43
Tabla N° 9: Calidad del agua según el número más probable de coliformes	45
Tabla N° 10: Efectos de los constituyentes más comunes de los efluentes	48
Tabla N° 11: Aporte de corrientes de producción en fósforo total	84
Tabla N° 12: Aporte de corrientes de producción en nitrógeno total	85
Tabla N° 13: Aporte de corrientes de producción en sólidos totales	87
Tabla N° 14: Análisis cromatográfico de una muestra compuesta de higiene	100
Tabla N° 15: Comparación entre sólidos descargados en PTAR en horario de Higienización	100
Tabla N° 16: Condiciones de operación de referencia para las pruebas realizadas en el sistema de flotación por aire disuelto	110
Tabla N° 17: Análisis cromatográfico de muestras compuestas de DAF	126
Tabla N° 18: Dosis de coagulante y floculante usadas en las pruebas	134
Tabla N° 19: Eficiencias de remoción de las pruebas de tratabilidad sobre vertidos	135
Tabla N° 20: Eficiencias de remoción de las pruebas de tratabilidad sobre vertidos	136

INTRODUCCIÓN

En la Unidad Estratégica de Negocios Carnes de Plumrose Latinoamericana se lleva a cabo el proceso de matanza de cerdos, desposte y picada de cerdos y aves, así como la elaboración de manteca de cerdo a partir de desechos del eviscerado.

Las aguas residuales del proceso productivo están altamente cargadas de materia orgánica, urea, heces y grasas. Estas aguas son tratadas en sistema que consta de dos etapas, primaria y secundaria. La etapa primaria se basa en un sistema de flotación por aire disuelto que remueve grasas, aceites y sólidos floculados. La etapa secundaria es biológica y el proceso se denomina lodos activados.

El tratamiento de las aguas residuales de Matadero Plumrose es un proceso efectivo en cuanto a remoción de carga orgánica y nutrientes. A pesar de su efectividad los niveles de nutrientes en el efluente superan los estándares, para vertidos en cuerpos de agua, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR), Gaceta Oficial N° 5.305, lo que indica que la calidad del agua es perjudicial para los cuerpos de agua receptores.

Para disminuir el impacto que el efluente tiene en los cuerpos hídricos se debe hacer un análisis global del comportamiento del tratamiento de aguas, así como caracterizar las distintas corrientes que descargan en la planta de tratamiento de Matadero Plumrose.

La caracterización del agua cruda es importante, ya que se conocerá el aporte a nivel de contaminantes y nutrientes que proporcionan las corrientes de las distintas etapas del proceso productivo. Una vez obtenida la caracterización del afluente se evaluarán todas las unidades de tratamiento para identificar los puntos críticos de control y las variables que afectan su funcionamiento y el de unidades posteriores.

Esta evaluación se hará con el objetivo de plantear mejoras que optimicen el tratamiento de aguas.

La optimización del tratamiento de aguas y la adecuada operación influyen positivamente en la remoción de nutrientes en el efluente. Debido a que los niveles de nutrientes superan en un 300% los estándares del MARNR se evaluará la utilización de un tratamiento específico para la remoción de estos compuestos.

Actualmente existen diversos métodos que se aplican al tratamiento de aguas residuales que disminuyen la concentración de nutrientes en las aguas, se denominan tratamientos terciarios o avanzados. Entre los más comunes se encuentran filtración, filtración por membrana, precipitación química, oxidación química, adsorción por carbón activado y métodos biológicos. Estos tratamientos serán evaluados según su efectividad y ajuste al proceso actual de tratamiento.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La escasez de agua y la creciente contaminación de las fuentes hídricas han aumentado a través de los años, ocasionando una preocupación mundial en cuanto a suministro de agua. Para evitar la contaminación de los cuerpos de agua y suelos se han dictado normas ambientales que pretenden preservar los reservorios de agua y su medio ambiente.

Una de las mayores inquietudes en cuanto a contaminación de aguas ha sido las aguas residuales provenientes de industrias. Dichas aguas están altamente cargadas con materia orgánica, sólidos suspendidos, coloides, nutrientes y microorganismos. La descarga directa de estos compuestos altera la calidad de los cuerpos de agua, el ecosistema y los suelos. Es importante someter a un tratamiento que permita obtener una calidad de agua que cumpla con las normativas ambientales, minimizando el impacto sobre el cuerpo receptor.

Para la empresa Plumrose Latinoamericana, específicamente UEN Carnes, el tratamiento de aguas es de suma importancia. El efluente de la planta es descargado en la Laguna de Taguaiguay, la cual desemboca a su vez en el Lago de Valencia. La descarga al Lago de Valencia ha sido sujeta a controles estrictos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables. En el año 1999 fue decretado por el Ejecutivo Nacional las Normas para la Clasificación y Control de Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia, en la cual quedan especificados los parámetros que deben cumplir las aguas que descargan directa o indirectamente en el mencionado reservorio.

La Unidad Estratégica de Negocios Carnes de Plumrose Latinoamericana trata su afluente en dos etapas: tratamiento primario y tratamiento secundario. En cada una de las etapas se logra remover un porcentaje de cada uno de los contaminantes, produciendo un efluente con demanda biológica y química de oxígeno menor a lo

establecido en la norma ambiental del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables. Sin embargo la capacidad de remoción de nutrientes no es del todo buena, ya que los valores alcanzados en la salida no cumplen con los estándares dictados por el ministerio.

Existen tres grupos de compuestos que conforman los nutrientes, estos son fósforo, nitrógeno y metales pesados. Las plantas acuáticas, algas, entre otras, son alimentadas por los nutrientes mencionados anteriormente, un aumento desmedido de dichos compuestos ocasiona una aceleración del proceso de Eutroficación. El proceso de Eutroficación de las aguas consiste en el crecimiento descontrolado de la actividad biológica de las plantas acuáticas (algas), lo que origina una disminución de los niveles de oxígeno disuelto, ocasionando la muerte de los organismos que conviven en el cuerpo de agua.

Se quiere disminuir los niveles de nutrientes en el efluente específicamente los que tienen mayor aporte, fósforo y nitrógeno. Para ello se deben identificar las corrientes que proporcionan altas concentraciones e identificar las variables más importantes en el sistema de tratamiento de manera de realizar modificaciones que puedan mejorar la calidad del efluente. Adicionalmente debe quedar un registro del procedimiento de evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales que permita identificar evaluar y controlar rápidamente cualquier problema en el sistema.

OBJETIVOS

A continuación se presentan los objetivos perseguidos con este Trabajo Especial de Grado:

Objetivo General:

Optimizar el proceso de tratamiento físico-químico de aguas residuales, con la finalidad de disminuir las concentraciones de nutrientes en el efluente de Plumrose Matadero.

Objetivos Específicos:

Conocer y evaluar las etapas del proceso productivo que aportan los nutrientes, Fósforo y Nitrógeno.

Caracterizar el afluente y efluente del tratamiento físico-químico evaluando la eficiencia de remoción de nutrientes.

Comparar los productos químicos utilizados en el tratamiento físico-químico desde el punto de vista de remoción de nutrientes.

Ajustar el suministro de químicos en la etapa físico-química según la variación del caudal de entrada.

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Los siguientes antecedentes servirán como punto de partida para la investigación realizada con la finalidad de darle una solución al problema de descarga de nutrientes en el efluente.

De la empresa

La empresa Plumrose Latinoamericana C.A. adquirió en 1995 el matadero de cerdos el cual constaba de una planta de tratamiento de aguas residuales para procesar un efluente de 600 cerdos/día. Actualmente la producción de la empresa ha aumentado, lo que trajo como consecuencia un aumento en el beneficio de cerdos (1200 cerdos/día).

La planta de tratamiento de aguas residuales en un inicio tenía los mismos componentes que tiene en la actualidad pero el sistema de aireación del tanque de oxidación constaba de aireadores superficiales únicamente. En vista de la creciente producción y generación de residuos contaminantes se implementó una optimización en el sistema de aireación. Los equipos que se incorporaron fueron sopladores para esparcir por medio de difusores aire comprimido al sistema y un equipo tipo turbina que disuelve oxígeno líquido. Todo esto con la finalidad de crear las condiciones óptimas para el crecimiento y reproducción de las bacterias y por ende aumentar la degradación de la materia orgánica.

En virtud del subdimensionamiento la empresa solicitó a MQ Corporation, polímeros coagulante y floculante, con el fin de remover mayor cantidad de DBO a la entrada de la etapa de tratamiento secundario. Debido de los problemas presentados en el efluente de altos contenidos de fósforo se le incorporó como sustancia activa cloruro férrico al coagulante, siendo la función de este la remoción de una parte del fósforo contenido en las aguas residuales.

De la Investigación

Remoción biológica de fósforo y nitrógeno en bioreactores de membrana.

La investigación se está realizando en la Universidad de Berlín el objetivo es remover nitrógeno y fósforo biológicamente en un reactor que consta de tres zonas: anaerobia, anóxica y aireada. La zona anaeróbica tiene una membrana, la zona anóxica tiene 3 membranas y la zona aireada ninguna. Las membranas son las utilizadas en ultrafiltración con un diámetro de partícula de 0,1 μ m. Los resultados obtenidos hasta ahora arrojan porcentajes de remoción de 70% para ambos nutrientes.

Precipitación química.

En Suecia la precipitación química es la alternativa más económica y que ha arrojado mejores resultados. Aproximadamente un 75% del fósforo es removido al aplicar dosis de coagulantes con sales de hierro como agente activo. La primera planta fue construida en 1961 en el municipio Akar. (HULTMAN, 2004)

Remoción combinada de fósforo mediante la adición de químicos y región anóxica.

En Estados Unidos se ha implementado un tratamiento combinado para remover el fósforo mediante el empleo de sales de hierro o aluminio que precipitan el fósforo en la etapa biológica para luego pulir el efluente en una región anóxica que permite la asimilación del fósforo por las bacterias. (RIBYCKI, 2004)

Remoción de nitrógeno y fósforo mediante procesos de desmineralización, electrodiálisis, osmosis inversa e intercambio iónico.

En una planta piloto del IMTA se trató el agua residuales de la ciudad de Cuernavaca mediante los métodos de desmineralización, obteniendo resultados satisfactorios de 98% de remoción de sólidos disuelto totales, 40% de remoción de nitrógeno total y 99,9% de reducción de coliformes fecales. (MIJAYLOVA, 2004)

En 1950 un científico llamado Föyn inicio trabajos de investigación en tratamientos electrolíticos con agua de mar. Su investigación fue la primera dirigida a la remoción de nutrientes. En 1964 logró llevar de forma confiable el contenido de fósforo en aguas residuales a la concentración de 1 ppm. (RIBYCKI, 2004)

Capítulo I
Marco Teórico

MARCO TEÓRICO

1. ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA CÁRNICA

La empresa Plumrose Latinoamericana tiene una trayectoria de más de 50 años en el país brindando productos de calidad a los consumidores, productos enlatados, precocidos y embutidos, así como cubriendo la necesidad de productos o cortes cárnicos frescos. La materia prima para elaborar los productos embutidos proviene de Matadero Plumrose. A continuación se presenta la descripción del proceso productivo.

1.1. Proceso Productivo

En Plumrose Matadero se lleva a cabo, principalmente, el proceso de matanza, picada y desposte de cerdos. A su vez se despostan y pican aves como pavo y pollo previamente beneficiadas.

El proceso comienza con la recepción de cerdos, seguido de la entrada de los camiones se procede a pesar en una romana la carga total de cerdos que llega en cada camión. Inmediatamente se procede a llevar a los cerdos a un corral, manteniendo separados los cerdos de cada camión, granja, etc. Esto se hace de manera de evitar que se creen rivalidades entre los cerdos y se hagan daño en el tiempo que permanezcan en el corral.

Los cerdos son animales que tienden a estresarse en condiciones distintas a las normales. El ambiente al que son sometidos los cerdos durante el transporte al Matadero Plumrose hace que se estresen y por ende su carne se endurece por la acción del ácido láctico produciendo un efecto no deseado de acidez en las carnes. Para disminuir el nivel de estrés del cerdo es necesario transportarlos en horarios

vespertinos. Al llegar a Matadero Plumrose, el cerdo pasa por un periodo de descanso entre 6 y 8 horas donde reposa, duerme y libera su estrés.

Transcurrido el tiempo de descanso el cerdo es llevado a la manga de beneficio, la cual sirve como canal para guiar al animal a la Butina. La Butina es un cuarto de capacidad de un cerdo, en el cual se hace descender al cerdo en un ascensor a un lugar cerrado donde circula una nube de dióxido de carbono. Cuando el cerdo inhala el dióxido de carbono se desmaya e inmediatamente es ascendido y llevado a la etapa de deguelle mediante un monorriel transportador aéreo.

En la etapa de deguelle se inserta una daga en la yugular del cerdo, sin que atraviese el corazón con la finalidad que este órgano sirva como sistema de bombeo natural en el proceso de desangrado. Seguidamente de la inserción de la daga se deja conectado el animal a un equipo denominado carrusel, el cual cumple la función de canalizar la sangre al lugar de almacenaje. Este proceso de desangrado abarca un espacio de tiempo de 15 segundos en los cuales se logra extraer entre un 70 y 80% de la sangre del animal.

En la siguiente etapa se sumerge el cerdo en una escaldadora, la cual es una piscina cuya temperatura se encuentra en 60° C. En la escaldadora se desnaturalizan las proteínas y se dilatan los poros para facilitar la etapa posterior de depilación. Al salir de la escaldadora el cerdo es llevado a un equipo, denominado arranca pelos, en donde se elimina un porcentaje mayor al 90% de los pelos del animal.

Posteriormente es pasado por un equipo latigador, cuya finalidad es ablandar la carne del cerdo. Al salir de la latigadora se pasa al cerdo por un chamuscador de pelo para eliminar cualquier rastro de pelos que queden adheridos a la piel del animal. A la salida del chamuscador de pelos se rocía agua para disminuir la

temperatura del animal y se pasa nuevamente por un equipo latigador para hacer el último ablandamiento de la carne.

La siguiente etapa consta del proceso de limpieza de los cerdos, en la cual son extraídos todos los órganos internos del animal (viseras rojas y blancas), para ello se cuenta con personal capacitado que se encarga de realizar los cortes de los cerdos. Al extraer todos los órganos se succiona la pleura del cerdo mediante el empleo de una aspiradora y se procede a dividir a la mitad al animal, dejándolo solamente unidas las partes por las orejas. En este momento del proceso un personal de Sanidad observa los cerdos; esta persona tiene la potestad de sacar del proceso a los cerdos que presenten anomalías. Seguidamente se procede a medir, con un equipo especializado, la grasa del animal, se pesa y se marca según la clase de carne que sea, es decir, los cerdos que contienen una capa delgada de grasa son clasificados como cerdos AA y los que tienen mayor contenido de grasa se clasifican como cerdos E. Finalmente van a un proceso de refrigeración de 24 horas a -1° C.

Una vez que el cerdo se encuentre refrigerado pasa a un proceso de picado y desposte. Es importante mencionar que todo el proceso de picada y desposte es continuo y elaborado a mano por personal capacitado para dicha labor. Los cortes realizados dependen de la planificación diaria, muchos cortes son comerciales y otros se realizan para elaborar productos en la Planta de Embutidos de Plumrose Latinoamericana. Los productos obtenidos en esta etapa del proceso son refrigerados o congelados dependiendo de los requerimientos de los clientes internos (Planta Embutidos) y externos.

La figura N° 1 muestra el esquema general de Matadero Plumrose. Se contemplan matanza, picada, tripería y desposte.

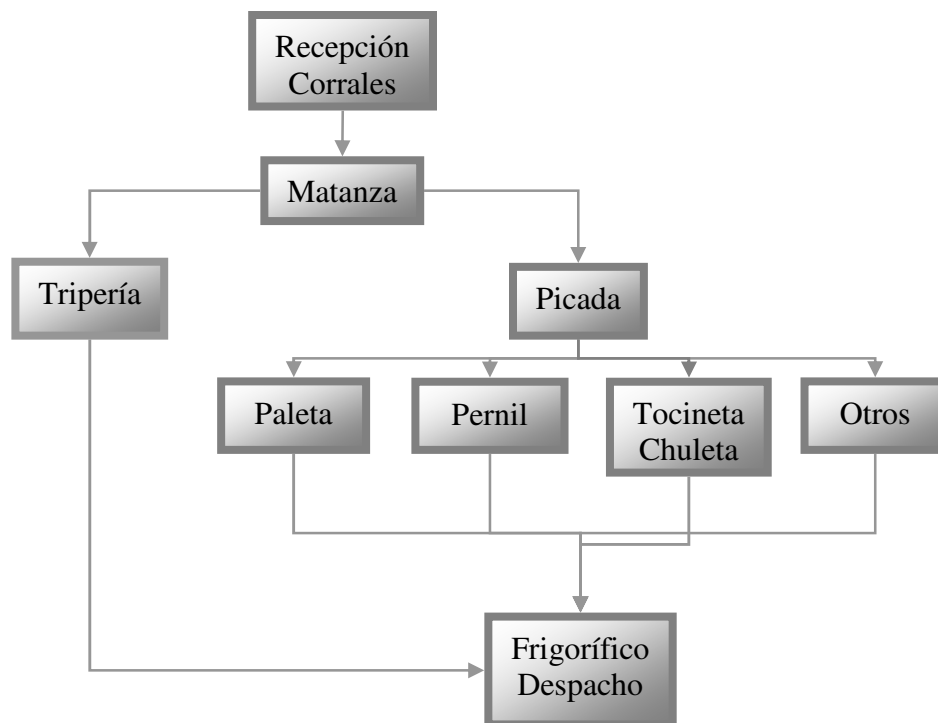


Figura N° 1. Esquema General de Matadero Plumrose.

1.2. Impacto Ambiental

Las industrias, granjas y hogares generan fluidos residuales que contienen materia orgánica suspendida o disuelta, estos se denominan aguas residuales. (LENNTECH, 2004) Estas aguas deben ser tratadas, mediante métodos desarrollados para tal fin, evitando la contaminación del ambiente y aumentando las posibilidades de reutilización.

En la actualidad el estudio y aplicación de métodos para el tratamiento de aguas ha incrementado notoriamente debido a aumento de desechos producidos por industrias. Las normativas ambientales también se han desarrollado de manera de proteger y preservar el medio ambiente y la salud de los seres humanos.

1.2.1. Empresas del Sector Cárnico

Las industrias cárnicas se pueden dividir en tres áreas, mataderos, procesadores de desechos cárnicos y productoras de embutidos. Todas estas están íntimamente relacionadas ya que los mataderos producen la materia prima para la elaboración de embutidos y sus desechos son materia prima para las procesadoras de desechos; los desechos de las embutidoras también forman parte de la materia prima de esta última.

Como las tres áreas procesan carnes, los residuos y aguas residuales están altamente cargadas con materia orgánica. El impacto que estas pueden generar al medio ambiente es alto, su aporte se puede observar en la tabla N° 1 que se presenta a continuación.

Tabla N° 1. Impacto ambiental de la industria cárnica.

Tipo	Agua Residual	Olor	Gases	Ruido	Desechos	Calor Residual
Mataderos	×	×	×	×	×	×
Procesadoras de Desechos Cárnicos	×	×	×	×		×
Embutidoras	×	×	×	×	×	×

Fuente: Estructplan, Consultora S.A “Mataderos y elaboración de productos cárnicos”, 1995.

1.2.2. Contaminación de las Aguas

La prevención y contención de los desechos de la carne y de los subproductos es una necesidad económica y de higiene pública. La principal fuente de contaminación se encuentra en las aguas residuales de los mataderos que incluyen heces y orina, sangre, residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y a veces vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos.

Para el mantenimiento de unas normas de higiene adecuadas, la industria de elaboración de productos cárnicos está obligada a utilizar grandes cantidades de agua, lo que constituye un factor importante del costo de elaboración. Su tratamiento a posteriori en la planta y su descarga final en vertederos aceptables aumenta los gastos generales, por lo que resulta esencial que se utilice el volumen mínimo de agua necesario para alcanzar unas normas higiénicas adecuadas, así como la constante verificación del uso.

1.2.2.1. Mataderos

El consumo de agua y el grado de contaminación de las aguas residuales que resultan del proceso de trabajo dependen del objeto (vea tabla N° 2) y, principalmente, están determinados por los siguientes factores:

- Especie Animal
- Clase y Capacidad de las Instalaciones
- Intensidad de la Limpieza de las Canales y de los Sitios de Trabajo Durante el Proceso Operativo.

Tabla N° 2. Volumen de agua consumido por animal.

Tipo de Animal	Volumen de Agua Consumido (l/animal)
Bovino	600-800
Porcino	300-500
Ovino	200-300

Fuente: Estructplan, Consultora S.A “Mataderos y elaboración de productos cárnicos”, 1995

1.2.2.2. Embutidoras

En las fábricas de productos cárnicos, el consumo de agua depende ante todo del producto. La contaminación de aguas residuales en empresas dedicadas predominantemente a la fabricación de embutido cocido y escaldado es mayor que en las empresas que producen embutidos crudos. Por cada tonelada de embutido y productos cárnicos se consumen aproximadamente de 10 a 15 m³ de agua.

1.2.2.3. Procesadoras de Desechos Cárnicos

El consumo de agua de las plantas procesadoras de desechos cárnicos es relativamente bajo. La cantidad de agua residual depende de la cantidad procesada, ya que aproximadamente un 65 % del material utilizado tiene que evaporarse. Por término medio, la cantidad de agua residual se sitúa en aproximadamente 1 m³ por tonelada de materia prima.

El grado de contaminación de las aguas originado por las industrias cárnicas es muy grande, ante todo en los mataderos y en las plantas procesadoras de desechos cárnicos. Para mantener la pureza de las aguas las industrias cárnicas tienen que

cumplir los siguientes requisitos mínimos para el vertido de suciedad y/o aguas residuales a cursos de agua.

Tabla N° 3. Grado de contaminación de las aguas residuales.

Tipo	Demanda Biológica de Oxígeno (ppm)	Causas y Factores que Influyen
Mataderos	4.000	Sangre, orine, desechos, contenido gastrointestinal, estiércol
Embutidoras	10.000	Desechos, cocción y tratamiento de la materia prima, producto final
Procesadoras de Desechos Cárnicos	10.000	Clase y calidad de la materia prima

Fuente: Estructplan, Consultora S.A “Mataderos y elaboración de productos cárnicos”, 1995

En el caso de los mataderos y de las fábricas de productos cárnicos, las siguientes medidas pueden contribuir a reducir la contaminación de aguas residuales y a su eliminación correcta: (Estructplan, 2005)

- Crear conciencia ambiental.
- Montaje de dispositivos técnicos que permitan separar mejor la sangre del sistema de aguas residuales.
- Recolección de materiales gruesos que se encuentren por el suelo de los locales de producción antes de la limpieza en mojado.
- Montaje de tamices para aguas residuales a fin de separar los sólidos de las mismas.
- Tratamiento mecánico por flotación.

- Depuración biológica complementaria como segunda fase de depuración después de la depuración mecánica, para aquellas empresas que viertan directamente sus aguas residuales a cursos de aguas superficiales.

1.2.3. Origen de las Aguas Residuales en los Mataderos

En un matadero ocurren dos procesos básicos, matanza del animal y picada y desposte. En el área de matanza existen dos zonas definidas como zona de faena o negra y zona limpia o blanca. En la zona de faena ocurre la matanza, desangrado, pelado y ablandamiento de la carne y en la zona limpia se lleva a cabo el proceso de eviscerado, corte de canales, peso y evaluación del tipo de carne. En el área de picada se realizan los cortes comerciales del animal y se despostan las cabezas para extraer la mayor cantidad de materia prima para procesos de elaboración de embutidos.

Cada una de las actividades mencionadas anteriormente proporciona un agua residual con características distintas. A continuación se presentan los aspectos que dan origen a las aguas residuales en cada punto:

- **Residuos de la zona de matanza:** aumenta sustancialmente la demanda de oxígeno y colorantes de las aguas residuales descargadas en el alcantarillado.
- **Estiércol de las tripas:** aportan carga orgánica y sólidos sedimentables en las aguas residuales.
- **Limpieza del suelo y equipo:** contiene sangre, excrementos, carne, grasas y partículas de huesos.
- **Preparación de las canales:** las aguas con que se han lavado las canales contienen sangre, carne y partículas de grasa de los recortes.

- **Cuarto de las tripas:** la parte muscular del estómago de los bovinos se lava y escalda. Las aguas del lavado y del escaldado contienen grasas y materia suspendida.
- **Residuos de picada y desposte:** las partículas de carne proporcionan altos contenidos de nitrógeno y fósforo.

La empresa Plumrose Latinoamericana en su división UEN Carnes genera aguas residuales en los distintos puntos del proceso de matanza, picada y desposte que consumen agua. Una vez utilizada, esta adquiere características físicas, químicas y biológicas distintas a las originales. Cada corriente tiene características distintas que dependen del uso que se le de al agua. Es importante caracterizar estas corrientes para identificar los puntos de mayor contaminación de manera de generar un plan de acción que disminuya los niveles de contaminantes y nutrientes o que prediga la cantidad de químicos que se deben utilizar a lo largo del tratamiento para obtener un efluente que se encuentre dentro de los estándares dictados por el MARNR.

Para seleccionar las tecnologías adecuadas para el tratamiento de aguas es necesario conocer las características del agua residual.

1.3. Características de las Aguas Residuales

Los análisis que se realizan a las aguas residuales se pueden clasificar de tres formas físicos, químicos y biológicos. Para cada una de ellos existe una serie de parámetros mediante los cuales se evalúa la calidad del agua. A continuación se presentan los parámetros más importantes de evaluar por categorías y su aporte en cuanto a caracterización de aguas residuales se refiere.

1.3.1. Características Físicas

- **Temperatura:** es necesarias para estimar el comportamiento de los procesos aerobios y anaerobios que intervienen el proceso, así como también determinan la intensidad de de las reacciones químicas.
- **Turbiedad:** es la capacidad que tiene un líquido de diseminar un haz luminoso, esto se debe a partículas coloidales, algas, entre otras. Gracias a esta propiedad se puede tener una idea de las materias extrañas en suspensión que pueden estar presentes en las aguas residuales, determinando así la calidad del efluente.
- **Color:** se debe principalmente a compuestos denominados sustancias húmicas conformados por carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno. Estas sustancias se encuentran en forma coloidal y/o disuelta, su diámetro esta en el rango de 3,5 hasta 10 mμ.(ARBOLELADA,2000)
- **Sólidos:** pueden estar compuestos por materia orgánica, inorgánica y microorganismos. Se dividen a su vez en totales, suspendidos, disueltos, sedimentables y fijos.
 - **Sólidos Totales:** este término se le aplica a los residuos que quedan luego que se evapore toda el agua. Esto incluye sólidos suspendidos y disueltos totales
 - **Sólidos Suspendidos:** es la porción que queda en el filtro al hacer pasar agua residual a través de mismo. Por lo general estos sólidos se mantienen suspendidos y pueden ocasionar problemas de taponamiento de equipos.
 - **Sólidos Disueltos:** son los sólidos que pasan a través de filtros y no se quedan retenidos. Algunos de estos sólidos son consumidos por microorganismos pero otros tales como cloruros y metales no se remueven sino con tratamientos específicos. Una concentración

alta de estos sólidos puede tener un efecto adverso para el medio ambiente.

- **Sólidos Sedimentables:** son los materiales más pesados que sedimentan con facilidad en las primeras etapas de tratamiento. Conocer la concentración de estos sólidos ayuda a calcular la cantidad de lodo que se generará en un sistema biológico.
- **Sólidos Fijos:** este término se le aplica al residuo que queda luego de calentar una muestra seca a una temperatura entre 450-550° C. Al peso perdido en este proceso se le denomina sólidos volátiles.

Un adecuado análisis de sólidos es importante para controlar el proceso físico y biológico del tratamiento de aguas residuales y alcanzar un calidad de efluente que entre en los límites permitidos.

1.3.2. Características Químicas

- **Acidez:** es la capacidad que tiene el agua para reaccionar con una base fuerte hasta un determinado valor de pH. La determinación de la acidez tiene por objeto cuantificar las sustancias ácidas presentes en un determinado cuerpo de aguas o en un residuo líquido, debido a que dichas sustancias ácidas incrementan la corrosividad del agua e interfieren en la reactividad química de muchas sustancias y procesos biológicos. (CÁRDENAS, 2003)
- **Alcalinidad:** es la capacidad que tiene el agua para reaccionar o neutralizar iones hidrógeno, (H^+), hasta un valor de pH igual a 4,5. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en forma de solución, y en menor grado por los boratos, fosfatos y silicatos, que puedan estar presentes en la muestra. Este parámetro tiene importancia en la determinación de la calidad del agua para riego y es además, un factor

importante en la interpretación y el control de los procesos de purificación de aguas residuales. (CÁRDENAS, 2003)

- **Determinación de pH:** es una expresión del carácter ácido o básico de un sistema acuoso. En términos exactos, es una medida de la actividad del ion hidrógeno en una determinada muestra; en términos prácticos, es una medida de la concentración del ion hidrógeno en la muestra. (CÁRDENAS, 2003)
- **Cloruros:** son utilizados como indicador o trazador en evaluaciones de contaminación de aguas. Este análisis de la medida del impacto ocasionado en el cuerpo de agua receptor o el grado en el que fue afectado o finalmente si esta contaminado.

Se dice que un cuerpo de aguas ha sido impactado, cuando un indicador adecuado, que parte desde una fuente potencialmente contaminante, llega hasta él, y su presencia es detectable en cualquier concentración. Cuando un contaminante proveniente de la misma fuente potencialmente contaminante, llega hasta dicho cuerpo de aguas y su presencia es detectable en cualquier concentración, se dice que esta, además de impactada, ha sido afectada. Por último, cuando la concentración del contaminante que llega hasta la captación, excede el límite permisible por las normas vigentes para el agua de consumo, se dice que el cuerpo de aguas ha sido contaminado. (CÁRDENAS, 2003)

- **Demanda Química de Oxígeno:** es una medida aproximada del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua. En condiciones naturales, dicha materia orgánica puede ser biodegradada lentamente, (oxidada), a CO_2 y H_2O , mediante un proceso lento que puede tardar, desde unas pocas semanas hasta unas cuantas décadas de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente. (CÁRDENAS, 2003)

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** las pruebas de DBO constituyen un índice general cualitativo del contenido de materia orgánica presente en la muestra, que es susceptible de sufrir oxidación biológica en un corto período de tiempo. Si bien en un sentido amplio cualquier tipo de materia orgánica es biodegradable en lo que respecta a los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas, es de particular importancia la materia orgánica que es rápidamente biodegradable. (CÁRDENAS, 2003)

La importancia de esta prueba radica en que permite predecir el efecto que causaría una determinada descarga de aguas residuales, sobre la concentración de oxígeno disuelto de un cuerpo de aguas receptor.

- **Oxígeno Disuelto:** este parámetro indica la concentración de oxígeno disuelto en agua, disponible para que las bacterias oxiden la materia orgánica. Es importante monitorear los valores de manera de mantenerlos en el rango deseado para evitar un mal funcionamiento del sistema biológico.

1.3.3. Características Biológicas y Microbiológicas

Esta sección es de gran importancia, ya que se puede conocer los grupos de microorganismos que se encuentran en el efluente residual. El grupo coliforme conformado por bacterias inofensivas de tipo *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia* y *Klebsiella*, incluyendo Coliformes Fecales son indicadores de la posible presencia de microorganismos patógenos y bacterias causantes de enfermedades.

Es importante realizar pruebas regularmente para asegurar que la concentración de estos sea mínima de manera de prevenir el esparcimiento de enfermedades.

1.4. Disposición de Aguas Residuales

Las aguas y los desechos extraídos durante el proceso de tratamiento de aguas deben ser dispuestos y descargados en forma que no constituyan un problema social. Esto debido al carácter ofensivo que proporcionan los compuestos orgánicos putrescibles, agentes patógenos y despojos industriales de carácter tóxico. (MIJARES, 1967)

La descarga incontrolada de las aguas residuales puede atentar contra la utilización de las masas hídricas receptoras y a las tierras donde se vierten. Destruyen la fauna acuática o modifican sus condiciones sanitarias. Estas alteraciones pueden ser un factor limitativo del uso de esta agua como fuente de abastecimiento o como vehículo de recreación. A su vez pueden crear focos de infección, contaminación de las tierras de regadío y la destrucción del paisaje. (MIJARES, 1967)

Si no se elimina la materia orgánica en las plantas de tratamiento que las aguas residuales descarguen a los cuerpos de agua, las bacterias utilizan el oxígeno del agua para descomponer las sustancias. De esta manera puede producirse un déficit de oxígeno que puede dañar e incluso matar a la flora y la fauna. (DIRECCIÓN GENERAL DANESA DEL MEDIO AMBIENTE, 2001)

Plumrose Matadero esta ubicado en la zona industrial La Vega, Cagua. El efluente de la planta, así como el de otras industrias que se encuentran en la zona, es descargado directamente en la Laguna de Taguaiguay, ubicada en el estado Aragua. Este reservorio de agua ha sido afectado grandemente por los niveles de contaminantes que las industrias descargan. Adicionalmente las aguas de dicho embalse forman parte de la red hidrográfica tributaria del Lago de Valencia la cual ha sido sujeta a regulaciones ambientales para preservar su condición.

