

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE NITRÓGENO Y  
FÓSFORO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE LA PLANTA DE EMBUTIDOS DE  
PLUMROSE LATINOAMERICANA, C.A.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. María Angélica Gascón Padrón  
para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2006

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA PLANTA DE EMBUTIDOS DE PLUMROSE LATINOAMERICANA, C.A.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. María Esperanza Rincones

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Migdalia Padrón

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. María Angélica Gascón Padrón  
para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, Mayo de 2006

**Gascón P., María A.**

**ESTRATEGIAS PARA LA DISMINUCIÓN DE NITRÓGENO Y  
FÓSFORO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE LA PLANTA DE EMBUTIDOS DE  
PLUMROSE LATINOAMERICANA, C.A.**

**Tutor Académico: Prof. María Esperanza Rincones. Tutor Industrial: Ing.  
Migdalia Padrón. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de  
Ingeniería Química. Año 2006 p. 281.**

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

**Resumen.** El objetivo de este proyecto es determinar las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el afluente a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Plumrose Latinoamericana y evaluar las posibles opciones tecnológicas para su remoción. Con el fin de alcanzar este objetivo, fue necesario la caracterización de los afluentes a la planta de tratamientos de aguas residuales, provenientes de diferentes zonas de la planta de embutidos, para determinar las corrientes que mayor aportan estos nutrientes, también se realizó un estudio sobre las diferentes tecnologías empleadas para la remoción de estos compuestos de las aguas residuales, seleccionando el tratamiento físico-químico terciario para la remoción de fósforo y la nitrificación para el nitrógeno. Por esta razón se determinaron los puntos críticos a evaluar partiendo de las aguas residuales y los desechos generados, obteniéndose que durante la higienización de jamones se aporta la mayor cantidad de nitrógeno a la planta de tratamientos con un flujo másico de 59 kg/día, mientras que en la zona de curación y colgado aporta el mayor flujo másico de fósforo de 2 kg/día. También se realizaron pruebas de jarras en las aguas de la entrada de la planta de tratamientos con polímeros

y alumbre, así como pruebas con cal en las aguas del reactor de oxidación, obteniéndose con una dosificación de 4 g/l de alumbre la mejor disminución en las concentraciones de nitrógeno y fósforo con un 80,8% y 84,5% de remoción respectivamente; sin embargo se observó que en estos puntos no se alcanzaban las concentraciones máximas de nitrógeno y fósforo permitidas por el Estado, y que una remoción de nutrientes en este punto afectaría el buen funcionamiento del reactor biológico; es por ello que se propone realizar el tratamiento con alumbre en la salida del clarificador y un mejoramiento en el sistema de aireación del reactor de lodos activados para nitrificar todo el Nitrógeno Total Kjeldahl presente en las aguas. Dentro de la propuesta está la construcción de un tanque de homogeneización de 67 m<sup>3</sup> para disminuir las fluctuaciones de caudal y la carga de nitrógeno y fósforo en la planta, con el fin de mejorar el funcionamiento de los procesos tratamientos de agua de residuales. También se propone la construcción de un tanque de mezclado rápido de 0,5 m<sup>3</sup>, otro de floculación de 2,3 m<sup>3</sup> y uno de sedimentación de 43 m<sup>3</sup> para el tratamiento físico-químico terciario, empleado para remover fósforo principalmente. Para disminuir las concentraciones de nitrógeno, se propone mejorar el sistema de aireación en el canal de oxidación, empleando 4 aireadores de cepillo garantizando el suministro de oxígeno necesario para llevar a cabo la nitrificación. Aparte de la propuesta se recomienda realizar pruebas de jarra con diferentes químicos en el efluente del clarificador, para determinar cual es el más apropiado para la remoción de fósforo, así como la recuperación de las salmueras de la zona de curación y colgado para disminuir el impacto que esta corriente tiene en la entrada de la planta de tratamientos de aguas residuales.

Caracas, Mayo de 2006.

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 María A. Gascón P., titulado:

**“Estrategias para la Disminución de Nitrógeno y Fósforo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Planta de Embutidos de Plumrose Latinoamericana, C.A.”**

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. José Ángel Sorrentino

Jurado



Prof. Eudoro López

Jurado

Prof. María Esperanza Rincones

Tutor Académico

*A ti Señor Jesucristo...*

*A mi Papá, mi Mamá, los amo, esto es de ustedes.*

---

## **AGRADECIMIENTOS**

*Gracias a Dios Todopoderoso, por ser mi luz, mi refugio y mi esperanza.*

*A mi madre un GRACIAS muy grande, eres mi guía, mi ejemplo a seguir, gracias por enseñarme el camino correcto, por llenar mi vida de momentos bellos y especiales.*

*Gracias a mi padre por brindarme su confianza, apoyo y por todo el amor que me ha ofrecido.*

*Gracias a mis hermanos: Miguel Ángel, Rosana y Rosángela, por toda la colaboración y momentos de alegría brindados, los amo muchísimo y disculpen los momentos difíciles que les hice pasar con mi estrés durante la elaboración de este trabajo y en otras oportunidades, gracias por comprenderme.*

*A mis tíos Elena y Roberto, por toda la paciencia, colaboración, consejos oportunos y el apoyo ofrecido.*

*Un agradecimiento especial a la Prof. María Rincones, por compartir conmigo su experiencia y orientarme durante la realización de este trabajo.*

*Muchas gracias a la Ing. Migdalia Padrón, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo y compartir sus conocimientos conmigo, guiándome en mi formación profesional.*

*Agradezco a todo el personal de Plumrose Latinoamericana por el apoyo brindado durante la realización de este trabajo, en especial al personal de Agua - Vapor y del Laboratorio.*

---

---

## *Agradecimientos*

---

*Gracias especiales a Arianella, Alejandra y Andreina, quienes me ayudaron durante la realización de este trabajo y me brindaron su amistad y apoyo.*

*Gracias a Yolimar, Alfredo, Yelitza, Melania, Nora, Roselys y Jorge por su amistad incondicional, por su amor y comprensión brindada en todo momento.*

*Gracias a mi tía Arelys y a Katiushka por la ayuda ofrecida para la realización de mi trabajo, gracias tía, también, por el apoyo brindado a mi mami.*

*Gracias a todos, muchas gracias... Dios los Bendiga.*

*María Angélica*

---



---

---

**ÍNDICE GENERAL**

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                  | <b><u>PÁG.</u></b> |
|----------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>LISTA DE TABLAS.....</b>                              | <b>vi</b>          |
| <b>LISTA DE ILUSTRACIONES.....</b>                       | <b>viii</b>        |
| <b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>                            | <b>x</b>           |
| <b>LISTA DE ABREVIACIONES Y SÍMBOLOS.....</b>            | <b>xii</b>         |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                 | <b>1</b>           |
| <b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>  | <b>3</b>           |
| Planteamiento del problema.....                          | 4                  |
| Antecedentes del Problema.....                           | 6                  |
| Antecedentes de la Investigación.....                    | 6                  |
| Objetivos.....                                           | 8                  |
| <b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>            | <b>10</b>          |
| Tratamiento Preliminar.....                              | 14                 |
| Homogeneización de Caudales.....                         | 15                 |
| Cálculo de Volumen del Tanque de<br>Homogeneización..... | 17                 |
| Desbaste.....                                            | 18                 |
| Tratamiento Primario.....                                | 19                 |
| Flotación.....                                           | 19                 |

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                               | <b><u>PÁG.</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Flotación por Aire Disuelto.....                                      | 20                 |
| Tratamiento Secundario Convencional.....                              | 24                 |
| Objetivos del tratamiento biológico.....                              | 24                 |
| Papel de los microorganismos.....                                     | 25                 |
| La nutrición bacteriana y los procesos de tratamiento biológicos..... | 25                 |
| Proceso de Lodos Activados.....                                       | 27                 |
| Aireación.....                                                        | 29                 |
| Tratamiento Avanzado.....                                             | 31                 |
| Desinfección.....                                                     | 32                 |
| Desinfección Con Cloro.....                                           | 33                 |
| Remoción de Nitrógeno y Fósforo.....                                  | 33                 |
| Remoción de Nitrógeno por Procesos Físicos y Químicos.....            | 34                 |
| Arrastre con Aire.....                                                | 34                 |
| Intercambio Iónico.....                                               | 35                 |
| Reacción al Punto de Quiebre.....                                     | 36                 |
| Remoción de Fósforo por Procesos Físicos y Químicos.....              | 37                 |
| Precipitación Química.....                                            | 37                 |
| Mezclado.....                                                         | 42                 |
| Sedimentación.....                                                    | 47                 |
| Eliminación Biológica de Nitrógeno.....                               | 53                 |
| <br><b>CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS.....</b>             | <br><b>58</b>      |
| Proceso Productivo en Matadero.....                                   | 59                 |

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                                          | <b><u>PÁG.</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Proceso Productivo en Planta Cagua.....                                          | 62                 |
| Zona 1 Recepción.....                                                            | 62                 |
| Zona 2 Premezclas.....                                                           | 62                 |
| Zona 3 Jamones.....                                                              | 63                 |
| Zona 4 Salchichas.....                                                           | 64                 |
| Zona 5 Empaque.....                                                              | 64                 |
| Zona 6 Enlatados.....                                                            | 66                 |
| Zona 7 Procesos Térmicos.....                                                    | 66                 |
| Zona 8 Rebanado.....                                                             | 67                 |
| Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....                                   | 69                 |
| Estación de bombeo de entrada.....                                               | 69                 |
| Fosa de Proceso.....                                                             | 70                 |
| Desbaste/desarenador (Criba).....                                                | 70                 |
| Unidad de Flotación por Aire Disuelto.....                                       | 71                 |
| Tratamiento Biológico.....                                                       | 71                 |
| Sedimentador Secundario (Clarificador).....                                      | 72                 |
| Oxidación química.....                                                           | 73                 |
| Tratamiento de lodo.....                                                         | 74                 |
| <b>CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO.....</b>                                      | <b>78</b>          |
| Conocimiento del Área de Estudio.....                                            | 79                 |
| Determinación de los Puntos Críticos de Control.....                             | 80                 |
| Caracterización Físico-Química de las Aguas en las Corrientes de<br>Interés..... | 81                 |
| Zona de Descongelación y Frigorífico.....                                        | 82                 |

---

---

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                                                                                          | <b><u>PÁG.</u></b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Zona de Curación y Colgado.....                                                                                                  | 82                 |
| Zona de Lavado de Tanques.....                                                                                                   | 83                 |
| Zona de Molinos, Pre-mezcla y Mezcla.....                                                                                        | 83                 |
| Zona de Salchichas.....                                                                                                          | 83                 |
| Zona de Jamones.....                                                                                                             | 84                 |
| Zona de Cocción de Jamones y Salchichas.....                                                                                     | 84                 |
| Evaluación de Tecnologías.....                                                                                                   | 86                 |
| Análisis de Resultados.....                                                                                                      | 88                 |
| Propuesta de Soluciones.....                                                                                                     | 89                 |
| <br><b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>                                                                               | <br><b>90</b>      |
| Determinación de los Puntos Críticos de Control.....                                                                             | 92                 |
| Zona de Descongelación y Frigorífico.....                                                                                        | 95                 |
| Zona de Curación y Colgado.....                                                                                                  | 97                 |
| Zona de Lavado de Tanques.....                                                                                                   | 100                |
| Zona de Molinos, Pre-mezcla y Mezcla.....                                                                                        | 101                |
| Zona de Salchichas.....                                                                                                          | 105                |
| Zona de Jamones.....                                                                                                             | 110                |
| Zona de Cocción de Jamones y Salchichas.....                                                                                     | 114                |
| Impacto de los Diferentes Efluentes del Proceso de Elaboración de Embutidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales..... | 116                |
| Caracterización de las Aguas en las Diferentes Etapas de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales.....                      | 128                |
| Evaluación de Tecnologías.....                                                                                                   | 136                |
| Pruebas de Jarra.....                                                                                                            | 137                |
| Polímeros MQ 131 y MQ 297.....                                                                                                   | 137                |

---

---

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                     | <b><u>PÁG.</u></b> |
|-------------------------------------------------------------|--------------------|
| Alumbre.....                                                | 142                |
| Cal.....                                                    | 145                |
| Propuesta de Soluciones.....                                | 148                |
| Tanque de Homogeneización.....                              | 149                |
| Tratamiento Físico-Químico Terciario.....                   | 153                |
| Tanque de Mezclado.....                                     | 154                |
| Floculador.....                                             | 155                |
| Sedimentador.....                                           | 156                |
| <br><b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b> | <br><b>160</b>     |
| CONCLUSIONES.....                                           | 161                |
| RECOMENDACIONES.....                                        | 165                |
| <br><b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                  | <br><b>167</b>     |
| <b>CÁLCULOS TIPO.....</b>                                   | <b>172</b>         |
| <b>ANEXOS.....</b>                                          | <b>208</b>         |

---

---

**LISTA DE TABLAS**

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                                                                                                  | <b><u>PÁG.</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Tabla N° II-1. Parámetros Físico-Químicos Típicos de Efluentes de Industrias Procesadoras de Carne y la Normativa Legal Aplicada.....    | 13                 |
| Tabla N° II-2. Criterios de Diseño para tanques de Homogeneización.....                                                                  | 17                 |
| Tabla N° II-3. Productos químicos empleados en el tratamiento del agua residual.....                                                     | 38                 |
| Tabla N° II- 4. Estándares de Diseño de Sedimentadores Primarios.....                                                                    | 51                 |
| Tabla N° II-5. Cargas superficiales para Sedimentación Química.....                                                                      | 53                 |
| Tabla N° IV-1 Métodos a Utilizar para la Caracterización de las Aguas en las Corrientes de Interés.....                                  | 85                 |
| Tabla N° V-1. Descripción de la Recolección de Muestras en las Diferentes Zonas.....                                                     | 94                 |
| Tabla N° V-2. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Descongelación y Frigorífico Durante la Higienización..... | 96                 |
| Tabla N° V-3. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Curación y Colgado Durante la Producción.....              | 98                 |
| Tabla N° V-4. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Lavado de Tanques Durante la Producción.....               | 100                |
| Tabla N° V-5. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Molinos, Pre-Mezcla y Mezcla Durante la Producción.....    | 102                |
| Tabla N° V-6. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Molinos, Pre-Mezcla y Mezcla Durante la Higienización..... | 104                |
| Tabla N° V-7. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Salchichas Durante la Producción.....                      | 106                |

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                                                                                            | <b><u>PÁG.</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Tabla N° V-8. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Salchichas Durante la Higienización.....             | 108                |
| Tabla N° V-9. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Jamones Durante la Producción.....                   | 110                |
| Tabla N° V-10. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Jamones Durante la Higienización.....               | 113                |
| Tabla N° V-11. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en el Horno de Jamones y Salchichas Durante la Higienización..... | 115                |
| Tabla N° V-12. Relación entre los Nutrientes y la Carga Orgánica en el Reactor Biológico.....                                      | 136                |
| Tabla N° V-13. Características del Tanque de Mezclado Rápido.....                                                                  | 154                |
| Tabla N° V-14. Características del Tanque de Floculación.....                                                                      | 155                |
| Tabla N° V-15. Características del Sedimentador.....                                                                               | 156                |
| Tabla N° V-16. Estimación de Costo de Inversión de la Propuesta.....                                                               | 158                |
| Tabla N° V-17. Requerimientos y Suministro de Oxígeno en el Reactor Biológico.....                                                 | 159                |

**LISTA DE ILUSTRACIONES**

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                                                                                           | <b><u>PÁG.</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Ilustración N° II-1. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.....                                                | 14                 |
| Ilustración N° II-2. Separación de sólidos por medio de rejillas.....                                                             | 19                 |
| Ilustración N° II-3. Flotación Simple- Trampa grasas.....                                                                         | 20                 |
| Ilustración N° II-4. Diagrama de un sistema de FAD continuo convencional con reciclo de agua tratada al saturador.....            | 21                 |
| Ilustración N° II-5. Procesos de Tratamiento Aerobio.....                                                                         | 26                 |
| Ilustración N° II-6. Sistema de Lodos Activados.....                                                                              | 27                 |
| Ilustración N° II-7. Canal de Oxidación.....                                                                                      | 29                 |
| Ilustración N° II-8. Modelo de Resina.....                                                                                        | 35                 |
| Ilustración N° II-9. Curva de la Reacción al Punto de Quiebre.....                                                                | 36                 |
| Ilustración N° II-10. Tanque Sedimentador.....                                                                                    | 49                 |
| Ilustración N° II-11. Esquemas para la transformación de varias formas de nitrógeno en los procesos de tratamiento biológico..... | 54                 |
| Ilustración N° II-12. Procesos empleados para la nitrificación.....                                                               | 57                 |
| Ilustración N° III-1. Esquema del Proceso Productivo en Matadero.....                                                             | 61                 |
| Ilustración N° III-2. Proceso Productivo en Planta Cagua.....                                                                     | 68                 |
| Ilustración N° III-3 Tubería de Bombeo hacia la Criba.....                                                                        | 69                 |
| Ilustración N° III-4. Fosa de Proceso.....                                                                                        | 70                 |
| Ilustración N° III-5. Criba Rotatoria.....                                                                                        | 70                 |
| Ilustración N° III-6. Unidad de Flotación por Aire Disuelto.....                                                                  | 71                 |
| Ilustración N° III-7. Canal de oxidación.....                                                                                     | 72                 |
| Ilustración N° III-8. Clarificador secundario.....                                                                                | 73                 |



| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                                                                    | <b><u>PÁG.</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Ilustración N° III-9. Efluente final.....                                                                  | 73                 |
| Ilustración N° III-10. Silo para grasa.....                                                                | 74                 |
| Ilustración N° III-11. Fosa para Desnatado.....                                                            | 75                 |
| Ilustración N° III-12. Filtro prensa.....                                                                  | 76                 |
| Ilustración N° III-13 Proceso de Tratamiento de las Aguas Residuales en Plumrose Latinoamericana, C.A..... | 77                 |
| Ilustración N° V-1. Zonas del proceso productivo donde se realizó el muestreo.....                         | 94                 |
| Ilustración N° V-2. Diagrama de Flujo del Proceso de Tratamientos de Aguas Residuales Propuesto.....       | 157                |

---

---

**LISTA DE GRÁFICOS**

| <b><u>CONTENIDO</u></b>                                                                                                                                                                                   | <b><u>PÁG.</u></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Gráfico N° V-1. Nitrógeno Total Kjeldhal aportado por Diferentes Zonas a la Entrada de la PTAR.....                                                                                                       | 117                |
| Gráfico N° V-2. Fósforo Total aportado por Diferentes Zonas a la Entrada de la PTAR.....                                                                                                                  | 119                |
| Gráfico N° V-3. Variación de Caudal en la Entrada de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales Durante la Semana.....                                                                                 | 122                |
| Gráfico N° V-4. Variación del Flujo Másico de Nitrógeno Total Kjeldhal en la Entrada de la PTAR durante la semana.....                                                                                    | 125                |
| Gráfico N° V-5. Variación del Flujo Másico de Fósforo Total en la Entrada de la PTAR durante la semana.....                                                                                               | 127                |
| Gráfico N° V-6. Concentraciones de Nitrógeno en las Diferentes Etapas de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales.....                                                                               | 129                |
| Gráfico N° V-7. Concentraciones de Fósforo en las Diferentes etapas de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales.....                                                                                 | 131                |
| Gráfico N° V-8. Demanda Química de Oxígeno en las Diferentes Etapas del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales.....                                                                                   | 132                |
| Gráfico N° V-9. Variación de pH en las Diferentes Etapas del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales.....                                                                                              | 134                |
| Gráfico N° V-10. Concentraciones de Nitrógeno en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamientos Tratada con 500 mg/l de MQ 131 como Coagulante y Diferentes Cantidades de MQ 297 como Floculante..... | 138                |
| Gráfico N° V-11. Concentraciones de Fósforo en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamientos Tratada con 500 mg/l de MQ 131 como Coagulante y Diferentes Cantidades de MQ 297 como Floculante.....   | 139                |

---

---

**CONTENIDO**

**PÁG.**

|                                                                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfico N° V-12. Variación de pH en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamientos Tratada con 500 mg/l de MQ 131 como Coagulante y Diferentes Cantidades de MQ 297 como Floculante.....           | 140 |
| Gráfico N° V-13. Concentración de Cloruros en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamientos Tratada con 500 mg/l de MQ 131 como Coagulante y Diferentes Cantidades de MQ 297 como Floculante..... | 141 |
| Gráfico N° V-14. Concentraciones de Nitrógeno en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamientos Tratada con Diferentes Cantidades de Alumbre.....                                                  | 142 |
| Gráfico N° V-15. Concentraciones de Fósforo en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamientos Tratada con Diferentes Cantidades de Alumbre.....                                                    | 143 |
| Gráfico N° V-16. Variación de pH en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamientos Tratada con Diferentes Cantidades de Alumbre.....                                                               | 144 |
| Gráfico N° V-17. Concentraciones de Nitrógeno en el Agua del Reactor Biológico Tratada con Diferentes Cantidades de Cal.....                                                                           | 145 |
| Gráfico N° V-18. Concentraciones de Fósforo en el Agua del Reactor Biológico Tratada con Diferentes Cantidades de Cal.....                                                                             | 146 |
| Gráfico N° V-19. Variación de pH en el Agua del Reactor Biológico Tratada con Diferentes Cantidades de Cal.....                                                                                        | 147 |
| Gráfico N° V-20. Efecto de la Homogeneización sobre el Flujo Másico de Nitrógeno Total Kjeldhal a la entrada de la PTAR.....                                                                           | 150 |
| Gráfico N° V-21. Efecto de la Homogeneización sobre el Flujo Másico de Fósforo Total a la entrada de la PTAR.....                                                                                      | 152 |

**LISTA DE ABREVIACIONES Y SÍMBOLOS**

|                |                                                                                |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Abs:           | Absorbancia.                                                                   |
| $a_p$ :        | Ancho de la paleta.                                                            |
| $A_p$ :        | Área de las paletas,.                                                          |
| $A_s$ :        | Área superficial.                                                              |
| $A_T$ :        | Área transversal.                                                              |
| $C_{Cl^-}$ :   | Concentración de Cloruros.                                                     |
| $C_D$ :        | Coeficiente de resistencia de las paletas.                                     |
| CI:            | Nivel de Oxígeno disuelto que se quiere mantener en el licor mezcla.           |
| $C_{N-NH_3}$ : | Concentración de Nitrógeno Amoniacal.                                          |
| $C_{NOrg}$ :   | Concentración de Nitrógeno Orgánico.                                           |
| $C_{NTK}$ :    | Concentración de Nitrógeno total Kjeldhal.                                     |
| $C_P$ :        | Concentración de Fósforo.                                                      |
| Cs:            | Nivel de saturación del agua pura en condiciones estándar, en general a 20 °C. |
| Css:           | Nivel de saturación del Oxígeno en agua pura a la temperatura del licor.       |
| $C_{SSLM}$ :   | Concentración de sólidos suspendidos en el reactor.                            |
| D:             | Diámetro del tanque.                                                           |
| $DBO_{5,20}$ : | Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días y a 20°C.                           |
| $D_i$ :        | Diámetro del impulsor.                                                         |
| $d_p$ :        | Diámetro de partículas.                                                        |
| DQO:           | Demanda Química de Oxígeno.                                                    |
| E:             | Factor de dilución.                                                            |
| F/M:           | Carga másica.                                                                  |
| F:             | Factor de conversión.                                                          |
| f:             | Factor de fricción de Darcy-Weisbach.                                          |
| FAD:           | Flotación por Aire Disuelto.                                                   |

## *Lista de Abreviaciones y Símbolos*

---

---

|                                                         |                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| G:                                                      | Gradiente de velocidad.                                                                                        |
| g:                                                      | Aceleración de gravedad.                                                                                       |
| H:                                                      | Profundidad del tanque.                                                                                        |
| [H <sup>+</sup> ]:                                      | Concentración de Hidrógeno.                                                                                    |
| k:                                                      | Constante que depende del tipo de mezclador.                                                                   |
| Kt:                                                     | Constante de Transferencia.                                                                                    |
| Kt <sub>l</sub> :                                       | Factor que relaciona la transferencia de oxígeno en el fango activado y la transferencia en el agua destilada. |
| L <sub>p</sub> :                                        | Longitud de la paleta.                                                                                         |
| MARN:                                                   | Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables.                                                       |
| $\dot{m}_i$ :                                           | Flujo másico del compuesto i.                                                                                  |
| N:                                                      | Normalidad.                                                                                                    |
| N <sub>AM</sub> :                                       | Número de aireadores mecánicos.                                                                                |
| Nº:                                                     | Número                                                                                                         |
| n <sub>r</sub> :                                        | Número de revoluciones por segundo.                                                                            |
| N <sub>Re</sub> :                                       | Número de Reynolds.                                                                                            |
| P:                                                      | Potencia requerida.                                                                                            |
| PE:                                                     | Peso equivalente.                                                                                              |
| P <sub>f</sub> :                                        | Peso de la cápsula mas muestra seca.                                                                           |
| P <sub>i</sub> :                                        | Peso de la cápsula.                                                                                            |
| PTAR:                                                   | Planta de Tratamiento de Aguas Residuales                                                                      |
| Q:                                                      | Caudal volumétrico.                                                                                            |
| R <sub>L/a</sub> :                                      | Relación entre el largo y el ancho del tanque.                                                                 |
| R <sub>TDS<sub>Teórica</sub>/TDS<sub>Real</sub></sub> : | Relación entre las tasas de desbordamiento teórica y real.                                                     |
| SDT:                                                    | Sólidos Disueltos Totales.                                                                                     |
| S <sub>p</sub> :                                        | Gravedad específica de la partícula.                                                                           |
| SSLM:                                                   | Sólidos Suspendidos en el Licor de Mezcla                                                                      |
| SST:                                                    | Sólidos Suspendidos Totales.                                                                                   |

---

---

## *Lista de Abreviaciones y Símbolos*

---

---

|                          |                                                                                               |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| ST:                      | Sólidos Totales.                                                                              |
| T:                       | Temperatura.                                                                                  |
| t:                       | Tiempo de retención.                                                                          |
| %T:                      | Transmitancia.                                                                                |
| TDS <sub>Real</sub> :    | Tasa de desbordamiento teórica.                                                               |
| TDS <sub>Teórica</sub> : | Tasa de desbordamiento teórica.                                                               |
| t <sub>p</sub> :         | Tiempo de duración del período.                                                               |
| UEN:                     | Unidad Estratégica de Negocios                                                                |
| V:                       | Volumen en el tanque.                                                                         |
| V <sub>A</sub> :         | Volumen de Tiosulfato consumido en la titulación por la muestra.                              |
| V <sub>ap</sub> :        | Volumen afluente durante el período.                                                          |
| V <sub>B</sub> :         | Volumen de Tiosulfato consumido en la titulación por el blanco.                               |
| V <sub>ep</sub> :        | Volumen efluente durante el período.                                                          |
| V <sub>g</sub> :         | Volumen de ácido consumidos en la titulación por la muestra.                                  |
| V <sub>M</sub> :         | Volumen de muestra.                                                                           |
| V <sub>pp</sub> :        | Volumen en el tanque al final del período previo.                                             |
| $\bar{X}$ :              | Promedio de la Variable de Estudio.                                                           |
| $\mu$ :                  | Viscosidad dinámica del fluido a la temperatura de la mezcla.                                 |
| $\rho$ :                 | Densidad del fluido a la temperatura de la mezcla.                                            |
| $\nu$ :                  | Viscosidad cinemática del fluido a la temperatura del mismo.                                  |
| $\nu_C$ :                | Velocidad de Resuspensión.                                                                    |
| $\nu_S$ :                | Velocidad de asentamiento.                                                                    |
| $\nu_H$ :                | Velocidad de Horizontal.                                                                      |
| $\psi$ :                 | Aporte específico de aireadores mecánicos.                                                    |
| $\beta$ :                | Factor de corrección para la salinidad y la tensión superficial.                              |
| $\zeta$ :                | Factor que relaciona la presión barométrica y la altitud del emplazamiento de la instalación. |
| $\eta$ :                 | Rendimiento del equipo.                                                                       |

---

---

## **INTRODUCCIÓN**

En la Planta de Embutidos de Plumrose Latinoamericana, se elaboran diferentes tipos de productos cárnicos, como jamones, salchichas, fiambres, mortadelas, tocinetas, jamones endiablados y otros productos derivados de las carnes de reses, aves y principalmente de cerdos.