1.4.1. Normativa Ambiental

Según los artículos N° 5,6 y 7 4 del capítulo II de la Gaceta Oficial N° 5.305 las aguas se clasifican en tipos del 1 al 6. Siguiendo esta clasificación la Laguna de Taiguaiguay se encuentra catalogada de la siguiente manera.

Tabla N° 4. Clasificación según uso de las aguas del Embalse de Taiguaiguay.

Tributario	Tramo	Clasificación	Descripción
Embalse de Taiguaiguay	Todo	Tipo 2, Subtipo 2B	Aguas para el riego de cualquier tipo de cultivo que no sean vegetales de consumo en crudo y para uso pecuario.
		Tipo 4, Subtipo 4B	Aguas destinadas a balnearios y deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia. Agua para el contacto humano parcial.

Las aguas que tengan como destino final el Lago de Valencia o la red hidrográfica tributaria deben cumplir los siguientes estándares de manera de preservar la utilización de estos reservorios para actividades recreacionales, riego, actividad agropecuaria, entre otras. A continuación se presenta los valores máximos de contaminantes en las aguas según la gaceta oficial N° 5305.

Tabla N° 5. Parámetros de descargas al Lago de Valencia y a la red hidrográfica tributaria.

Parámetros Fisicoquímicos	Límites Máximos Permitidos
Aceites, grasas vegetales y animales	20 ppm
Demanda bioquímica de oxígeno	60 ppm
Demanda química de oxígeno	350 ppm
Detergentes	2 ppm
Espuma	-
Fósforo Total	1 ppm
Nitrógeno Total	10 ppm
pH	6-9
Sólidos flotantes	-
Sólidos sedimentables	1 ppm
Sólidos suspendidos	80 ppm
Parámetros Biológicos	Límites Máximos Permitidos
Organismos Coliformes Totales	1000NMP/100ml
Organismos Coliformes Fecales	200NMP/100ml

Entre los compuestos que más afectan a los cuerpos de agua receptores se encuentran los nutrientes. Estos son principalmente Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Metales. El fósforo y el nitrógeno ayudan a la proliferación de algas y a la disminución de oxígeno disuelto en el agua, lo que trae como consecuencia la muerte del ecosistema de las mismas.

Es necesario remover estos compuestos de los efluentes de las industrias para evitar que la calidad del agua de los cuerpos receptores disminuya y no pueda utilizarse. Por esta razón los entes del Estado están obligados a velar por la buena

práctica y cumplimiento de los estándares de los efluentes y las empresas a su vez deben tener el compromiso de preservar el medio ambiente y cumplir con las normativas ambientales para evitar sanciones legales.

2. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo del tratamiento de aguas residuales es convertir los afluentes provenientes del uso de las aguas de abastecimiento en un efluente final aceptable. Disponiendo adecuadamente los sólidos ofensivos que son separados durante el proceso. (MIJARES, 1967)

La función fundamental del tratamiento de aguas residuales es acelerar el proceso natural por el cual el agua es purificada de esta manera se puede reducir el nivel de contaminación a niveles más seguros, donde el agua pueda ser reutilizada en diferentes actividades como: el riego, usos industriales, agroindustriales, domésticos, de recreación, e incluso como suministro previo de agua potable. (CRUZ, 2004).

Existen tres propósitos por los cuales una industria trata sus efluentes, estos son:

- Disposiciones Legales: cumplimiento de regulaciones ambientales.
- Disminución de Costos: posibilidad de reutilización (cerramiento de circuitos).
- Ecológico: disminución de los contaminantes del agua y reutilización.

El tratamiento al que se someten las aguas residuales de Plumrose Matadero consta de dos etapas más un pre-acondicionamiento. A continuación se presenta la descripción del proceso de tratamiento de agua.

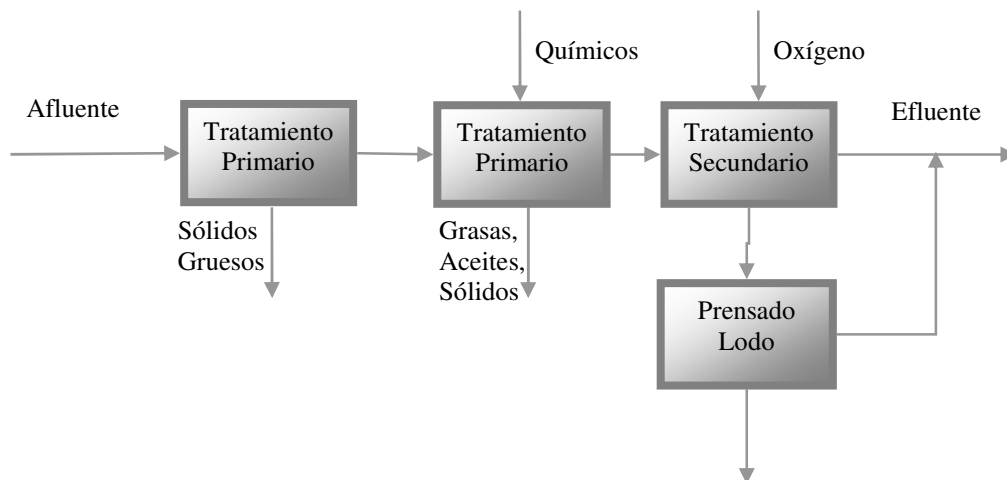


Figura N° 2. Diagrama de bloques del tratamiento de aguas residuales.

2.1. Pre-Tratamiento

El pre-acondicionamiento del agua residual está conformado por tres etapas, dos de las cuales son físicas, remoción de sólidos gruesos y medianos y una química, consta de la adición de polímeros coagulante y floculante.

2.1.1. Remoción de Sólidos

Los sólidos que caracterizan a las aguas residuales son los siguientes: disueltos, coloidales y suspendidos. Los sólidos suspendidos a su vez pueden ser de tamaño grande, mediano y fino. Estos son removidos físicamente de la siguiente forma:

2.1.1.1. Gruesos

Antes de que el agua residual entre al tratamiento primario pasa por una unidad de filtración denominada cesta colectora de sólidos gruesos donde se quedan retenidos los sólidos mayores a 10 mm., esto con la finalidad de disminuir la carga

orgánica y proteger las instalaciones. Entre los elementos extraños, asociados al agua, que constituyen motivo suficiente para establecer filtros o tamices de retención pueden citarse: arenas, gravas y piedras, papeles, trapos, además de otros objetos que hayan podido ser arrastrados por las tuberías de aguas residuales.

2.1.1.2. Medianos y Finos

El agua residual luego de haber pasado por la filtración de gruesos es llevada a la fosa receptora, la cual cumple la función de estación de bombeo. El agua residual es bombeada hasta la criba rotatoria en donde los sólidos medianos y finos son retirados: el tamaño de partícula que pasa por el tamiz es menor a 1 mm.

2.1.1.2. Acondicionamiento Químico

Durante la trayectoria que cumple el agua residual desde la estación de bombeo al tanque de flotación por aire disuelto se adicionan dos químicos que tienen la función de clarificar el agua. Esto se logra con la remoción de los sólidos coloidales y suspendidos. En la figura N° 3 se pueden apreciar los tipos de sólidos que se encuentran en las aguas residuales.

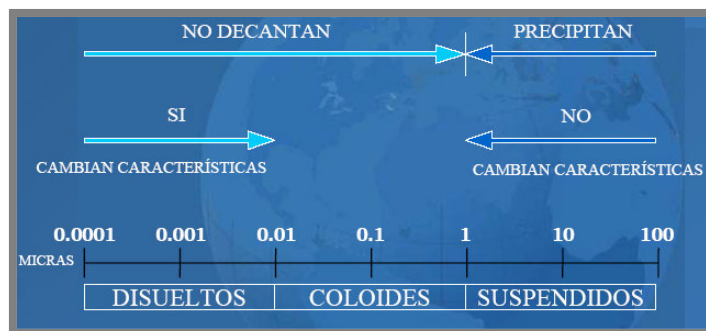


Figura N° 3. Tipo de Sólidos que conforman al agua residual.

Los coloides proporcionan el mayor problema en cuanto a remoción en el tratamiento, ya que son partículas de diámetro muy pequeño ($0,001\mu\text{m}$ - $1\mu\text{m}$), ligeramente superior al diámetro de las moléculas. Estos son responsables de la turbidez y del color de las aguas, tienen muy baja sedimentación debido a que son altamente estables en la solución. (BAUMANN, 1971)

2.1.1.2.1. Estabilidad de los Coloides

Los coloides son normalmente estables en solución. En general predominan los factores estabilizantes sobre los desestabilizantes. Entre los factores estabilizantes se encuentran las fuerzas o fenómenos que generan repulsión entre ellos, por lo tanto las fuerzas electrostáticas y la hidratación son favorables. Las fuerzas de atracción, en cambio, cumplen un papel opuesto y desestabilizan. Entre ellas la gravedad, el movimiento browniano y las fuerzas de Van der Waals.

Esta repulsión electrostática sobrepasa las fuerzas de atracción de Van Der Waals, razón por la cual no existe aglomeración y por ende la sedimentación es muy lenta o no ocurre.

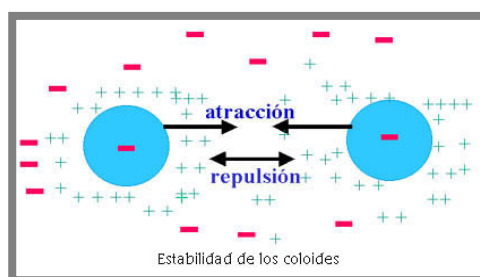


Figura N° 4. Estabilidad de los coloides.

Para eliminar estas partículas coloidales es necesario desestabilizarlas mediante un tratamiento físico-químico para el cual emplea un coagulante y un polímero floculante. (LENNTECH, 2005)

2.1.1.2.2. Coagulación y Floculación

El objetivo principal de la coagulación-floculación es obtener una calidad de agua buena, es decir, un agua limpia. En el proceso existen dos etapas fundamentales: la primera es la desestabilización de las partículas coloidales y suspendidas, y la segunda es la formación y transporte de los flocs. Esto ocurre mediante la aglomeración de partículas en pequeñas masas de mayor peso específico que el agua denominadas flocs. La finalidad de obtener los siguientes resultados: (ARBOLEDA, 2000)

- Remoción de turbidez de origen orgánico o inorgánico que no sedimenta con facilidad.
- Remoción de color.
- Separación de sustancias productoras de sabor y olor, precipitación de precipitados químicos suspendidos y compuestos orgánicos.
- Disminución de la población de algas y plancton.
- Eliminación de bacterias, virus y algunos organismos patógenos.

2.1.1.2.2.1. Coagulación

Proceso mediante de desestabilización de las partículas suspendidas, neutralizando la parte hidrofóbica, de modo que se reduzcan las fuerzas de separación entre ellas. Para lograr esta desestabilización se utilizan polímeros promotores conformados por partículas eléctricamente cargadas, cationes trivalentes. La figura N° 6 muestra la acción del polímero coagulante.

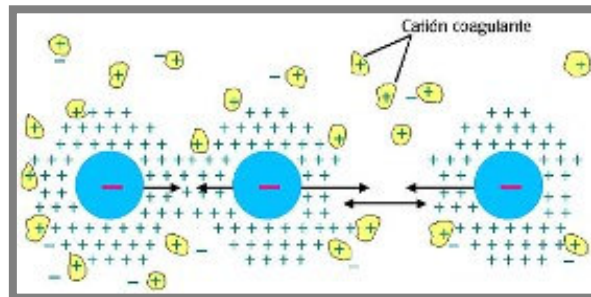


Figura N° 5. Polímero Coagulante.

Existen dos modelos de coagulación físico, basado en fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión, y el químico que relaciona el coagulante con la superficie de los coloides.

2.1.1.2.1.1. Coagulación Física

- **Modelo de Helmholtz:** se basa en dos superficies cargadas eléctricamente y separadas por una distancia constante.
- **Modelo de Gouy Chapman:** introduce el concepto de capa difusa. Para ello utiliza la ecuación de Poisson, lo que permite calcular las posiciones de equilibrio de los iones de la doble capa.
- **Modelo de Stern:** supone que existe la posibilidad de la coexistencia de las capas, doble capa eléctrica (vea figura N° 6). Hay una capa fija de contraiones que esta adherida a la superficie coloidal y parte de la capa difusa de contraiones está adsorbida a la superficie de la partícula coloidal y se mueve con ella.

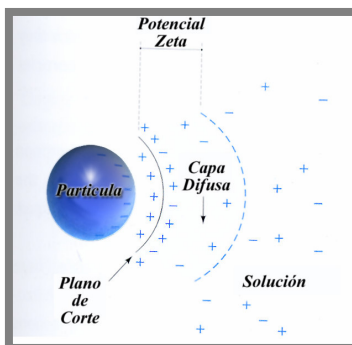


Figura N° 6. Doble capa eléctrica.

(NALCO, 1988)

2.1.1.2.2.1.2. Coagulación Química

La carga de las partículas coloidales se produce por la ionización de grupos hidroxilo, carboxilos, fosfatos y sulfatos, que se pueden encontrar en la superficie del coloide. Estos grupos reaccionan con los iones metálicos de los coagulantes produciendo una precipitación.

Teoría del puente químico: una molécula polimérica unida a la superficie del coloide en uno o más sitios mientras que el resto de los sitios de adsorción están vacantes los que pueden ser ocupados por otros coloides generando así un puente químico. Esto genera un aumento de tamaño y por ende la precipitación de los compuestos.

2.1.1.2.2.2. Floculación

La floculación es el proceso mediante el cual las moléculas ya desestabilizadas entran en contacto, agrandando los flocs de modo de facilitar la precipitación. Este proceso puede presentarse mediante dos mecanismos: floculación ortocinética y pericinéctica, según el tamaño de las partículas desestabilizadas. Las partículas pequeñas están sometidas a floculación pericinéctica, motivada por el movimiento

browniano, mientras las que presenta un tamaño mayor, están afectadas por el gradiente de velocidad del líquido, predominando la floculación ortocinética.

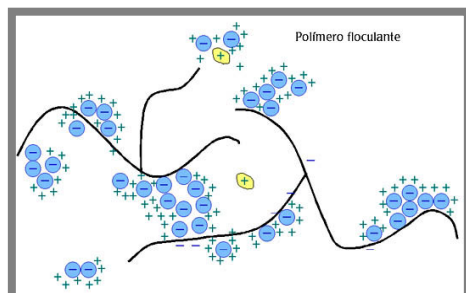


Figura N° 7. Polímero Floculante.

2.1.1.2.2.1. Floculación Ortocinética

Se realiza un análisis por el método de Von Smoluchwsky, el cual supone tan solo dos grupos de partículas esféricas en suspensión en el líquido, con diámetros d_1 y d_2 . Supone además que el líquido presenta un gradiente de velocidad no nulo entre uno y otro tipo de partícula. Además presume el contacto entre estos dos distintos tipos de partículas genera la floculación, quedando a una distancia R entre sus centros.

$$R = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (\text{Ec.1})$$

2.1.1.2.2.2. Floculación Pericinética

La floculación pericinética se realiza mediante la unión de partículas pequeñas, motivada por el efecto térmico lo que se traduce en movimiento browniano, que provoca la difusión uniforme de partículas en solución.

Si se suponen partículas esféricas que chocan entre si según la ley de Fick se tiene que el número de choques por unidad de volumen y tiempo a los que está

sometida una partícula en un sistema de partículas y los gradientes de partículas por unidad de volumen varía linealmente queda la siguiente expresión:

$$\frac{dn}{dt} = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot D_{12} \cdot n_1 \cdot n_2 \quad (\text{Ec.2})$$

2.1.1.2.2.3. Tipos de Coagulantes y Floculantes

Los coagulantes y floculantes se pueden clasificar en dos grupos: polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos. Ambos grupos actúan como polímeros y poseen una carga eléctrica. Los primeros están formados una vez que se agregan al agua y los segundos inician su polimerización cuando se pone en contacto con el agua. (ARBOLEDA, 2000)

Un polímero puede definirse como una sustancia formada por una cantidad de unidades básicas denominadas monómeros, unidas por enlaces covalentes que se repiten. Su grado de polimerización está dado por el número de monómeros que conforman su cadena.

El tipo de polímeros que se forme depende de la naturaleza de los grupos funcionales que lo integran. Todos los monómeros capaces de formar polímeros deben tener como mínimo dos núcleos activos para que la macromolécula formada pueda conservar su configuración inicial. Cuando las cadenas poliméricas tienen múltiples grupos funcionales activos se denominan polielectrolitos. (ARBOLEDA, 2000)

2.2.1.1.2.2.3.1. Clasificación de los Polielectrolitos

Los polímeros usados en las plantas de tratamiento de agua residuales son de elevado peso molecular (10^4 - 10^7) y pueden clasificarse según su origen y carga.

2.2.1.1.2.2.3.1.1. Clasificación por Origen

- **Polímeros Naturales:** se producen en reacciones bioquímicas naturales de animales y plantas, tales como carbohidratos, proteínas y polisacáridos.
- **Polímeros Sintéticos:** compuestos orgánicos producidos por medio de la transformación química de derivados del carbón y de petróleo. La mayoría se encuentra en polvo y otros son líquidos con concentraciones activas desde 10 hasta 60%.

El científico Packman considera que el 90% de estos polímeros tiene como monómero básico la acrilamida. La poliacrilamida es un polímero no iónico que tiene la ventaja de sintetizar una variedad de compuestos con distintas propiedades y aplicaciones.

2.2.1.1.2.2.3.1.2. Clasificación por Carga

- **Polímeros No-Iónicos:** no poseen carga y son derivados de la poliacrilamida.
- **Polímeros Catiónicos:** tienen carga positiva y se derivan del amonio cuaternario.
- **Polímeros Aniónicos:** poseen carga negativa y usualmente se derivan de la poliacrilamida hidrolizada.

2.2.1.1.2.2.2. Coagulantes Metálicos

Existe una variedad de coagulantes metálicos que se pueden clasificar en: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios. Los más conocidos son el sulfato de aluminio, cloruro férrico y de aluminio.

Los flocs formados con la adición de sales de aluminio son pesados, de bajo costo y su manejo es sencillo, se usan con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable. Utilizando las sales de hierro se obtienen flocs más pesados que los producidos por las sales de aluminio, tienen mayor velocidad de asentamiento y trabajan con un rango de pH amplio de 4 a 10.

Además de las características de floc que se obtienen al utilizar coagulantes metálicos se logra disminuir el contenido de fosfatos del agua tratada.

Los polímeros utilizados por la empresa en el tratamiento de aguas residuales son los siguientes:

Tabla N° 6. Polímeros.

Polímero	Características
MQ-131 Coagulante	Sustancia activa cloruro férrico
MQ-297 Floculante	Poliacrilamida en polvo
MQ-159C Floculante	Poliacrilamida en emulsión

2.1.1.3. Sistemas de Simulación del Proceso de Coagulación-Floculación (Pruebas de Jarra)

Consiste en la simulación del proceso de coagulación-floculación que se produce en la planta de tratamiento en vasos de precipitado y evaluar los distintos parámetros durante el ensayo para caracterizar el funcionamiento.

2.1.1.3.1 Determinación de Dosis Óptima

La dosis óptima es la que logra desestabilizar de forma rápida las partículas coloidales y hace que se forme un floc pesado y compacto que no se rompa. Se deben evaluar cualitativamente el tamaño del floc producido y el tiempo inicial de formación. La evaluación cuantitativa se refiere a las características físicas, turbidez y color residual, y las químicas, pH, alcalinidad, hierro y manganeso. (ARBOLEDA, 2000)

2.1.1.3.2. Tamaño del Floc Producido

Se observa el tamaño del floc producido y se evalúa según sus características. El tamaño se puede expresar mediante el índice de Willcomb (vea tabla N° 7) y se escoge la dosis que produce una partícula más grande, de mayor velocidad de asentamiento y que deje ver el agua más clara entre los flocs formados.

Tabla N° 7. Índice de floculación de Willcomb

N° Índice	Descripción
0	Floc coloidal sin aglomeración
2	Floc pequeño
4	Floc bien formado pero sedimenta lentamente o no sedimenta
6	Floc de tamaño grande pero sedimenta lentamente

Continuación Tabla N° 7	
8	Floc que se deposita rápido
10	Floc que se deposita y deja el agua cristalina

Fuente: Arboleda, “Teoría y práctica de la purificación del agua”, 2000.

2.1.1.3.2.1. Tiempo Inicial de Formación del Floc

Determina el tiempo que tarda en aparecer el primer inicio de formación de floc. Debe realizarse en con la ayuda de una fuente de luz para observar mejor la formación del flóculo. Se deben tomar en cuenta los tiempos de adición de los polímeros, coagulante y floculante.

2.1.1.2.3. Equipos Dosificadores de Químicos

Los equipos dosificadores de polímeros dependen del estado sólido (polvo) o líquido. Los polímeros floculantes generalmente vienen en polvo y se prepara a una concentración de 0,1% debido a la viscosidad que presentan al disolverse en agua. Los coagulante se encuentran preparados a una concentración establecida y su presentación es líquida.

Para los coagulantes los equipos dosificadores son muy sencillos, constan de una bomba dosificadora autocebante de desplazamiento positivo y de un tanque donde se encuentra almacenado el producto químico. Los floculantes deben prepararse en un sistema que tenga agitación mecánica. Los tanques deben ser de polietileno y la bomba de dosificación debe ser de desplazamiento positivo.

2.2. Tratamiento Primario

La etapa primaria de tratamiento de aguas de Matadero Plumrose consiste un sistema de flotación por aire disuelto, el cual remueve las partículas de grasas, aceites y los flóculos formados por el acondicionamiento químico del líquido residual.

2.2.1. Flotación por Aire Disuelto

La flotación por aire disuelto es un sistema que se basa en el principio de la solubilidad del aire en el agua sometida a presión (60-80 psi). Consiste fundamentalmente en someter el agua cruda ya floculada a presión durante cierto tiempo en un recipiente, introduciendo simultáneamente aire comprimido y agitando el conjunto por diversos medios, hasta lograr la dilución del aire en el agua. (METCALF, 1972)

Posteriormente despresuriza el agua en condiciones adecuadas, desprendiéndose gran cantidad de micro burbujas de aire. Estas se adhieren a los flóculos en cantidad suficiente para que su fuerza ascensional supere el reducido peso de los flóculos, elevándolos a la superficie, de donde son retirados continuamente por distintos medios mecánicos. Este método elimina gran parte de la materia orgánica, así como un alto porcentaje de grasas y aceites productos del proceso productivo. (ROMERO, 1999)

Con objeto de evitar la destrucción de flóculos en el turbulento proceso de creación de micro burbujas, normalmente no se presuriza el caudal total de tratamiento, sino un caudal parcial de agua clarificada recirculada suficiente para crear las micro burbujas necesarias para el proceso.

El proceso de flotación por aire disuelto presenta las siguientes ventajas para el tratamiento de aguas residuales: (ROMERO, 1999)

- Grasas, sólidos livianos y sólidos pesados, se remueven en una sola unidad.
- Las tasa altas de flujo, mayores cargas superficiales y periodos de retención más cortos permiten la construcción de tanques más pequeños con menores requerimientos de espacio y menor costo.
- Se disminuye la presencia de olores debido a los periodos cortos de retención y a la presencia de oxígeno disuelto en el efluente.
- Se obtienen lodos más espesos que los producidos en unidades de sedimentación por gravedad.
- Los sólidos recuperados se pueden reusar o utilizar como combustibles.
- Se requiere menos coagulante por no exigir flóculos pesados.

2.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento biológico es una de las etapas más importantes del proceso de purificación del agua residual. En esta etapa se logra remover la mayor cantidad de materia orgánica y a su vez existe una disminución de nutrientes debido al consumo de los microorganismos. Existen distintos tratamientos biológicos en la industria, lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, laguna de oxidación y digestión anaeróbica. (MUÑOZ, 2005)

En Plumrose Matadero se utiliza el tratamiento biológico por activación de lodos, el cual fue desarrollado en Inglaterra en el año 1914 por Arden y Lockett. Se le dio el nombre de lodos activados debido que el proceso involucra la producción

de materia activada por microorganismos capaz de estabilizar los desechos orgánicos mediante condiciones aeróbicas. (METCALF, 1972)

El proceso de lodos activados consiste en estabilizar la materia orgánica en un reactor biológico en un ambiente aeróbico que se logra con aireación mecánica. La mezcla que contiene el reactor es denominada licor, el cual se encuentra compuesto por flóculos formados por la degradación de la materia orgánica. La separación de estas dos fases se hace en un sedimentador o clarificador en donde se lleva a cabo una separación física por diferencia de densidad.

El lodo obtenido luego de la separación se divide en dos corrientes, siendo la primera una recirculación al reactor, para evitar la disminución de microorganismos y la segunda es desechada mediante un proceso adecuado a las normas ambientales, esto con la finalidad de evitar la sobrecarga de lodo biológico en el reactor.

En la siguiente figura se puede observar esquemáticamente el proceso de lodos activados.

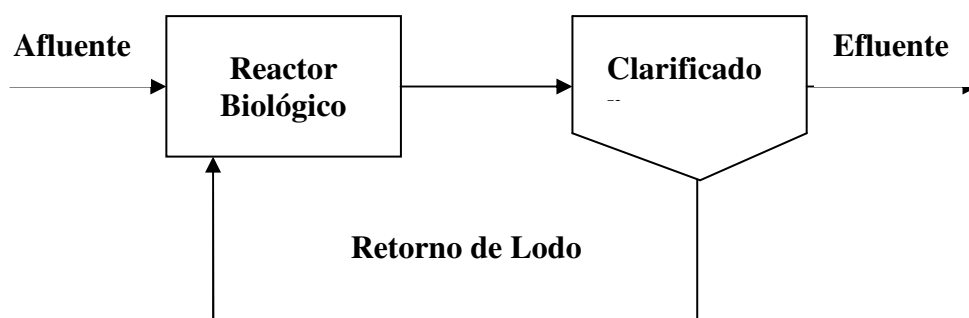


Figura N° 8. Esquema del sistema de lodos activados.

Hay varios parámetros que se deben tomar en cuenta para la evaluación del sistema de lodos activados, los más importantes son los siguientes: microorganismos, aireación, sustratos y nutrientes.

2.3.1. Microorganismos

Los microorganismos más comunes en el tratamiento de aguas residuales se clasifican en animales plantas y protistas. Las características de cada uno se pueden observar en la tabla N° 8.

Tabla N° 8. Clasificación de microorganismos.

Reino	Miembros Representativos	Características
Animales	Crustáceos	Multicelular con diferenciación de tejidos
	Rotíferos	
Plantas	Moho	Multicelular con diferenciación de tejidos
	Polipodio	
Protistas	Algas	Unicelular o Multicelular sin diferenciación de tejidos
	Protozoos	
	Hongos	
	Algas verde-azules	
	Bacterias	

Fuente: Metcalf & Eddy, “Wastewater Engineering”, 1972.

2.3.1.1. Bacterias

Las bacterias son unicelulares y su morfología depende del tipo de bacteria, es decir, los cocos son redondos, bacilo son cilíndricas, vibriones son curvadas y la espirillas son espirales o filamentosas. Estos microorganismos responsables de descomponer la materia orgánica degradable proveniente del afluente. Estas utilizan la mayor parte de la materia orgánica como energía para sintetizar nuevas células y el remanente es transformado en compuestos tales como NO_3 , SO_4 y CO_2 . Estos compuestos se encuentran en forma de flocs biológicos que luego son fáciles de sedimentar.



Figura N° 9. Bacterias (*Green Anabaena*).

2.3.1.2. Coliformes

Son un grupo de bacterias que se usan como indicadores de contaminación por organismos patógenos en el agua. En aguas residuales se usa el ensayo de coliformes fecales los cuales constituyen los mejores indicadores de la presencia posible de patógenos. La figura N° 10 muestra un tipo de coliforme.



Figura N° 10. Coliforme (*Escherichia Coli*).

La calidad del agua y el tratamiento al que debe ser sometido dependen directamente del número más probable de coliformes. En la tabla N° 9 que se muestra a continuación se indica la calidad y clase de agua según los rangos de NMP de coliformes.

Tabla N° 9. Calidad del agua según el número más probable de coliformes.

Tratamiento de Agua	NMP/100 ml
Purificación con sólo desinfección	<50
Purificación con tratamiento convencional	50-5.000
Contaminada que requiere tratamiento especial	5.000-50.000
Contaminada que requiere tratamiento muy especial	>50.000

Fuente: Romero, “Tratamiento de Aguas Residuales”, 1999.

2.3.1.3 Algas

Las algas son protistas que pueden producir malos olores y sabores en las aguas, los cuales son indeseables para aguas de recreación.

La relación promedio C/N/F es igual a 105/15/1, lo cual indica la importancia de los nutrientes nitrógeno y fósforo en el crecimiento de algas y en problemas de eutroficación de lagos y embalses.

Existen tres grandes grupos de algas, caracterizadas por su color (verdes, rojas y carmelitas). En la figura se pueden observar dos tipos de algas verdes.

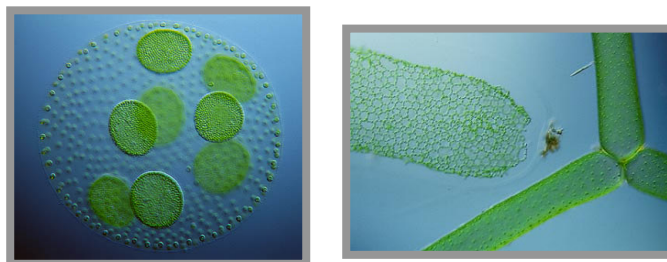


Figura N° 11. Algas (Tipo Verde).

2.3.1.4. Protozoos

Los protozoos se alimentan de las bacterias, microorganismos y materia orgánica particulada. Son esenciales en la operación de plantas biológicas de tratamiento porque mantienen el equilibrio entre los microorganismos. En la figura se puede observar un tipo de ciliado.



Figura N° 12. Ciliados.

2.3.1.5. Rotíferos

Los rotíferos tienen la función de pulir el efluente disminuyendo la concentración de bacterias dispersas que no han floculado y de flocs biológicos pequeños que no han sedimentado. (METCALF, 1972) La presencia de estos animales indica un proceso eficiente de tratamiento biológico aerobio.



Figura N° 13. Rotífero.

2.3.2. Aireación

Es el proceso mediante el cual el agua se pone en contacto con el aire para aumentar la concentración de oxígeno que sirva para que los microorganismos oxiden la materia orgánica. Otra de las funciones de la aireación es la remoción de dióxido de carbono, sustancias volátiles productoras de olor y sabor, H₂S, metano, entre otras. (ROMERO, 1999)

2.3.2.1. Equipos de Aireación

Los equipos más empleados en la planta de tratamiento de agua residuales de Plumrose Matadero son:

Aireación difusa: las burbujas de aire se esparcen por el tanque de oxidación.

Sistemas de turbina: dosifica oxígeno líquido por medio de las paletas de rotación de un impulsor sumergido.

Sistema de aireación superficial: genera transferencia de oxígeno mediante turbulencia superficial y aspersion del agua.

3. TECNOLOGÍAS PARA LA REMOCIÓN DE NUTRIENTES, FÓSFORO Y NITRÓGENO

Luego del tratamiento primario y secundario el 85 a 90 % de la carga orgánica y los sólidos suspendidos totales es removido de las aguas. Existen otros compuestos en las aguas residuales cuya concentración no se ve afectada por las etapas de tratamiento convencionales, tal es el caso de iones inorgánicos como calcio, magnesio, potasio, sulfatos, nitratos y fosfatos, así como compuestos sintéticos orgánicos complejos. La tabla que se presenta a continuación muestra los compuestos químicos que constituyen las aguas y su efecto en los cuerpos receptores. (METCALF, 1972)

Tabla N° 10. Efectos de los constituyentes más comunes de los efluentes.

Constituyente	Efecto	Concentración Crítica (ppm)
Inorgánicos		
Amonio	Incrementa la demanda de cloro	>0
	Tóxico para peces	2,5
	Puede convertirse en nitratos	>0
Calcio y Magnesio	Incrementa la dureza del agua	>100
Mercurio	Tóxico para humanos y vida acuática	0,005
Cloruros	Interfiere con procesos industriales	75-200
	Aporta un sabor salado	250
Nitratos	Estimula el crecimiento de algas	0,015
Fosfatos	Estimula el crecimiento de algas	0,01
	Interfiere con la coagulación	0,2-0,4
Sulfatos	Acción Catártica	600-1000
Orgánicos		
DDT	Tóxico para peces y vida acuática	0,001
Hexacloruros	Puede causar mal olor y sabor en el agua	0,2
Petroquímicos	Puede causar mal olor y sabor en el agua	0,005-0,1
Fenoles	Puede causar mal olor y sabor en el agua	0,0005-0,001
Surfactantes	Causa espumación e interfiere con la coagulación	1,0-3,0

Fuente: Metcalf & Eddy, "Wastewater Engineering", 1972.