Durante la elaboración de todos estos productos se emplea agua y por lo tanto se generan aguas residuales, las mismas están cargadas de diferentes contaminantes, como materia orgánica, grasas, nutrientes que afectan la calidad de las mismas, es por ello que éstas aguas son destinadas a la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales ubicadas en las mismas instalaciones de la Planta de Embutidos.

El tratamiento consiste en una unidad de desbaste, la misma se utiliza para separar arenas y otros sólidos discretos de densidad superior al líquido residual, luego las aguas pasan a un sistema de flotación por aire disuelto donde se remueven sólidos suspendidos, grasas y aceites no emulsionados. Después de pasar por este tratamiento primario, las aguas siguen hasta al reactor biológico de lodos activados, donde se disminuye la carga orgánica de las aguas, el efluente del tratamiento secundario, pasa a un sedimentador, donde se separa el agua tratada del lodo biológico. Por último el agua es sometida a la etapa de desinfección.

Durante el proceso de tratamiento de aguas en la planta, se remueven entre otros compuestos, fósforo y nitrógeno, sin embargo, las concentraciones de los mismos en el efluente final son mayores a los permitidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables en su Decreto N° 3219, lo cual perjudicaría la calidad de las aguas en el cuerpo receptor, en este caso la Laguna de Taiguaiguay, ya que el exceso de nutrientes provoca el fenómeno llamado eutrofización, en el cual se disminuyen las

concentraciones de oxígeno disuelto debido a la proliferación y muertes de las algas, cambiando así, la población de peces, entre otros.

El presente trabajo, busca estudiar los efluentes del proceso de elaboración de embutidos que aportan el mayor contenido de nutrientes a la planta de tratamiento de aguas residuales, para luego estudiar el comportamiento de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las diferentes etapas del proceso de tratamiento de las aguas residuales; con la finalidad de proponer alternativas para disminuir sus concentraciones hasta los límites establecidos por el Estado. Para ello se estudian las diferentes tecnologías existentes para la remoción de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales, seleccionando aquella que mejor se ajuste a los requerimientos del proceso.





# ***Capítulo I:***

## ***Fundamentos de la Investigación***



## **CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo se presenta una justificación de la realización del presente proyecto, el problema objeto de estudio, los antecedentes del problema y los objetivos generales y específicos planteados.

### **Planteamiento del problema**

El crecimiento industrial y poblacional ha ocasionado un incremento en la demanda de agua, por lo tanto es necesario controlar los parámetros y agentes contaminantes de las cuencas, para ello se han creado distintas normativas, para la calidad del agua afluente a las cuencas. Al respecto, muchas empresas, entre ellas Plumrose Latinoamericana, se han interesado en realizar los tratamientos necesarios al agua para cumplir con la normativa vigente para las descargas a cuerpos de agua fijadas en el Decreto N° 3219 de fecha 1° de febrero de 1999, donde se dictan las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia.

Desde la instalación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, la Empresa ha realizado muchas modificaciones en el proceso de producción, entre ellos la eliminación de las descargas del matadero y la elaboración de productos nuevos; sin embargo la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, no ha sufrido ninguna modificación hasta la actualidad. Es por ello el interés de la empresa Plumrose Latinoamericana en evaluar la descarga de agentes contaminantes en el efluente de planta.

En Plumrose Latinoamericana, UEN Embutidos, se elaboran distintas clases de productos como son jamones, salchichas, fiambre, mortadela, tocinetas entre otros,

cuyo contenido de nutrientes es bastante alto y durante su elaboración tienden a quedar residuos de los mismos en los equipos y suelos, que al momento de realizar la limpieza con agua son vertidos hasta la planta de tratamiento.

Los nutrientes que se encuentran en estas aguas residuales son fósforo y nitrógeno, los cuales en condiciones naturales promueven el crecimiento y reproducción de microorganismos, y si este crecimiento no es controlado, se podría producir un gran aumento de los mismos (algas) en los cuerpos de agua receptores de poco movimiento, generando variaciones en la calidad del agua en el ecosistema, proceso conocido como eutrofización.

Estos nutrientes, al acelerar el proceso de eutrofización en las aguas, producen un deterioro de la calidad de las mismas, así como la disminución del oxígeno disuelto, trayendo como consecuencia la muerte de los seres vivos del ecosistema, especialmente en los cuerpos de agua de poco movimiento como es el caso la Laguna de Taiguaiguay, cuerpo receptor del efluente mencionado.

El fenómeno de eutrofización es un proceso evolutivo, natural o provocado, mediante el cual en el cuerpo de agua que experimenta un aumento progresivo en la concentración de nutrientes se produce un incremento en su productividad primaria, asociada a la presencia de organismos fitoplanctónicos y como consecuencia se genera posteriormente un aumento de materia orgánica en descomposición, conduciendo finalmente a la disminución de la concentración de oxígeno disuelto como consecuencia de la biodegradación de estos organismos y severas interferencias en la cadena alimenticia.

A través de las actividades humanas y/o fenómenos naturales, estos nutrientes se incorporan a los cuerpos de agua y por medio de reacciones bioquímicas llevadas a

---

cabo por organismos fotosintéticos utilizando la energía solar, se incorporan al material celular y como consecuencia son utilizados en la cadena alimenticia.

Se puede afirmar que la eutrofización de un cuerpo de agua en etapas avanzadas puede dificultar la mayor parte de los usos de interés al hombre y conducir a la muerte misma del ecosistema acuático; por tal motivo es importante detectar un problema en etapas tempranas cuando aun es controlable y por tanto es posible proteger el recurso hídrico.

Con la elaboración de este trabajo se busca disminuir las concentraciones de fósforo y nitrógeno, de manera que el efluente final de la planta de tratamientos cumpla con la normativa vigente y de esta manera disminuir el deterioro del ecosistema.

### **Antecedentes del Problema**

La Planta de Embutidos de la Empresa Plumrose Latinoamericana, C.A., no ha realizado anteriormente, estudios para la disminución de nutrientes en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, ni sobre los aportes de nutrientes a las aguas residuales a lo largo del proceso productivo; aunque se han recibido propuestas de reingeniería de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para disminuir la concentración de los mismos.

### **Antecedentes de la Investigación**

La remoción de nutrientes en aguas residuales es un problema típico en el tratamiento de aguas residuales industriales y municipales, es por ello que a continuación se presentan algunas tecnologías empleadas para su remoción.

- Una prueba a escala piloto de la Universidad de Daytona diseñó un reactor de lecho fluidizado con dos medios, que además de remover los nutrientes como fósforo y nitrógeno, remueve la Demanda Bioquímica de Oxígeno de las aguas residuales, no se dispone de mayor información sobre los porcentajes de remoción. (Safferman, 2003)
- Lodos activados con aireación extendida fue la tecnología empleada para remover fósforo y amonio de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales; el porcentaje de remoción de ortofosfatos es de 28% mientras que el de fósforo total es de 15% y 98% de amonio. (Sotirakou, 1999)
- El tratamiento biológico por cristalización de hidroxapatito fue el método empleado para disminuir las concentraciones de fósforo de aguas residuales desde  $1\text{-}4\text{ mg P/dm}^3$  a  $0,3\text{-}1,0\text{ mg P/dm}^3$ . (Joko, 1984)
- Para el tratamiento de aguas municipales la United States Environmental Protection Agency (EPA) diseñó a escala piloto un reactor por carga secuencial, para disminuir las concentraciones de fósforo y nitrógeno, obteniendo una remoción del 50% de fósforo y 90% de nitrógeno. (Irvine, 1983)
- Una combinación de sedimentación primaria y lodos activados fue la tecnología empleada para disminuir las concentraciones de fósforo en aguas residuales municipales en Suiza, obteniendo una remoción de fósforo total de 10-15% en el tratamiento primario y 20-30% en el tratamiento secundario. También realizaron pruebas a nivel de laboratorio donde se demostró que la adición de sales metálicas en los tratamientos primario y secundario mejora la remoción de fósforo; al igual que la introducción de una zona anaerobia en el proceso de lodos

activados, y además disminuye las concentraciones de nitrógeno en el agua residual. Estos cambios en la planta incrementarían los costos de 10-20%. (Balmér, 1988)

- En Italia se estudió la electroquímica como tecnología para la remoción de fósforo en aguas residuales, para ello mezclaron agua de mar y aguas residuales del tratamiento secundario de una planta, removiendo rápidamente del 40 al 60% de fósforo en las aguas residuales. (Della, 1980)

### **Objetivos**

El presente trabajo tiene como objetivo general determinar las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el afluente a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Plumrose Latinoamericana y evaluar las posibles opciones tecnológicas para su remoción.

Además se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar los efluentes del proceso de producción que aportan la mayor cantidad de nitrógeno y fósforo a la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Determinar las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las aguas de las distintas etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales.
- Estimar la eficiencia del tratamiento primario en la remoción de fósforo y nitrógeno.

- Evaluar mejoras en la eficiencia del tratamiento primario con tratamientos físico-químico.
- Evaluar opciones para la remoción de fósforo y nitrógeno en el tratamiento secundario o terciario.



## ***Capítulo II:***

### ***Fundamentos Teóricos***





## **CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

Las aguas residuales son todas aquellas aguas utilizadas provenientes de una comunidad, industria, granja u otro establecimiento con contenido de materiales disueltos y suspendidos.

La naturaleza cambiante del agua residual y su relación con la salud pública y el ambiente, ha obligado a las industrias a disminuir la cantidad de agentes contaminantes en el vertido a los cuerpos de agua a las especificaciones dictadas por la ley que aplique al caso; es por ello que en las grandes industrias existen plantas de tratamiento para el agua utilizada durante el proceso de producción.

Los mataderos, las plantas de procesamiento de carne y las actividades asociadas a la recuperación de subproductos generan gran cantidad de residuos líquidos y sólidos.

En general, los efluentes tienen altas temperaturas y contienen elementos patógenos, además de altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno. La relación promedio de DQO:DBO<sub>5</sub>:N en un matadero es de 12:4:1. Esta información se usa para el diseño de sistemas de tratamiento.

La sangre es el principal contaminante, aportando una DQO total de 375.000 mg/l y una elevada cantidad de nitrógeno, con una relación carbono/nitrógeno del orden de 3:4. Se estima que entre un 15% - 20% de la sangre va a parar a los vertidos finales.<sup>(CNMA, 1998)</sup>

Proteínas y grasas son el principal componente de la carga orgánica presente en las aguas de lavado, encontrándose otras sustancias como la heparina y sales biliares. También contienen hidratos de carbono como glucosa y celulosa, y generalmente

---

detergentes y desinfectantes. Cabe destacar que estas corrientes presentan un contenido de microorganismos importante. Se estima que entre el 25% - 55% del total de la carga contaminante medida en DBO<sub>5</sub>, son arrastradas por las aguas de limpieza.

El consumo de agua y el grado de contaminación de las aguas residuales que resultan del proceso de trabajo en los mataderos e industria de procesamiento de carnes, tanto de lavado como de enfriamiento, varía bastante de planta a planta; dependen del objeto 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 locales de trabajo durante el proceso operativo.

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 y conservas es mayor que en las empresas que producen por ejemplo únicamente embutido crudo (salami). Por cada tonelada de embutido y productos cárnicos se consumen aproximadamente de 10 a 15 m<sup>3</sup> de agua.

El grado de contaminación de las aguas originado por las industrias cárnicas es muy grande, ante todo en los mataderos y en las plantas de aprovechamiento de reses muertas. Las causas o factores influyentes en la contaminación de las aguas en las industrias procesadoras de carne son los desechos que se generan en el proceso de elaboración de los embutidos, durante la cocción y tratamiento al vapor de la materia prima y productos finales, principalmente.

Las descargas de sólidos de la industria de productos cárnicos procesados pueden ser reducidas por un mantenimiento consciente y control de desechos y aguas dentro de la planta y revisiones del proceso.<sup>(Carawan, 1989)</sup>

Las concentraciones típicas de los contaminantes de las aguas efluentes de una industria procesadora de carne son las siguientes:

**Tabla N° II-1. Parámetros Físico-Químicos Típicos de Efluentes de Industrias  
Procesadoras de Carne y la Normativa Legal Aplicada**

| PARÁMETROS                              | LÍMITE<br>INFERIOR | LÍMITE<br>INTERMEDIO | LÍMITE<br>SUPERIOR | LÍMITE PERMITIDO<br>POR EL MARN<br>SEGÚN DECRETO N°<br>3219 <sup>1</sup> |
|-----------------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| pH                                      | 6-8                | 6-8                  | <4,5 y > 9,0       | 6-9                                                                      |
| SST mg/l SST                            | 50                 | 180                  | 900                | 80                                                                       |
| DBO <sub>5,20</sub> mg/l O <sub>2</sub> | 40                 | 1000                 | 1200               | 60                                                                       |
| DQO mg/l O <sub>2</sub>                 | 50                 | 1500                 | 2500               | 350                                                                      |
| Grasas y Aceites mg/l                   | 20                 | 200                  | 400                | 20                                                                       |
| Nitrógeno total mg/l de N               | 40                 | 120                  | 180                | 10                                                                       |
| Fósforo total mg/l de P                 | 28 <sup>2</sup>    | ---                  | 80 <sup>2</sup>    | 1                                                                        |

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (2005)

<sup>1</sup>Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables de Venezuela (1999)

<sup>2</sup>Agricultura and Agri-Food Canada (1999)

La empresa Plumrose Latinoamericana C.A, descarga sus aguas a la Laguna de Taiguaiguay, este cuerpo de agua es de poco movimiento y pertenece a la Cuenca del Lago de Valencia; es por ello que la normativa legal aplicable, en este caso, corresponde al Decreto N° 3219 en el cual se dictan las Normas para la clasificación y el control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia.