Para este Trabajo Especial de Grado los compuestos que se quieren tratar son principalmente Fósforo y Nitrógeno. Existen tratamientos desarrollados para remover de las aguas residuales o transformar de las mismas, sustancias indeseables, para asegurar que puedan ser vertidas en los cuerpo hídricos receptores sin causar daños o alteraciones a los mismos. (MQCORPORATION, 2005)

Para seleccionar un proceso de tratamiento es necesario conocer y tomar en cuenta los siguientes aspectos: uso que se le da al efluente, naturaleza del agua residual, compatibilidad de las operaciones y procesos, viabilidad económica de la combinación de alternativas y disponibilidad para desechar contaminantes. (METCALF, 1972)

3.1. Fuentes de Fósforo y Nitrógeno

El carbono, nitrógeno y fósforo inorgánicos constituyen los macronutrientes más importantes para soportar el crecimiento de productores primarios en un ecosistema acuático. Para eliminar o remover la mayor cantidad de fósforo y nitrógeno en el efluente es necesario conocer e identificar las fuentes que aportan dichos compuestos y las etapas de proceso involucradas. A continuación se presentan las fuentes principales de fósforo y nitrógeno más comunes en plantas procesadoras de carnes.

3.1.1. Nitrógeno

El nitrógeno total esta compuesto por nitrógeno total de Kjeldahl (TKN), nitratos y nitritos. A su vez el nitrógeno total de Kjeldahl es una combinación de nitrógeno orgánico y amoniacal. La mayor fuente de nitrógeno proviene de las proteínas de las partículas de carne y de la sangre del animal. Las proteínas contienen aproximadamente 16% de nitrógeno orgánico. Otras fuentes de nitrógeno son los

restos de comida parcialmente digeridos contenidas en el estómago y en los intestinos, así como orine. Es importante resaltar que la grasa ni los carbohidratos contienen nitrógeno de manera que no incrementan los niveles de este nutriente en el efluente. (WILLIS, 2001)

Las proteínas son utilizadas por los microorganismos aeróbicos, específicamente las bacterias, convirtiendo el nitrógeno orgánico en amoniacal. Mientras más tiempo se encuentre la material orgánica retenida sin tratamiento las bacterias comenzarán el proceso de transformación, el cual en cierta forma es indeseable debido a que el nitrógeno orgánico puede ser removido de las aguas residuales por medio de un pretratamiento físico tal como filtración, sedimentación o por flotación. Contrariamente el nitrógeno amoniacal no se puede remover mediante tratamientos físico por encontrarse disuelto en las aguas.

Las concentraciones de TKN en plantas que procesan carnes puede variar de 30 a 1000 ppm y la concentración de nitratos de 14 a 750 ppm; por lo general la concentración de nitritos es muy baja o inexistente. (WILLIS, 2001)

3.1.2. Fósforo

Una fuente significativa de fósforo en los efluentes de plantas procesadoras de productos cárnicos son la proteínas de las partículas de carne y de la sangre. La carne magra contiene 2% de fósforo orgánico y el plasma de la sangre contiene un aproximado de 3.500 ppm. Los carbohidratos y grasas están compuestos por pequeñas cantidades de fósforo. Los detergentes a base de fosfatos aportan cantidades de fósforo en el rango de 2,5 a 20 ppm según la concentración que tenga. Por último los aditivos químicos que se le agregan a los sistemas de vapor contribuyen con pequeñas cantidades de fósforo. (WILLIS, 2001)

Tan solo un 15% del fósforo total presenta en el agua residual no está disuelto y puede ser separado por filtración, sedimentación o flotación por aire disuelto. Esta es la razón por la cual los métodos de remoción de fósforo se basan en principios de conversión de la materia soluble a insoluble. Este solubilización se puede realizar como compuestos precipitados químicos o como asimilación en las células de los microorganismos.

3.2. Tratamientos para la Remoción Físico-Química Simultánea de Fósforo y Nitrógeno

En esta sección se presentan las tecnologías que se podrían utilizar para remover nitrógeno y fósforo del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

3.2.1. Tecnología de Membranas

La tecnología de membrana se ha convertido en una parte importante de la tecnología de la separación en los últimos decenios. La fuerza principal de la tecnología de membrana es el hecho de que trabaja sin la adición de productos químicos, con un uso relativamente bajo de energía y conducciones de proceso fáciles. La tecnología de la membrana es un término genérico para una serie de procesos de separación diferentes y muy característicos. Estos procesos son del mismo tipo porque en todos ellos se utiliza una membrana. Las membranas se utilizan cada vez mas a menudo para la creación de agua tratada procedente de aguas subterráneas, superficiales o residuales. (LENNTECH, 2005)

La membrana actúa como filtro que deja pasar agua y retiene los sólidos y otras sustancias o compuestos (vea figura N° 14). Existen variaciones en los métodos ya que se le puede aplicar alta presión, gradiente de concentración en ambos lados de la membrana y la introducción de potencial eléctrico.

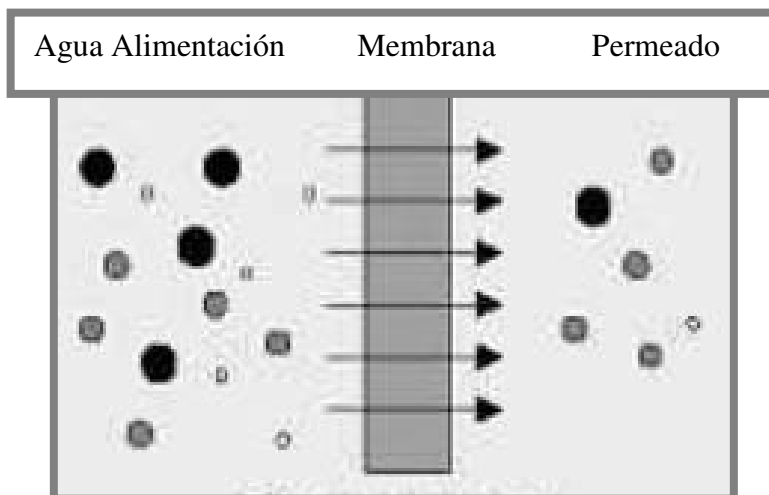


Figura N° 14. Proceso de Membranas.

En la figura N° 15 se aprecian los rangos de tamaño de partícula que deja pasar la membrana. Los compuestos, fósforo y nitrógeno, tienen un tamaño de partícula menor a $0,01\mu\text{m}$ lo que indica que la membrana que se utiliza para la remoción de estos está entre la nanofiltración y la ultrafiltración. Las tecnologías varían según el principio en la que están basados, porosidad o difusión. La nanofiltración se basa en el principio de difusión a través de la membrana y la ultrafiltración se basa en el principio de la porosidad.

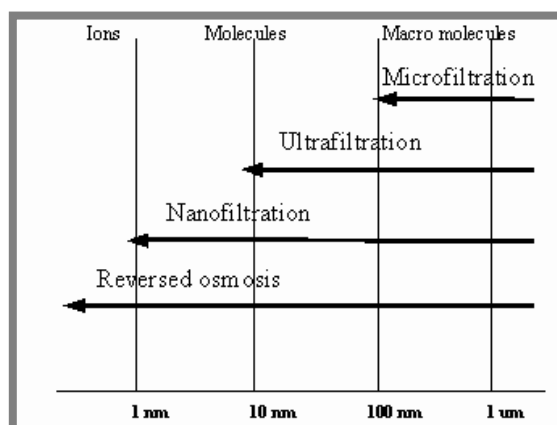


Figura N° 15. Porosidad de las membranas

3.2.2. Electrodiálisis

Proceso de separación electroquímico donde los iones son atraídos al cátodo y ánodo respectivamente, a través de una membrana semipermeable. Para ello se aplica una corriente continua que atraviesa la solución y separa sólidos disueltos. El tiempo de retención es de aproximadamente 15 segundos.

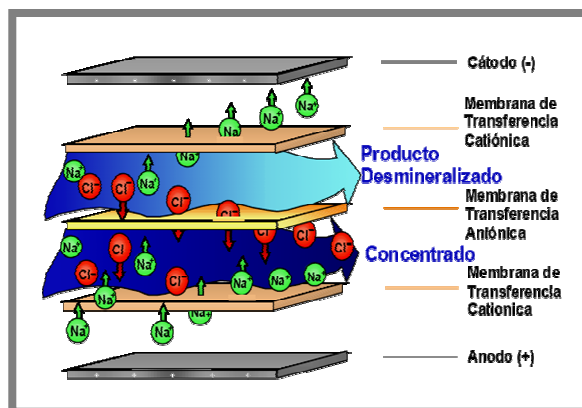


Figura N° 16. Proceso de electrodiálisis

3.2.3. Tratamiento Electroquímico

En este proceso, las aguas residuales son mezcladas con agua de mar y pasadas por una celda que contiene electrodos de carbono. Debido a las densidades del agua de mar y de la mezcla hacen que el pH del cátodo aumente logrando la precipitación del fósforo y del amoníaco como $\text{Ca}(\text{PO}_4)$ y MgNH_4PO_4 . Las burbujas de hidrógeno formadas en el cátodo hacen que los sólidos floten y sean retirados mediante barrelosos. El cloro que se formo tras la reacción en el ánodo promueve la desinfección de las corrientes. (METCALF, 1972)

3.2.4. Tratamiento por Carbón Activado

Este tratamiento se basa en la adsorción de los componentes contaminantes y la superficie de las partículas de sólido, carbón activado. Este método remueve agentes no deseados (nutrientes), color, compuestos que le confieren sabor a las aguas e iones metálicos.

El carbón activado consiste en microcristales de grafito, cuyas partículas son tan pequeñas que se consideran amorfas. La estructura cristalina consiste en capas hexagonales posicionadas una encima de la otra. (SOTIRAKOU, 1998)

El método se puede ver afectado por el tamaño de partícula, área superficial, estructura de poro, pH, temperatura y la naturaleza del material a ser adsorbido.

3.3. Tratamientos para la Remoción Biológica Simultánea de Fósforo y Nitrógeno

3.3.1. Lagunas con Cultivo de Algas

Las algas tienen la capacidad de resistir, asimilar e incorporar fósforo y nitrógeno (nitritos y amoniacal) para utilizarlo en proceso fotosíntesis y respiración cuando son sumergidas en una solución rica en estos compuestos. El cultivo de algas puede significar un tratamiento terciario efectivo. (JAIMES, 2002). Los tipos de algas utilizados son *Phormidium Bohneri*, *Chloral Vulgarize* y *Chlorella SPP*.

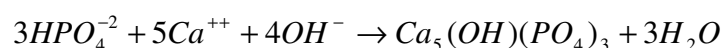
Con este método se pueden alcanzar eficiencia de remoción de 70% en fósforo, 75% en nitrógeno amoniacal y 65% en nitritos. Las desventajas de este método son grandes extensiones de terreno y problemas de costos asociados al cultivo y disposición de las algas. (METCALF, 1972)

3.4. Tratamiento Específico de Remoción de Fósforo

Los siguientes métodos se basan en la remoción de fósforo, basados en principio físicos de precipitación, cristalización y magnetismo.

3.4.1. Proceso de Cristalización

Este método fue presentado por Joko en 1984 y consiste en tratar el agua del tratamiento biológico con la cristalización del hidroxiapatito $Ca_5(OH)(PO_4)_3$. El principio de operación es sembrar cristales que contengan altos contenidos de iones Ca^{++} para lograr la cristalización del fósforo. Estas semillas pueden ser sintéticas de P_2O_5 o CaO . (RIBYCKI, 2004) La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Mediante la aplicación de este método se pueden alcanzar remoción de fósforo hasta de un 75% en aguas residuales que contengan de 1-4 ppm de fósforo.

Las ventajas que ofrece este método son que el producto final se puede aplicar directamente en la tierra como fertilizante y las desventajas son que es un proceso complejo y aumenta el contenido de cloruros.

3.4.2. Separación Magnética

La separación magnética fue propuesta en el año 1991 por Van Velsen, se basa en el principio de magnetismo, las partículas pueden ser separadas aplicando un campo magnético. El fósforo se debe encontrar en forma insoluble, lográndose

con la adición de químicos, y se deben agregar compuestos que aumenten las propiedades magnéticas, tal es el caso de Fe_3O_4 . (RIBYCKI, 2004)

Las ventajas que ofrece el método son alta eficiencia, módulo compacto y bajo requerimiento de energía. En la figura N° 17 se puede observar el proceso operacional.

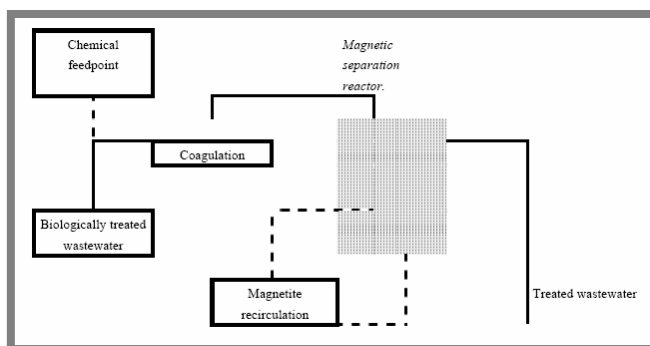
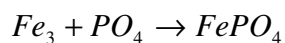
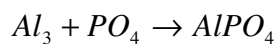


Figura N° 17. Proceso de remoción magnética de fósforo.

3.4.3. Precipitación Química

La precipitación química del fósforo en las aguas residuales se consigue mediante la adición de coagulantes con sales de aluminio o hierro, cal o polielectrolitos. Estos reaccionan con el fósforo para convertirlo de su forma soluble a insoluble para luego sedimentar. (METCALF, 1972)

Las reacciones de las sales de hierro y aluminio con los fosfatos son las siguientes:



Este proceso de precipitación química se puede realizar en la etapa de tratamiento primario o como una etapa por separado. Si se utiliza como ayudante en la etapa

primaria se logra remover la mayor cantidad de fósforo y el resto es asimilado por las bacterias. Si se quiere precipitar aun más el fósforo se agregan dosis de polímero en el tanque de oxidación, donde precipita el fósforo insoluble y es removido como parte del lodo activado en la etapa de sedimentación. (RIBYCKI, 2004)

3.4.4. Remoción Biológica de Fósforo

La remoción biológica de fósforo se lleva a cabo por bacterias facultativas gram negativas *Acinetobacter*, *Pseudomonas*. El proceso se lleva a cabo en dos etapas anaeróbica y aeróbica.

- ***Etapa anaeróbica***

Bajo las condiciones anaeróbicas las bacterias desprenderán fósforo en su forma soluble al agua y absorberán DBO. El fósforo liberado proviene de adenosintrifosfato (ATP), el cual está almacenado como energía en la parte interna de las bacterias. Las bacterias rompen los enlaces del ATP para obtener energía para absorber DBO. (SHARMAN, 1998)

- ***Etapa aerobia***

Seguida de la etapa anaeróbica las bacterias comienzan a oxidar la DBO almacenada a condiciones aeróbicas. Durante la etapa aeróbica las bacterias reconstruyen la energía ATP, para lograr esto remueven el fósforo soluble de las corrientes de agua residual. La tasa de remoción de fósforo soluble es alta. (SHARMAN, 1998)

3.5. Tratamiento Específico de Remoción de Nitrógeno

La presencia de nitrógeno en forma amoniacal en las aguas causa serios desequilibrios por causar eutroficación en las lagunas y embalses, consumir el oxígeno disuelto de las aguas receptoras, por ser corrosivo, y por exigir una demanda de cloro muy alta cuando se desinfectan los efluentes de una planta de tratamiento. (VULCANO, 2005)

Los siguientes métodos se basan en la remoción de nitrógeno, basados en principios físicos, químicos y biológicos.

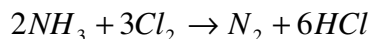
3.5.1. Cloración hasta el Punto de Quiebre

El método de cloración es el más utilizado, pero como el cloro reacciona con la materia orgánica en las aguas de desecho y en el agua superficial produce pequeñas cantidades de hidrocarburos cancerígenos. Otros desinfectantes como el ozono, el peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) y luz ultravioleta empiezan a ser empleados en algunos lugares, pero son más costosos que el de cloración. (ROMERO, 1999)

El proceso más utilizado para la desinfección del agua es la cloración porque se puede aplicar a grandes cantidades de agua. El cloro puede formar con el amoníaco las cloraminas que también tienen acción desinfectante. El peróxido de cloro también es capaz de oxidar a los fenoles.

El cloro tiene una acción tóxica sobre los microorganismos y actúa como oxidante sobre la materia orgánica no degradada y sobre algunos minerales. El cloro no esteriliza porque aunque destruye microorganismos patógenos no lo hace con los saprofitos. (RIBYCKI, 2004)

El proceso de cloración se lleva a cabo de la siguiente manera:



Para convertir 1 ppm de nitrógeno amoniacal se requieren aproximadamente 10 ppm de cloruro de sodio.

3.5.2. Intercambio Iónico

En éste proceso los iones de amonio son cambiados por iones de calcio y sodio presentes en un intercambiador insoluble. Es una forma de absorber el amonio hasta ser agotado, para luego ser regenerado. La resina de intercambio para nitrógeno amoniacal es natural y fácilmente regenerables con cal. Una vez agotada se procede a introducir cal, aumentando el pH, lo que trae como consecuencia que el ión amonio que se encuentra en la resina pasa a ser amoniaco. Este amoníaco es retirado en una torre de absorción para luego ser almacenado en un contenedor. (METCALF, 1972)

3.5.3. Absorción de Nitrógeno

Este método consiste en la conversión de los iones de amonio presentes en el efluente de una planta de tratamiento secundaria a amonio gaseoso, mediante la elevación del pH. Luego el efluente que contiene el amonio en forma gaseosa es pasado por una torre en donde el agua es agitada en presencia de grandes cantidades de aire que absorben el amonio de agua. (VULCANO, 2005; EPA, 2000)

3.5.4. Métodos Biológicos

La remoción biológica de nitrógeno se puede dar por asimilación y por nitrificación-denitrificación. En la figura N° 18 se ilustra el esquema.

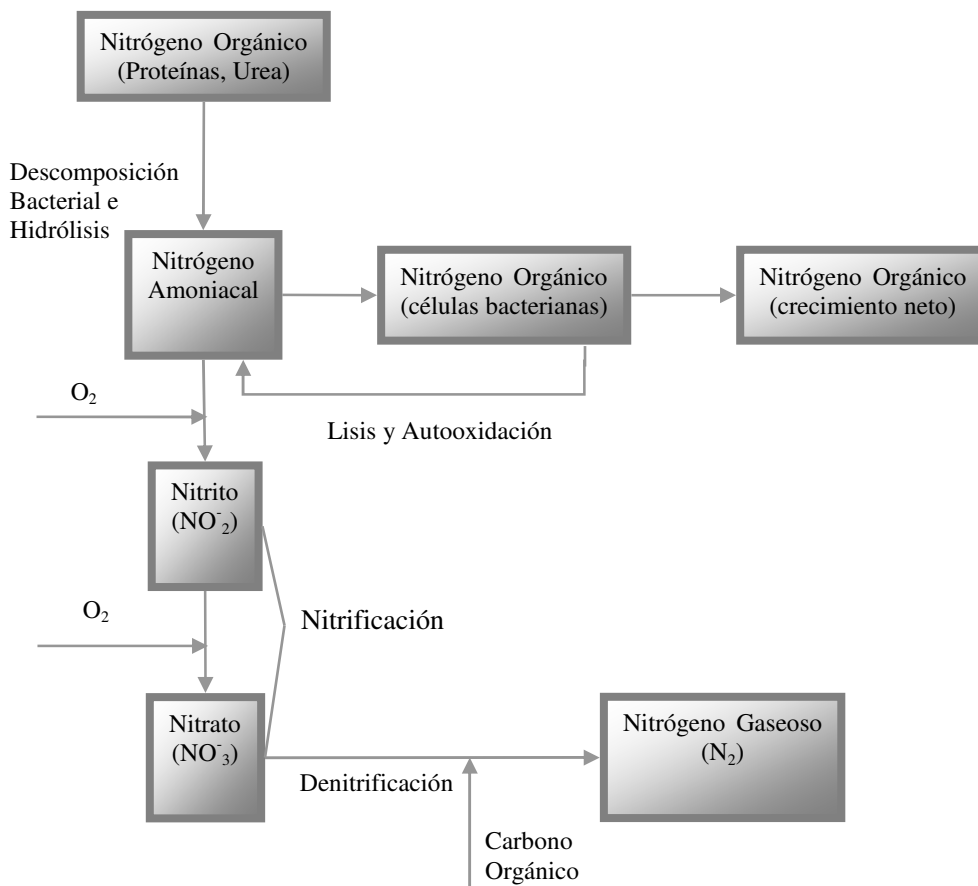


Figura N° 18: Proceso biológico de asimilación de nitrógeno, nitrificación y denitrificación

Fuente: Crites, "Sistemas de aguas residuales", 2000.

Proceso de Nitrificación-Denitrificación

Es un proceso biológico, el nitrógeno es convertido en nitritos y nitratos por acción de las bacterias del nitrógeno, hasta éste momento solo se eliminado el

consumo de oxígeno por parte del nitrógeno, aunque éste se encuentra allí pero en forma diferente. Los nitratos son convertidos por medios anaerobios a nitratos gaseosos y luego liberados a la atmósfera. (CRITES, 2000)

La remoción biológica del nitrógeno por medio de la nitrificación-denitrificación se puede llevar a cabo de tres formas:

- Oxidación del carbono en etapa separada, nitrificación-denitrificación.
- Oxidación combinada del carbono y nitrificación, y denitrificación en esta etapa separada.
- Oxidación combinada del carbono, nitrificación y denitrificación.

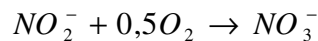
Nitrificación Biológica

El amoníaco se oxida en un proceso de dos pasos: primero a nitritos y luego a nitratos.

Conversión de amonio a nitritos



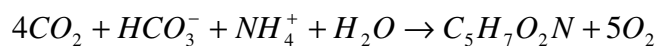
Conversión de nitrito a nitrato



Conversión global de amonio a nitrato



Asimilación del ión amonio por el tejido celular



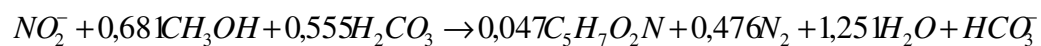
Denitrificación Biológica

La denitrificación se lleva a cabo a condiciones anóxicas, no existe entrada de oxígeno por lo tanto el oxígeno disponible se encuentra en compuestos en solución. Bajo estas condiciones los nitratos se convierten en nitrógeno gaseoso. (CRITES, 2000)

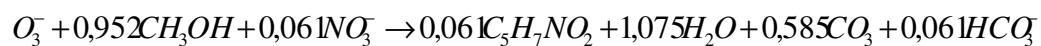
Remoción de nitratos



Remoción de nitritos



Remoción de oxígeno



Capítulo II

Marco Experimental

4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

A continuación se especificarán los equipos que serán empleados para alcanzar los objetivos del Trabajo Especial de Grado.

- Aparato de prueba de jarras
- Turbidímetro
- Medidor de pH
- Espectrofotómetro
- Digestor
- Destilador
- Materiales de Laboratorio

4.1. Aparato de Prueba de Jarras marca Velp modelo FP4

Este equipo fue desarrollado en 1918 y 1921 por Langelier y Baylis, separadamente. Está compuesto por agitadores de múltiple velocidad variable que generan turbulencia simultanea en todos los recipientes (Vaso de Precipitado). En la figura N° 19 se aprecia el aparato.

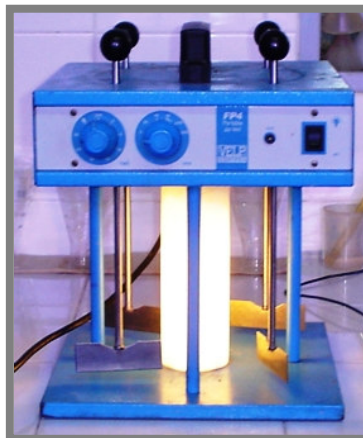


Figura N° 19. Aparato de Prueba de Jarras.

4.2. Turbidímetro La Motte modelo 2020

Es un equipo que mide la diseminación de la luz producida por las partículas coloidales que se encuentren en el sistema. La turbiedad, conformada por dichas partículas, se mide en unidades Nefelométricas de Turbiedad. A continuación se presenta una breve descripción del equipo, pudiéndose observar en la figura N° 20.



Figura N° 20. Turbidímetro.

4.3. Medidor de pH Hanna Instruments modelo HI 8424

Este equipo se emplea para determinar el logaritmo en base 10 de la concentración de iones H^+ en una solución, siendo este valor conocido como pH. El equipo es portátil, consta de un electrodo y de un sensor de temperatura



Figura N° 21. Medidor de pH.

4.4. Espectrofotómetro Espectronic 20 Milton Roy Company



Figura N° 22. Espectrofotómetro.

Es un instrumento que mide el cantidad de luz a una longitud onda específica que pasa a través de un medio. Según la ley de Beer, la cantidad de luz absorbida por un medio es proporcional a la concentración del material absorbente o soluto presente. De esta manera la concentración de un soluto coloreado puede ser determinada en el laboratorio mediante la medición de la absorbancia de la luz a una longitud de onda dada. La longitud de onda, λ , es medida en nm y por lo general se utiliza la que corresponde a la máxima absorción del soluto.

4.5. Equipos de Digestión y Destilación

En la determinación del Nitrógeno Total Kjendahl se necesitan dos equipos fundamentales, digestor y destilador. El digestor se utiliza para convertir el Amonio-Nitrógeno Orgánico en Tiosulfato de Sodio, empleando como catalizador sulfato de potasio y de mercurio

Una vez descompuesto el Amonio es destilado en presencia de un medio alcalino y recogido en Acido Bórico. El Amonio es determinado por titulación con una solución ácida estandarizada. En la figura N° 23 se puede observar el quipo de destilación.



Figura N° 23. Destilador de Nitrógeno Total Kjendahl.

4.6. Materiales de Laboratorio

En el desarrollo del Trabajo Especial de Grado se requieren materiales de laboratorio para realizar cada una de los análisis establecidos en la metodología. Estos materiales son beakers, erlenmeyer, balones aforados, pipetas, buretas, planchas de calentamiento, entre otros.

5. METODOLOGÍA

En esta sección se presenta la metodología a aplicar para alcanzar los objetivos establecidos. Las estrategias establecidos para este trabajo especial de grado son identificar las fuentes que generan aumento en la concentración de los nutrientes fósforo y nitrógeno, identificación de red de alcantarillado, selección de puntos de toma de muestra, tipo de muestreo e identificación de equipos y etapas de tratamiento.

El proceso productivo genera corrientes de agua en los alcantarillados con distintas propiedades y contaminantes. Para poder atacar el problema que se presenta en el afluente es necesario caracterizar cada corriente de manera de plantear soluciones que permitan realizar modificaciones en el pre-tratamiento y sistema de tratamiento que disminuyan el impacto que el efluente tiene en los cuerpos de agua receptor.

Una vez determinadas las corrientes y puntos de interés se procederá a realizar pruebas de variación de concentraciones de químicos, flujo de aire y presión en la etapa primaria para optimizar el sistema y evaluar la eficiencia de la misma.

5.1. Reconocimiento del Área de Trabajo: en esta fase del proyecto se espera conocer el proceso productivo de la empresa, áreas de servicio y planta de tratamiento de aguas residuales. Dentro de este punto se pretende analizar las corrientes de agua y el uso de las mismas, evaluando las variables que afectan el tratamiento de aguas residuales. Adicionalmente, familiarizarse con los análisis que se le realizan a las aguas y con los equipos empleados para ello.

5.2. Caracterización Físico-Química de los Puntos de Interés: las aguas residuales se pueden caracterizar determinando los siguientes parámetros según los métodos estándar WPCF-APHA: Demanda Química de Oxígeno, Sólidos

Totales, Sólidos Suspendidos Totales, pH, Fósforo total, Ortofosfatos, Nitrógeno Total Kjendahl y Cloruros.

Es importante esta evaluación debido a que se pueden obtener datos de interés que ayuden a identificar fuentes de alto aporte de manera de actuar sobre las mismas para disminuir los niveles de contaminantes. Así mismo se puede generar un balance de masa que prediga el comportamiento durante el tratamiento del afluente.

5.3. Estudio de Variación del Caudal de Entrada: En este punto se debe hacer un análisis estadístico de la variación de caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas versus la cantidad de cerdos beneficiados por día. Este análisis se hará de la siguiente manera:

- Se realizará un análisis de la planificación de la semana en cuanto a recepción de cerdos y cantidad a beneficiar.
- Analizar el consumo agua con respecto a cada zona de la planta y evaluar el impacto en la entrada del tratamiento de aguas de manera de predecir o ajustar las variables necesarias en cada etapa del proceso.
- Obtener los datos estadísticos de los requerimientos de agua en cada etapa del proceso productivo y de servicio de la planta.
- Registrar las lecturas diarias del caudalímetro para evaluar estadísticamente la variación de caudal de entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Este estudio dará un información importante que será utilizada para ajustar la dosis de los productos químicos utilizados en la planta de tratamiento de agua, así como se podrán determinar las horas pico de producción que alteran tanto la composición como el caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas.

5.4. Determinación de las corrientes de mayor aporte de contaminantes y puntos de interés: en esta sección se pretende hacer un seguimiento más profundo de las distintas corrientes que descargan en la planta de tratamiento de aguas residuales. Para ellos se seguirá el siguiente procedimiento:

- Identificar mediante el empleo de planos de aguas negras de la planta las distintas corrientes, los puntos de mezcla y la procedencia de cada una.
- Realizar un muestreo primario para identificar el aporte de cada corriente, esto se hará tomando muestras cada 3 horas en cada sitio determinado en el punto anterior. Cabe destacar que la toma de muestras será compuesta, se tomará en los alcantarillados y se realizará por espacio de 2 días no continuos.
- Una vez caracterizadas las corrientes se procede a seleccionar los punto más importantes de a estudiar según los datos arrojados. Para ello se hará un muestreo compuesto que consistirá en tomar muestras cada hora, realizando los análisis de la mezcla, planteados en la sección anterior de la metodología, de todas las muestras de manera de obtener una composición aproximada del comportamiento cada corriente durante el día. Este análisis se hará por espacio de 5 días no continuos.

Las actividades anteriores se harán durante la jornada de producción y las siguientes se realizarán en el horario de higienización. *Nota: la evaluación de las muestras tomadas en el horario nocturno serán realizadas al día siguiente tomando provisiones para la conservación de las mismas.*

- Se evaluará la composición del agua proveniente de la higienización para determinar el impacto que tiene en la planta de tratamiento.

- Las muestras se tomarán diariamente cada hora en el horario de higienización. Es importante mencionar que las muestras se tomarán a la entrada de la planta y no en las distintas corrientes debido a que los productos que se utilizan en las distintas zonas no varían.
- Se analizarán principalmente las concentraciones de fósforo total, nitrógeno y sólidos, a su vez se registrará el pH de la muestra identificando la variaciones que pueda sufrir la corriente de entrada y el impacto que genera en la planta.

5.5. Evaluación de la Etapa Primaria del Tratamiento: en este punto se pretende evaluar el funcionamiento de esta etapa según los resultados en el punto anterior e identificar las variables que afectan el funcionamiento de la etapa, que puedan ser manipulados.

En esta etapa se persigue lo siguiente:

- Obtener la dosis óptima de polímero para el sistema tomando en cuenta las variaciones de caudal y composición del afluente crudo.
- Analizar el comportamiento de la etapa y compararlo con los resultados obtenidos en la prueba de jarra según los análisis físico-químico.
- Determinar el flujo de aire y presión óptima para el funcionamiento del equipo.
- Evaluar el impacto que tiene en la salida del clarificador.

5.6. Análisis de Resultados: en esta sección se espera concluir sobre lo siguiente:

- Discutir sobre el aporte de cada corriente a la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Concluir sobre la eficiencia del proceso de higienización y su aporte en contaminantes a la planta.

- Señalar las variables que afectan mayormente la calidad del efluente, así como el grado de aporte de nutrientes.
- Discutir sobre las dosis de químicos a emplear en la etapa primaria de tratamiento.
- Establecer relaciones de dosificación de químicos y ajuste de variables según el caudal de entrada y cerdos a beneficiar.
- Analizar según los resultados obtenidos los tratamientos terciarios que mejor se ajustan al proceso de tratamiento de aguas y cuales son los más factibles a corto plazo.

5.7. Redacción y Presentación de Informe.

6. PLAN DE EXPERIENCIAS

En esta sección se describirán los pasos a seguir para la elaboración del proyecto.

6.1. Estudio de Variación del Caudal de Entrada

Para evaluar la variación del caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos: planificación semanal de producción, consumo de agua por cerdo beneficiado, requerimiento de agua por áreas de servicio.

Una vez conocidos estos datos se procederá a evaluar el caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales de Matadero Plumrose.

6.1.1. Obtención de Datos

El caudal de agua que entra a la planta de tratamiento pasa por un caudalímetro en el cual se registra la cantidad de metros cúbicos que pasan diariamente. Para llevar un registro del volumen de agua se lee cada 3 horas el valor registrado en la pantalla del caudalímetro y se anota en un formato. El Caudal que entra diariamente a la planta se obtiene al restar la última y la primera lectura para luego dividirlo entre las horas de producción.

$$Q_E (m^3 / día) = \frac{L_f - L_i}{t_p} \quad (\text{Ec.3})$$

Otro dato importante es la cantidad de cerdos beneficiados diariamente, ya que el mayor consumo de agua proviene del área de matanza y tripería. Cada cerdo consume un promedio de 350 litros de agua, siendo este dato de importancia para establecer relaciones de volumen de agua que entra a la planta versus cantidad de cerdos beneficiados. El volumen de agua total consumido durante la matanza y desviscerado se calcula de la siguiente forma:

$$V_A = \frac{Q_A}{N^{\circ} \text{ de } _ \text{Cerdos } _ \text{Beneficiados}} \quad (\text{Ec.4})$$

6.1.2. Análisis Estadístico de Variación de Caudal

Los datos obtenidos en la esta etapa del proyecto serán evaluados según el método estadístico de gráficas de control, donde se verificará si el proceso está en control y es predecible.

6.2. Caracterización de las Aguas

La caracterización de las aguas es de gran importancia debido a que se pueden evaluar los parámetros e identificar cualquier anomalía en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Esta caracterización consiste en hacer los siguientes análisis: Fósforo Total, Ortofosfatos, Nitrógeno Total, Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos, pH y Cloruros.

A continuación se presentan los métodos estándar (1997) empleados para la determinación de los compuestos en aguas residuales.

Tabla N° 11 . Métodos Estándar

Compuestos	Método Estádar
Fósforo Total	4500-PE. Método Ácido Acórbico
Nitrógeno Total Kjeldahl	4500-Norg.B Macro Kjeldahl
Sólidos Totales	2540 B Sólidos Totales
Sólidos Suspendidos Totales	2540 D Sólidos Suspendidos Totales
pH	4500-H B

6.3. Evaluación de Corrientes que Descargan en el Sistema de Tratamiento de Aguas

Existen tres corrientes principales que descargan a la planta de tratamiento de aguas residuales de Matadero Plumrose. Cada una de las corrientes es alimentada por pequeñas corrientes provenientes de zonas específicas del proceso productivo.

En esta sección se deben identificar cada una de las corrientes, así como la procedencia de las mismas de manera de evaluar cada una para obtener una caracterización en cuanto a componentes se refiere. Adicionalmente se determinarán las corrientes que aportan mayor contenido de nutrientes y contaminantes.

6.4. Determinación y Evaluación de Puntos y Corrientes de Interés

Para identificar el aporte de cada corriente y determinar los puntos críticos se debe seguir el siguiente procedimiento:

6.4.1. Proceso de Matanza, Picada y Desposte:

- a) Identifique las corrientes, procedencia y punto de toma de muestra.
- b) Tome una muestra simple en cada punto seleccionado para este fin cada tres horas.
- c) Caracterice la muestra según los procedimientos mencionados en la sección 6.2 de caracterización de aguas.
- d) Repita el procedimiento 2 veces y analice los resultados obtenidos.
- e) Una vez analizados los resultados e identificadas las fuentes de aporte de contaminantes y nutrientes proceda a realizar un muestreo de cada corriente de interés cada hora y se analizará la muestra compuesta de todas la muestras tomadas en el día.
- f) Repita el paso e) por espacio de 5 días.

Al concluir el estudio de las corrientes se debe concluir sobre posibles modificaciones y/o correcciones que se puedan realizar en el proceso productivo para disminuir las concentraciones de los contaminantes. En el caso que se puedan realizar modificaciones se debe realizar un muestreo para verificar el porcentaje de reducción de nutrientes y contaminantes obtenido.

6.4.2. Proceso de Higienización:

- a) Realice un muestreo cada hora por espacio de 5 días del agua que entra a la planta de tratamiento de aguas residuales.
- b) Registre el pH de cada muestra y proceda a refrigerarlas para evitar su descomposición.
- c) Caracterice todas las muestras al día siguiente a primera hora para evitar alteraciones en los resultados.

- d) Realice un análisis de los resultados obtenidos y verifique la composición de cada detergente, así como la concentración y cantidad utilizada.

6.5. Evaluación del Sistema de Flotación por Aire Disuelto.

A continuación se presentan los puntos a evaluar:

- Variación del flujo de aire
- Variación de la presión de operación.
- Variación de la dosis de coagulante.
- Variación de la dosis de floculante.

6.5.1. Variación del Flujo de Aire.

En este punto se pretende determinar el flujo de aire óptimo para obtener una buena separación sólido líquido. El procedimiento para la determinación del flujo óptimo es el siguiente:

- a) Ajustar el flujo de aire en 20 gpm.
- b) Tomar muestras compuestas de agua a la entrada y a la salida del DAF por un espacio de un día.
- c) Caracterizar las muestras según el procedimiento descrito en la sección 6.2.
- d) Repetir los pasos a), b) y c) aumentando cada vez el flujo de aire en 20 gpm hasta llegar a 80 gpm.

Nota: este procedimiento se repetirá 3 veces por cada flujo para obtener resultados más representativos.

Los resultados obtenidos se analizarán para identificar el rango de flujo de aire que arroja los mejores resultados.

6.5.2. Variación de la Presión de Operación

La presión juega un papel fundamental en el sistema de flotación, este punto se pretende determinar la presión óptima de operación que permita que el equipo tenga un mejor desempeño en cuanto a remoción de nutrientes se refiere. El procedimiento es el siguiente:

- a) Ajustar la presión de operación en 60 psi.
- b) Tomar muestras compuestas de agua a la entrada y a la salida del DAF por un espacio de un día.
- c) Caracterizar las muestras según el procedimiento descrito en la sección 6.2.
- d) Repetir los pasos a), b) y c) aumentando cada vez la presión en 10 psi hasta llegar a 90 psi.

Nota: este procedimiento se repetirá 3 veces para cada presión de operación para obtener resultados más representativos.

6.5.3. Variación de la Dosificación de Coagulante.

La concentración de coagulante es de suma importancia para remover gran parte de los sólidos del agua residual. Para evaluar el impacto que tiene esta variable se procederá a realizar el siguiente procedimiento.

- a) Ajustar la dosis de coagulante a una concentración de 100 ppm.

- b) Tomar muestras compuestas de agua a la entrada y a la salida del DAF por un espacio de un día.
- c) Caracterizar las muestras según el procedimiento descrito en la sección 6.2.
- d) Repetir los pasos a), b) y c) aumentando cada vez la concentración en 50 ppm hasta llegar a 300 ppm.

Nota: este procedimiento se repetirá 3 veces por cada aumento en la concentración para obtener resultados más representativos.

6.5.4. Variación de la Dosificación de Flocculante.

El flocculante es un químico que tiene una importancia vital en el tratamiento físico-químico de las aguas residuales. Para evaluar el impacto que tiene esta variable se procederá a realizar el siguiente procedimiento.

- a) Ajustar la dosis de coagulante a una concentración de 1 ppm.
- b) Tomar muestras compuestas de agua a la entrada y a la salida del DAF por un espacio de un día.
- c) Caracterizar las muestras según el procedimiento descrito en la sección 6.2.
- d) Repetir los pasos a), b) y c) aumentando cada vez la concentración en 1 ppm hasta llegar a 3 ppm.

Nota: este procedimiento se repetirá 3 veces por cada aumento en la concentración para obtener resultados más representativos.

6.6. Prueba de Jarras

Este análisis consiste en determinar la dosis óptima de polímeros que permite la desestabilización de las partículas coloidales, aglomeración y por ende la remoción de los sólidos mediante un tratamiento físico. Para la realización de este análisis se requiere un equipo de jarras, cuatro beakers de 1000 ml y una inyectora de 1 ml.

Toma de Muestra:

El punto de muestreo debe estar ubicado en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales. La muestra de agua cruda debe ser representativa, en un recipiente limpio y de capacidad mayor a 15 litros. *Nota: el análisis se debe realizar inmediatamente seguido a la toma de la muestra.*

6.6.1. Preparación del Polímero Floculante Aniónico (MQ-297)

El polímero viene en sacos de 25 Kg, para su uso es necesario preparar la solución al porcentaje recomendado por el fabricante 0,1%. Para preparar la solución es necesario contar con un recipiente de dilución, un dilutor o venturi y un sistema de agitación. A continuación se presenta el procedimiento a seguir para hacer la dilución del polímero.

- a) Pesar 200g de polímero floculante.
- b) Llenar el tanque, en el que se va a preparar la solución, hasta un cuarto de su capacidad de agua.
- c) Encender el equipo de agitación.
- d) Agregar 50 g del polímero en el dilutor.

- e) Continuar con el llenado del tanque, incorporando continuamente polímero en el dilutor hasta completar 200 l de solución.

Nota: Se debe evitar la formación de aglomerados de polímero en el tanque, ya que esto ocasiona el hinchamiento del polímero, lo que se traduce en la pérdida de efectividad del mismo.

6.6.2. Selección de la Dosis

Para obtener una buena separación de sólidos en el tratamiento primario es necesario ajustar la dosis de polímero coagulante y floculante de manera de cubrir los requerimientos del proceso. A su vez es importante debido a que tanto la concentración de contaminantes como el caudal varían constantemente en el transcurso del día.

Es importante determinar la dosis óptima de los polímeros y para ello se realizan pruebas de jarra. Para realizar esta prueba se deben tomar 4 dosis distintas de polímero coagulante y para ello se toma como base la concentración que provee la dosis actual. Las cuatro dosis se dividen de la siguiente forma: la primera se toma como la actual, la segunda y la tercera se toman 50 y 100 ppm por encima del valor actual de concentración y el cuarto se toma 50 ppm por debajo de la concentración actual.

La dosificación depende de la concentración a la que se encuentran los polímeros, es decir, si el polímero esta concentrado, 1 ml en una solución de 1000ml tendrá una concentración de 1000 ppm. Si se encuentra diluido al 0,1% significa que 1 ml es equivalente a una concentración de 1 ppm.

Procedimiento:

- a) Llenar con el agua de muestra cuatro beakers de 1000 ml.
- b) Colocar cada uno de los beakers en el equipo de Jarras.
- c) Introducir en cada uno de los beakers el agitador correspondiente.
- d) Encender el equipo presionando el botón de encendido y el de la luz.
- e) Graduar la velocidad de agitación a 150 rpm.
- f) Agregar la dosis de coagulante calculada para cada uno de los beakers y continuar agitando por 1 min.
- g) Añadir la misma cantidad de floculante en cada beaker y disminuir la velocidad de agitación a 20 rpm.
- h) Transcurridos 30 segundos de la dosificación de floculante se apaga el equipo y se deja reposar por 15-30 min.
- i) Al cabo de este tiempo se procesa a evaluar los resultados obtenidos en cuanto a tamaño del floc, pH y turbidez del sobrenadante.

Una vez seleccionada la dosis de coagulante que arroja mejores resultados se procede a realizar la misma prueba, pero esta vez variando la concentración del polímero floculante. Esto con el fin de determinar la dosis óptima de floculante.

Cabe destacar que esta prueba o ensayo de Jarras se debe realizar con muestras compuestas de manera de evaluar la dosis óptima diaria.

Capítulo III
Resultados y Discusión

7. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas para determinar las fuentes de nutrientes, corrientes de interés y de la evaluación de sistema de flotación por aire disuelto.

7.1. Evaluación de las Corrientes que Descargan en la PTAR

El proceso productivo de Matadero Plumrose es muy sencillo, ya que consta básicamente de 4 subprocesos. El primer proceso, que es el punto de partida para los otros, es la matanza, seguido por picada y desposte de cerdos, marinado de productos Food Service y producción de manteca.

En cada uno de estos subprocesos se producen desechos que son descargados al sistema de alcantarillado. Estos desechos aportan cantidades importantes de nutrientes al efluente, razón por la cual se realizó un estudio aguas arriba del proceso de tratamiento de aguas residuales.

Selección de Corrientes de Interés

En la evaluación realizada con la finalidad de determinar las corrientes que aportan mayor cantidad de nutrientes al afluente de la planta se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 11. Aporte de corrientes de producción en Fósforo Total a la PTAR.

Corrientes	Fósforo Total				
	Concentración Promedio (ppm)	Desviación Estándar, σ	Caudal (m ³ /Día)	Flujo Másico (Kg/Día)	Porcentaje (%)
Lavado de Camiones	34,040	1,174	32	1,089	6,1
Mantequera	13.360	1.329	16	0.215	1.2

Continuación Tabla N° 11					
Faena Limpia Matanza	6,370	0,580	55	0,350	2,0
Tripería	20,520	2,192	56	1,149	6,6
Picada y Desposte	14,495	3,203	15	0,217	1,3
Faena Sucia Matanza	40,750	3,408	313	12,755	73,4

En la tabla N° 11 se observa el aporte global de fósforo de las corrientes del área de producción. De las 6 corrientes se puede observar que la faena sucia de matanza es la que tiene un mayor aporte en flujo másico de fósforo con un 73,4%. Las corrientes que le siguen en aporte diario son tripería y lavado de camiones con un 6,6 y 6,1% del fósforo total del sistema. Las otras corrientes evaluadas en este proyecto en sumatoria aportan tan solo un 4,5% del total lo que indica que la tendencia del afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Matadero debe ser muy parecida al de Faena Sucia de Matanza.

La siguiente tabla muestra el aporte en Nitrógeno Total Kjeldahl que aportan las corrientes del área de producción al afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tabla N° 12. Aporte de corrientes de producción en Nitrógeno Total a la PTAR.

Corrientes	Nitrógeno Total				
	Concentración Promedio (ppm)	Desviación Estándar, σ	Caudal (m ³ /Día)	Flujo Másico (Kg/Día)	Porcentaje (%)
Lavado de Camiones	182,0	9,9	32	5,824	4,4
Mantequera	154,0	9,9	16	2,479	1,9
Faena Limpia Matanza	192,5	14,8	55	10,588	8,1
Tripería	210,0	9,9	56	9,660	7,4

Continuación Tabla N° 12					
Picada y Desposte	259,0	9,9	15	3,885	3,0
Faena Sucia Matanza	307,5	64,3	313	96,248	73,5

Esta tabla muestra aportes importantes de nitrógeno, al igual que con el fósforo total, el mayor aporte en porcentaje global de NTK lo tiene la corriente de faena sucia de matanza con un 73,5%. Las corrientes que le siguen a faena sucia son tripería y faena limpia de matanza con un 7,4% y 8,1% respectivamente. Este comportamiento indica que el afluyente de la planta de tratamiento de aguas residuales se ve notoriamente afectado por la etapa inicial del proceso productivo. Cualquier cambio en la velocidad de matanza de cerdos y/o variación de la planificación de matanza diaria afectará directamente las concentraciones de NTK en la PTAR.

La corriente correspondiente al lavado de camiones que transportan cerdos vivos se realiza en una instalación cercana a recepción de cerdos. A pesar que no forma parte importante del proceso productivo, el destino de esta corriente es la planta de tratamiento de aguas residuales. La finalidad de evaluar esta corriente aparte de determinar su contenido en fósforo y nitrógeno era básicamente para obtener data con respecto al funcionamiento de la estación de lavado, que consiste en una cesta de recolección de sólidos tales como semillas y heces.

El aporte de esta corriente es considerable pero no constante durante el transcurso del día, ya que el horario de recepción de cerdos comienza a las 6:00 pm y termina a las 8:00 am. Aunque este horario está establecido pueden haber variaciones durante el día por imprevistos o requerimientos de materia prima por parte de UEN Embutidos.

Los sólidos son el último parámetro contemplado para descartar corrientes del estudio del comportamiento de las corrientes de interés son los sólidos totales.

Tabla N° 13. Aporte de corrientes de producción en Sólidos Totales a la PTAR.

Corrientes	Sólidos Totales				
	Concentración Promedio (ppm)	Desviación Estándar, σ	Caudal (m ³ /Día)	Flujo Másico (Kg/Día)	Porcentaje (%)
Lavado de Camiones	880,0	84,9	32	28,160	1,9
Mantequera	1075,0	77,8	16	17,308	1,2
Faena Limpia Matanza	2245,0	304,1	55	123,475	8,5
Tripería	2330,0	565,7	56	107,180	7,4
Picada y Desposte	1950,0	212,1	15	29,250	2,0
Faena Sucia Matanza	3145,0	42,4	313	984,385	67,7

En la tabla se puede apreciar que el comportamiento es similar a los parámetros discutidos anteriormente. Faena Sucia de Matanza, con un 67,7% es la corriente que tiene mayor aporte de sólidos al sistema de tratamiento de aguas residuales seguido por tripería y faena limpia con un 7,4 y 8,5 % respectivamente.

Las caracterizaciones realizadas a las corrientes de producción arrojaron como resultado que las corrientes a estudiar con mayor profundidad, debido a su aporte global al afluente de la PTAR son Faena Sucia de Matanza, Tripería y Picada y Desposte. A pesar que la corriente de Faena Limpia de Matanza tiene valores ligeramente por encima de los de Picada y Desposte se seleccionó como corriente de estudio debido a que es parte esencial del proceso productivo. Adicionalmente las variaciones de los parámetros de faena limpia pueden ser absorbidas por la corriente de faena sucia de matanza.

Evaluación de Corrientes de Interés

La segunda etapa de la evaluación de las corrientes que descargan en la planta de tratamiento de aguas residuales de Matadero Plumrose, consiste en conocer el comportamiento que tiene cada una y en qué grado afecta cualquier variación que pueda ocurrir sobre el tratamiento de aguas.

A continuación se presentan las gráficas correspondientes al comportamiento de cada corriente con respecto a los distintos parámetros que se quieren evaluar.

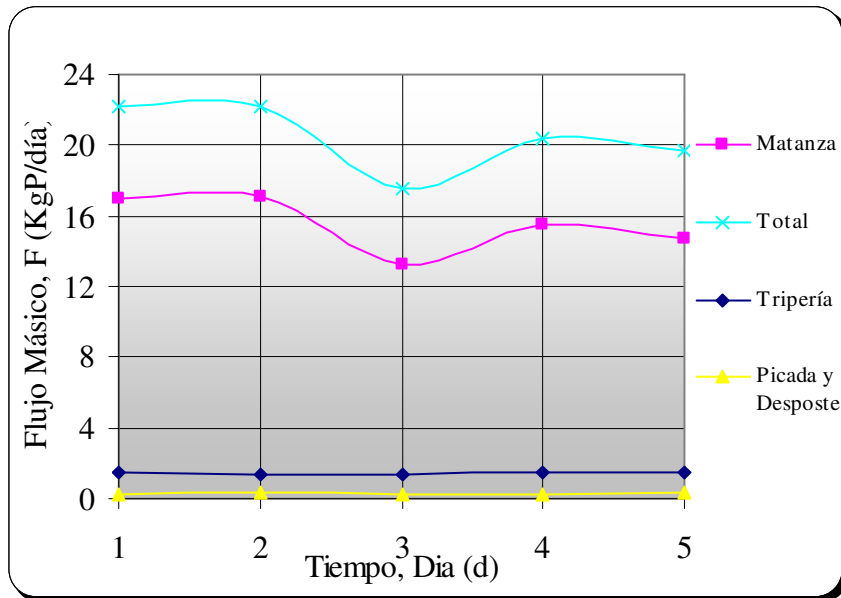


Figura N° 24. Aporte de Fósforo Total de las corrientes de interés al afluyente de la PTAR.

La figura N° 24 muestra el aporte de cada corriente en un día al afluyente de la PTAR. La tendencia del total de fósforo, en kilogramos, que entra a la planta de tratamiento de aguas está muy influenciada por la corriente de matanza. Esta tendencia es lógica, ya que el mayor aporte lo tiene la corriente de matanza, correspondiendo con la realidad debido a que la mayor cantidad de desechos cárnicos y sangre fluyen por esta corriente.

Las corrientes de tripería y picada y desposte aportan menos del 10 % del total día, lo que corrobora que para este parámetro la única influencia es la corriente de faena sucia de matanza (caudal y concentración de fósforo).

En la figura N° 25 se aprecia mejor la variación del aporte de fósforo al sistema de tratamiento que tienen las corrientes provenientes de tripería y desposte y picada.

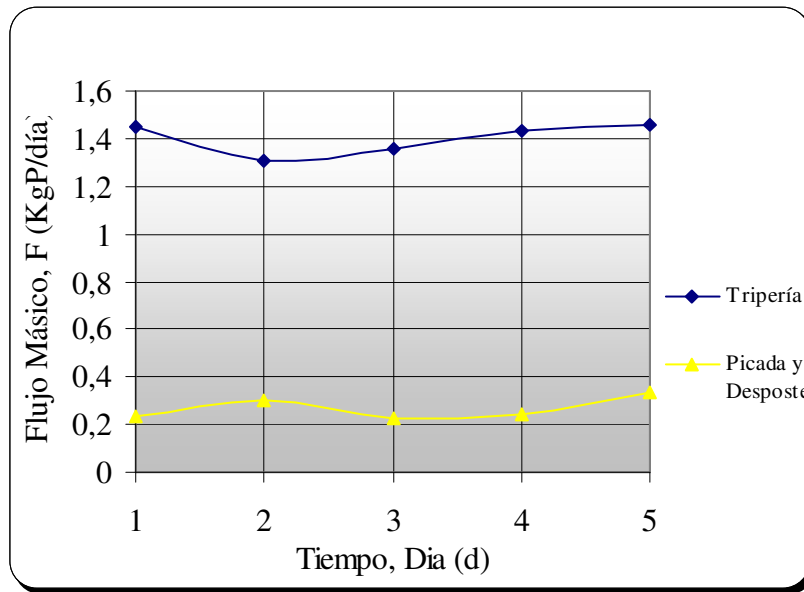


Figura N° 25. Comparación de aporte de fósforo Total entre dos corrientes de interés.

En la figura N° 25 se puede detallar el comportamiento de la corriente de tripería y la de picada y desposte. Las curvas tienen tendencia distinta, es decir, mientras una va en ascenso la otra va en descenso. Este comportamiento se puede explicar de la siguiente manera, la actividad de picada y desposte de cerdo se realiza al día siguiente de la matanza, ya que la carne necesita cierto tiempo para enfriarse y por ende endurecerse para realizar los cortes. La actividad de limpieza de vísceras se realiza el mismo día de la matanza del cerdo y es prácticamente paralelo a la matanza. Las muestras se tomaron el mismo día dando como resultado tendencias distintas y en este caso opuestas por la diferencia en cantidad de cerdo día y velocidad de matanza.

La siguiente gráfica representa el comportamiento de las corrientes de interés con respecto al aporte de Nitrógeno Total Kjendahl (NTK) al agua a tratar.

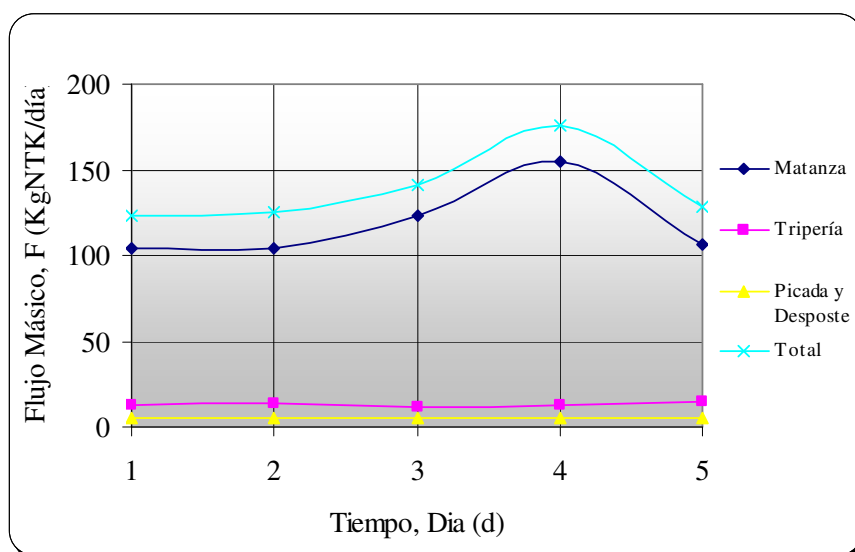


Figura N° 26. Aporte de Nitrógeno Total de las corrientes de interés al afluente de la PTAR.

Se puede observar claramente que la corriente que tiene mayor incidencia en la concentración de Nitrógeno en el afluente es la corriente de matanza. El comportamiento de la curva del flujo másico total de nitrógeno se asemeja a la de matanza, de manera que la cantidad de NTK en afluente de la planta es directamente proporcional al contenido en la corriente de matanza.

Las corrientes de tripería y picada-desposte tienen una baja contribución en nitrógeno total y afectan muy poco la concentración en la el agua residual de entrada a la planta. El comportamiento de estas corrientes se ve con más claridad en la siguiente figura.

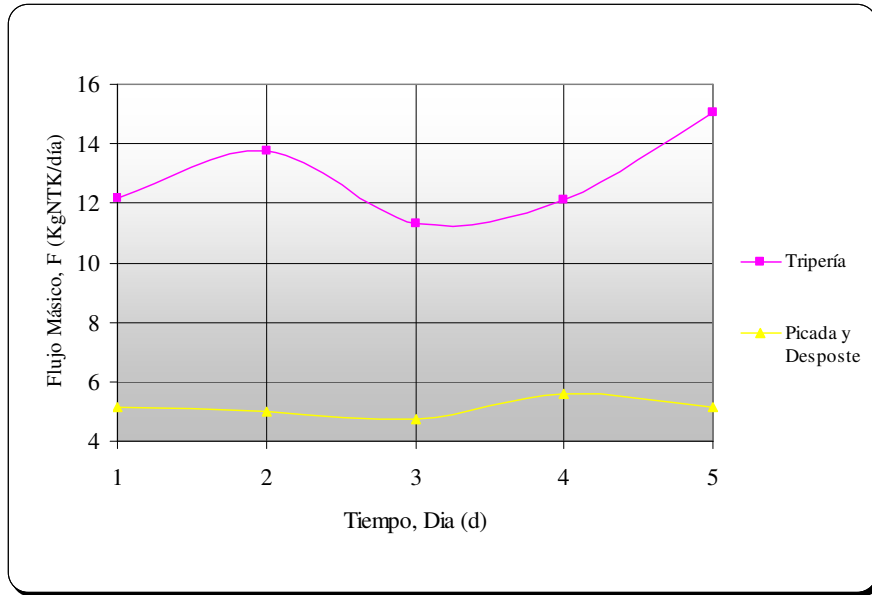


Figura N° 27. Comparación de aporte de Nitrógeno Total entre dos corrientes de interés.

En la figura N° 27 se observa nuevamente la diferencia entre los comportamientos de las corrientes de producción. Tal como se pudo apreciar en el gráfico de Fósforo Total, el comportamiento está influenciado por la cantidad de cerdos procesados en cada día.

Los días 2, 3 y 4 presentan un comportamiento similar, ya que la cantidad de cerdos beneficiados y cerdos despostados fue constante durante estos días.

Los sólidos totales están comprendidos por los sólidos disueltos y suspendidos. Muchos iones de metales están contenidos en las aguas, así como grasa, aceites, compuestos varios, sólidos de origen orgánico.

Es necesario determinar la cantidad de sólidos existentes en las corrientes para estimar la concentración inicial en el proceso de tratamiento de aguas, así como controlar el proceso físico-químico y biológico, de manera de obtener un efluente con una mejor calidad.

En la figura que se presenta a continuación se puede observar el comportamiento que tiene el flujo másico de sólidos totales para 5 días de evaluación de las corrientes de interés.

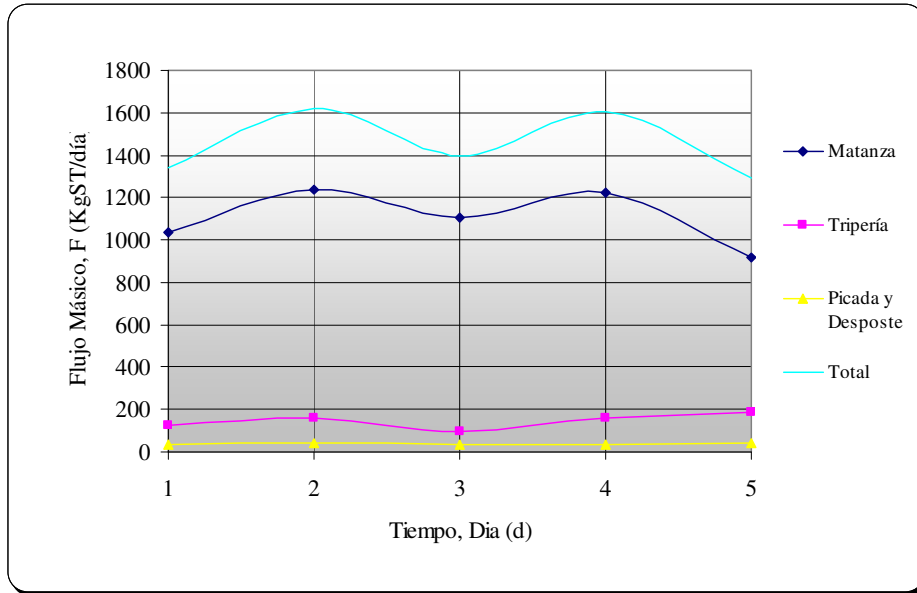


Figura N° 28. Aporte de Sólidos Totales de las corrientes de interés al afluente de la PTAR.

La variación que se aprecia entre las corrientes de matanza y tripería es aproximadamente igual en porcentaje, para cada día, a la obtenida para la curva del total de sólidos que entra a la planta de tratamiento de aguas residuales. Esto hace que se retome la idea que los parámetros evaluados dependen directamente de la cantidad de cerdo beneficiados cada día.

En la siguiente figura se observa con mayor detalle el comportamiento de los sólidos totales aportados por la corriente de picada-desposte.

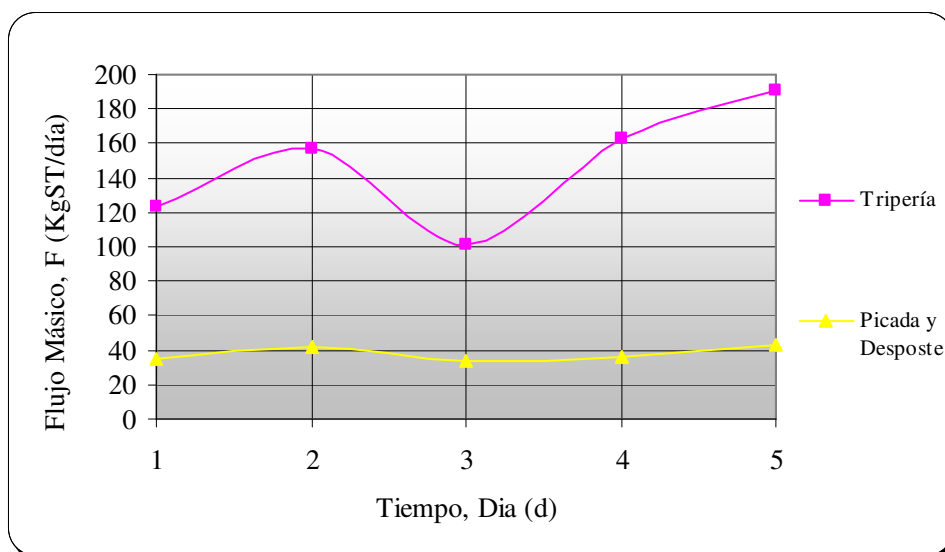


Figura N° 29. Comparación de aporte de Sólidos Totales entre dos corrientes de interés.

La corriente de picada-desposte no presenta una variación muy grande en comparación a la corriente de tripería. La desviación estándar de la corriente de picada-desposte es de 4,14 y la de tripería es 35,28 lo que evidencia que los sólidos finos no provienen de la zona de picada y desposte sino de la etapa primaria de Matadero que es matanza y limpieza de vísceras blancas y rojas (tripería).

Al realizar la limpieza de los intestinos y estómago de los cerdos se quedan retenidos en el agua de lavado los sólidos contenidos en estos. Siendo en su mayoría sólidos orgánicos provenientes de la comida que queda sin digerir o medio digerida. Como los sólidos en esta etapa son orgánicos aumentan las concentraciones de fósforo y nitrógeno en la corriente.

Los desechos o restos de carne que quedan en los puestos de trabajo del área de producción aportan pequeñas cantidades de sólidos finos y los sólidos gruesos se quedan atrapados en las trampas dispuestas para tal fin. Igualmente los sólidos que llegan a atravesar las trampas son desmenuzados por las bombas de la PTAR ocasionando un aumento de carga orgánica en las aguas y

por ende un aumento de sólidos totales en el sistema. Por esta razón, aunque los valores que aporta la corriente de picada-desposte son bajos pueden incrementarse luego de la estación de bombeo.

Los sólidos suspendidos en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales tienen un comportamiento que esta directamente relacionado con la corriente de matanza (ver figura N° 30). Los desechos del área de matanza son desechos finos en comparación a los obtenidos en las corrientes de tripería y picada-desposte. Estos desechos están constituidos básicamente por sangre, pedazos pequeños (diámetro menor a 0,5cm) de carne y pequeñas porciones de pelo. Debido a su tamaño y forma atraviesan fácilmente las trampas colocadas para atrapar sólidos grandes y producen concentraciones altas de sólidos suspendidos.