El tratamiento de aguas residuales se realiza en varias etapas<sup>(Metcalf, 1996)</sup>: pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.



**Ilustración N° II-1. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.**

(Ministerio del Ambiente de Colombia, 2005)

### **Tratamiento Preliminar**

Es el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Ejemplos de pretratamiento: desbaste y dilaceración para la eliminación de sólidos gruesos y el desarenado para la eliminación de la materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos.

Puede ser considerado también como un tratamiento preliminar la homogeneización de caudales, cuya descripción se presenta a continuación:

### Homogeneización de Caudales

La homogeneización consiste en amortiguar las variaciones del caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante o casi constante. Esta técnica puede aplicarse en situaciones diversas, dependiendo de la variación de las características del líquido residual. <sup>(Metcalf, 1996)</sup>

En la aplicación de la homogeneización de caudales en el tratamiento del agua residual se presentan dos opciones: la disposición que recibe el nombre de “en línea”, donde la totalidad del caudal pasa por el tanque de homogeneización. Este sistema permite reducir las concentraciones de los diferentes constituyentes y amortiguar los caudales de forma considerable. En la disposición «en derivación», sólo se hace pasar por el tanque de homogeneización el caudal que excede un límite prefijado. Aunque con este segundo sistema se minimizan las necesidades de bombeo, la reducción de la concentración de los diferentes constituyentes no es tan alta como con el primero. <sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Las principales ventajas que produce la homogeneización de los caudales son las siguientes: mejora del tratamiento biológico, ya que eliminan o reducen las cargas de choque, se diluyen las sustancias inhibidoras y se consigue estabilizar el pH; mejora de la calidad del efluente y del rendimiento de los tanques de sedimentación secundaria al trabajar con cargas de sólidos constantes; reducción de las superficies necesarias para la filtración del efluente, mejora de los rendimientos de los filtros y posibilidad de conseguir ciclos de lavado más uniformes. <sup>(Metcalf, 1996)</sup>

En el tratamiento químico, el amortiguamiento de las cargas aplicadas mejora el control de la dosificación de los reactivos y la fiabilidad del proceso.

Aparte de la mejora de la mayoría de las operaciones y procesos de tratamiento, la homogeneización del caudal es una opción alternativa para incrementar el rendimiento de las plantas de tratamiento que se encuentran sobrecargadas.

También es necesario considerar la integración de las instalaciones de homogeneización en el diagrama de flujo de los procesos de tratamiento. En ocasiones, puede resultar más interesante situar la homogeneización después del tratamiento primario y antes del biológico, pues así se reducen los problemas originados por el lodo y las espumas. Si las instalaciones de homogeneización se sitúan por delante de la sedimentación primaria y del tratamiento biológico, el proyecto debe tener en cuenta la provisión de un grado de mezclado suficiente para prevenir la sedimentación de sólidos y las variaciones de concentración y dispositivos de aireación suficientes para evitar los problemas de olores.

Como se ha descrito anteriormente, la adopción de un sistema de homogeneización en línea permite amortiguar considerablemente las cargas de constituyentes en los procesos de tratamiento que tengan lugar a continuación, mientras que la efectividad de la homogeneización en derivación es bastante menor.

Los tanques de homogeneización pueden construirse en tierra, concreto o acero y requieren generalmente mezcla, para asegurar un igualamiento adecuado y para prevenir asentamiento de sólidos sedimentables en el tanque. La aireación sirve para oxidación de compuestos reducidos, reducción de DBO y control de olores; para equipos superficiales de aireación se recomienda un nivel de potencia de 4 a 8 W/m<sup>3</sup>, para equipos de aire difuso una tasa de 10 a 15 litro de aire por metro cúbico por minuto. (Romero,1999)

**Cálculo del Volumen del Tanque de Homogeneización**

El volumen del tanque de homogeneización se calcula mediante un diagrama de masas, en el cual el volumen afluente acumulado se grafica contra la hora del día. El caudal promedio diario, en dicho diagrama, se representa por la recta que une el origen con el punto final de la curva de volumen acumulado. Alternativamente, el problema se puede resolver restando el volumen horario promedio del volumen afluente horario y haciendo el gráfico con los volúmenes resultantes acumulados. En este caso los puntos mínimo y máximo de la curva se obtienen mediante rectas horizontales. (Romero,1999)

El volumen requerido del tanque de homogeneización se obtiene trazando una recta paralela a la recta representativa del caudal promedio diario, por el punto de tangencia más extremo, superior e inferior, en la curva de caudales acumulados. El volumen necesario es igual a la distancia vertical entre las dos tangentes. Cuando la curva de caudal acumulada no se extiende sobre la recta de caudal promedio diario, el volumen es igual a la distancia vertical entre la tangente por el punto mínimo de la curva y la recta representativa del caudal promedio diario. (Romero,1999)

**Tabla N° II-2. Criterios de Diseño para Tanques de Homogeneización**

| <b>Parámetro</b>            | <b>Valor</b>           |
|-----------------------------|------------------------|
| Tiempo de Retención         | 12-24 horas            |
| Volumen                     | Caudal Diario          |
| Mezcla                      | 3 a 4 W/m <sup>3</sup> |
| Condiciones Aerobias        | POR> -100 mV           |
| Profundidad                 | 4,5 m                  |
| Borde Libre                 | 0,9 m                  |
| Nivel Numérico de Operación | 1,5 m                  |

Fuente: Romero, 1999

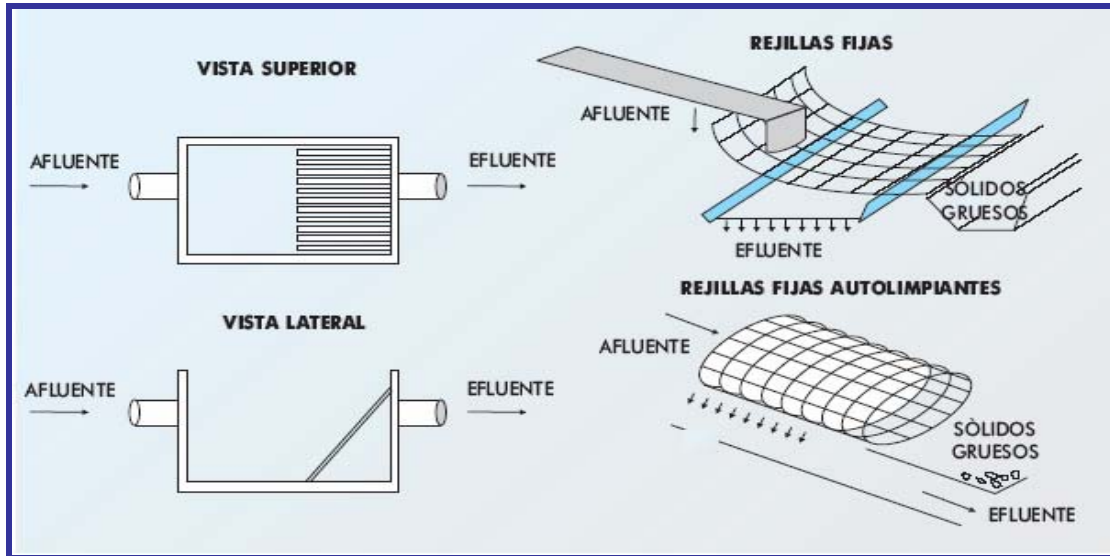
En la planta de tratamientos de aguas residuales de Plumrose Latinoamericana, C. A., se emplea el siguiente proceso en el pre-tratamiento:

### Desbaste

La primera operación unitaria que tiene lugar en las plantas de tratamiento es la operación de desbaste. Una rejilla es un elemento con aberturas, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener los sólidos gruesos existentes en el agua residual.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Los elementos separadores pueden estar constituidos por barras, alambres o varillas paralelas, rejillas, telas metálicas o placas perforadas, y las aberturas pueden ser de cualquier forma, aunque normalmente suelen ser ranuras rectangulares u orificios circulares. Los elementos formados por varillas o barras paralelas reciben el nombre de rejas de barrotes. El término tamiz se circunscribe al uso de placas perforadas y mallas metálicas de sección cuneiforme. La función que desempeñan las rejas y tamices se conoce con el nombre de desbaste, y el material separado en esta operación recibe el nombre de basuras o residuos de desbaste. Según el método de limpieza que se emplee, los tamices y rejas pueden ser de limpieza manual o automática. Generalmente, las rejas tienen aberturas (separación entre las barras) superiores a 15 mm, mientras que los tamices tienen orificios de tamaño inferior a este valor.





**Ilustración N° II-2. Separación de sólidos por medio de rejillas.**

(Ministerio del Ambiente de Colombia, 2005)

### **Tratamiento Primario**

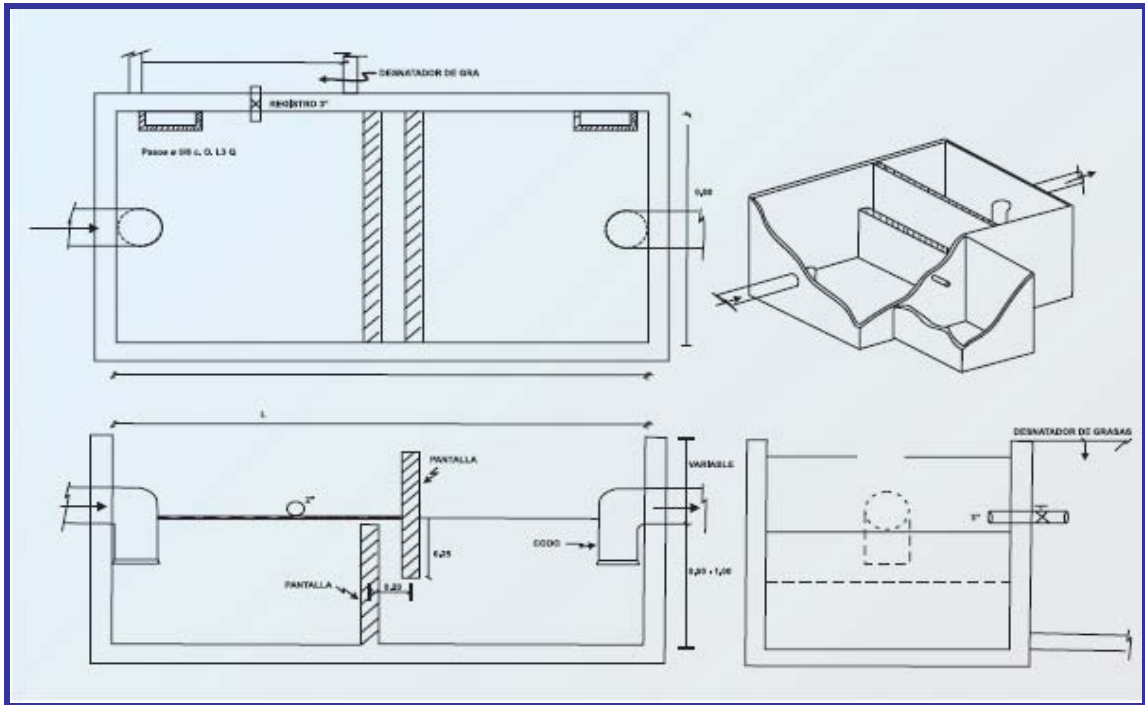
Se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y dependiendo de su constitución, la materia orgánica residual. Pueden utilizarse el tamizado, la sedimentación y la flotación.

En la planta de embutidos de Plumrose, se emplea la flotación por aire disuelto como proceso de tratamiento primario.

### Flotación

La flotación se utiliza para separar emulsiones y las partículas sólidas presentes en una fase líquida, mediante burbujas diminutas de un gas, generalmente aire. La separación no depende tanto del tamaño y de la densidad relativa de las partículas

como de aquellas propiedades superficiales que permiten la adherencia de las burbujas a las estructuras de las partículas; ya que este sistema partícula-burbuja es de menor densidad que la partícula original, ésta asciende y puede separarse.<sup>(Romero, 1999)</sup>



**Ilustración N° II-3. Flotación Simple- Trampa grasas.**

(Ministerio del Ambiente de Colombia, 2005)

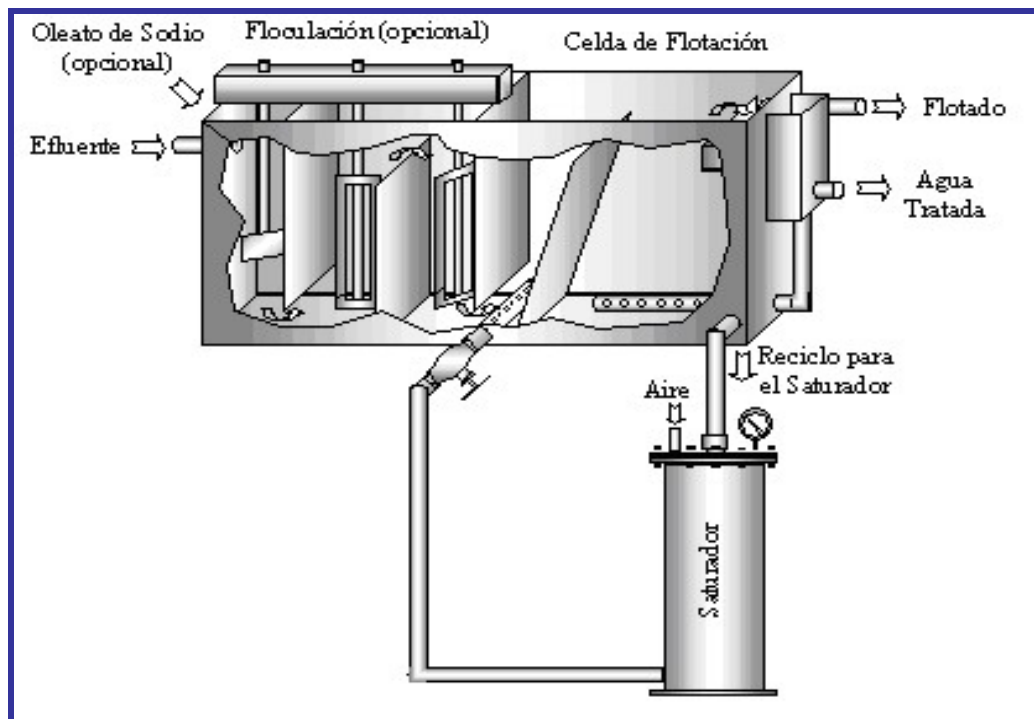
En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida de baja densidad y para la concentración. Una vez las partículas se hallan en superficie, pueden recogerse mediante un rascado superficial.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

### Flotación por aire disuelto

En los sistemas FAD (Flotación por Aire Disuelto), el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. En las instalaciones de pequeño tamaño, se puede presurizar

a 275-230 kPa mediante una bomba la totalidad del caudal a tratar, añadiéndose el aire comprimido en la tubería de aspiración de la bomba.