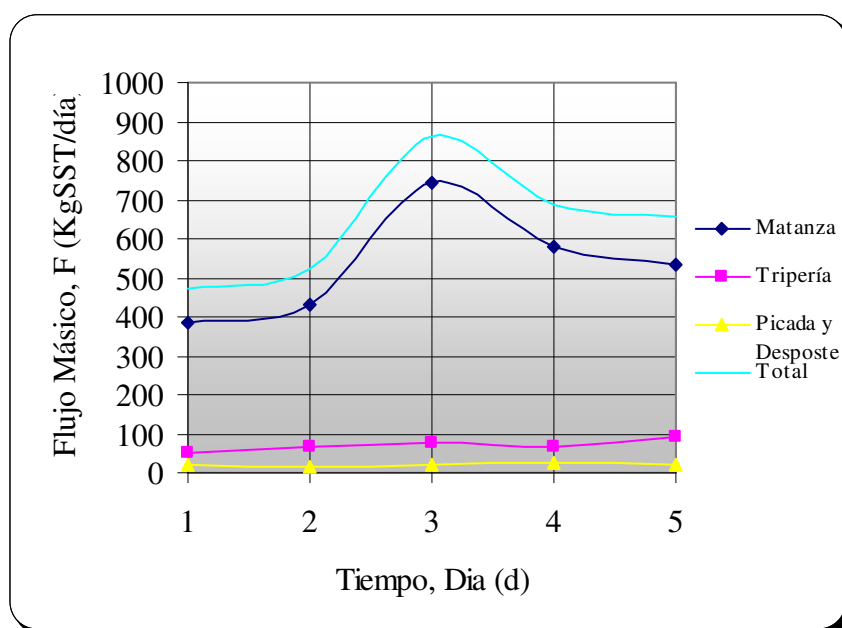


Figura N° 30. Aporte de Sólidos Suspendidos Totales de las corrientes de interés al afluente de la PTAR.

7.2. Evaluación del Proceso de Higienización

El proceso de higienización en Matadero Plumrose esta compuesto por la higiene que se realiza diariamente en las áreas y puestos de trabajo de producción y por una higiene más fuerte los días de semana, días de no hay producción.

La higiene diaria consiste en limpiar, remover residuos de alimentos o materias extrañas, desinfectar y descontaminar las áreas y materiales de trabajo. La desinfección consiste en aplicar un tratamiento físico y químico para limpiar las superficies que mantienen contacto con las materias primas, productos en procesos y terminados, a fin de destruir las bacterias que ocasionan peligro para la salud, sin que dicho tratamiento afecte de manera negativa la calidad e inocuidad de los productos. (COMPAS, 2002)

A continuación se presentan los resultados obtenidos al realizar una evaluación del impacto que sufre la planta de tratamiento de aguas residuales de Matadero durante el proceso de higienización.

La temperatura y el pH son los factores que influyen en el crecimiento de las bacterias. Valores de pH menores a 4 y mayores a 9,5 son mortales para las bacterias. (METCALF, 1972) Específicamente, las bacterias que se encuentran en el lodo activado sufren los efectos de los cambios bruscos de pH y temperatura. En la siguiente figura se presentan los valores de pH registrados de las muestras tomadas durante el proceso de higienización de las áreas de producción.

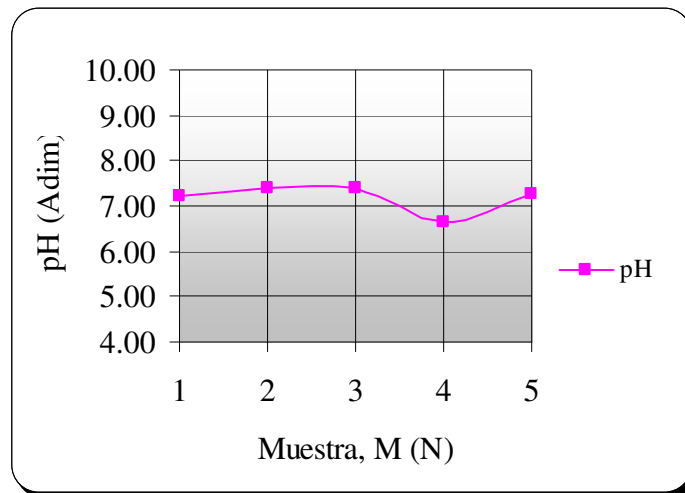


Figura N° 31. Comparación de pH en la higienización diaria de las áreas de producción.

La variación de pH en los días evaluados de higienización no fue muy amplia, ya que se mantuvo en el rango 6,65-7,40 y la desviación estándar (σ) obtenida fue de 0,31. A pesar de usar productos fuertemente básicos y ácidos débiles en el día a día el pH del proceso de higienización y saneamiento no cambia bruscamente.

Este resultado hace pensar en que el proceso de tratamiento no se verá afectado por esta variable. Por otra parte, estos valores están dentro del rango permitido por MARNR para descargas a cuerpos de agua.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto a aportes de nutrientes, fósforo y nitrógeno, provenientes de la higienización a la PTAR.

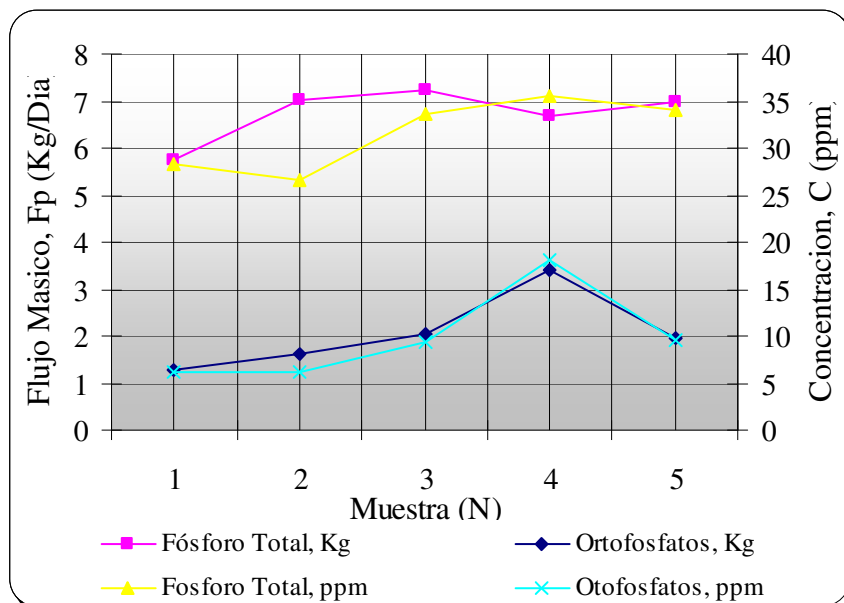


Figura N° 32. Aporte de fósforo total y ortofosfatos del proceso de higienización diaria de las áreas de producción a la PTAR.

El fósforo total que descarga diariamente en la planta el agua proveniente de la higienización en promedio es 6,73 Kg/día y proporciona una concentración promedio de 31,6 ppm.

Los ortofosfatos aportan en promedio un 30% del fósforo total a la planta de tratamiento de aguas. El resto de fósforo total puede estar conformado por polifosfatos y en su mayoría por fósforo orgánico.

El fósforo que llega a la planta en el horario de higienización proviene de los detergentes empleados en la limpieza y de las partículas orgánicas que se encuentran en las áreas de producción que son eliminadas.

Algunos de los detergentes usados en la higienización son a base de ácido fosfórico, entre las características que destacan a estos detergentes están la solubilidad en agua, económicos y no son corrosivos ni tóxicos.

Por lo expuesto anteriormente es difícil combatir este foco de nutrientes debido al uso que tiene. A pesar de poder reemplazarse por detergentes libres de fósforo el costo es un factor que incide en el uso de los anteriores.

Para Matadero Plumrose el proceso de higienización es efectivo pero con estas concentraciones de fósforo y un tratamiento de aguas subdimensionado no se podrá llegar a alcanzar el valor que establece la norma ambiental.

Sin embargo, es posible disminuir las concentraciones de fósforo empleando tratamiento físico-químico. Actualmente la dosificación de productos químicos es suspendida una vez que comienza la higienización. Pero es válido invertir en disminuir estos valores para evitar primeramente la contaminación del embalse y segundo para evitar las sanciones que puede acarrear descargas de agua fuera de los parámetros establecidos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con respecto a los niveles de nitrógeno descargados en la planta de tratamiento de aguas residuales.

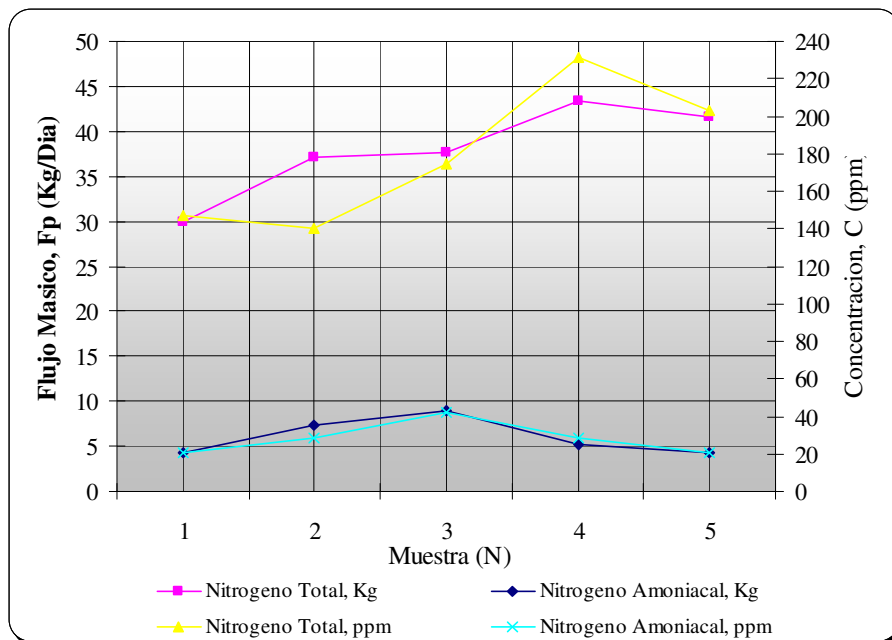


Figura N° 33. Aporte de Nitrógeno Total de las corrientes de interés al afluente de la PTAR

El comportamiento diario de las descargas de nitrógeno en la PTAR se mantiene constante teniendo un margen de variación de 10 Kg de NTK por día para los días evaluados. Si se compara la cantidad descargada de NTK con respecto a la cantidad de nitrógeno amoniacal se observa que los valores de este último en promedio son el 16% de los de nitrógeno total kjeldahl. Esto hace pensar que los productos químicos usados durante la higienización y el saneamiento no aportan cantidades de nitrógeno total.

Se evaluaron los productos usados por parte de la contratista obteniendo como resultado que durante el saneamiento diario se usan productos básicos como la soda cáustica, productos clorados y a base de ácido fosfórico. En ningún caso son utilizados productos que aumenten la concentración de nitrógeno como es el caso del amonio cuaternario.

Se realizó una prueba adicional para determinar la presencia de nitritos y nitratos en el agua de higienización. Para ello se empleó un equipo de cromatografía propiedad de la PETA. El resultado obtenido se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 14. Análisis cromatográfico de una muestra compuesta de higiene.

	Concentración (ppm)
Fosfatos	6,5
Cloruros	88
Nitritos	-
Nitratos	-

Con los resultados obtenidos anteriormente se corrobora que la principal forma de nitrógeno es orgánica y su fuente son los sólidos que quedan de la

producción diaria tanto en el área de matanza, tripería, mantequera y picada-desposte.

Los sólidos son un parámetro que proporciona información sobre la cantidad de partículas que están presentes en las aguas residuales. Los sólidos totales están compuestos por sólidos suspendidos y disueltos. En la siguiente tabla se muestra la variación de sólidos durante el proceso de higiene.

Tabla N° 15. Comparación entre sólidos descargados en PTAR en horario de Higienización

Parámetros	Muestras					Promedio	Desviación Estándar
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5		
Sólidos Totales (ppm)	1600	1759	2170	1950	1762	1848.2	218.5
Sólidos Suspendidos (ppm)	256	305	376	289	275	300.2	46.1
Sólidos Disueltos (ppm)	1344	1454	1794	1661	1487	1548.0	178.5

Las concentraciones de sólidos en el líquido residual proveniente de la higienización son más bajas a las registradas durante el proceso productivo. Sin embargo, estas concentraciones aportan un 21% del total de sólidos que entran en la PTAR diariamente.

Una parte importante de los sólidos que entran a la PTAR producto de la higienización es la descarga de los tanques de lavado de tripería y la escaldadora. Estos proporcionan altos contenidos de nitrógeno y fósforo por el tipo de partículas que se quedan alojadas en estos tanques.

Por ejemplo el tanque de la escaldadora esta en contacto con cerdos recién beneficiados y que todavía no se han terminada de desangrar. En la figura N° 34 se puede ver claramente el remanente de sangre que sale de los cerdos.



Figura N° 34. Entrada de los cerdos a la etapa de escaldado.

En la figura se puede observar como cae la sangre en el piso luego de la recolección primaria de sangre, en la cual se logra extraer aproximadamente un 80% de la sangre del cerdo. El restante va cayendo durante el recorrido que realiza el cerdo hasta llegar a faena limpia.

Una vez que el cerdo esta en este punto entra a la escaldadora dejando gran cantidad de la sangre que esta drenando. Esta sangre aumenta los niveles de nitrógeno y fósforo del agua y se ve reflejado en el horario de higiene porque su descarga se realiza al momento de la culminación de la matanza y el inicio de las actividades de higiene. Cabe destacar que la descarga de la escaldadora se realiza en un tiempo aproximado de 4 horas debido a la temperatura a la que se encuentra (60° C), esto con la finalidad de evitar un choque térmico en la piscina de oxidación.

En la figura se aprecia otra fuente de sólidos y nutrientes que son descargados durante el proceso de higienización.



Figura N° 35. Desechos provenientes del primer corte para desviscerar al cerdo.

En la siguiente figura se puede observar el aporte diario de sólidos totales al tratamiento de aguas residuales versus la turbidez del agua registrada para cada día evaluado.

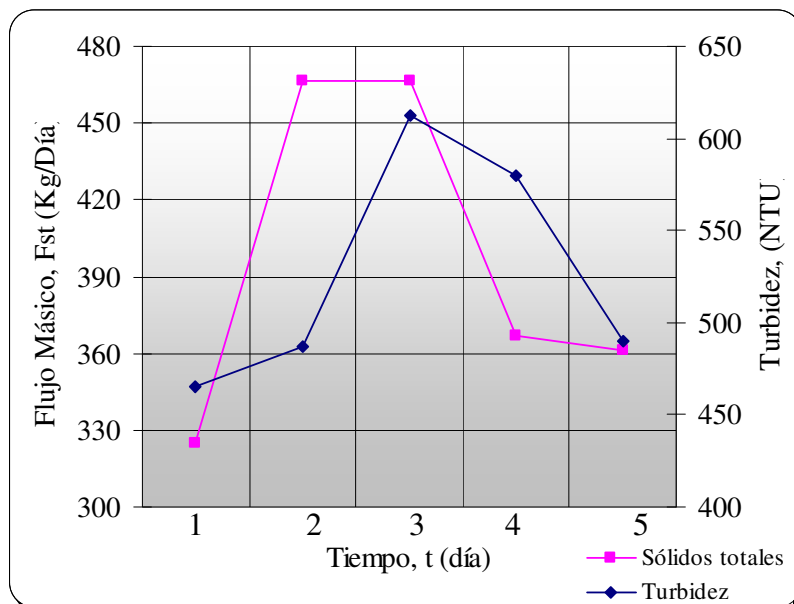


Figura N° 36. Aporte de Sólidos Totales que tiene el proceso de higienización y saneamiento al afluente de la PTAR

El agua proveniente del proceso de higiene no es tratada en la etapa primaria de tratamiento de aguas, por lo tanto la turbidez del agua no es removida. Se realiza un único pre-tratamiento el cual consiste en hacer pasar el líquido residual de higiene por un tamiz rotatorio que remueve partículas de diámetro superior 1mm. Una vez concluido el tamizado se pasa el líquido residual directamente a la etapa secundaria de tratamiento (tanque de oxidación). Estos sólidos aumentan la carga orgánica en el reactor biológico lo que trae como consecuencia una disminución de la eficiencia de esta etapa y por ende una calidad de agua de menor calidad.

El tamizado logra remover una pequeña cantidad de sólidos aproximadamente un 5% y el restante, a pesar de ser en promedio 21% de los sólidos que entra por causa de la producción diaria, pasa directamente a la etapa secundaria, afectando la calidad del efluente. Una solución que se puede plantear a este problema es utilizar químicos que generen la coagulación floculación de las partículas coloidales del agua residual del proceso de higiene.

Observaciones Adicionales

Las muestras captadas durante el horario de higienización tienen una particularidad, presentan una coloración rojiza y va variando de tonalidad hasta llegar a un color gris claro.

La temperatura tiene un rango de 29 a 39° C, esto se debe a las altas temperaturas que se manejan durante la limpieza y a la descarga del agua de la escaldadora, cuya temperatura se encuentra a 60° C.

7.3. Evaluación del Caudal de Entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Durante el periodo de cuatro meses se estudio el consumo de agua blanca en Matadero Plumrose, con la finalidad de comparar los caudales diarios de manera de establecer relaciones entre el consumo y la cantidad de cerdos beneficiados. Asimismo se realizó la misma comparación entre caudal de agua tratada y cerdos beneficiados. A continuación se presentan los resultados obtenidos para este estudio.

La primera parte del estudio se basó en comprobar la estabilidad del proceso mediante el empleo de gráficas de control y verificar la capacidad de predecir los resultados. La siguiente figura muestra los resultados obtenidos para las muestras evaluadas.

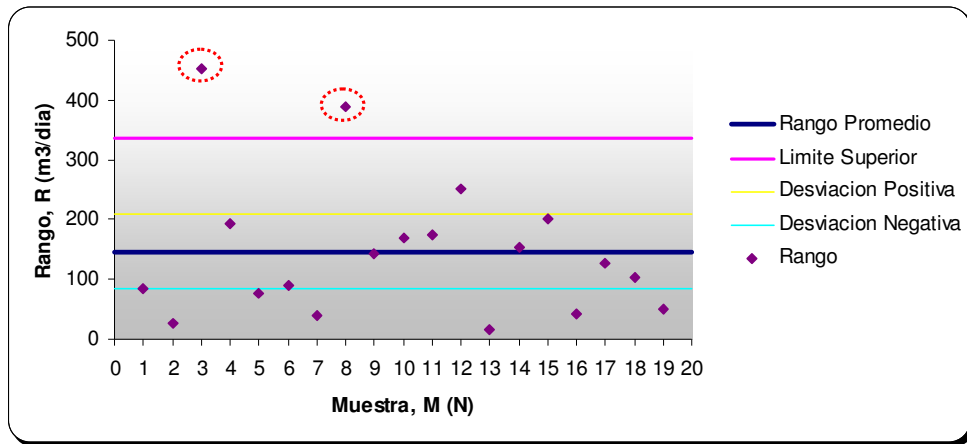


Figura N° 37. Rangos del Consumo de Agua Blanca en Matadero Plumrose

En la figura N° 37 se puede apreciar que dos valores, correspondientes a las muestras 3 y 8, están por fuera de los límites de control. Esto indica que el proceso llevado a cabo no cumple con la prueba C, por lo que el proceso se considera fuera de control. Como el resultado fue negativo, según la teoría estadística de gráficas de control, no se debería pasar al siguiente gráfico, el cual da mayor información del proceso llevado a cabo. Sin embargo, se

procedió a realizar el siguiente gráfico para extraer mayor información con respecto a estos dos puntos.

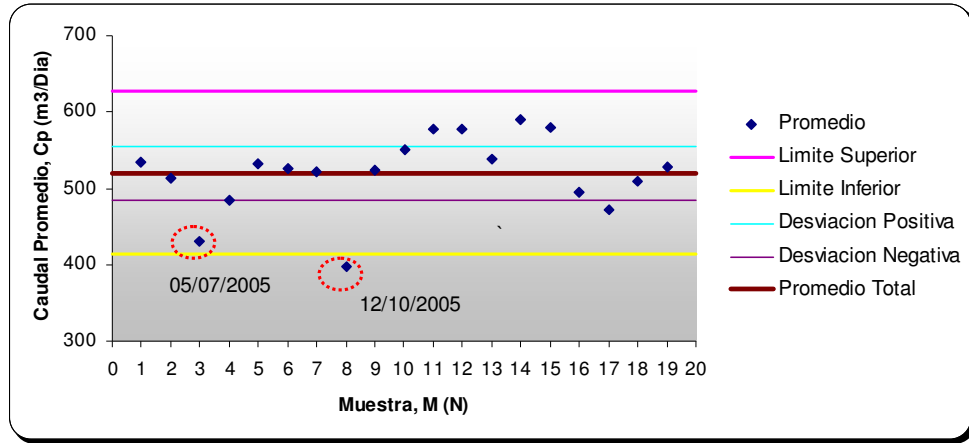


Figura N° 38. Control del Consumo de Agua Blanca en Matadero Plumrose.

En la figura se observa que uno de los valores está fuera de los límites, lo que demuestra nuevamente que se incumple la prueba C. Estos puntos que se encuentran marcados en ambas gráficas, hicieron que se revisara la data obtenida para facilitar la identificación de las fuentes de error. Siendo chequeados los valores se obtuvo como resultado que ambos días eran feriados y afectaban el promedio diario para cada muestra. Por esa razón se decidió descartar ambas muestras y realizar nuevamente el gráfico para verificar si el proceso está en control y es predecible. A continuación se muestran las gráficas modificadas.

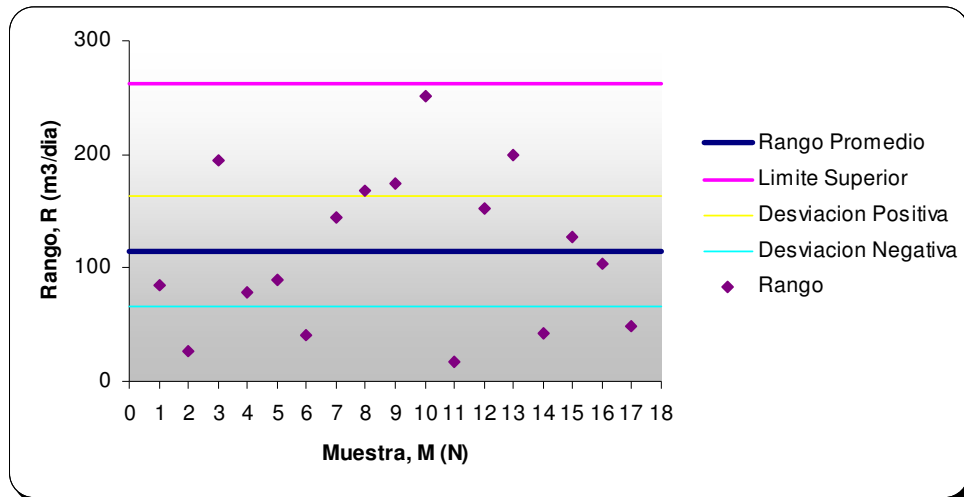


Figura N° 39. Rangos del Consumo de Agua Blanca en Matadero Plumrose modificada.

En la figura se observa que todos los puntos están dentro de los límites calculados estadísticamente. Este resultado cumple con la regla C, por lo que se seguirá con el segundo paso del estudio estadístico.

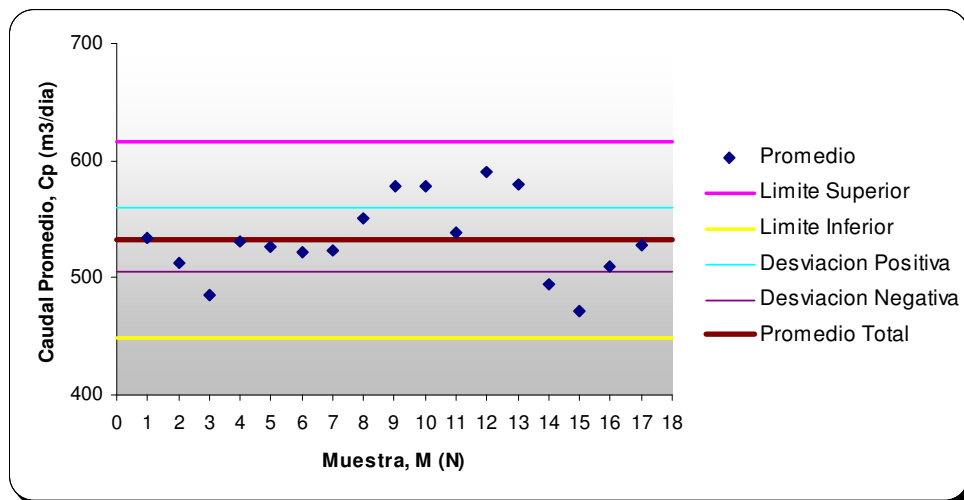


Figura N° 40. Control del Consumo de Agua Blanca en Matadero Plumrose modificada.

En la figura se puede apreciar que dentro de los límites de desviación estándar positiva y negativa se encuentra el más del 45% de los valores, lo que cumple con la regla estadística P para este tipo de gráficos. Finalmente se verifica el

cumplimiento de la regla R, arrojando un resultado positivo por no tener más de 7 puntos consecutivos por encima o por debajo del promedio. Como conclusión se puede decir que el consumo de agua blanca diario es un proceso que se encuentra en control.

El caudal que es tratado diariamente es menor al que se consume, ya que un porcentaje aproximadamente del 10% se va por líneas de alcantarillado que descargan en el caño Maraca. Las gráficas que se presentan a continuación muestran los resultados obtenidos con respecto a la variación de caudal tratado.

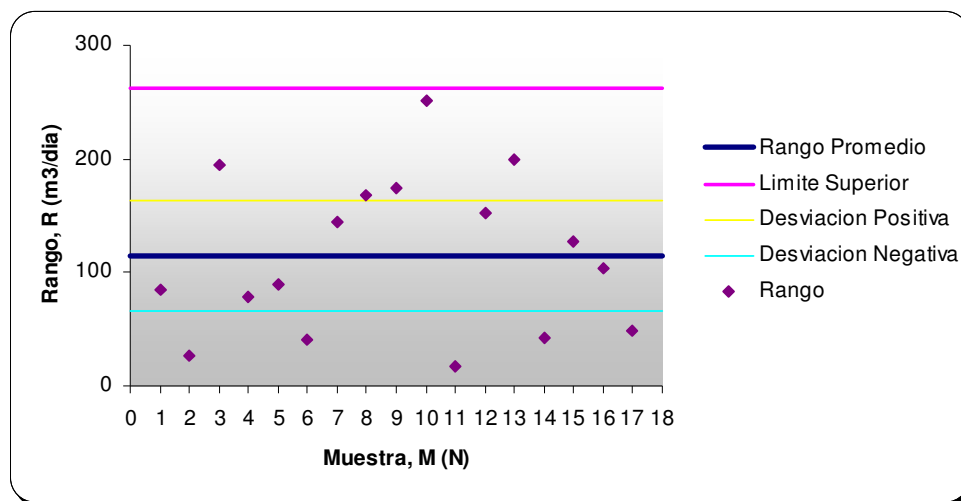


Figura N° 41. Rangos de Agua Residual que entra a la PTAR.

En esta gráfica de rangos no se tienen puntos fuera de rango lo que conlleva al cumplimiento de la regla C. Esta gráfica da como resultado que se puede seguir con la evaluación, ya que aparentemente el proceso se encuentra bajo control.

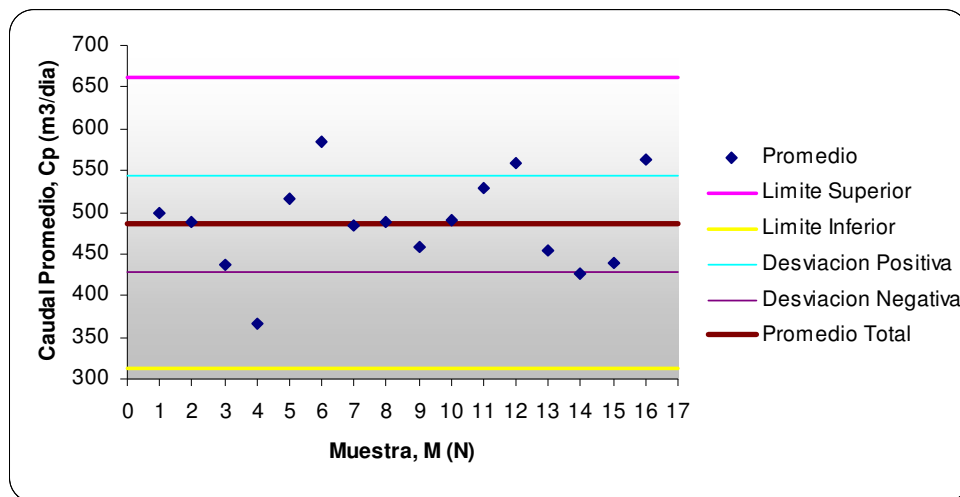


Figura N° 42. Control de Agua Residual que entra a la PTAR.

En la figura N° 42 se puede apreciar que se cumplen las reglas P y R. Hay más del 45% de los puntos contenidos entre las desviaciones negativa y positiva y no hay 7 puntos consecutivos por encima o debajo del promedio. Con estos resultados se puede decir que el caudal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales es un proceso que está en control y puede ser predicho a partir de la cantidad de cerdos a beneficiar.

Relación entre Caudal Tratado y Cantidad de Cerdos Beneficiados

La cantidad de agua tratada debería ser proporcional a la cantidad de cerdos que son beneficiados diariamente. Cada cerdo consume en promedio 300 l de agua al día lo que se traduce en un gran consumo de agua blanca. El consumo de agua blanca depende básicamente de dos factores, de la cantidad de cerdos beneficiados y de la higienización que se realice en el día.

Si se parte del promedio de agua utilizada en el beneficio del cerdo se está hablando de un consumo de promedio de 420 m³. Este debería ser el caudal tratado diariamente para esta cantidad de cerdos, esto no se cumple debido a que existen otros factores que afectan el consumo de agua. Estos factores son personal de higiene-matanza y el tipo de cerdo.

Para un cerdo lechón el consumo promedio es de 300 l pero para un cerdo madre el consumo aumenta hasta 450 l aproximadamente. Adicionalmente el personal de matanza e higiene, si no son controlados, consumen agua indiscriminadamente, lo que trae como consecuencia un aumento en el caudal que entra diariamente a la planta de tratamiento de aguas residuales.

La desviación estándar de la cantidad de cerdos es 206 lo que indica que no es muy grande, contemplando que pueden haber madres que disminuyen la cantidad de cerdos pero aportan mayor cantidad de nutrientes y consumen mayor cantidad de agua. Se puede decir que los caudales que entran diariamente a la planta son proporcionales a la cantidad de cerdos beneficiados.

7.4. Evaluación del Sistema de Flotación por Aire Disuelto

La evaluación del sistema de flotación por aire disuelto es una etapa importante del tratamiento de aguas residuales de Plumrose Matadero. En esta etapa se logra remover gran cantidad de la carga orgánica entrante para, de alguna manera, aliviar el tratamiento secundario que finalmente se traduce en un efluente de mejor calidad.

La finalidad de la evaluación del equipo es conocer el grado de remoción que pueden alcanzar los nutrientes, fósforo y nitrógeno, al manipular las cuatro variables que afectan el rendimiento y la eficiencia de la etapa de tratamiento.

Las variables del equipo de flotación por aire disuelto que pueden ser manipuladas son: dosificación de coagulante y floculante, presión a la que es sometida la mezcla de líquido residual aceptado/aire y finalmente el flujo de aire que es mezclado con el porcentaje de recirculación del aceptado del DAF.

Para realizar las pruebas de manipulación de variables fue necesario establecer las condiciones de operación iniciales. Estas condiciones se mantuvieron constantes en cada una de las pruebas realizadas. En la tabla N° 16 se muestran las condiciones de operación.

Tabla N° 16. Condiciones de operación de referencia para las pruebas realizadas en el sistema de flotación por aire disuelto

	Presión (psi)	Flujo Aire (GPM)	Coagulante (ppm)	Floculante (ppm)
Condiciones Operación	80	40	150	1

Estas condiciones de operación para la evaluación del sistema de flotación por aire disuelto se fijaron en valores con los que generalmente se opera.

Los puntos de muestreo son los siguientes:

Entrada DAF: la caracterización de este punto arrojó valores iniciales de fósforo, nitrógeno, sólidos totales y suspendidos totales y valores de turbidez.

Salida DAF: mediante la caracterización de este punto se obtuvieron las eficiencias de remoción, comparando con los valores iniciales obtenidos.

Purga de fondo DAF: se obtuvo una medida de los sólidos que flotan y los precipitan por acción de la gravedad.

Variación de Coagulante

El coagulante empleado por la empresa en el tratamiento físico-químico es un polímero que tiene un 30% de cloruro férrico como sustancia activa.

Inicialmente este polímero no contenía esta sustancia activa y fue añadida por requisito de Plumrose para disminuir una porción de fósforo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con respecto a la eficiencia de remoción de los nutrientes en estudio y del comportamiento de los sólidos para la variación de coagulante.