En las instalaciones de mayor tamaño, se recircula parte del efluente del proceso de FAD (entre el 15 y el 120%), el cual se presuriza, y se semisatura con aire. El caudal recirculado se mezcla con la corriente principal sin presurizar antes de la entrada al tanque de flotación, lo que provoca que el aire deje de estar en disolución y entre en contacto con las partículas sólidas a la entrada del tanque.



**Ilustración N° II-4. Diagrama de un sistema de FAD continuo convencional con reciclo de agua tratada al saturador.**

(Ministerio del Ambiente de Colombia, 2005)

El proceso se compone de los siguientes subprocesos:

- Saturación de agua con aire a presión  $> 3$  atmósferas.

Este proceso tiene como objetivo disolver aire en agua a presión elevada para proveer, una vez reducida la presión, del gradiente de concentración de aire y energía necesario para la formación de microburbujas. La disolución de aire en agua depende de la temperatura y presión. La cinética de disolución depende de las características del sistema de saturación. Esta se lleva a cabo en "saturadores" o estanques herméticos resistentes a la presión, operando en continuo con alimentación de agua y aire.

Una de las formas más utilizadas para contactar el aire con el agua es un sistema que emplea un empaque (anillos Rashig) por el cual se distribuye el agua bajo presión y se contacta íntimamente con el aire. Este último método es el más utilizado en el ámbito industrial.

- Generación de microburbujas, vía cavitación-nucleación en constrictores de flujo (venturi, válvulas de aguja, placas de orificio).

Estas se producen en los constrictores de flujo, situados entre el saturador y la celda de flotación. La selección de este sistema de constricción del flujo es importante porque de su eficiencia depende la distribución de tamaño de burbujas y la cantidad de aire "liberado", dos de los factores de mayor importancia en el FAD.

La energía transferida en el proceso de expansión y generación de burbujas depende de la tensión superficial líquido/aire y de la diferencia de presión entre el saturador y la constricción. La energía requerida en la generación de burbujas, en la constricción de flujo, será menor cuanto menor sea la tensión superficial y mayor la diferencia de presiones entre la salida del saturador y el constrictor.

- Coagulación y/o floculación de las partículas a separar.

Esta etapa involucra la desestabilización de suspensiones coloidales o emulsiones, condición necesaria para que estas se puedan unir en agregados de mayor tamaño, susceptibles de ser capturadas por las microburbujas. La agregación puede ser realizada vía coagulantes.

El tiempo de residencia en esta etapa dependerá del grado de dispersión de los sólidos (o emulsiones) a remover, del tipo y concentración de reactivos y de la hidrodinámica requerida.

Otros factores que influyen en el diseño de coaguladores o floculadores son las características del efluente, la cinética de adsorción de contaminantes, en el caso de usar precipitados coloidales adsorbentes y del punto de adición de los reactivos.

- Acondicionamiento para contacto y adhesión de microburbujas y partículas (zona de "captura").

Esta etapa tiene como objetivo lograr la captura de partículas por burbujas y la formación de agregados "aireados" (con aire aprisionado). Corresponde a la zona donde se libera el agua saturada (reciclo).

- Flotación y remoción de sólidos flotados (zona de separación).

La flotación propiamente dicha ocurre en un tanque que recibe la suspensión proveniente de la zona de contacto y tiene por objetivo separar las fases flotada y el efluente tratado (agua). Los sistemas de descarga del agua tratada, normalmente por

el fondo, emplean mecanismos especiales, como canaletas provistas de ranuras que las atraviesan longitudinalmente por su parte inferior, o dispositivos que minimizan la formación de corrientes de agua. El parámetro más importante que debe ser considerado en el diseño de esta etapa, es el "flujo superficial" que es una medida del tiempo de residencia medio del fluido dentro del estanque.

En relación con el producto flotado, su extracción es normalmente realizada con un raspador (colector) mecánico que atraviesa lentamente la superficie de la unidad de flotación o situado en el extremo final del estanque separador.

### **Tratamiento Secundario Convencional**

Está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y los compuestos orgánicos biodegradables. Tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje, entre otros.

En los métodos de tratamiento biológico la remoción de los contaminantes se lleva a cabo por la actividad biológica de los microorganismos. La remoción de la materia orgánica biodegradable tanto coloidal como disuelta por acción biológica, constituye la principal aplicación de este tipo de procesos.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

#### Objetivos del tratamiento biológico

Los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso de aguas residuales industriales, el principal objetivo es la reducción de la concentración de compuestos orgánicos biodegradables, así como nutrientes. A menudo, puede ser necesario llevar a cabo un pretratamiento previo,

---

debido a la potencial toxicidad de algunos compuestos para los microorganismos.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

### Papel de los microorganismos

La eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica se consiguen biológicamente, gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos se utilizan para convertir la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta en diferentes gases y tejido celular. Dado que el tejido celular tiene un peso específico ligeramente superior al del agua, se puede eliminar por decantación.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

### La nutrición bacteriana y los procesos de tratamiento biológicos.

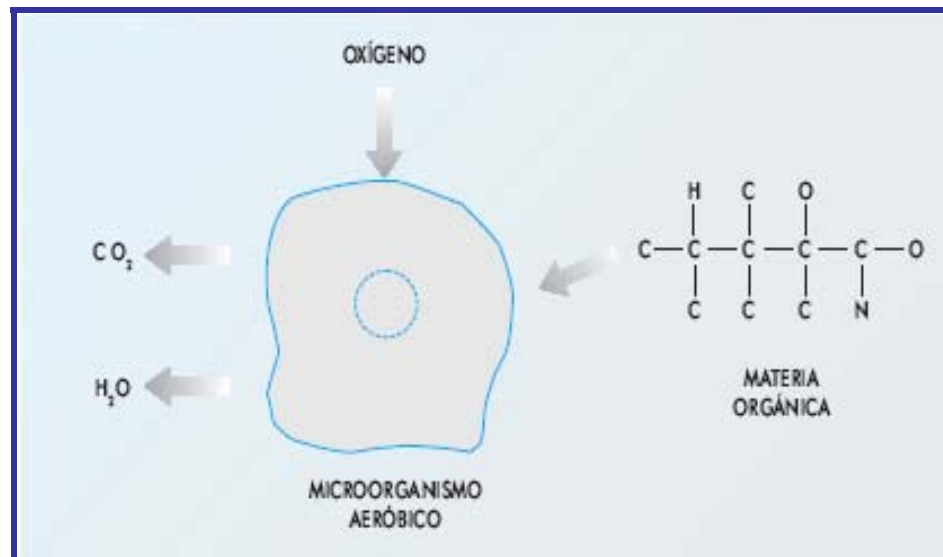
El principal objetivo de la mayoría de los procesos de tratamiento biológico es la reducción del contenido de materia orgánica (DBO carbonosa) del agua residual. Para conseguir este objetivo, son de gran importancia los organismos quimioheterótrofos, pues además de energía y carbono, también necesitan compuestos orgánicos. Cuando los objetivos del tratamiento incluyan la conversión de amoníaco en nitrato, son de gran importancia las bacterias nitrificantes quimioheterótrofas.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Las aguas residuales municipales suelen contener cantidades de nutrientes (tanto orgánicos como inorgánicos) adecuadas para permitir el tratamiento biológico para la eliminación de la DBO carbonosa. No obstante, en aguas residuales de origen industrial, puede ocurrir que no exista suficiente presencia de nutrientes. En tales casos, es necesario añadir nutrientes para permitir el adecuado crecimiento bacteriano y la consiguiente degradación de los residuos orgánicos.

Las principales aplicaciones de estos procesos son: la eliminación de la materia orgánica carbonosa del agua residual, normalmente medida como DBO, carbono orgánico total (COT), o demanda química de oxígeno (DQO); la nitrificación; la desnitrificación; eliminación de fósforo y estabilización de lodos.

Los principales procesos biológicos aplicados al tratamiento de las aguas residuales son: procesos aerobios, procesos anaerobios, procesos anóxicos, procesos aerobios, anaerobios y anóxicos combinados y los procesos de lagunaje. Los procesos individuales se pueden dividir, a su vez, dependiendo de si el tratamiento se lleva a cabo en sistemas de cultivo en suspensión, en sistemas de cultivo fijo, o en sistemas resultantes de la combinación de ambos.

En Plumrose Latinoamericana, C. A., se emplea el tratamiento biológico de cultivo en suspensión para la eliminación de la materia orgánica carbonosa en el modo de lodos activados.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>



**Ilustración N° II-5. Procesos de Tratamiento Aerobio.**

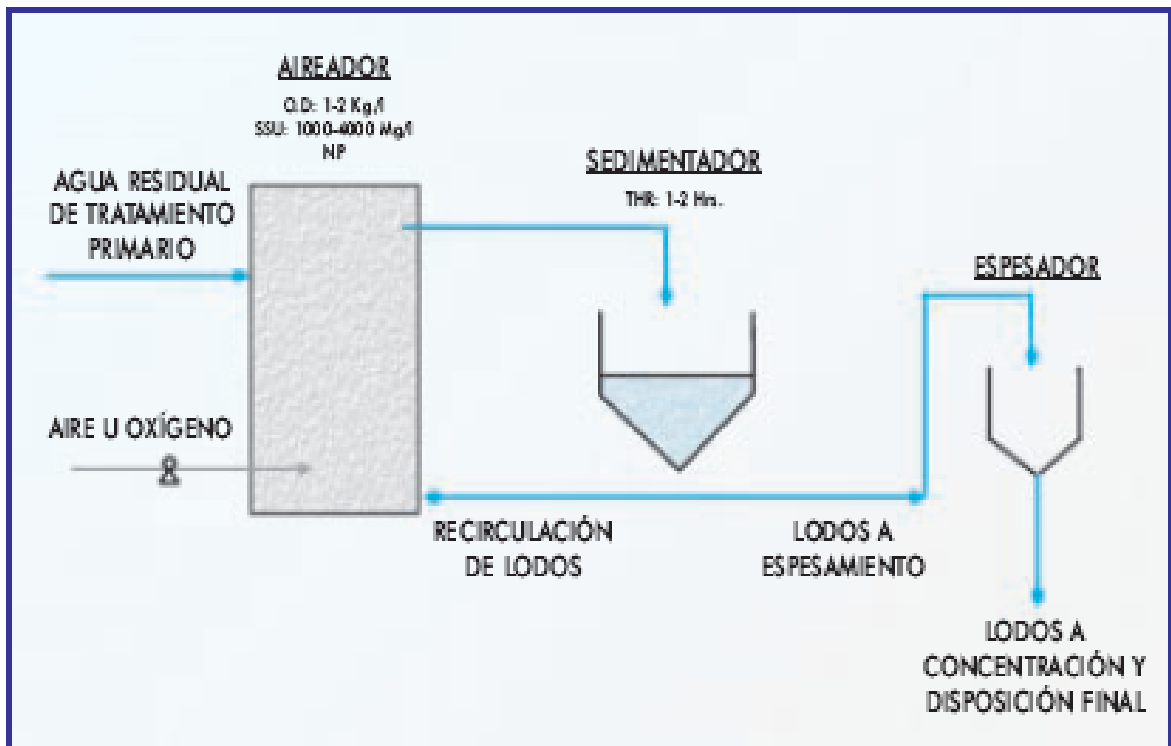
(Ministerio del Ambiente de Colombia, 2005)



### Proceso de lodos activados

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Ardern y Lockett, y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. En la actualidad, existen muchas versiones del proceso original, pero son todas fundamentalmente iguales.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Desde el punto de vista del funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados. El residuo orgánico se introduce en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce con el nombre de «licor mezclado».



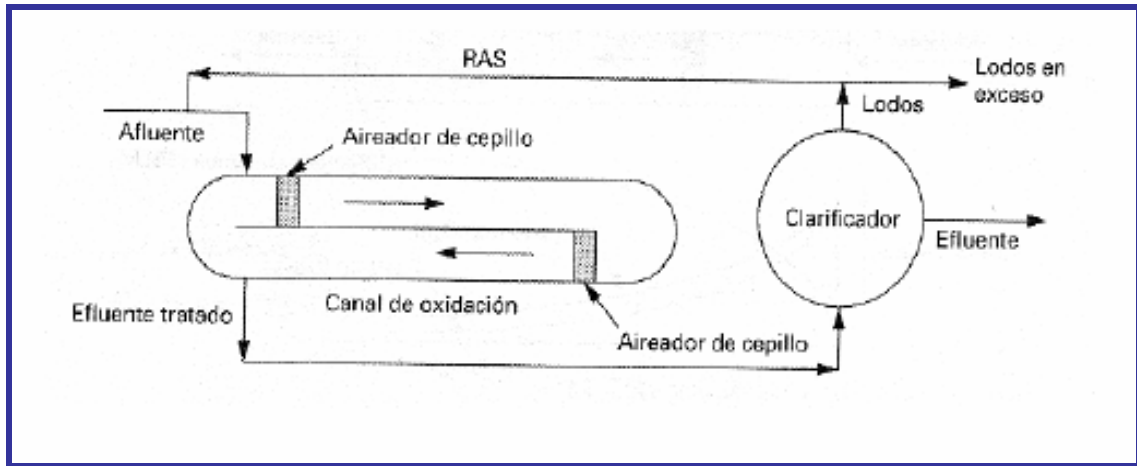
**Ilustración N° II-6. Sistema de Lodos Activados**

(Ministerio del Ambiente de Colombia, 2005)

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos, que también sirven para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema. La fracción purgada corresponde al crecimiento de tejido celular, asociado a un agua residual determinada. El nivel al que se debe mantener la masa biológica depende de la eficacia deseada en el tratamiento y de otras consideraciones relacionadas con la cinética del crecimiento.

Los canales de oxidación son una versión de los lodos activados, en los mismos la cuba de aireación suele tener una configuración de hipódromo con unos aireadores de cepillo dispuestos en uno o más puntos. El afluente entra en el reactor aguas arriba del aireador y avanza como elemento pistón, desde un punto con altos niveles de oxígeno a una zona con niveles bajos de oxígeno. El efluente abandona el reactor aguas abajo del afluente. El lodo se recircula. Los canales de oxidación se caracterizan por unos elevados tiempos de retención hidráulicos (aproximadamente 24 h) y de retención de lodos de entre 20 y 30 días. Así mismo los canales de oxidación se caracterizan por unos valores elevados de la calidad del efluente, pero presentan la desventaja de que el espesamiento de lodos es muy difícil.

Con la aireación prolongada se logran elevados tiempos de retención hidráulica, pudiendo manejar caudales y cargas orgánicas variables. Los microorganismos operan en la fase endógena.



**Ilustración N° II-7. Canal de Oxidación.** (Fuente: SEMARNAT, 2005)

### 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, H<sub>2</sub>S, metano, entre otras. (Romero, 1999)

El cálculo de los requerimientos teóricos de oxígeno, se realiza según el modelo de Eckenfelder: (Toro, 2005)

$$\text{kg O}_2 / \text{día} = a' \times \frac{\text{DBO}_{5,20} - \text{DBO}_{5,20}}{1000} + b' \times V \times C_{\text{SSLM}} + \frac{4,57 \times Q \times C_{\text{NTK}}}{1000} \quad (\text{II-1})$$

Donde,

kg O<sub>2</sub>/día: Kilogramos teóricos de oxígeno requeridos en un día para la síntesis de la materia carbonosa y para la respiración endógena y la nitrificación del nitrógeno total kjeldhal.

$a'$ : Coeficiente estequiométrico que define la necesidad de  $O_2$  para síntesis,  $kg\ O_2/kg\ DBO_{5,20}$ , eliminada en función de la edad del lodo.

$DBO_{5,20_0}$ : Demanda Bioquímica de Oxígeno en la entrada del reactor,  $mg/l$ .

$DBO_{5,20}$ : Demanda Bioquímica de Oxígeno en el reactor,  $mg/l$ .

$b'$ : Coeficiente cinético que define el desarrollo de la respiración endógena,  $kg\ O_2/kg\ SSLM/día$ , en función de la temperatura y la edad del lodo.

$V$ : Volumen del tanque,  $m^3$ .

$C_{SSLM}$ : Concentración de sólidos suspendidos en el reactor,  $mg/l$ .

$Q$ : Caudal volumétrico,  $m^3/día$

$C_{NTK}$ : Concentración de Nitrógeno Total Kjeldhal en el reactor,  $mg/l$ .

La cantidad real de oxígeno requerido debe obtenerse convirtiendo el valor calculado a un requerimiento estándar de oxígeno, el cual refleja los efectos de la salinidad y la tensión superficial, la temperatura, la elevación, la profundidad de difusor, la densidad, la colocación y el flujo de aire (para los sistemas de aireación por difusión), el nivel deseado de operación de oxígeno y los efectos de la intensidad del mezclado y la geometría del tanque. Las interrelaciones de estos factores se dan en la siguiente expresión general:

$$O_2 \text{ Real} = kg\ O_2 / día \times Kt_1 \times \frac{(\beta \times C_{ss} \times \zeta) - CI}{C_s} \times 1,025^{(T-T_s)} \quad (II-2)$$

Donde,

$O_2 \text{ Real}$ : Tasa real de transferencia de oxígeno en condiciones de campo,  $kg/día$

$kg\ O_2/día$ : Kilogramos teóricos de oxígeno en el agua a  $20\ ^\circ C$  y cero de oxígeno disuelto.

$Kt_1$ : Factor que relaciona la transferencia de oxígeno en el lodo activado y la transferencia en el agua destilada. Para aguas residuales Urbanas:

Aireadores Superficiales: 0,75 - 0,98

Difusores: 0,40 – 0,80

$\beta$ : Factor de corrección para la salinidad y la tensión superficial, depende del Agua Residual, típicamente de 0,95 - 0,98.

C<sub>ss</sub>: Nivel de saturación del Oxígeno en agua pura a la temperatura del licor, mg/l

$\zeta$ : Factor que relaciona la presión barométrica y la altitud del emplazamiento de la instalación.

C<sub>I</sub>: Nivel de Oxígeno disuelto que se quiere mantener en el licor mezcla, mg/l (2 mg/l).

C<sub>s</sub>: Nivel de saturación del agua pura en condiciones estándar, en general a 20 °C es 9,17 mg/l.

Los factores de oxígeno real y oxígeno teórico pueden expresarse como eficiencia de transferencia. El oxígeno necesario para los procesos biológicos pueden suministrarse usando oxígeno puro o aire. Para introducir oxígeno al contenido de los tanques de aireación se utilizan comúnmente tres métodos: aireación mecánica, inyección de aire con difusores de aire e inyección de oxígeno de alta pureza.

En la aireación mecánica se utilizan equipos rotatorios para mezclar el contenido del tanque de aireación e introducir el oxígeno en el líquido dispersando gotas finas de agua en el aire, de manera que el oxígeno pueda ser absorbido. La tasa de transferencia típica para aireadores de cepillo es de 2 kg O<sub>2</sub>/ kw. <sup>(Crites & Tchobanoglous, 2000)</sup>

### **Tratamiento Avanzado**

Necesario para la eliminación de constituyentes de las aguas residuales que merecen especial atención, como los nutrientes, los compuestos tóxicos y los excesos de materia orgánica o de sólidos en suspensión. Otros procesos empleados en

tratamiento avanzado son la coagulación química, floculación, y sedimentación seguida de filtración y carbón activado. Para la eliminación de iones específico y para la reducción de sólidos disueltos se emplean intercambio iónico y ósmosis inversa. El control y la eliminación de nutrientes pueden llevarse a cabo por procesos químicos, biológicos o una combinación de ambos. En muchos casos la eliminación de nutrientes se realiza en combinación con el tratamiento secundario.

En la planta de tratamiento de aguas residuales de Plumrose Latinoamericana, C.A., se emplea la desinfección con cloro en el efluente final.

### Desinfección

La desinfección consiste en la reducción de las colonias de bacterias que pueden existir en el efluente final.<sup>(Rivas, 1978)</sup> No todos los organismos se destruyen durante el proceso, punto en el que radica la principal diferencia entre la desinfección y la esterilización, proceso que conduce a la destrucción de la totalidad de los organismos.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Los requisitos que debe cumplir un desinfectante químico, en la que se puede apreciar que un desinfectante ideal debería tener una gran variedad de características. A pesar de que tal compuesto puede no existir, es preciso tener en cuenta los requisitos propuestos a la hora de valorar los desinfectantes propuestos o recomendados. También es importante que los desinfectantes sean seguros en su aplicación y manejo, y que su fuerza o concentración en las aguas tratadas sea medible y cuantificable.

Los métodos más empleados para llevar a cabo la desinfección son: agentes químicos, agentes físicos, radiación y medios mecánicos. La desinfección con cloro es la aplicada en la planta de tratamientos de la fábrica de embutidos en Plumrose Latinoamericana, C.A.

### Desinfección con cloro

Como ya se ha comentado anteriormente, de todos los desinfectantes empleados, el cloro es quizás el más universalmente utilizado. La razón de este hecho hay que buscarla en que satisface la mayoría de los requisitos.

Los compuestos de cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas, el hipoclorito sódico, el hipoclorito de calcio, y el dióxido de cloro. Los hipocloritos sódico y cálcico se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son criterios de mayor peso que el costo. El hipoclorito de sodio también se emplea en las plantas de gran tamaño, principalmente por cuestiones de seguridad relacionadas con las condiciones locales. El dióxido de cloro también se emplea en las instalaciones de tratamiento, debido a que tiene algunas propiedades poco frecuentes (no reacciona con el amoníaco). A pesar de que también se emplean otros compuestos del cloro, el análisis que sigue a continuación se limitará al estudio de la aplicación de cloro gas, por ser la forma más extensamente adoptada.

### **Remoción de Nitrógeno y Fósforo**

El nitrógeno puede existir, en cuatro formas: nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos. El nitrógeno total Kjeldahl (NTK) 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. <sup>(Willis, 2001)</sup>

El fósforo puede estar presente en tres formas: ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. 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. <sup>(Willis, 2001)</sup>

#### Remoción de Nitrógeno por Procesos Físicos y Químicos

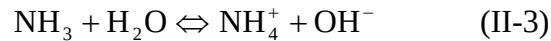
Los principales procesos físicos y químicos empleados para la eliminación de nitrógeno son: transferencia de gases, cloración al punto de quiebre e intercambio iónico.

##### Arrastre con Aire

La transferencia de gases se puede definir como el fenómeno mediante el cual se transfiere gas de una fase a otra. Uno de los procesos de eliminación de los compuestos del nitrógeno consiste en la conversión del nitrógeno en amoníaco y la posterior transferencia del amoníaco en forma gaseosa del agua al aire. <sup>(Metcalf, 1996)</sup>

En las aguas residuales el amoníaco se encuentra en equilibrio con el amonio, como se muestra en la siguiente ecuación:



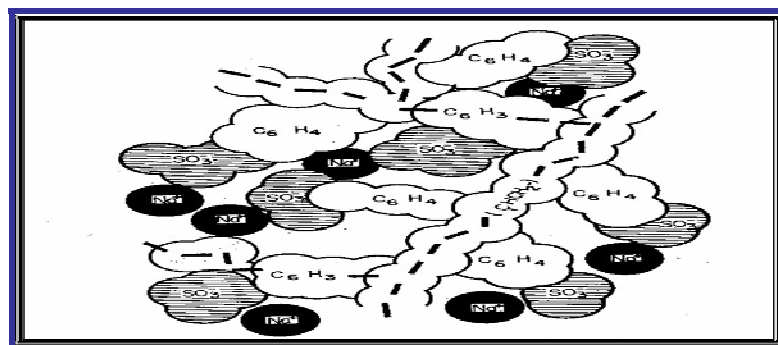


Cuando el pH se encuentra por encima de 7, la reacción (II-3) se desplaza hacia la izquierda, favoreciendo la conversión del amonio a amoníaco, el cual es removido como gas mediante la agitación de las aguas residuales en presencia de aire. Usualmente la agitación se lleva a cabo en una torre empacada.

### Intercambio Iónico

Se define como intercambio iónico al desplazamiento de un ión por otro.<sup>(Larson, 1993)</sup> El intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantiene unidos a grupos funcionales en la superficie del sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por especies diferentes en disolución. Ya que la desmineralización se puede llevar a cabo mediante intercambio iónico, es posible utilizar procesos de tratamientos de corriente continua, en los que parte del agua residual del efluente se desmineraliza y se combina después con parte del efluente que ha sido desviado del tratamiento para producir un efluente de calidad específica.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Los iones de amonio son intercambiados por iones de calcio y sodio presentes en una resina sintética de intercambio catiónico. Después de agotar la resina es regenerada.

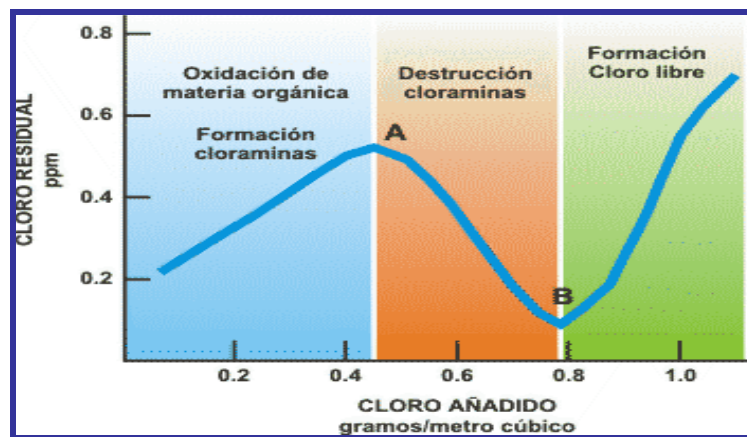


**Ilustración N° II-8. Modelo de Resina** (Fuente: SEMARNAT, 2005)

Reacción al Punto de quiebre

El hecho de que el cloro libre reaccione con el amoníaco y de que sea un fuerte agente oxidante, complica bastante el mantenimiento de una cantidad residual (combinado o libre) para la desinfección de las aguas residuales.