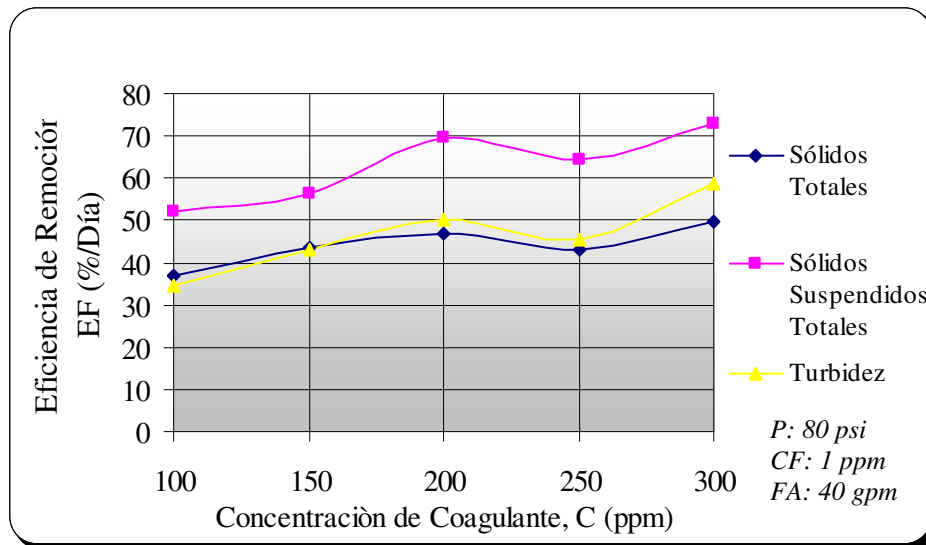


Figura N° 43. Eficiencia de remoción de sólidos totales y suspendidos totales, turbidez con respecto a la variación de la concentración de coagulante.

Los sólidos totales dan una medida de la eficiencia de remoción de la etapa de tratamiento. En el caso específico del sistema de flotación por aire disuelto la remoción de sólidos da un indicativo de cómo está funcionando el equipo, si se esta logrando la flotación de partículas coloidales, orgánicas, grasas y aceites.

Los sólidos se logran separar en esta etapa a través de dos principios, flotación inducida y precipitación por acción de la gravedad. Las partículas que logran flotar por la acción de la adhesión de microburbujas a la superficie de la partícula o el floc son separadas por una paleta barre lodo y cae en el mismo tanque que las partículas que precipitaron. En el caso de las partículas que

lograron sedimentar por acción de la gravedad son descargadas del sistema por purgas automáticas programadas cada media hora.

Las eficiencias de remoción de sólidos totales en el DAF varían proporcionalmente con el aumento en la concentración de coagulante. A mayor concentración de polímero coagulante mayor va a ser la remoción alcanzada en sólidos totales.

Los sólidos suspendidos alcanzan valores en porcentaje de remoción superiores a los obtenidos para sólidos totales. Es lógico es comportamiento, ya que los sólidos totales están conformados por los sólidos totales suspendidos y los sólidos totales disueltos.

La turbidez también está asociada a las partículas suspendidas y coloidales que se encuentran en los fluidos. La variación de la turbidez con respecto al aumento de la concentración de coagulante sigue la misma tendencia, a mayor remoción de sólidos mayor es la remoción de turbidez dando como resultado valores cada vez menores de turbiedad.

A continuación se presentan las eficiencias de remoción de fósforo total y ortofosfatos para las condiciones de operación fijadas y variación de la concentración de coagulante.

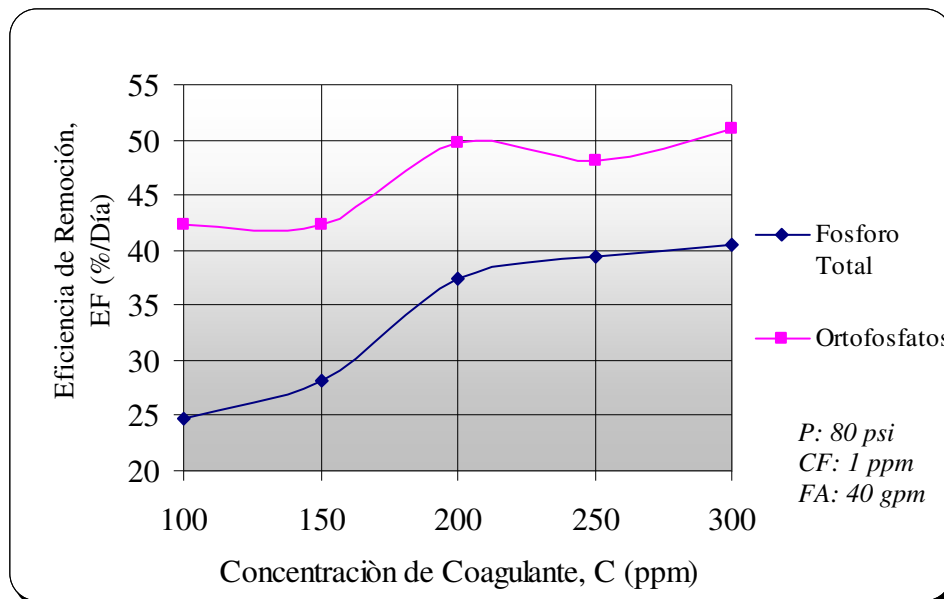


Figura N° 44. Eficiencia de remoción de fósforo total y ortofosfatos con respecto a la variación de la concentración de coagulante.

La tendencia de la curva de fósforo total es ascendente donde se evidencia un aumento brusco en la remoción de fósforo para un valor de concentración de coagulante de 200 ppm. Después de este aumento brusco la curva mantiene una tendencia al alza pero menos acentuada lo que implica que la variación de coagulante a partir de los 200 ppm no tiene un efecto provechoso tanto a nivel operacional como en costos.

La tendencia de los ortofosfatos es a disminuir al aumentar la concentración de coagulante pero el rango de remoción que se maneja entre 200 y 300 ppm no supera un 2%, razón por la cual no se hace rentable un aumento de polímero coagulante para disminuir la concentración de fósforo total.

La gráfica que se presenta a continuación muestra la variación en cuanto a eficiencia de remoción se refiere del nitrógeno total y amoniacal contenidos en las aguas residuales.

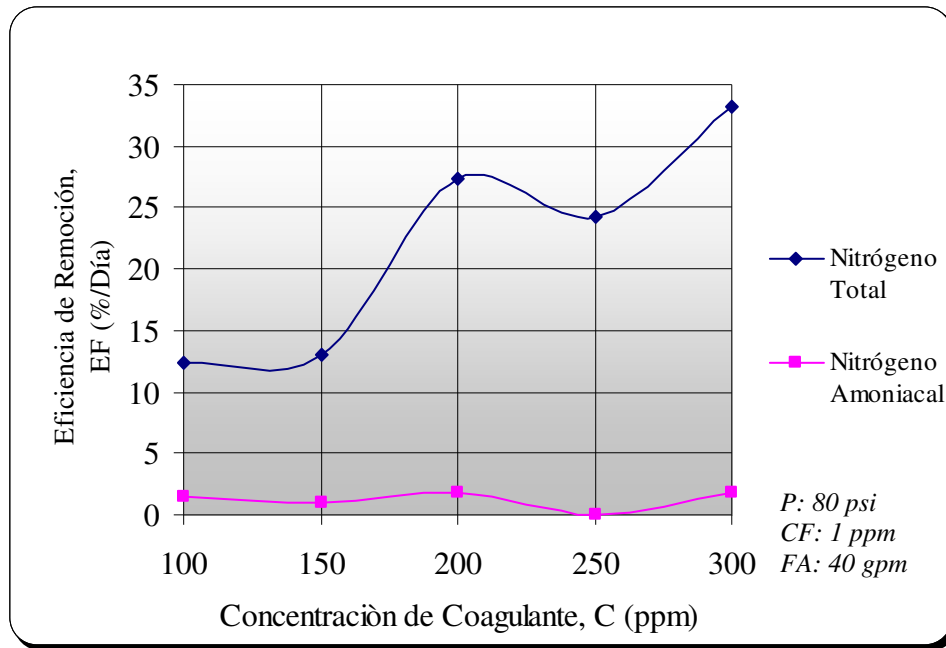


Figura N° 45. Eficiencia de remoción de nitrógeno total y amoniacal con respecto a la variación de la concentración de coagulante.

Esta gráfica presenta la misma tendencia de las gráficas anteriores, mayor remoción con el aumento en la concentración de coagulante. En el punto inicial a una concentración de 150 ppm se observa que la remoción de nitrógeno total no varía mucho con respecto a la correspondiente a 100 ppm. Esta Tendencia no se evidencia en los siguientes puntos, lo que puede significar que a concentraciones bajas de coagulante no se logra remover nitrógeno apreciablemente.

Entre los puntos de 200 y 250 ppm no se observa un cambio significativo en cuanto a disminución de nitrógeno total pero al aumentar la concentración nuevamente a 300 ppm el porcentaje de remoción aumenta en un 10% aproximadamente.

En cuanto al nitrógeno amoniacal, la remoción lograda es prácticamente imperceptible, siendo esto lo esperado. En tratamientos primarios se logra

remover pequeños porcentajes de nitrógeno amoniacal pero por pérdida de flujo de agua únicamente.

Con la variación en la concentración de coagulante no se alcanzan niveles de remoción deseados, ya que la mínima concentración alcanzada para esta prueba fue de 182 ppm de nitrógeno total aportando 65 Kg de nitrógeno a la etapa secundaria.

Variación de Floculante

El floculante utilizado en el tratamiento de aguas residuales de Matadero es una poliacrilamida aniónica. Este polímero es de tipo reticulados y al ponerse en contacto con el agua se hidrata formando pequeñas redes que al ponerse en contacto con el agua residual coagulada forma flóculos livianos que son inducidos a flotación.

Con el estudio realizado se verificó el funcionamiento de dicho polímero y en combinación con el coagulante empleado. A continuación se presentan los resultados obtenidos al variar la concentración de floculante en el sistema de flotación por aire disuelto.

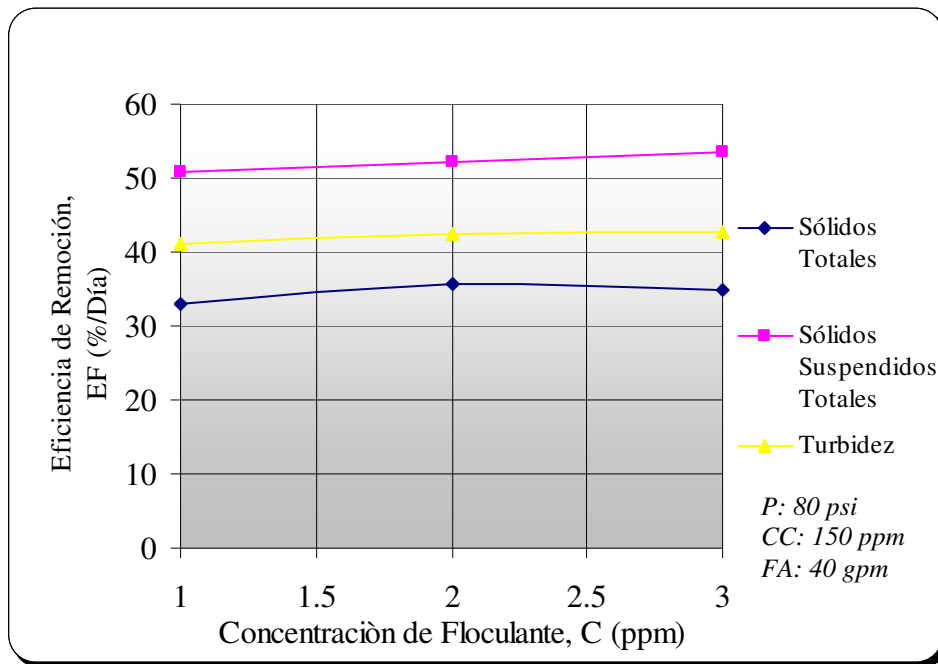


Figura N° 46. Eficiencia de remoción de sólidos totales y suspendidos totales, turbidez con respecto a la variación de floculante.

Los sólidos tienen un comportamiento parecido, al incrementar la concentración de floculante aumenta el porcentaje de remoción implicando una disminución en cuanto a sólidos en el efluente de sistema de flotación. La turbidez va relacionada con los sólidos totales y sigue la tendencia de estos.

Las eficiencias de remoción de sólidos son bajas con respecto a lo obtenido en pruebas de jarra. En estas últimas se puede alcanzar una remoción de sólidos suspendidos cercana al 90%. La gran diferencia que existe entre estos valores es básicamente el tiempo de mezclado, en una prueba de jarra se toman tiempos de agitación para coagulantes y floculantes y se varía la velocidad de agitación en para cada producto.

En el caso del sistema de flotación por aire disuelto que existen en la planta de tratamiento de aguas residuales los químicos están siendo suministrados de la siguiente manera: el polímero coagulante se inyecta en línea justamente a la salida de la estación de bombeo lo que le da una buena agitación al fluido. El

polímero floculante se dosifica a la salida de la tubería que descarga el agua en el compartimiento del DAF en donde son desprendidas las microburbujas. La mezcla no se lleva a cabo completamente por falta de agitación y tiempo, trayendo como consecuencia que el polímero no funcione de la manera más óptima.

Si se mejorara este aspecto de la inyección de floculante se obtendrían mejores resultados.

La gráfica que se presenta a continuación muestra la remoción de fósforo con respecto a la variación en la concentración del polímero floculante.

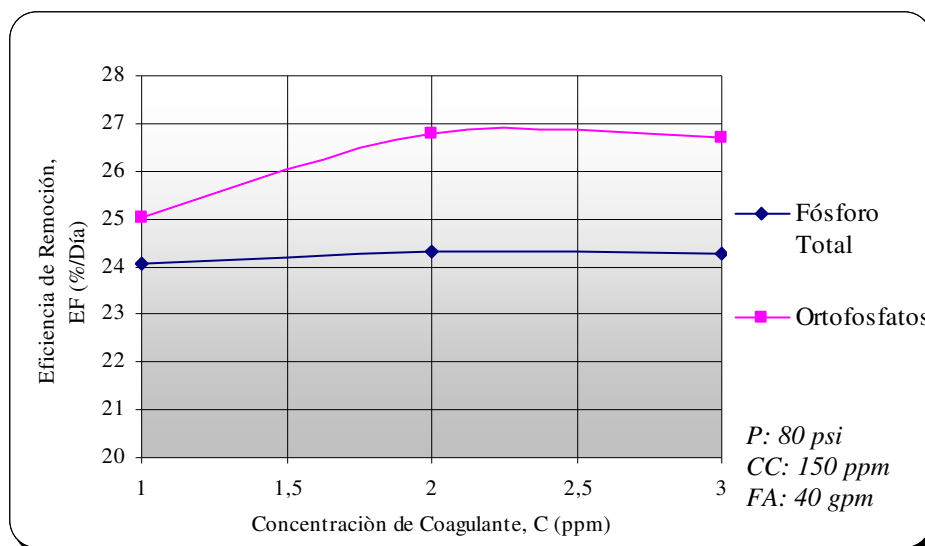


Figura N° 47. Eficiencia de remoción de fósforo total y ortofosfatos con respecto a la variación de floculante.

Los porcentajes de remoción alcanzados al variar la concentración de floculante son relativamente bajos, lo que indica que de los polímeros el coagulante tiene mayor incidencia en la remoción de fósforo del agua residual en un sistema de flotación por aire disuelto.

La tendencia de la remoción de los ortofosfatos es muy similar a la gráfica discutida en la sección de variación de la concentración de polímero coagulante. Las eficiencias de remoción son mayores en los ortofosfatos que en el fósforo total.

La remoción de nitrógeno obtenida al mantener las variables fijas y solamente manipulando la concentración de floculante se muestra en la figura N° 48.

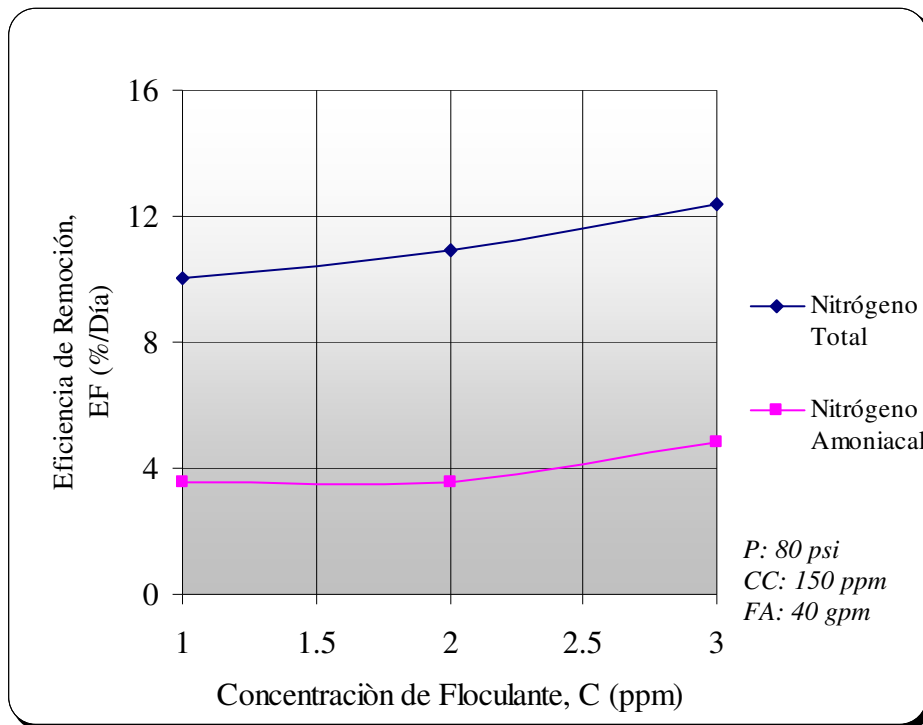


Figura N° 48. Eficiencia de remoción de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal con respecto a la variación de floculante.

La remoción alcanzada no es muy alta, a la concentración de 3 ppm de polímero floculante tan solo se llega a remover un 12% aproximadamente, a pesar que gran parte del nitrógeno total es orgánico y tan solo un 14% es amoniacal. Este resultado arrojado indica que el polímero floculante no incide en la remoción de nitrógeno de las aguas residuales.

Estos resultados pueden estar afectados por lo que se discutió en la gráfica anterior con respecto a la dosificación y tiempo de mezclado del polímero floculante. Tal vez se puedan obtener resultados más cercanos a los arrojados por las pruebas de jarra si se mejora la aplicación del polímero.

El nitrógeno amoniacal en promedio tiene un porcentaje de remoción menor al 5% y se puede deber a dos factores. El primero es el porcentaje que se puede ir diariamente a través de las purgas de fondo y la segunda es debido a errores en la determinación del nitrógeno amoniacal, ya que el equipo de titulación tiene una apreciación de 0,05.

Variación de la Presión de Operación

La presión de operación es una variable importante en el funcionamiento del sistema de flotación por aire disuelto. Esta variable da la medida de la cantidad de aire que puede ser disuelto en el líquido. Mientras mayor sea la cantidad de aire disuelto habrá más probabilidades que exista una mayor flotación de sólidos. (ROMERO, 1999)

Las siguientes tres gráficas muestran los resultados obtenidos para las pruebas de variación de la presión de operación del sistema de flotación.

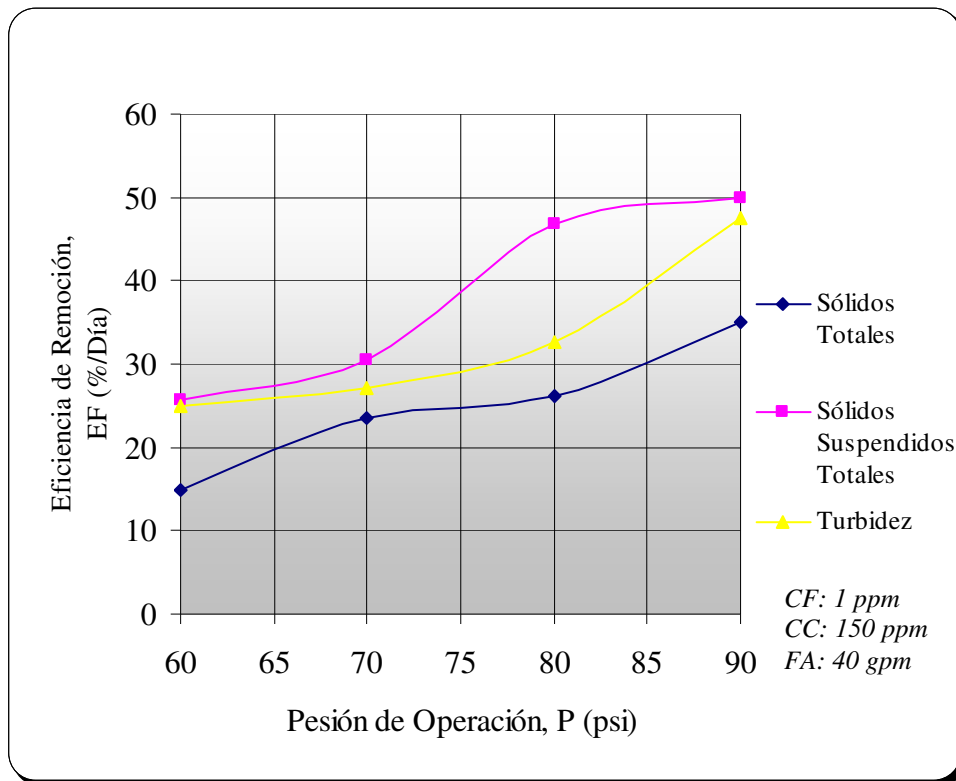


Figura N° 49. Eficiencias de remoción de sólidos totales y suspendidos totales y turbidez con respecto a la variación de la presión de operación.

Los sólidos presentan un comportamiento predecible, ya que al aumentar la presión de operación se obtienen mejores resultados de remoción de sólidos. El rango entre 80 y 90 psi es el óptimo para las condiciones de operación fijadas inicialmente, sin embargo, si se quiere mejorar el la remoción de sólidos se puede aumentar la dosis de coagulante.

La turbiedad es removida a medida que son eliminados los sólidos totales del líquido residual. En la gráfica N° se puede ver que la turbidez disminuye con mayor inclinación en a valores de presión mas altos, como el señalado en la gráfica.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con respecto al fósforo total y ortofosfatos.

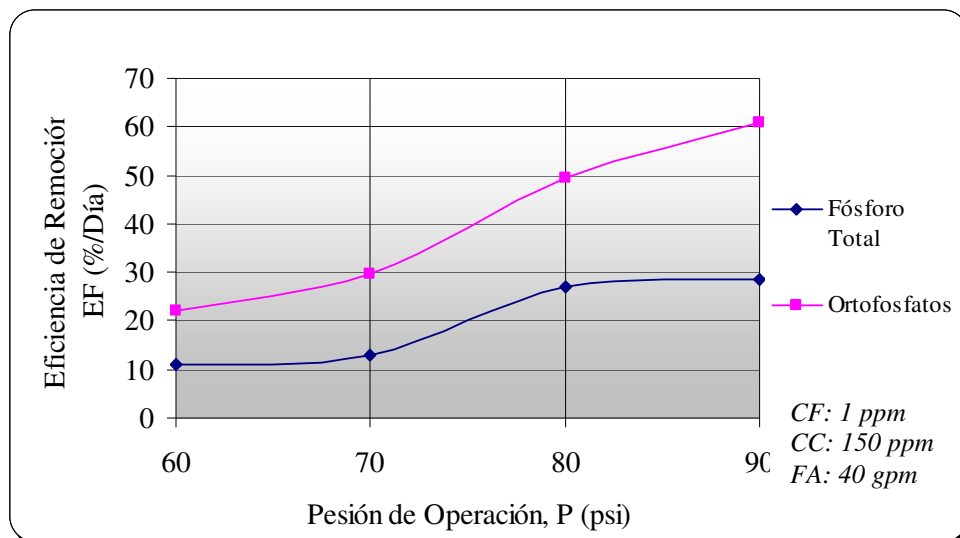


Figura N° 50. Eficiencias de remoción de fósforo total y ortofosfatos con respecto a la variación de la presión de operación.

La remoción de fósforo total y ortofosfatos tienen un comportamiento ascendente al aumentar la presión de operación. Específicamente entre 70 y 80 psi se presenta el mayor porcentaje de remoción, siendo este rango el más óptimo para remoción de fósforo tomando en cuenta que de 80 a 90 psi el aumento en la remoción de los kilogramos de 1,5 %.

El porcentaje de remoción de los ortofosfatos se mantiene en ascenso alcanzándose en 90 psi una remoción del 60% de su valor. Esto indica que la manipulación de la variable presión de operación es determinante en cuanto a remoción de nutrientes se refiere. A pesar que los valores de remoción no son tan altos se podría manipular las variables de operación fijadas para obtener mejores resultados.

La remoción de nitrógeno se puede apreciar en la siguiente gráfica.

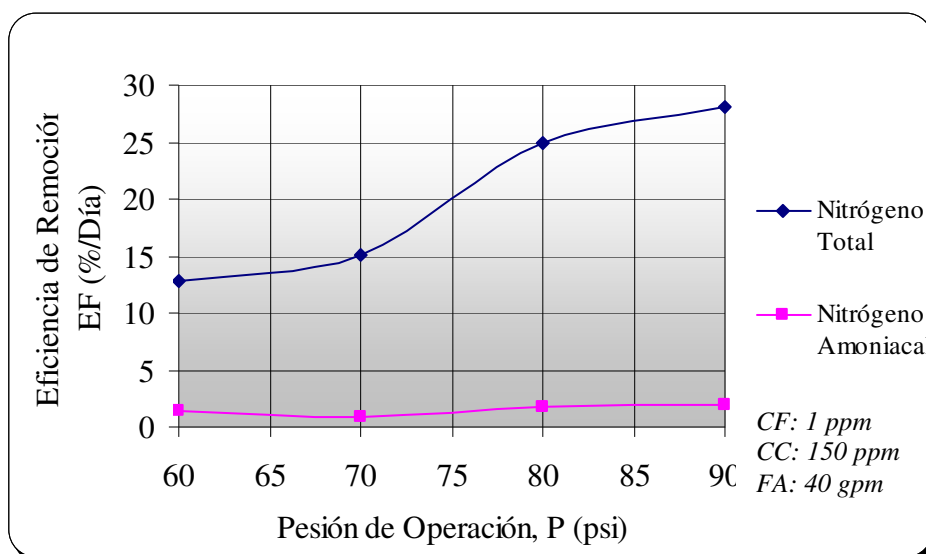


Figura N° 51. Comportamiento de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal con respecto a la variación de la presión de operación.

La mayor parte del nitrógeno contenido en las aguas residuales de Matadero es orgánico. Este nitrógeno proviene de las proteínas, urea, heces de los animales y restos de alimentos que hayan quedado retenidos en los intestinos y estómago. La disminución o reducción de este componente de la aguas residuales se puede realizar siempre y cuando este en forma de nitrógeno orgánico, ya que al pasar a la forma amoniacal se dificulta su remoción. (METCALF, 1972)

En la figura N° 51 se observa que nitrógeno amoniacal no se ve afectado por el aumento o disminución, es decir, se mantiene constante. El pequeño porcentaje de remoción alcanzado se debe principalmente a las purgas de fondo que arrastran los sólidos sedimentados y una parte del agua residual. En un día se puede tener un flujo de purga más lodo producido producto de la flotación y la adición de químicos de 40 m³.

El nitrógeno total se ve afectado en un mayor porcentaje, a una presión de operación de 90 psi se logra una remoción de NTK de un 28%, constituido

principalmente por nitrógeno orgánico. En virtud a lo observado en la gráfica se puede decir que la presión de operación es una de las variables manipuladas que influye sobre la disminución de nutrientes.

Variación del Flujo de Aire

La última variable manipulada en la realización del proyecto fue el flujo de aire. Este flujo de aire es el empleado por el equipo para disolverlo en el agua residual y formar las micro burbujas que se encargaran de la flotación inducida.

El rango que tiene el medidor de flujo va desde 0 hasta 120 gpm de aire, tomándose como rango experimental valores entre 20 y 80 gpm. La razón por la cual se tomaron estos valores como referencia es que a partir de 80 gpm no se evidencian cambios considerables en la remoción de sólidos totales y nutrientes.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al variar el flujo de aire que entra a las bombas Edur para formar las micro burbujas.

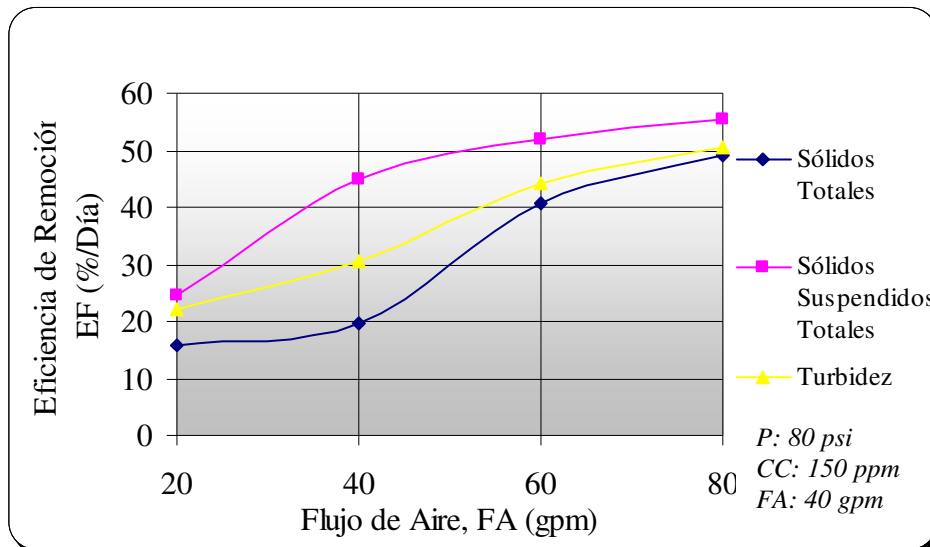


Figura N° 52. Eficiencia de remoción de sólidos totales y suspendidos totales, turbidez con respecto a la variación del flujo de aire.

En esta gráfica la tendencia es ascendente para los tres parámetros a evaluar, se obtiene una mayor eficiencia del proceso al variar el flujo de aire en el rotámetro. Nótese que el cambio de 60 a 80 gpm las curvas tienen una menor pendiente y una tendencia a estabilizarse en esos valores.

Los resultados más significativos en cuanto a remoción de sólidos los tiene los sólidos suspendidos totales alcanzando una remoción de 55% aproximadamente para un flujo de aire de 80 gpm.

También se evidencia un aumento en la remoción de turbidez lo que trae como consecuencia un efluente de la etapa de mayor calidad. Este último aspecto se aprecia mejor al comparar los valores de turbidez obtenidos para un flujo de 20 gpm de aire y para un flujo de 80 gpm, la diferencia esta por el orden del 30% de remoción. Al igual que se evidencia la influencia que tienen los sólidos totales sobre la turbidez del agua residual.

En la figura N° 53 que se presenta a continuación se puede ver la influencia que tiene la variación del flujo de aire en la remoción de fósforo del agua residual.

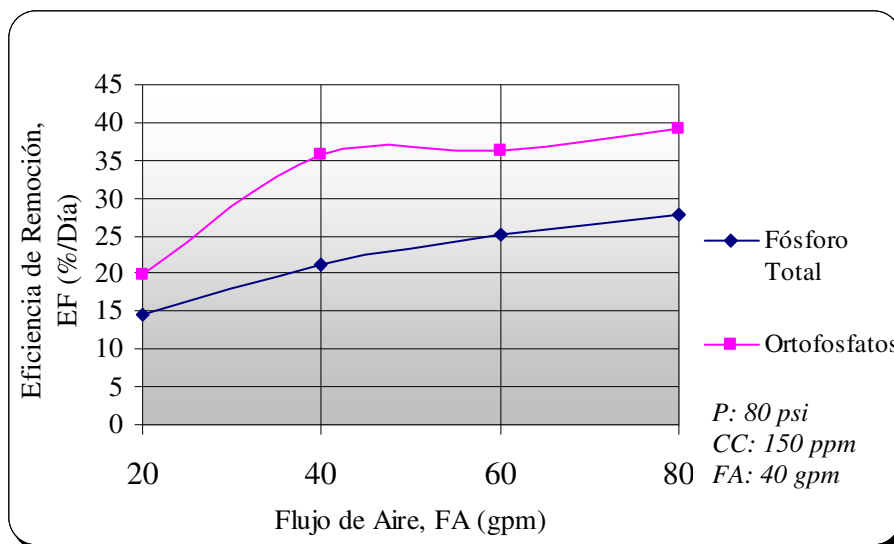


Figura N° 53. Eficiencia de remoción de fósforo total y ortofosfatos con respecto a la variación del flujo de aire.

El cambio en el flujo de aire trae como consecuencia una variación en la remoción de fósforo total de aproximadamente un 5% en los dos primeros cambios y menor en el cambio de flujo de 60 a 80 gpm. Sin embargo, al ver la tendencia de la gráfica es a disminuir la pendiente a medida que se aumenta el flujo de aire, demostrándose esta tendencia para ambos parámetros.

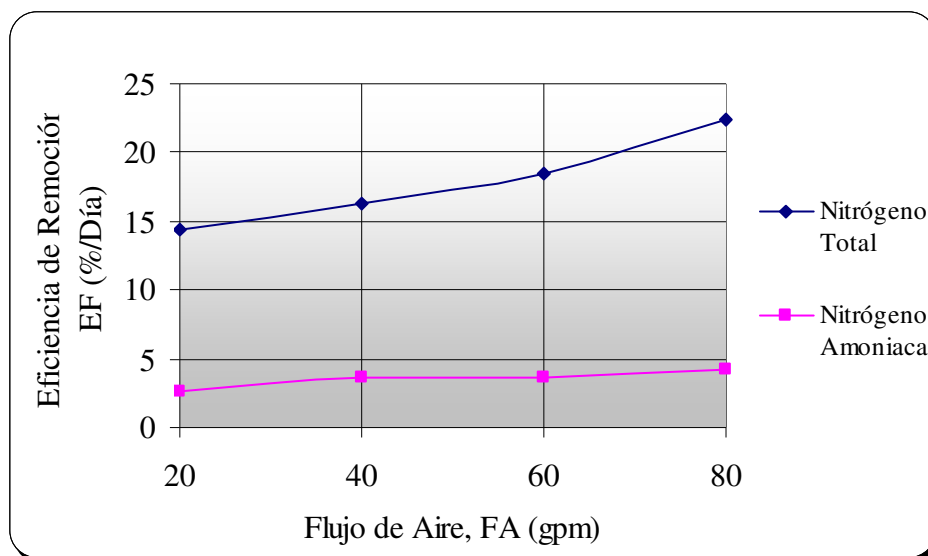


Figura N° 54. Eficiencia de remoción de nitrógeno total y nitrógeno amoniacal con respecto a la variación del flujo de aire

El nitrógeno tiene una remoción baja con respecto al aumento de flujo de aire, Sin embargo se logra remover un porcentaje entre 20 y 25 % lo que se traduce en una disminución en la concentración de salida del sistema de flotación por aire disuelto de 175 ppm de NTK. Siendo un 54% el porcentaje de nitrógeno orgánico y el restante nitrógeno amoniacal. Se sabe que este valor es alto y con un tratamiento secundario en las condiciones a las que esta la planta de tratamiento de aguas residuales de Plumrose Matadero no se logrará llegar a los valores establecidos por las normas ambientales dictadas por el MARNR. Pero es un buen comienzo ya que en el DAF se puede alcanzar remoción de este nutriente.

La remoción de nitrógeno amoniacal es muy baja, lo que concuerda con la teoría que dice que el nitrógeno amoniacal no puede ser removido en una etapa primaria de tratamiento con coagulación-floculación. (METCALF, 1972) El pequeño porcentaje que es removido del agua residual en esta etapa se puede deber a las purgas de fondo realizadas para extraer los sólidos que no flotaron sino que sedimentaron.

Presencia de Nitritos y Nitratos

El nitrógeno esta contenido en las aguas residuales esta conformado por cuatro formas distintas: orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos. En el agua residual fresca por lo general contiene en mayor porcentaje nitrógeno en su forma orgánica. El nitrógeno amoniacal aparece cuando las bacterias comienzan a descomponer la materia orgánica y por último la oxidación de por parte de las bacterias del nitrógeno amoniacal da paso a los nitritos y nitratos. (METCALF, 1972)

Se realizaron análisis de las aguas de entrada y salida de DAF para identificar que formas de nitrógeno están contenidas en las aguas. A continuación se presenta un cuadro resumen con los resultados obtenidos en un análisis por cromatografía de las muestras.

Tabla N° 17. Análisis cromatográfico de una muestras compuestas de DAF.

	Entrada DAF	Salida DAF
Ortofosfatos (ppm)	6,5	4,4
Cloruros (ppm)	88	67
Nitritos (ppm)	-	-
Nitratos (ppm)	-	-

Con estos resultados se evidencia que no hay nitritos ni nitratos en la entrada ni en la salida del sistema de flotación por aire disuelto. Esto corrobora una vez más que el nitrógeno presente es de origen orgánico únicamente.

7.5. Evaluación de Pruebas de Jarra

Las pruebas de jarra son utilizadas para controlar la dosis de químico suministrados al tratamiento fisicoquímico y para estimar la tendencia de remoción de sólidos, clarificación del agua y evaluar que impacto tienen diferentes polímeros en el agua residual cruda.

Se realizó un estudio comparativo de polímeros coagulante y floculante para verificar el grado de remoción de nutrientes que tienen dichos químicos, así como remoción del color y la formación de flóculos que se logra.

Las combinaciones de químicos coagulantes-floculantes empleados en el estudio fueron los siguientes:

Alumbre al 50%/MQ-297

MQ-131 Conc. /MQ-297

Nota: el polímero MQ-131 tiene un 30% de cloruro férrico como sustancia activa.

Pruebas con MQ-131/MQ-297

La siguiente gráfica presenta los porcentajes de remoción de fósforo total al emplear una combinación de coagulante-floculante MQ-131/MQ-297 a diferentes concentraciones.

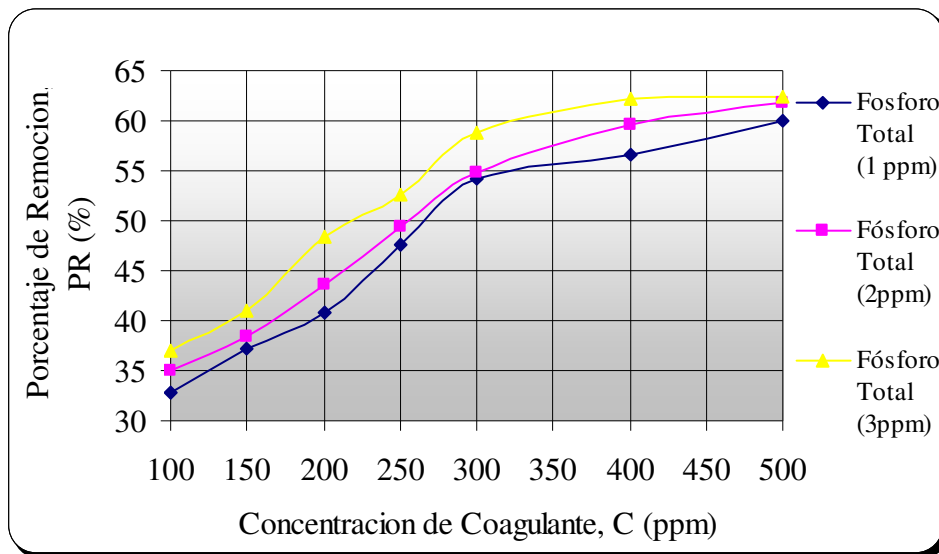


Figura N° 55. Comparación entre dosis de coagulante MQ-131 y floculante MQ-297 para la remoción de fósforo total

La tendencia para cada uno de las curvas es muy parecida aumenta el porcentaje de remoción al aumentar la concentración de coagulante de floculante. Se ve claramente que para valores de concentraciones de coagulante altas se obtiene una mayor remoción de fósforo Total.

La variación con respecto a la concentración de polímero floculante no es muy grande por lo que para aplicar una dosis de polímero calculada con esta mezcla se puede pensar en suministrar 2 ppm de polímero floculante. Esto con la finalidad de tener mejor relación costo/beneficio.

Las curvas comienzan a estabilizarse a partir de 400 ppm y tienen una ligera tendencia a descender, lo que puede atribuirse a la formación de flocs pequeños y muy livianos que no flotan ni sedimentan con facilidad. Este hecho se debe al exceder la concentración de máxima aceptada por el agua residual. Al alcanzar dicho valor se comienzan a desestabilizar los coloides perdiendo la posibilidad de formar flocs.

En la figura N° 55 se puede apreciar el comportamiento que tienen los ortofosfatos al aplicar concentraciones variadas de coagulante y floculante.

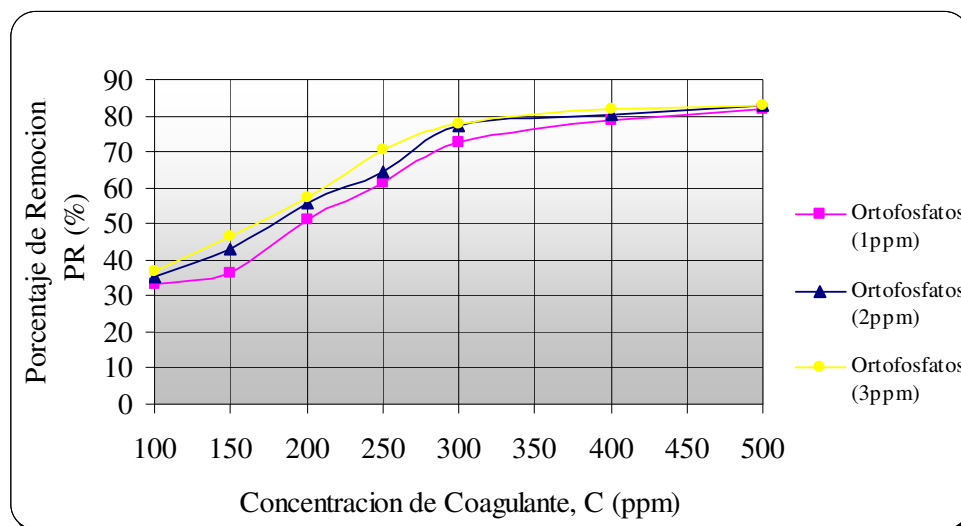


Figura N° 55. Comparación entre dosis de coagulante MQ-131 y floculante MQ-297 para la remoción de ortofosfatos

El fósforo en forma de ortofosfatos alcanza una mayor remoción con respecto al fósforo total con la misma cantidad de polímeros. En esta gráfica se aprecia mejor la estabilización de las curvas a partir de 300 ppm de coagulante y para las tres concentraciones de floculante.

La variación en las eficiencias de remoción obtenidas para las curvas correspondientes a 2 y 3 ppm no se distingue con claridad, lo que lleva a pensar que para este tipo de fósforo no tiene mayor incidencia la cantidad de floculante que se le adicione a la muestra. El caso contrario ocurre con el coagulante, ya que entre 100 y 300 ppm se obtiene una alta remoción.

Los resultados obtenidos de remoción de nitrógeno para las pruebas realizados con MQ-131/MQ-297 se presentan en el siguiente gráfico.

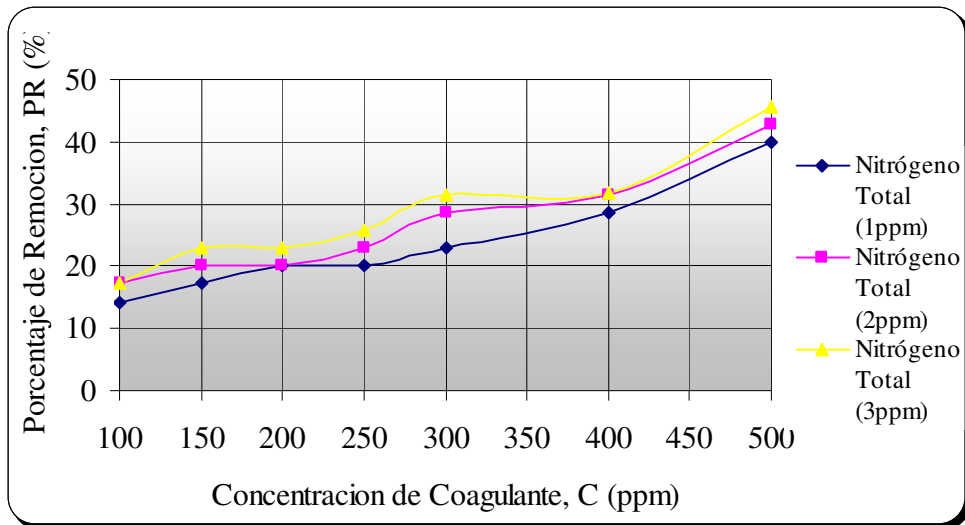


Figura N° 56. Comparación entre dosis de coagulante MQ-131 y floculante MQ-297 para la remoción de nitrógeno total

Para valores de concentración de coagulante comprendidos entre 400 y 500 ppm la remoción de nitrógeno total que se obtiene es la máxima. A mayor dosis de coagulante y floculante mayor es la remoción de conseguida. Este resultado muestra que el nitrógeno orgánico puede ser removido mediante el empleo de estos químicos.

Inyectar una concentración de coagulante comprendida entre 300 y 500 ppm y una dosificación de 2 ppm de polímero floculante da un buen porcentaje de remoción, entre 30 y 45%.

Pruebas con Alumbre/MQ-297

La siguiente gráfica presenta los porcentajes de remoción de fósforo total al emplear una combinación de coagulante-floculante Alumbre/MQ-297 a diferentes concentraciones.

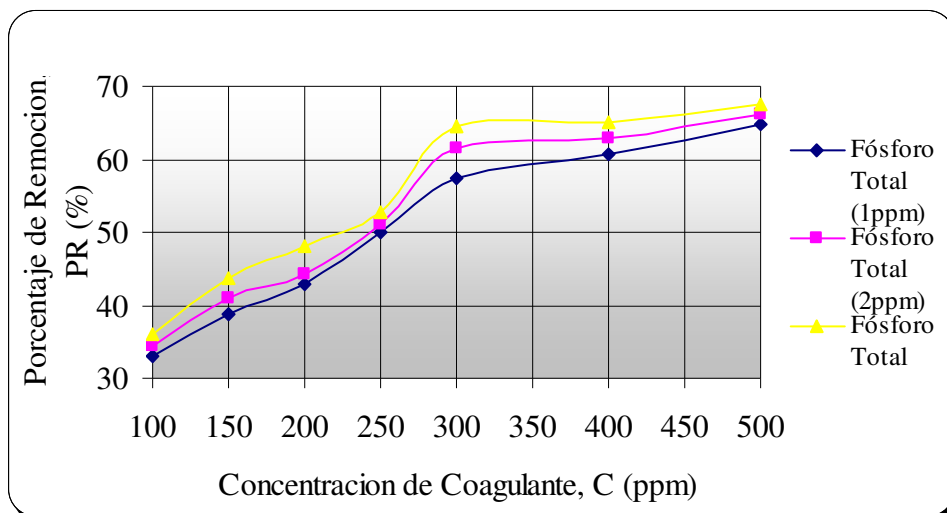


Figura N° 57. Comparación entre dosis de coagulante Alumbre y floculante MQ-297 para la remoción de fósforo total

En esta gráfica se observa que a partir de una concentración de 300 ppm de coagulante las curvas de porcentaje de remoción se comienzan a estabilizar, mostrando que se puede alcanzar porcentajes de remoción comprendidos entre 60 y 70%.

Con respecto al polímero floculante, su acción es más efectiva que en la mezcla de MQ-131/MQ-297, ya que existe mayor diferencia entre las tres curvas.

Una buena dosificación de productos para remover fósforo del agua residual puede ser 300 ppm de alumbre con 3 ppm de floculante.

A continuación se presenta la gráfica que muestra la remoción de ortofosfatos con respecto a la variación de alumbre y floculante.

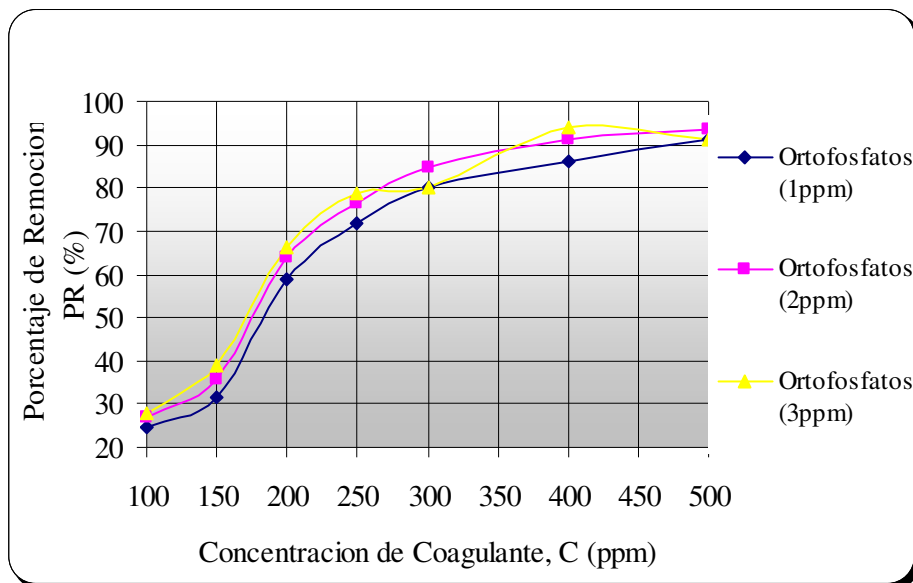


Figura N° 58. Comparación entre dosis de coagulante Alumbre y floculante MQ-297 para la remoción de ortofosfatos

La remoción de ortofosfatos obtenida en estas pruebas es realmente alta, para valores de concentración de alumbre entre 100 y 150 ppm el porcentaje es relativamente bajo pero significativo.

La curva tiene una gran pendiente entre 150 ppm y 200 ppm lo que indica que a esta concentración se alcanza el mayor cambio de toda la gráfica. Con una dosis de alumbre de 200 ppm y 2 ppm de floculante se lograría remover cerca del 70% de ortofosfatos y un 45 % de fósforo total (vea gráfica N° 33)

Con otras dosificaciones de producto se pueden obtener mejores resultados, concentraciones de alumbre por encima de 300 ppm y 3 ppm de floculante. En este caso habría que evaluar económicamente los resultados y realizar pruebas en campo para verificar el comportamiento y justificar un mayor costo.

La siguiente gráfica muestra los resultados obtenidos de remoción de nitrógeno para distintas concentraciones de alumbre y floculante.

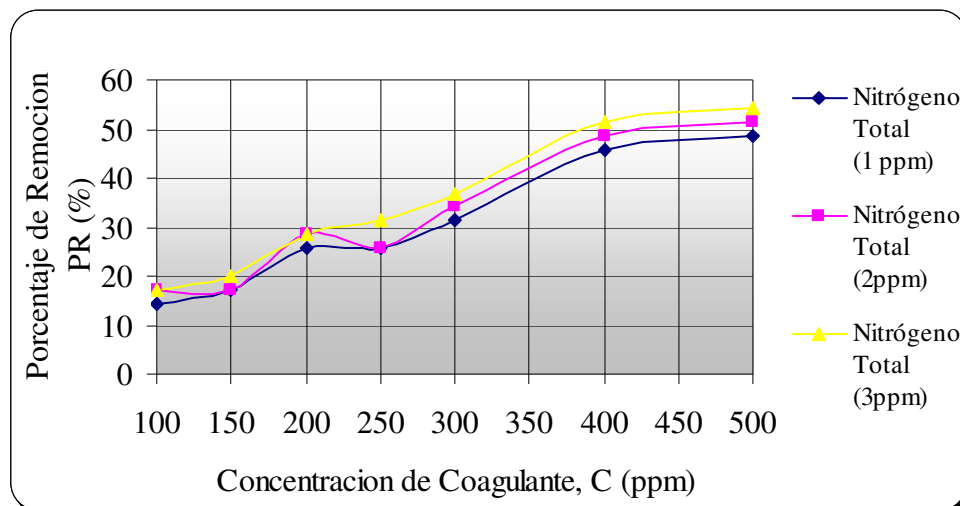


Figura N° 59. Comparación entre dosis de coagulante Alumbre y floculante MQ-297 para la remoción de nitrógeno total

La remoción de nitrógeno alcanzada con la combinación de alumbre/floculante da una mayor remoción con respecto a la obtenida con MQ-131/MQ-297 (vea gráfica N° 56). El punto más favorable en cuanto a relación costo/beneficio es 400 ppm de alumbre con 2 ppm de polímero floculante que da como resultado una remoción del 50% de nitrógeno.

Es importante realizar pruebas de campo en las que se pueda corroborar la información suministrada por estas pruebas, evaluando las desviaciones que puedan tener los valores y manipulando variables de operación.

7.6. Pruebas de Tratabilidad Externas

Las pruebas de tratabilidad fueron realizadas por la Consultora Toro & Asociados (TAC). La finalidad de la realización de estas pruebas fue la de obtener datos reales del comportamiento del efluente de Plumrose Matadero de manera de poder adecuar el tratamiento de aguas residuales a las condiciones futuras.

Las condiciones vienen dadas por los valores proyectados de consumo de carne Food Service y por la demanda de productos embutidos. Para el año 2007 esta proyectado un aumento en la matanza de cerdos de 6.000 a 10.000 cerdos/semana, lo que se traduce en una necesidad alta de adecuar lo más pronto posible el tratamiento actual.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por TAC con respecto a las eficiencias de remoción alcanzadas en las pruebas realizadas.

Las pruebas se dividieron en dos grupos: horario de matanza y horario combinado entre matanza e higienización. La tabla que se presenta a continuación muestra las eficiencias de remoción obtenidas en los cuatro días de prueba. Se tomaron dosis distintas para los días evaluado, lo que puede apreciarse en la siguiente tabla.

Tabla N° 18. Dosis de coagulante y floculante usadas en las pruebas.

Químicos		Días Evaluados			
		13/01/05	18/01/05	25/01/05	26/01/05
Coagulante 50%	Dosis (ml/l)	0,25	0,25	0,50	0,50
	Concentración (mg/l)	125	125	250	250
Floculante 0,1%	Dosis (ml/l)	2	2	2	2
	Concentración (mg/l)	2	2	2	2

En la tabla N° 19 se pueden observar las eficiencias de remoción obtenidas con las dosis óptimas aplicadas a las muestras tomadas durante el horario de matanza.

Tabla N° 19. Eficiencias de remoción de la pruebas de tratabilidad sobre vertidos.

Parámetros (ppm)	Días Evaluados				Promedio
	13/01/05	18/01/05	25/01/05	26/01/05	
	Matanza	Matanza	Matanza	Matanza	
Sólidos Totales	49,00	43,34	63,31	55,68	52,83
Sólidos Suspendidos	93,30	97,34	92,00	85,62	92,07
DBO ₅	53,77	48,45	72,70	69,16	61,02
DQO	46,00	59,73	76,46	73,20	63,85
A&G Totales	97,98	98,00	97,61	98,3	97,80
Fósforo Total	41,00	53,49	77,34	68,46	60,07
Nitrógeno Total	28,00	34,34	46,17	43,33	37,96

Fuente: Toro & Asociados, 2005

Es importante resaltar que los eficiencias obtenidas en estas pruebas son elevadas para los parámetros Sólidos Suspendidos y Aceites & Grasas con valores que supera 95%.

La DBO₅ se ve disminuida en un 61,02%, lo cual es un factor de gran importancia para la etapa secundaria. *Es evidente que al disminuir la DBO₅ al reactor biológico implicará tanto una disminución en la demanda química de oxígeno como una mejor calidad del vertido final.* (TAC, 2005)

En cuanto a los parámetros en estudio que son los nutrientes, Fósforo y Nitrógeno, se logra la remoción de un 60,07 y 37,96 % respectivamente. La eficiencia de remoción de nitrógeno es la menor razón por la cual se debe tomar en cuenta para el proyecto de adecuación este aspecto.

La tabla N° 20 muestra las eficiencias de remoción alcanzadas para las muestras mezcladas que contemplan el comportamiento de todo el día.

Tabla N° 20. Eficiencias de remoción de la pruebas de tratabilidad sobre vertidos.

Parámetros (ppm)	Días Evaluados				Promedio
	13/01/05	18/01/05	25/01/05	26/01/05	
	Matanza + Higiene	Matanza + Higiene	Matanza + Higiene	Matanza + Higiene	
Sólidos Totales	38,00	59,18	56,00	54,37	51,89
Sólidos Suspendidos	97,39	98,53	88,11	95,32	94,83
DBO ₅	72,67	57,63	81,00	76,98	72,07
DQO	76,27	71,52	78,79	79,00	76,40
A&G Totales	98,53	95,00	95,49	97,70	96,68
Fósforo Total	58,00	66,66	69,73	69,76	66,05
Nitrógeno Total	45,77	38,46	46,60	41,15	43,00

Fuente: Toro & Asociados, 2005

Estos resultados muestran la misma tendencia que la tabla anterior por lo cual no se discutirá.

Comparación entre los resultados obtenidos y pruebas de tratabilidad.

Las pruebas de tratabilidad arrojaron resultados parecidos a los obtenidos en la práctica. Sin embargo, cabe resaltar que las eficiencias de remoción obtenidas para nitrógeno total en las pruebas de jarra son menores a las obtenidas por TAC.

Adicionalmente las pruebas realizadas en campo con el sistema de flotación por aire disuelto arrojan eficiencias de remoción menores que los obtenidos en las pruebas de jarra con polímeros MQ. Lo que indica que pueden existir problemas de mezclado en el sistema de inyección de polímeros.

7.7. Propuestas para Alcanzar la Disminución de Nutrientes en el Efluente de Plumrose Matadero.

En este proyecto se realizó un estudio para lograr disminuir los niveles de nutrientes en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales. Este estudio consistió en determinar los puntos y corrientes que proporcionan altos niveles de fósforo y nitrógeno. Adicionalmente se logró optimizar el tratamiento físico-químico logrando la disminución de los niveles de fósforo y nitrógeno.

Los resultados obtenidos en cuanto a remoción de nutrientes en el sistema de flotación por aire disuelto no son lo suficientemente buenos. A pesar que se logra remover los niveles por encima de 40%, no es una disminución representativa, con respecto a los costos asociados a los químicos empleados. Incrementar las dosis de productos químicos acarrea aumento en costos de productos y transporte de lodos que no son justificados para la remoción obtenida. Sin embargo, a pesar que puede ser una solución provisional y que lograría disminuir los niveles de nutrientes, a la larga estos valores siguen siendo altos y no se logrará llegar a las concentraciones establecidos por el MARNR.

Por la razón expuesta anteriormente, es importante disminuir los niveles de nutrientes que entran a la planta de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de lograr mejores resultados en el proceso de tratamiento.

El análisis de las corrientes arrojó como resultado que el área de Matanza tiene mayor impacto en las concentraciones de nitrógeno y fósforo. Por esta razón es importante tomar en cuenta esta corriente para lograr una disminución de los niveles de nutrientes.

La sangre de los cerdos es el factor que mayor incidencia tiene en los niveles de fósforo del afluente de la planta de tratamiento. La propuesta que se le da a la empresa es mejorar el sistema de recolección de sangre en el recorrido que realiza el cerdo una vez que sale de la estación de degollado. El sistema de recolección puede estar conformado por una canal elevada que tenga una inclinación, que permita que la sangre sea transportada hasta los contenedores donde es almacenada bajo refrigeración para evitar su descomposición.

Este sistema de recolección de sangre ayudaría a disminuir los niveles de fósforo que entran a la planta de tratamiento de aguas residuales y adicionalmente podrían generar ingresos monetarios debido a la venta de este desecho.

Otro de los factores que aumenta los niveles de fósforo y nitrógeno son los restos de carne producto de los cortes realizados al cerdo. Para evitar que estos restos entren a la planta de tratamiento de aguas residuales se pueden colocar filtros recolectores de sólidos a la entrada de los drenajes que sirvan como medio de separación. Los sólidos recolectados pueden ser desechos útiles para empresas procesadoras de desechos cárnicos. De esta manera se puede lograr alcanzar una disminución de nutrientes a la entrada de la planta.

El proceso de higienización tiene un impacto alto en las aguas residuales, ya que un 33% del fósforo que entra diariamente a la planta de tratamiento de aguas proviene de este proceso. Una de las desventajas que se tiene es que los detergentes e desinfectantes están compuestos por ácido fosfórico, lo que trae como consecuencia un aumento en los niveles de fósforo. Una de las soluciones para disminuir los niveles de fósforo sería reemplazar los productos utilizados por unos que no tengan en su composición fósforo.

Adicionalmente se debe evaluar la posibilidad de introducir el concepto de limpieza en seco para las áreas de producción que utilicen grandes cantidades

de agua blanca, para de esta manera disminuir el caudal y los niveles de nutrientes que entra diariamente a la planta de tratamiento de aguas residuales. Esto traerá como consecuencia una disminución en los costos de tratamiento.

El último aspecto es crear conciencia en el personal de matanza e higiene del impacto que tienen las malas prácticas en el tratamiento de aguas residuales y por ende los efectos que trae a los cuerpos de agua receptores, medio ambiente y comunidades cercanas.

Capítulo IV
Conclusiones y
Recomendaciones

8. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones obtenidas del proyecto realizado.

- Para obtener mejores resultados en la disminución de nutrientes se debe reducir la entrada de restos cárnicos y sangre a la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Los detergentes y desinfectantes empleados en el proceso de higienización proporcionan un aumento en los niveles de fósforo en el afluente.
- Un sistema de limpieza en seco disminuiría los niveles de nutrientes y sólidos que entran a la planta por efecto del proceso de higienización.
- La combinación entre Alumbre/MQ-297 dio mejores resultados en cuanto a remoción de nitrógeno y fósforo, con porcentajes de remoción de 50% y 65% respectivamente.
- Se logró disminuir los niveles de nutrientes en el sistema de flotación por aire disuelto manipulando las variables de proceso.
- La disminución de sólidos y nutrientes obtenida en la etapa de tratamiento físico-químico no logra alcanzar concentraciones establecidas para descargas a cuerpos de agua.
- El sistema de flotación por aire disuelto opera en condiciones óptimas a concentraciones de coagulante de 250 ppm, 2 ppm de floculante, 80 gpm de flujo de aire y 80 psi de presión.

- La concentración de coagulante es la variable del sistema de flotación por aire disuelto que tiene mayor incidencia en las eficiencias de remoción. Las concentraciones por encima de 250 ppm arrojan porcentajes de remoción de fósforo de 45% y 30% en nitrógeno.
- La segunda variable que incide positivamente en la remoción de nutrientes es la presión de operación, a presiones por encima de 80 psi el sistema logra obtener mayores eficiencias de remoción.
- El sistema de flotación por aire disuelto no trabaja en condiciones óptimas desde el punto de vista mecánico, lo que trae como consecuencia una menor eficiencia de remoción de nutrientes.
- Entre los porcentajes de remoción obtenidos para las distintas pruebas realizadas los sólidos totales alcanzaron los mayores niveles, seguidos por el fósforo total y por ultimo el nitrógeno.

9. RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las recomendaciones derivadas de la elaboración de este proyecto.

- Adaptar un sistema de recolección de residuos cárnicos en las diferentes áreas del proceso productivo que disminuyan las concentraciones de fósforo y nitrógeno, producto de las proteínas contenidas en la carne. Evaluando la posibilidad que puedan ser recuperados para uso en industrias procesadoras de desechos cárnicos.
- Mejorar el sistema de recolección de sangre en el trayecto que siguen los cerdos en faena sucia y limpia. Esto con la finalidad de disminuir el impacto que tiene la sangre en el tratamiento de aguas residuales.
- Evaluar los químicos utilizados en el proceso de limpieza e higienización de manera que se puedan modificar las concentraciones o en su defecto introducir detergentes y desinfectantes que aporten menos cantidad de nutrientes a las aguas residuales.
- Introducir el concepto de limpieza en seco para las áreas de producción que utilicen grandes cantidades de agua blanca, para de esta manera disminuir el caudal que entra diariamente a la planta de tratamiento de aguas residuales. Esto traerá como consecuencia una disminución en los costos de tratamiento.
- Crear conciencia en el personal de matanza e higiene del impacto que tienen las malas prácticas en el tratamiento de aguas residuales y por ende los efectos que trae a los cuerpos de agua receptores, medio ambiente y comunidades cercanas.

- Realizar pruebas en campo con Alumbre y polímero floculante MQ-297 y evaluar las eficiencias de remoción obtenidas en el sistema de flotación por aire disuelto, manipulando las variables de operación.
- Mejorar la inyección de polímeros de manera de aumentar el tiempo de contacto para obtener mejores resultados en cuanto a remoción de nutrientes.

10. BIBLIOGRAFÍA

- **ARBOLEDA, J.** “Teoría y Práctica de la Purificación del Agua” Tercera Edición, McGraw Hill, Bogota, 2000.
- **BAUMANN, E.** “Water Quality and Treatment” Tercera Edición, McGraw Hill, Estados Unidos, 1971.
- **CÁRDENAS, J.** “Fluoreciencia, Ciencia para Todos” Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2003.
- **COVENIN,** “Norma 2461: Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de sólidos”. Fondonorma, Caracas, 1987
- **COVENIN,** “Norma 2709: Aguas Naturales Industriales y Residuales. Guía para las Técnicas de Muestreo”. Fondonorma, Caracas, 2002
- **CRITES, R.** “Sistemas de Manejo de Aguas Residuales” Tomo I, II, III. McGraw Hill, Colombia , 2000.
- **CRUZ, J.** “Aguas Residuales: Un Compromiso Sostenible” VirtualPro. N° 26, Marzo. Bogotá, 2004.
- **EPA,** “Wastewater Technology Fact Sheet Amonia Stripping”, Estados Unidos, 2000.