Al ir añadiendo cloro, las sustancias que reaccionan con facilidad, como el  $\text{Fe}^{+2}$ , el  $\text{Mn}^{+2}$ , el  $\text{H}_2\text{S}$  o la materia orgánica, reaccionan con el cloro y lo reducen en gran parte a ion cloruro (Tras satisfacer esta demanda inmediata, el cloro continuará reaccionando con el amoníaco para formar cloraminas,. Para relaciones molares entre cloro y amoníaco inferiores a 1, se formará monoclорamina y dicloramina. La distribución de estas dos formas viene dictada por sus velocidades de formación, que son función de la temperatura y del pH. Antes de alcanzar el punto de quiebre, algunas de las cloraminas se transforman en tricloruro de nitrógeno (mientras que las restantes cloraminas se oxidarán a óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y el cloro se reducirá a ion cloruro). Luego el nitrógeno liberado, puede ser arrastrado con aire para removerlo. Si se continúa añadiendo cloro, todas las cloraminas se oxidarán en el punto de quiebre. (Metcalf, 1996)



**Ilustración N° II-9. Curva de la Reacción al Punto de Quiebre**

(Fuente: SEMARNAT, 2005)

### Remoción de Fósforo por Procesos Físicos y Químicos

La más empleada es la precipitación química, sin embargo esta a su vez tiene involucrado otros procesos físicos para la realización, como lo son el mezclado del aditivo y químico y la posterior sedimentación del mismo, procesos que se estudiarán en el siguiente apartado:

#### Precipitación Química

La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por sedimentación. En algunos casos, la alteración es pequeña, y la eliminación se logra al quedar atrapados dentro de un precipitado voluminoso constituido, principalmente, por el propio coagulante. La adición de productos químicos incrementa el contenido de los constituyentes disueltos del agua residual a tratar.<sup>(Mancy, 1973)</sup>

Los procesos químicos, junto con algunas de las operaciones físicas unitarias, se han desarrollado para proporcionar un tratamiento secundario completo a las aguas residuales no tratadas, incluyendo la eliminación del nitrógeno, del fósforo, o de ambos a la vez. También se han desarrollado otros procesos químicos para la eliminación del fósforo por precipitación química, y están pensados para su utilización en combinación con procesos de tratamiento biológicos.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Mediante precipitación química, es posible conseguir efluentes clarificados básicamente libres de materia en suspensión o en estado coloidal y se puede llegar a eliminar del 80 al 90% de la materia total suspendida, entre el 40 y el 70% de la DBO<sub>5</sub>, del 30 al 60% de la DQO y entre el 80 y el 90% de las bacterias. Estas cifras

contrastan con los rendimientos de eliminación de los procesos de sedimentación simple, en los que la eliminación de la materia suspendida sólo alcanza valores del 50 al 70% y en la eliminación de la materia orgánica sólo se consigue entre el 30 y el 40%.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Productos químicos como sales metálicas y cal se utilizan para eliminar el fósforo. El uso de polímeros combinados, con sales de hierro y aluminio también ha proporcionado resultados satisfactorios.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

A lo largo de los años, se han empleado muchas sustancias y de diversa naturaleza, como agentes de precipitación, las más comunes de las cuales se presentan en la Tabla N° II-3. El grado de clarificación resultante depende tanto de la cantidad de productos químicos que se añade como del nivel de control de los procesos.

**Tabla N° II-3. Productos químicos empleados en el tratamiento del agua residual**

| PRODUCTO QUÍMICO                   | FÓRMULA                                                                                                            |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Sulfato de aluminio</b>         | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$<br>$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ |
| <b>Cloruro férrico</b>             | $\text{FeCl}_3$                                                                                                    |
| <b>Sulfato férrico</b>             | $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$<br>$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$                             |
| <b>Sulfato ferroso (caparrosa)</b> | $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$                                                                         |
| <b>Cal</b>                         | $\text{Ca}(\text{OH})_2$                                                                                           |

Fuente: Metcalf y Eddy (1996)

*Sulfato de aluminio.* Cuando se añade sulfato de aluminio al agua residual que contiene alcalinidad en forma de bicarbonato cálcico y magnésico, la reacción que tiene lugar se puede ilustrar de la siguiente manera:



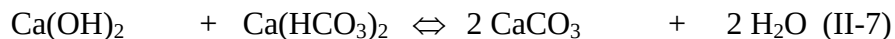
El hidróxido de aluminio insoluble es un flóculo gelatinoso que sedimenta lentamente en el agua residual, arrastrando consigo materia suspendida y produciéndose otras alteraciones. La reacción es exactamente análoga cuando se sustituye el bicarbonato cálcico por la sal de magnesio. En este caso el fósforo que se encuentra con el material suspendido es arrastrado por el precipitado de hidróxido de aluminio.

Los iones de aluminio al reaccionar con los iones de fosfatos forman la siguiente reacción:



Como se observa en la ecuación el aluminio precipita con los fosfatos.

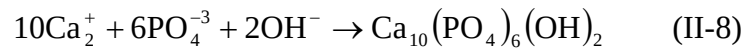
*Cal.* Cuando se añade cal como precipitante, los principios de clarificación quedan explicados por las siguientes reacciones:



Por lo tanto, para producir el carbonato de calcio que actúa como coagulante, es necesario añadir una cantidad de cal suficiente para la combinación con todo el dióxido de carbono libre y con el ácido carbónico de los carbonatos ácidos (dióxido de carbono semicombinado). Por lo general, la cantidad de cal que hay que añadir suele ser mucho mayor cuando se emplea sola que cuando se emplea la cal en combinación con sulfato ferroso (véase el apartado siguiente). En el caso de vertidos

industriales que aporten al agua residual ácidos minerales o sales ácidas, éstas deberán neutralizarse antes de que tenga lugar la precipitación. El fósforo en estas reacciones no es precipitado como tal, sino que el fósforo que se encuentra en suspendido en cualquiera de sus formas, es arrastrado por el flóculo formado de carbonato de calcio que sedimenta.

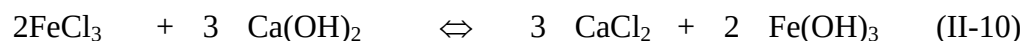
La cal también puede reaccionar con los fosfatos de la siguiente forma:



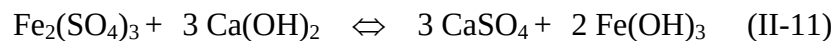
*Sulfato de hierro y cal.* En la mayoría de los casos, el sulfato de hierro no se puede emplear como agente precipitante individual, puesto que para formar un precipitado se debe añadir cal al mismo tiempo. La reacción con sulfato de hierro como único aditivo es la siguiente:



*Cloruro de hierro y cal.* La reacción para el cloruro de hierro y la cal es la siguiente:



*Sulfato de hierro y cal.* La reacción para el sulfato de hierro y la cal es la siguiente:



En todas estas reacciones mostradas con hierro el fósforo no precipita como tal, sino que sedimenta, debido a que los flóculos formados que precipitan lo arrastran consigo.

Sin embargo, los iones de hierro al entrar en contacto con los fosfatos, como tal, reaccionan de la siguiente forma:



En la reacción se observa que el hierro precipita con los fosfatos.

Los principales puntos en los que se pueden eliminar fósforo<sup>(Metcalf, 1996)</sup>:

- a.) Pre-precipitación: adición de productos químicos para la formación de precipitados al agua residual cruda en las instalaciones de sedimentación primaria; el fósforo precipitado se elimina con el lodo primario.
- b.) Co-precipitación: adición de productos químicos para la formación de precipitados que se eliminarán junto con los lodos biológicos. Los productos se pueden añadir: 1) al efluente de las instalaciones de sedimentación primaria, 2) al líquido mezcla del proceso de lodos activados, o 3) al efluente de un proceso de tratamiento biológico antes de la sedimentación secundaria.
- c.) Post-precipitación: adición de productos químicos al efluente de la sedimentación secundaria y posterior eliminación de los precipitados químicos. Los precipitados químicos se suelen eliminar por filtración del efluente o en instalaciones de sedimentación complementarios.

### Mezclado

El mezclado es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, entre las que podemos citar: mezcla completa de una sustancia con otra, mezcla de suspensiones líquidas, mezcla de líquidos miscibles, floculación, transferencia.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

La mayoría de las operaciones de mezclado relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales puede clasificarse en continuas y rápidas continuas (30 segundos o menos). Estas últimas suelen emplearse en los casos en los que debe mezclarse una sustancia con otra, mientras que las primeras tienen su aplicación en aquellos casos en los que debe mantenerse en suspensión el contenido del reactor o del depósito. A continuación se analiza cada uno de estos tipos de mezclado.

#### *Mezcla rápida continúa de productos químicos*

En el proceso de mezcla rápida continua, el principal objetivo consiste en mezclar completamente una sustancia con otra. La mezcla rápida puede durar desde una fracción de segundo hasta alrededor de 30 segundos. La mezcla rápida de productos químicos se puede llevar a cabo mediante diversos sistemas, entre los que destacan: resaltos hidráulicos en canales, dispositivos Venturi, conducciones, por bombeo, mediante mezcladores estáticos, mediante mezcladores mecánicos.<sup>(Metcalf, 1996)</sup>

En los cuatro primeros, el mezclado se consigue como consecuencia de las turbulencias que se crean en el régimen de flujo. En los mezcladores estáticos, las turbulencias se producen como consecuencia de la disipación de energía, mientras que en los mezcladores mecánicos las turbulencias se consiguen mediante la aportación de energía con impulsores giratorios como las paletas, hélices y turbinas.  
<sup>(Metcalf, 1996)</sup>



1) Hélice: una hélice es un rodete con un flujo axial y alta velocidad que se utiliza para líquidos de baja viscosidad. Las hélices pequeñas giran con la misma velocidad que el motor, entre 1150 y 1750 rpm; las grandes giran entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que salen del rodete continúan a través del líquido en una dirección determinada hasta que chocan con el fondo o las paredes del tanque. La columna altamente turbulenta, de remolinos de líquido que abandona el rodete, arrastra al moverse líquido estancado. Las placas de un rodete cortan o cizallan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces en tanques muy grandes.<sup>(Mc Cabe, 1996)</sup>

Las hélices raramente superan los 46 centímetros de diámetro, con independencia del tamaño del tanque. En tanques profundos pueden instalarse dos o más hélices sobre el mismo eje, generalmente dirigiendo el líquido en la misma dirección.<sup>(Mc Cabe, 1996)</sup>

2) Palas: para los problemas más sencillos, un agitador eficaz consta de una pala plana que gira sobre un eje vertical. Son frecuente los agitadores de dos y cuatro palas. A veces las palas están inclinadas, pero lo más frecuente es que sean verticales. Las palas giran a bajas o moderadas velocidades en el centro del tanque, puesto que tienen una superficie grande de acción sobre el fluido, impulsando el líquido radial y tangencialmente, sin que haya prácticamente movimiento vertical excepto que las placas están inclinadas. En tanques profundos se instalan varias palas, unas sobre otras, en un mismo eje.<sup>(Mc Cabe, 1996)</sup>

Los agitadores de paletas se emplean como elementos de floculación cuando deben añadirse al agua residual, o a los lodos, coagulantes como el sulfato férrico o de aluminio, o adyuvantes a la coagulación como los polielectrolitos y la cal.

La coagulación se promueve, mecánicamente, con una agitación moderada con palas girando a velocidades bajas. Esta acción se complementa, en ocasiones, con la disposición de unas hojas o láminas estáticas entre las palas giratorias para reducir el movimiento circular de la masa de agua y favorecer así el mezclado. El aumento del contacto entre partículas conduce aun incremento del tamaño del flóculo, pero una agitación demasiado vigorosa puede producir tensiones que destruyan los flóculos formando partículas de menor tamaño. Es importante controlar adecuadamente la agitación, de modo que los tamaños de los flóculos sean los adecuados y sedimenten rápidamente. La producción de un buen flóculo requiere generalmente un tiempo de detención entre 10 y 30 minutos. <sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Los agitadores industriales de palas giran a velocidades comprendidas entre 20 y 150 revoluciones por minuto. La longitud total de un rodete de palas está típicamente comprendido entre el 50 y el 80% del diámetro interior del tanque. La anchura de la pala es de un sexto a un décimo de su longitud. A velocidades muy bajas los agitadores de palas generan una agitación muy suave en tanques sin placas deflectoras, las cuales son necesarias para velocidades más elevadas, pues de lo contrario el líquido se desplaza en bloque alrededor del tanque con velocidad alta, pero con poca mezcla. <sup>(Mc Cabe, 1996)</sup>

Se ha podido constatar que una velocidad lineal de aproximadamente, 0,6 a 0,9 m/s en los extremos de las paletas crea suficiente turbulencia sin romper los flóculos.

3) Turbinas: son agitadores con numerosas palas cortas, que giran a altas velocidades sobre un eje montado centralmente en el tanque. Las placas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que el de las palas, variando entre el 30 y el 50% del diámetro del tanque. <sup>(Mc Cabe, 1996)</sup>

Las turbinas son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades. En líquidos de baja viscosidad las turbinas generan fuertes corrientes que persisten en todo el tanque, destruyendo bolsas de fluido estancado. (Mc Cabe, 1996)

#### *Potencia Disipada en la Mezcla*

Cuanto mayor sea la energía suministrada en un fluido mayor será la turbulencia generada y, por tanto, la mezcla resultante será mucho mejor. La potencia disipada por unidad de volumen del líquido en la mezcla puede servir como parámetro para medir la eficiencia de operación. Camp y Stein (1943) desarrollaron la siguiente ecuación para diseñar unidades para mezcla.

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}} \quad (\text{II-13})$$

Donde,

G: Gradiente de velocidad, s<sup>-1</sup>.

P: Potencia requerida, W.

μ: Viscosidad dinámica del fluido a la temperatura de la mezcla, Nxseg/m<sup>2</sup>.

V: Volumen del tanque, m<sup>3</sup>.

#### *Potencia Necesaria para Mezcladores de Turbina y de Hélice*

Para lograr una mezcla efectiva se debe realizar bajo condiciones de flujo turbulento en donde predominen las fuerzas de inercia. Rushton (1952) desarrolló la siguiente expresión con la cual calculó la potencia necesaria para la mezcla bajo condiciones de régimen laminar y régimen turbulento.