- **ESTRUCPLAN, CONSULTORA S.A** “Mataderos y elaboración de productos cárnicos” www.144.16.93.203/energy/HC270799/HDL/ENV/envsp/Vol247.htm., 1995.
- **HULTMAN, B.** “ Combined Phosphorous Removal and Recovery” Suecia, 2004.
- **IONICS**, “Dissolved Air Flotation”, www.ionics.com . Consultado Mayo 2005.
- **JAIMES, N.** “Evaluación de la remoción de fósforo y nitrógeno de aguas residuales por algas” Universidad de Pamplona, España, 2004.
- **LENNTECH**, “Tratamiento de Aguas Residuales” <http://www.lenntech.com>. Consultada Abril 2005.
- **MARNR**, Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5305 Extraordinaria “Normas para la Clasificación y Control de Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia”. Sección 6, Artículo 36 Caracas, Venezuela, 1999.
- **METCALF & EDDY**, “Wastewater Engineering”, Primera Edición, Editorial McGraw Hill, Estados Unidos, 1972.
- **MIJAYLOVA, P.** “Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales y su Reutilización como fuente para uso primario” México, 2004
- **MIJARES, GUSTAVO** “Tratamiento del Agua Residual” Tipografía Vargas, Venezuela, 1967

- **MINISTERIO DANES DE MEDIO AMIENTE Y ENERGIA**, “Residuos en Dinamarca” Dinamarca, 2004.
- **MINISTERIO DANES DE MEDIO AMIENTE Y ENERGIA**, “El camino hacia aguas residuales limpias” Dinamarca, 2004.
- **MQ COORPORATION**,” Presentación de Tratamiento de Aguas y Lodos”, Abril 2005.
- **MUÑOZ, JOSE** “Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales de DSR DERETIL”
<http://www.gem.es/MATERIALES/DOCUMENT/DOCUMEN/g05/d05202/d05202.htm>. Consultada Abril 2005.
- **NALCO CHEMICAL COMPANY, KEMMER, F** “The NALCO Water Handbook” Segunda Edición, McGraw Hill, 1988.
- **PONTIFICIA UNIVERSIDAD DE CHILE** “Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas” <http://www.uc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm>. Consultada Abril 2005.
- **PONTIFICIA UNIVERSIDAD DE CHILE** “Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas” <http://www.uc.cl/quimica/agua/potabiliz.htm>. Consultada Mayo 2005
- **RIBYCKI, S**, “New Technologies of Phosphorous Removal from Wastewater” Estados Unidos, 2004.

- **ROMERO, J.** “Tratamiento de Aguas de Residuales, Teoría y Principios de Diseño” Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogota, Colombia, 1999.
- **SHARMAN, R.** “ Phosphorous Removal”, <http://www.lbcc.cc.or.us/process2/phosphorus/phosphorussum.html>, Consultada Mayo 2005
- **SMITH, KEITH** “Wastewater Treatment Principles and Regulations” <http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0768.html> Consultada Abril 2005.
- **STAN ASSOCIATES** “Wastewater/Water Resources - Phosphorus Removal” http://www.strand.com/projects_wasteW_phosphorus.htm **L.** Consultada Junio 2005.
- **SOTIRAKOU, E.** “Ammonia and Phosphorous Removal in Municipal Wastewater Treatment Plant with Extended Aeration” Grecia, 1998.
- **VULCANO** http://vulcano.lasalle.edu.co/~docencia/IngAmbiental/AR_Trat_terciarios.htm. Consultada Mayo, 2005.
- **WILLIS, J,** “Best Management Practices for Nitrogen and Phosphorus Control in Rendering Plants”, www.BMPrendering.htm. Consultada Junio 2005.

11. CÁLCULOS TIPO

A continuación se presentan los cálculos tipo.

11.1. Cálculo de Fósforo Total y Ortofosfatos

El procedimiento para el cálculo de fósforo total y ortofosfatos es el mismo. Se parte de una curva patrón realizada a partir de soluciones patrones preparadas mediante diluciones hechas de una solución patrón que contiene 20 ppm de fósforo.

Se calcula la absorbancia de cada patrón.

$$Abs = 2 - \log(\%T) \quad (\text{Ec.5})$$

Se grafica la absorbancia versus los miligramos de los patrones y se obtienen las pendiente y el punto de corte.

$$y = mx + b \quad (\text{Ec.6})$$

Donde,

x = mg de Fosfato

y : Absorbancia

b : Punto de corte

m : Pendiente

Entonces:

$$ppmP = \frac{\text{Absorbancia} - b}{m} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$ppmP = \frac{0,27 - 0,0204}{0,0413} = 5,99$$

11.2. Cálculo de Nitrógeno Total

Para el cálculo del nitrógeno total se emplea la siguiente fórmula:

$$ppmN = \frac{V \times N \times E \times F}{V_m} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

V: Volumen de Acido consumidos en la titulación por la muestra.

N: Normalidad del ácido clorhídrico

F: Factor de conversión (gramos a miligramos)= 1000

V_m: Volumen de muestra, en mililitro.

E: mg equivalentes a 1 ml. 0.1 N HCl.

$$ppmN = \frac{1,00 \times 0,01 \times 140 \times 1000}{10} = 140$$

11.3. Cálculo de Nitrógeno Amoniacal

Para determinar la concentración de nitrógeno se utiliza la siguiente ecuación:

$$ppmN - NH_3 = NTK - NO \quad (\text{Ec.9})$$

Donde,

NTK: Nitrógeno orgánico más nitrógeno Amoniacal (ppm).

NO: Nitrógeno orgánico (ppm).

$$ppmN - NH_3 = 259 - 238 = 21$$

11.4 Cálculo de Sólidos Totales

Los sólidos totales se calculan de la siguiente forma:

$$ppmST = \frac{(P_f - P_i)}{V_m} \times 1000000 \quad (\text{Ec.10})$$

Donde,

P_i = Peso Tara (g)

P_f = Peso Tara mas muestra seca (g)

V_m = Volumen de muestra (ml)

$$ppmST = \frac{(22,3474 - 22,2932)}{10} \times 1000000 = 5420$$

11.5. Cálculo de Sólidos Suspendidos Totales

La siguiente fórmula se utiliza para determinar sólidos suspendidos totales:

$$ppmSsT = \frac{(P_f - P_i)}{V_m} \times 1000000 \quad (\text{Ec.11})$$

Donde,

P_i = Peso Tara (g)

P_f = Peso Tara mas muestra seca (g)

V_m = Volumen de muestra (ml)

$$ppmST = \frac{(45,0256 - 45,0246)}{25} \times 1000000 = 40$$

11.6. Cálculo de la eficiencia de remoción

Para determinar el valor de la eficiencia de remoción se procede de la siguiente manera.

$$\%Eficiencia_Remocion = \frac{Valor_Inicial - Valor_Final}{Valor_Inicial} \times 100 \quad (\text{Ec.12})$$

Valor Inicial: Entrada del Sistema de flotación o Agua Cruda

Valor Final: Salida del Sistema de Flotación o Prueba de Jarra

$$\%Eficiencia_Remocion = \frac{11,48 - 8,64}{11,48} \times 100 = 24,7\%$$

11.7. Cálculo de Concentración de Polímeros

La dosis de polímeros que se le suministra al agua residual para una cierta concentración se calcula de la siguiente manera.

$$Q_c = \frac{C \times Q}{\rho \times t} \quad (\text{Ec.13})$$

Donde,

Q_c : caudal de coagulante en ml/min

C : concentración de polímero (ppm)

Q : Caudal total que entra a la planta m³/Día

ρ : Densidad del polímero (Kg/l)

t : tiempo de tratamiento (min)

$$Q_c = \frac{100 \times 478}{1,17 \times 600} = 68,1$$

12. ANEXOS

En las siguientes tablas se muestra toda la data recolectada durante la realización del proyecto.

12.1. Estudio de Caudal

Caudal total consumido en el productivo

Día	Fecha	Caudal Entrada (m3/Día)	Día	Fecha	Caudal Entrada (m3/Día)	Día	Fecha	Caudal Entrada (m3/Día)	Día	Fecha	Caudal Entrada (m3/Día)
V	1-Jul	493	L	1-Ago	578	J	1-Sep	545	L	3-Oct	522
L	4-Jul	506	M	2- Ago	500	V	2-Sep	527	M	4-Oct	519
M	5-Jul	123	M	3- Ago	522	L	5-Sep	575	M	5-Oct	506
M	6-Jul	562	J	4- Ago	368	M	6-Sep	489	J	6-Oct	520
J	7-Jul	552	V	5- Ago	542	M	7-Sep	555	V	7-Oct	477
V	8-Jul	530	L	8- Ago	488	J	8-Sep	511	L	10-Oct	577
L	11-Jul	542	M	9- Ago	510	V	9-Sep	501	M	11-Oct	535
M	12-Jul	500	M	10- Ago	510	L	12-Sep	456	M	12-Oct	121
M	13-Jul	618	J	11- Ago	514	M	13-Sep	474	J	13-Oct	489
J	14-Jul	561	V	12- Ago	468	M	14-Sep	541	V	14-Oct	636
V	15-Jul	501	L	15- Ago	553	J	15-Sep	585	L	17-Oct	675
L	18-Jul	522	M	16- Ago	540	V	16-Sep	500	M	18-Oct	752
M	19-Jul	539	M	17- Ago	543	L	19-Sep	544	M	19-Oct	527
M	20-Jul	662	J	18- Ago	606	M	20-Sep	585	J	20-Oct	509
J	21-Jul	690	V	19- Ago	592	M	21-Sep	545	V	21-Oct	490
V	22-Jul	501	L	22- Ago	489	J	22-Sep	473	L	24-Oct	515
L	25-Jul	525	M	23- Ago	481	V	23-Sep	397	M	25-Oct	481
M	26-Jul	512	M	24- Ago	515	L	26-Sep	558	M	26-Oct	455
M	27-Jul	539	J	25- Ago	498	M	27-Sep	529	J	27-Oct	547

Caudal que entra a la PTAR diariamente

Día	Fecha	Caudal Entrada (m3/Día)	Día	Fecha	Caudal Entrada (m3/Día)	Día	Fecha	Caudal Entrada (m3/Día)	Día	Fecha	Caudal Entrada (m3/Día)
V	1-Jul	255	L	1-Ago	553	J	1-Sep	573	L	3-Oct	614
L	4-Jul	473	M	2-Ago	462	V	2-Sep	437	M	4-Oct	585
M	6-Jul	388	J	4-Ago	416	M	6-Sep	393	J	6-Oct	551
J	7-Jul	445	V	5-Ago	213	M	7-Sep	457	V	7-Oct	353
V	8-Jul	478	L	8-Ago	459	J	8-Sep	604	L	10-Oct	520
L	11-Jul	510	M	9-Ago	525	V	9-Sep	473	M	11-Oct	831
M	13-Jul	542	J	11-Ago	487	M	13-Sep	507	J	13-Oct	404
J	14-Jul	634	V	12-Ago	324	M	14-Sep	590	V	14-Oct	403
V	15-Jul	248	L	15-Ago	498	J	15-Sep	645	L	17-Oct	443
L	18-Jul	518	M	16-Ago	544	V	16-Sep	253	M	18-Oct	649
M	19-Jul	501	M	17-Ago	500	L	19-Sep	494	M	19-Oct	619
M	20-Jul	647	J	18-Ago	512	M	20-Sep	529	J	20-Oct	550
J	21-Jul	557	V	19-Ago	424	M	21-Sep	541	V	21-Oct	293
V	22-Jul	412	L	22-Ago	356	J	22-Sep	462	L	24-Oct	475
L	25-Jul	560	M	23-Ago	479	V	23-Sep	253	M	25-Oct	461
M	26-Jul	570	M	24-Ago	676	L	26-Sep	462	M	26-Oct	542

12.2. Cerdos Beneficiados

Fecha	Cantidad de Cerdos	Peso Vivo Total (Kg)	Velocidad Matanza (Cerdos/h)
1-Jul	1453	137522	220
4-Jul	1408	142454	180
6-Jul	890	88720	150
7-Jul	1465	139694	220
8-Jul	1245	119478	180
11-Jul	1534	153872	180
12-Jul	1365	132716	220
13-Jul	1147	112909	180

14-Jul	1377	133364	180
15-Jul	1316	132315	180
18-Jul	1227	127939	150
19-Jul	1378	136483	180
20-Jul	850	82889	150
21-Jul	1763	174347	220
22-Jul	1303	119223	220
25-Jul	1225	125953	150
26-Jul	1383	136255	180
27-Jul	1378	138548	180
28-Jul	1644	165594	180-220
29-Jul	1112	165594	180-220
1-Ago	1194	122838	150
2-Ago	1528	153037.09	180
3-Ago	1204	121056.91	180
4-Ago	1303	125070.53	180
5-Ago	1469	144558.47	220
8-Ago	1415	143675	180
9-Ago	1527	150822	180
10-Ago	932	90845	150
11-Ago	1736	163984.62	220
12-Ago	1519	148516	220
15-Ago	1625	161155	180
16-Ago	1341	128513	180
17-Ago	1341	108622	220
18-Ago	1403	135498.37	180
22-Ago	1243	124495	180
23-Ago	1303	125682	220
24-Ago	1392	131461.71	220
25-Ago	1337	125419.29	180
26-Ago	1534	150793	220
29-Ago	1666	165674	220
30-Ago	1552	148848	180-220

31-Ago	1391	132016	220
1-Sep	1569	141364	180-220
2-Sep	1228	115135	180-220
5-Sep	1376	137825	180-150
6-Sep	1670	160223.04	220
7-Sep	1339	129228.67	220
8-Sep	1030	93465.33	150
9-Sep	1641	156921	220
12-Sep	904	85473.84	150
13-Sep	1132	105637	180
14-Sep	1515	143714	180
19-Sep	1661	159772	220
20-Sep	1601	154424	180
21-Sep	1197	114783.68	180
22-Sep	1084	95904.32	180
23-Sep	902	82847	120
26-Sep	1492	141711	180
27-Sep	1270	120253	150
28-Sep	1150	87770.42	180
29-Sep	1102	102515.58	150
30-Sep	1502	142762	220
3-Oct	1498	150242	180
4-Oct	1181	112918	150
5-Oct	1081	106640.55	180
6-Oct	1162	109054.45	180
7-Oct	1161	105888	180
10-Oct	1515	150524.44	180
11-Oct	1748	160439.56	220
13-Oct	1482	141190.08	220
17-Oct	1375	140218.22	220
18-Oct	1351	133619.41	180
19-Oct	1092	104499.07	180
20-Oct	1334	133962.93	180

21-Oct	1132	108909	180
24-Oct	1489	146037.85	180
25-Oct	1208	118904.15	180

12.3. Selección de Corrientes de Interés

Concentraciones de Fósforo Total en corrientes estudiadas.

Corrientes/Muestra	Fósforo Total			
	Nº 1	Nº 2	Concentración Promedio (ppm)	Desviación Estándar, σ
Lavado de Camiones	33,21	34,87	34,040	1,174
Mantequera	14,30	12,42	13,360	1,329
Faena Limpia Matanza	6,78	5,96	6,370	0,580
Tripería	18,97	22,07	20,520	2,192
Picada y Desposte	12,23	16,76	14,495	3,203
Faena Sucia Matanza	43,16	38,34	40,750	3,408

Concentraciones de Nitrógeno Total en corrientes estudiadas.

Corrientes/Muestra	Nitrógeno Total (ppm)			
	Nº 1	Nº 2	Concentración Promedio (ppm)	Desviación Estándar, σ
Lavado de Camiones	189	175	182,0	9,90
Mantequera	161	147	154,0	9,90
Faena Limpia Matanza	203	182	192,5	14,9
Tripería	217	203	210,0	9,9
Picada y Desposte	266	252	259,0	9,9
Faena Sucia Matanza	262	353	307,5	64,9

Concentraciones de Sólidos Totales en corrientes estudiadas.

Corrientes/Muestra	Sólidos Totales (ppm)			
	Nº 1	Nº 2	Concentración Promedio (ppm)	Desviación Estándar, σ
Lavado de Camiones	820	940	880,0	84,5
Mantequera	1020	1130	1075,0	77,8
Faena Limpia Matanza	2030	2460	2245,0	304,6
Tripería	1930	2730	2330,0	565,9
Picada y Desposte	1800	2100	1950,0	212,32
Faena Sucia Matanza	3115	3175	3145,0	42,26

Concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales en corrientes estudiadas.

Corrientes/Muestra	Sólidos Suspendedos Totales (ppm)			
	Nº 1	Nº 2	Concentración Promedio (ppm)	Desviación Estándar, σ
Lavado de Camiones	288	384	336,0	67,9
Mantequera	464	556	510,0	65,1
Faena Limpia Matanza	784	824	804,0	28,3
Tripería	1496	1100	1298,0	280,0
Picada y Desposte	1110	796	953,0	222,0
Faena Sucia Matanza	1090	2133	1611,5	737,5

Concentraciones de Sólidos Suspendedos Totales en corrientes estudiadas.

Corrientes/Muestra	pH (Adim)			
	Nº 1	Nº 2	Concentración Promedio (ppm)	Desviación Estándar, σ
Lavado de Camiones	8,14	8,01	8,075	0,092
Mantequera	6,81	6,70	6,755	0,078
Faena Limpia Matanza	7,23	7,09	7,160	0,099

Tripería	7,05	7,14	7,095	0,064
Picada y Desposte	7,18	7,45	7,315	0,191
Faena Sucia Matanza	7,07	7,22	7,145	0,106

12.4. Corrientes de Interés

Corriente Matanza

	Muestra					Promedio	Desviación Estándar
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5		
Fósforo Total (ppm)	44,11	43,14	38,45	39,24	35,16	40,02	3,6
Nitrógeno Total (ppm)	268	262	353	390	252	305,0	62,4
Sólidos Totales (ppm)	2670	3115	3175	3080	2170	2842,0	425,2
Sólidos Suspendidos (ppm)	1000	1090	2133	1460	1260	1388,6	451,6
Cloruros (ppm)	141	132	110	168	123	134,8	21,8
pH (adim)	7.36	7.07	7.22	7.3	7.12	7,214	0,121

Picada-Desposte

	Muestra					Promedio	Desviación Estándar
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5		
Fósforo Total (ppm)	12,34	15,14	13,27	12,15	16,10	13,800	1,748
Nitrógeno Total (ppm)	266	252	273	280	245	263,2	14,5
Sólidos Totales (ppm)	1800	2100	1910	1823	2012	1929,0	126,9

Sólidos Suspendidos (ppm)	1110	796	1196	1240	892	1047,0	194,0
Cloruros (ppm)	402	536	469	379	384	434,0	67,4
pH (adim)	7,18	7,45	7,23	6,93	7,02	7,162	0,201

Tripería

	Muestra					Promedio	Desviación Estándar
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5		
Fósforo Total (ppm)	21,19	18,21	19,01	22,27	21,86	20,526	1,779
Nitrógeno Total (ppm)	210	231	217	203	238	219,8	14,5
Sólidos Totales (ppm)	2116	2640	1930	2730	3010	2485,2	448,3
Sólidos Suspendidos (ppm)	890	1078	1496	1100	1460	1204,8	262,7
Cloruros (ppm)	115	105	110	78	96	100,8	14,5
pH (adim)	7,23	6,98	7,05	7,14	7,28	7,136	0,124

12.5. Evaluación Higiene

Parámetro/Muestra	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5
Fósforo Total (%T)	28,24	26,54	33,67	35,57	34,06

Ortofosfatos (%T)	6,25	6,12	9,42	18,10	9,50
NTK (ml)	1,05	1,00	1,25	1,65	1,45
Nitrógeno Orgánico (ml)	0,90	0,80	0,95	1,45	1,30
Sólidos Totales (g)	0,01600	0,01759	0,02170	0,01950	0,01762
Sólidos Suspendidos (g)	0,00640	0,00763	0,00940	0,00723	0,00688
Turbidez (NTU)	465	487	612	580	490
pH (adim)	7,23	7,38	7,40	6,65	7,25

12.6. Evaluación Sistema de Flotación por Aire Disuelto

Variación de Coagulante

	Entrada DAF Promedios Muestras				
	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm
Fósforo Total (ppm)	28,00	35,00	44,43	40,62	31,86
Ortofosfatos (ppm)	6,78	11,42	11,74	19,85	13,56
NTK (ml)	1,85	1,50	2,60	1,90	1,75
Nitrógeno Orgánico (ml)	1,70	1,00	2,05	1,45	1,20
Turbidez (NTU)	450	510	423	290	975
Sólidos Totales (g)	0,0289	0,027	0,0309	0,02754	0,03491
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,003575	0,0031	0,00385	0,00245	0,005725

	Salida DAF Promedio de Muestras				
	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm
Fosforo Total (ppm)	23,42	27,92	30,89	27,34	21,09
Ortofosfatos (ppm)	4,35	7,31	6,55	11,45	7,37
NTK (ml)	1,80	1,45	2,10	1,60	1,30

Nitrógeno Orgánico (ml)	1,65	0,90	1,50	1,10	0,70
Turbidez (NTU)	295	290	210	158	401
Sólidos Totales (g)	0,0203	0,0169	0,0182	0,0174	0,01951
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,0019	0,0015	0,0013	0,000975	0,001725

	Purga Fondo DAF Promedio de Muestras				
	100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm
Fósforo Total (ppm)	45,33	48,45	54,12	48,23	52,56
Ortofosfatos (ppm)	31,86	28,79	34,67	32,68	31,67
NTK (ml)	2,65	2,40	2,85	2,35	2,65
Nitrógeno Orgánico (ml)	1,8	1,60	2,10	1,75	2,10
Turbidez (NTU)	1900	1970	2280	1630	2870
Sólidos Totales (g)	0,0769	0,07423	0,0769	0,0789	0,0813
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,07875	0,055	0,059175	0,053625	0,0692

Variación de Presión de Operación

	Entrada DAF			
	60 psi	70 psi	80 psi	90psi
Fósforo Total (ppm)	33,24	36,21	35,75	31,46
Ortofosfatos (ppm)	10,87	12,58	11,09	9,87
Nitrógeno Total (ml)	2	1,75	1,55	1,5
Nitrógeno Orgánico (ml)	1,70	1,40	1,00	1,10
Turbidez (NTU)	429	581	465	328
Sólidos Totales (g)	0,02074	0,0298	0,02682	0,01983
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,003725	0,0044	0,00465	0,00355

	Salida DAF			
	60 psi	70 psi	80 psi	90psi
Fósforo Total (ppm)	32,82	35,04	28,93	24,92
Ortofosfatos (ppm)	9,43	9,83	6,21	4,31

Nitrógeno Total (ml)	273	231	181	168
Nitrógeno Orgánico (ml)	1,60	1,25	0,70	0,75
Turbidez (NTU)	322	424	313	172
Sólidos Totales (g)	0,0196	0,02531	0,02201	0,0143
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,003075	0,0034	0,00275	0,001975

Variación de Polímero Floculante

	Entrada DAF			Salida DAF		
	1 ppm	2 ppm	3 ppm	1 ppm	2 ppm	3 ppm
Fósforo Total (ppm)	31,20	34,64	29,41	26,32	29,13	24,75
Ortofosfatos (ppm)	10,35	9,86	7,39	8,62	8,02	6,02
Nitrógeno Total (ml)	1,55	2,00	1,9	1,55	2,00	1,85
Nitrógeno Orgánico (ml)	1,25	1,65	1,65	1,25	1,60	1,6
Turbidez (NTU)	493	516	424	290	297	243
Sólidos Totales (g)	0,0215	0,02396	0,0274	0,016	0,0171	0,01986
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,0085	0,0071	0,0044	0,00465	0,003775	0,002275

Variación de Flujo de Aire

	Entrada DAF Promedio Muestras			
	20 gpm	40 gpm	60 gpm	80 gpm
Fósforo Total (ppm)	40,34	43,27	32,45	31,48
Ortofosfatos (ppm)	9,83	11,17	8,46	12,87
Nitrógeno Total (ml)	2,00	1,45	1,60	1,45
Nitrógeno Orgánico (ml)	1,70	0,95	1,20	0,90
Turbidez (NTU)	384	437	394	274
Sólidos Totales (g)	0,02041	0,02647	0,01974	0,0182
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,00325	0,004375	0,003175	0,0041

	Salida DAF Promedio Muestras			
	20 gpm	40 gpm	60 gpm	80 gpm
Fósforo Total (ppm)	38,29	37,96	27,03	25,23
Ortofosfatos (ppm)	8,75	7,98	6	8,71
Nitrógeno Total (ml)	275	189	203	175
Nitrógeno Orgánico (ml)	53	75	60	82
Turbidez (NTU)	299	304	220	136
Sólidos Totales (g)	0,01912	0,02365	0,01300	0,01028
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,002725	0,002675	0,0017	0,00203

12.7. Pruebas de Jarra

MQ-131/MQ-297 a 1ppm

	Agua Cruda	Sobrenadante						
		100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm	400 ppm	500 ppm
Fósforo Total (g)	0,0319	0,0214	0,0200	0,0188	0,0167	0,0146	0,0138	0,0128
Ortofosfatos (g)	0,0136	0,0090	0,0087	0,0067	0,0052	0,0037	0,0029	0,0025
Nitrógeno Total (g)	0,245	0,21	0,203	0,182	0,182	0,168	0,133	0,126
Nitrógeno Amoniacal (g)	0,077	0,077	0,077	0,077	0,077	0,035	0,035	0,028
Turbidez (NTU)	975	99	96	87	75	45	35	28

Sólidos Totales (g)	2,200	2,01	1,995	1,967	1,922	1,89	1,68	1,46
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0,120	0,065	0,06	0,039	0,035	0,034	0,021	0,02

MQ-131/MQ-297 a 2ppm

	Agua Cruda	Sobrenadante						
		100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm	400 ppm	500 ppm
Fósforo Total (g)	0.0207	0.0196	0.0180	0.0161	0.0144	0.0129	0.0121	0.0207
Ortofosfatos (g)	0.0088	0.0077	0.0060	0.0048	0.0031	0.0027	0.0023	0.0088
Nitrógeno Total (g)	0.203	0.203	0.175	0.182	0.161	0.126	0.119	0.203
Nitrógeno Amoniacal (g)	0.035	0.028	0.021	0.028	0.028	0.021	0.014	0.035
Turbidez (NTU)	96	95	83	71	43	20	14	96
Sólidos Totales (g)	1.97	1.93	1.923	1.9	1.65	1.53	1.41	1.97
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0.061	0.058	0.035	0.031	0.029	0.02	0.018	0.061

MQ-131/MQ-297 a 3ppm

	Agua Cruda	Sobrenadante						
		100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm	400 ppm	500 ppm
Fósforo Total (g)	0.0201	0.0188	0.0164	0.0151	0.0131	0.0121	0.0120	0.0201
Ortofosfatos (g)	0.0086	0.0073	0.0058	0.0040	0.0030	0.0025	0.0023	0.0086
Nitrógeno Total (g)	0.203	0.196	0.175	0.168	0.155	0.119	0.112	0.203
Nitrógeno Amoniacal (g)	0.035	0.035	0.028	0.035	0.028	0.021	0.021	0.035
Turbidez (NTU)	95	93	82	69	46	19	13	95
Sólidos Totales (g)	1.968	1.926	1.919	1.897	1.648	1.522	1.406	1.968
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0.0604	0.058	0.0343	0.0304	0.0287	0.019	0.017	0.0604

Alumbre/MQ-297 a 1ppm

	Agua Cruda	Sobrenadante						
		100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm	400 ppm	500 ppm
Fósforo Total (g)	0.0319	0.0213	0.0195	0.0182	0.0159	0.0136	0.0125	0.0112
Ortofosfatos (g)	0.0136	0.0102	0.0093	0.0056	0.0038	0.0027	0.0019	0.0012
Nitrógeno Total (g)	0.245	0.21	0.203	0.196	0.196	0.189	0.175	0.147
Nitrógeno Amoniacal (g)	0.077	0.042	0.042	0.028	0.035	0.035	0.021	0.021
Turbidez (NTU)	975	450	300	220	180	100	80	30
Sólidos Totales (g)	2.200	2.07	1.96	1.847	1.765	1.689	1.467	1.29
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0.120	0.106	0.097	0.08	0.071	0.06	0.049	0.027

Alumbre/MQ-297 a 2ppm

	Agua Cruda	Sobrenadante						
		100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm	400 ppm	500 ppm
Fósforo Total (g)	0.0319	0.0209	0.0188	0.0178	0.01562	0.0123	0.0118	0.0108
Ortofosfatos (g)	0.0136	0.0099	0.0087	0.0049	0.0032	0.0021	0.0012	0.0009
Nitrógeno Total (g)	0.245	0.203	0.196	0.196	0.189	0.175	0.168	0.14
Nitrógeno Amoniacal (g)	0.077	0.035	0.035	0.021	0.021	0.021	0.014	0.014
Turbidez (NTU)	975	439	297	209	169	97	77	28
Sólidos Totales (g)	2.200	2.07	1.96	1.847	1.765	1.689	1.467	1.29
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0.120	0.106	0.097	0.08	0.071	0.06	0.049	0.027

Alumbre/MQ-297 a 3ppm

	Agua Cruda	Sobrenadante						
		100 ppm	150 ppm	200 ppm	250 ppm	300 ppm	400 ppm	500 ppm
Fósforo Total (g)	0.0319	0.0204	0.0179	0.0165	0.0151	0.0113	0.0111	0.0319
Ortofosfatos (g)	0.0136	0.0098	0.0083	0.0046	0.0029	0.0027	0.0008	0.0136
Nitrógeno Total (g)	0.245	0.203	0.189	0.189	0.182	0.168	0.167	0.245
Nitrógeno Amoniacal (g)	0.077	0.035	0.028	0.021	0.028	0.035	0.014	0.077
Turbidez (NTU)	975	438	296	208	166	96	75	975
Sólidos Totales (g)	2.200	1.992	1.82	1.8	1.519	1.546	1.37	2.200
Sólidos Suspendidos Totales (g)	0.120	0.099	0.086	0.077	0.062	0.056	0.041	0.120

12.8. Pruebas de Tratabilidad realizadas por Toro & Asociados

Niveles de Concentración de los Vertidos

Parámetros	Unidades	Días Evaluados							
		13/01/05		18/01/05		25/01/05		26/01/05	
		Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene
pH mezcla	Adim	7,36	7,03	7,07	6,99	7,22	7,03	7,30	7,23
Rango pH	Adim	7,19-7,47	6,63-7,41	6,86-7,21	6,38-7,12	6,92-7,45	6,91-7,17	7,17-7,46	6,84-7,73
Rango Temperatura	° C	30	21-39	29-30	33-38	30	31-36	29-30	30-80
Sólidos Totales	mg/l	2670	3560	3115	2450	3175	2920	3080	2367
Sólidos Disueltos	mg/l	1660	2090	2015	1490	1032	1270	1610	1297
Sólidos Suspendidos	mg/l	1000	1460	1090	950	2133	1640	1460	1070
DBO₅	mg/l	1709	2024	1416	1416	3150	4700	2400	2650
DQO	mg/l	3560	4000	3042	3968	5240	6900	5050	4944
A&G Totales	mg/l	174	184	260	120	184	122	103	124
Fósforo Total	mg/l	40	41	38	34	33	31	35	21
Nitrógeno Total	mg/l	262	232	248	240	360	309	383	250
Cloruros	mg/l	143	727	435	78	113	136	171	94

*Niveles de Concentración de los Vertidos una vez Realizadas las Pruebas de
Tratabilidad*

Parámetros	Unidades	Días Evaluados							
		13/01/05		18/01/05		25/01/05		26/01/05	
		Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene
pH	Adim	6,94	6,40	6,84	6,89	6,57	6,64	6,70	6,67
Sólidos Totales	mg/l	1365	2225	1736	986	992	1090	1155	1030
Sólidos Disueltos	mg/l	1298	2187	1736	986	992	1090	1155	1030
Sólidos Suspendidos	mg/l	67	38	29	14	173	195	210	50
DBO₅	mg/l	790	553	730	600	860	900	740	610
DQO	mg/l	1923	949	1225	1130	1233	1468	1353	1038
A&G Totales	mg/l	3,50	2,70	5,20	6,00	4,39	5,50	1,75	2,76
Fósforo Total	mg/l	26,00	19,00	20,00	13,00	8,61	11,02	12,30	6,35
Nitrógeno Total	mg/l	193	122	172	144	190	165	221	143
Cloruros	mg/l	151	828	469	122	191	182	204	172

Eficiencias de Remoción de las Pruebas de Tratabilidad

Parámetros	Unidades	Días Evaluados							
		13/01/05		18/01/05		25/01/05		26/01/05	
		Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene	Matanza	Matanza + Higiene
Sólidos Totales	mg/l	49,00	38,00	43,34	59,18	63,31	56,00	55,68	54,37
Sólidos Suspendidos	mg/l	93,3	97,39	97,34	98,53	92,00	88,11	85,62	95,32
DBO₅	mg/l	53,77	72,67	48,45	57,63	72,70	81,00	69,16	76,98
DQO	mg/l	46,00	76,27	59,73	71,52	76,46	78,79	73,20	79,00
A&G Totales	mg/l	97,98	98,53	98,00	95,00	97,61	95,49	98,3	97,70
Fósforo Total	mg/l	41,00	58,00	53,49	66,66	77,34	69,73	68,46	69,76
Nitrógeno Total	mg/l	28,00	45,77	34,34	38,46	46,17	46,60	43,33	41,15