Laminar:  $P = k \times \rho \times n_r^2 \times D_i^3$  (II-14)

Turbulento:  $P = k \times \rho \times n_r^3 \times D_i^5$  (II-15)

Donde,

P: Potencia requerida, W.

k: Constante que depende del tipo de mezclador.

$\rho$ : Densidad del fluido a la temperatura de la mezcla, kg/m<sup>3</sup>.

$n_r$ : Número de revoluciones por segundo.

$D_i$ : Diámetro del impulsor, m.

La ecuación de régimen laminar se aplica en casos donde el número de Reynolds sea menor que 10, mientras que la se régimen turbulento se puede aplicar en casos donde el número de Reynolds sea mayor que 10000. El número de Reynolds está dado por la siguiente expresión:

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 \times n_r \times \rho}{\mu} \quad (II-16)$$

Donde,

$N_{Re}$ : Número de Reynolds.

$D_i$ : Diámetro del impulsor, m.

$n_r$ : Número de revoluciones por segundo.

$\rho$ : Densidad del fluido a la temperatura de la mezcla, kg/m<sup>3</sup>.

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido a la temperatura de la mezcla, Nxseg/m<sup>2</sup>.

*Potencia Necesaria para Mezcladores de Paletas*

La potencia suministrada a un fluido por medio de un sistema mecánica de paletas se puede relacionar con la fuerza de resistencia al avance de las paletas mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{C_D \times A_p \times \rho \times v^3}{2} \quad (\text{II-17})$$

Donde,

P: Potencia requerida, W.

$C_D$ : Coeficiente de resistencia de las paletas.

$A_p$ : Área de las paletas,  $m^2$ .

$\rho$ : Densidad del fluido a la temperatura de la mezcla,  $kg/m^3$ .

$v$ : Velocidad relativa de las paletas.

Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales. Los términos sedimentación y decantación se utilizan indistintamente. <sup>(Metcalf, 1996)</sup>

Esta operación se emplea para la eliminación de arenas, de la materia en suspensión en sedimentadores primarios, de flóculos biológicos en los decantadores secundarios en los procesos de lodos activados, de los flóculos químicos cuando se emplea la coagulación química y para la concentración de sólidos en los espesadores de lodo.

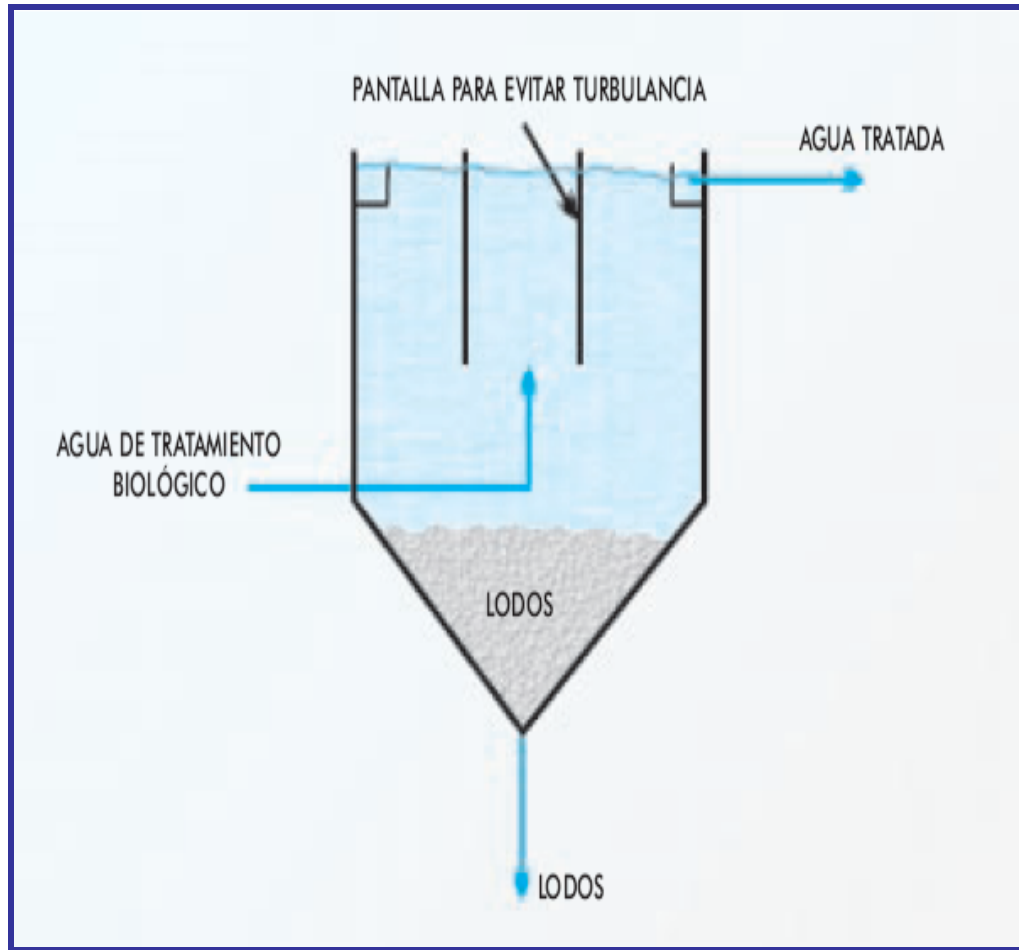
Los coloides siempre necesitan coagularse para alcanzar un tamaño efectivo y una rapidez de asentamiento, pero aún partículas mayores, que no son realmente coloidales y que se asentarían si se les diera un tiempo suficiente, requieren de la coagulación para formar un flóculo mayor que se asiente con mayor rapidez. <sup>(Nalco, 1982)</sup>

Cuando en una planta de tratamiento no se dispone de tiempo suficiente para extraer los sólidos suspendidos, la coagulación y floculación pueden provocar su crecimiento y asentarse con la suficiente rapidez para superar las limitaciones del diseño de la planta.

Puede ser que el flóculo formado por la aglomeración de varios coloides no sea lo bastante grande como para asentarse o desecarse con la rapidez deseada. Un floculante reúne partículas floculadas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación es estimulada por un mezclado lento que junta poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerzas óptimos.

La sedimentación sin la adición de sales metálicas sólo puede remover el 15% de fósforo total contenido en las partículas sedimentables presentes en las aguas residuales. <sup>(Rybicki, 2005)</sup>

En función de la concentración y de la tendencia a la interacción de las partículas, se pueden producir cuatro tipos de sedimentación: discreta, floculenta, retardada (también llamada zonal), y por compresión.



**Ilustración N° II-10. Tanque Sedimentador.** (Ministerio del Ambiente de Colombia, 2005)

*Sedimentación de Partículas Discretas:* Se refiere a la sedimentación de partículas en una suspensión con baja concentración de sólidos. Las partículas sedimentan como entidades individuales y no existe interacción sustancial con las partículas vecinas.

*Sedimentación Floculenta:* Se refiere a una suspensión bastante diluida de partículas que se agregan, o floculan, durante el proceso de sedimentación. Al unirse, las partículas aumentan de masa y sedimentan a mayor velocidad.

*Sedimentación Retardada, también llamada zonal:* Se refiere a suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas entre partículas son suficientes para entorpecer la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer en posiciones relativas fijas y la masa de partículas sedimenta como una unidad. Se desarrolla una interfase sólido-líquido en la parte superior de la masa que sedimenta.

*Sedimentación por Compresión:* Se refiere a la sedimentación en la que las partículas están concentradas de tal manera que se forma una estructura y la sedimentación sólo puede tener lugar como consecuencia de la compresión de esta estructura. La compresión se produce por el peso de las partículas, que se van añadiendo constantemente a la estructura por sedimentación desde el líquido sobrenadante.

#### *Diseño de Sedimentadores*

En el diseño de tanques de sedimentación se deben tener en cuenta los siguientes criterios generales:

- Proveer una distribución uniforme del afluente para minimizar la velocidad de entrada y el cortocircuito.
- Proveer adecuada y rápida recolección del lodo sedimentado, así como de la espuma.
- Minimizar las corrientes de salida, limitando las cargas de rebose sobre el vertedero. El efluente debe salir sin alterar el contenido del tanque.
- Proveer profundidad suficiente para almacenar lodo y permitir su espesamiento adecuado.
- Proveer un borde libre mayor de 30 cm.
- Reducir efectos del viento mediante pantallas y vertederos.



- Evaluar opciones de diseño.
- Repartir uniformemente el caudal entre las unidades de sedimentación.

Los estándares básicos de diseño de tanques de sedimentación primaria de aguas residuales se incluyen en la siguiente tabla:

**Tabla N° II- 4. Estándares de Diseño de Sedimentadotes Primarios**

| Tipo de Tratamiento                        | Carga Superficial<br>( $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{d}$ ) |             | Profundidad<br>(m) | Carga sobre el Vertedero<br>(L/sm) | Tiempo de Retención<br>(h) |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------|--------------------|------------------------------------|----------------------------|
|                                            | Caudal Promedio                                                  | Caudal Pico |                    |                                    |                            |
| Primario seguido de tratamiento secundario | 32 – 49                                                          | 80 – 122    | 3 – 5              | 1,4 – 4,3                          | 1,5 - 2,5                  |
|                                            | 32 – 49                                                          | 81 – 122    |                    | <5,8                               |                            |
|                                            | 32 – 49                                                          | 81 – 122    | 3 - 3,7            | 1,4 – 5,7                          | 1,5 - 2,5                  |
| Primario con lodo activado de desecho      | 24 – 33                                                          | 48 – 70     | 3 – 5              | 1,4 – 4,3                          | 1,5 - 2,5                  |
|                                            | 24 – 33                                                          | 49 – 69     |                    | <5,8                               |                            |
|                                            | 24 – 32                                                          | 49 – 61     | 3,7 – 4,6          | 1,4 – 5,7                          | 1,5 - 2,5                  |
| Primario                                   | 30                                                               | 45          | >1,5               | <5,2                               | 2                          |
|                                            | 24 – 33                                                          |             | 2,1 – 3,6          | 1,4 – 2,2                          | 1 - 2                      |

Fuente: Romero, 1999

Las cargas superficiales deben ser lo suficientemente pequeñas como para asegurar una operación satisfactoria del sedimentador en caudales máximos. Las cargas superficiales usadas, generalmente, permiten tiempos nominales de retención de dos a tres horas para caudal promedio. Como los caudales de diseño son, en todos los casos,

para condiciones futuras, los períodos de retención reales, durante los primeros años de operación de la planta, son mayores.

La carga de rebose sobre el vertedero tiene poco efecto sobre la eficiencia del tanque de sedimentación primaria, siendo más importante mantener una velocidad de flujo mínima que no arrastre el lodo sedimentado y disponer de una colocación apropiada de los vertederos de rebose.

La velocidad de flujo debe ser menor de 1,5 m/min para prevenir la suspensión de sólidos, o quince veces menor a la velocidad crítica de sedimentación, la cual se puede calcular por la ecuación de Camp y Shields.

$$v_c = \sqrt{\frac{8 \times K}{f} \times (S_p - 1) \times g \times d_p} \quad (\text{II-18})$$

Donde,

$v_c$  : Velocidad de Resuspensión, m/seg.

K: 0,04 para material unigranular y 0,06 para material viscoso

g: Gravedad m/seg<sup>2</sup> (9,81 m/seg<sup>2</sup>).

$S_p$ : gravedad específica de la partícula (1,02).

$d_p$ : Diámetro de partículas, m.

f: Factor de fricción de Darcy-Weisbach, usualmente entre 0,02 y 0,03

El diseño de los tanques de sedimentación química se hace con base a los mismos parámetros de diseño de la sedimentación primaria, ya que la operación es semejante. Las cargas típicas para dimensionar estos tanques se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla N° II-5. Cargas superficiales para Sedimentación Química**

| Suspensión      | Carga Superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{d}$ ) |
|-----------------|---------------------------------------------------------------|
| Floc de alumbre | 20 – 24                                                       |
|                 | 24 – 49                                                       |
| Floc de hierro  | 28 – 33                                                       |
|                 | 24 – 49                                                       |
| Floc de cal     | 57 – 65                                                       |
|                 | 31 – 61                                                       |

Fuente: Romero, 1999

### Eliminación Biológica de Nitrógeno

Dado que el nitrógeno es un nutriente, los microorganismos presentes en el proceso de tratamiento asimilan el nitrógeno amoniacal y lo incorporan a su masa celular. El nitrógeno puede retirarse de las aguas residuales sacando las células del sistema. Sin embargo, en la mayoría de las aguas residuales hay más nitrógeno del que puede ser asimilado por el tejido celular. En la nitrificación-desnitrificación, la remoción de nitrógeno se logra con un proceso de conversión en dos pasos. En el primer paso, el nitrato se reduce a nitrógeno gaseoso, el cual se deja escapar al sistema. La remoción del nitrógeno biológico por medio de la nitrificación-desnitrificación se puede llevar a cabo en tres formas: 1) Oxidación del carbono en la etapa separada, nitrificación – desnitrificación, 2) Oxidación combinada del carbono y nitrificación, y desnitrificación en etapa separada, 3) Oxidación combinada del carbono, nitrificación y desnitrificación.

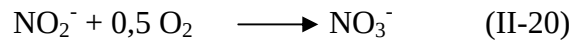
En la nitrificación biológica, el amoníaco se oxida en un proceso de dos pasos: primero a nitritos y luego a nitratos. Los principales procesos de nitrificación se pueden clasificar como proceso de crecimiento en suspensión y de película bacterial adherida.



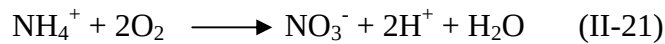
Conversión de amonio a nitrito por *Nitrosomas*:



Conversión de nitrito a nitrato por *Nitrobacter*:



Conversión global de amonio a nitrato:



Además de obtener energía, el tejido celular asimila una parte del ion amonio. La reacción de la síntesis de la biomasa se puede representar así:



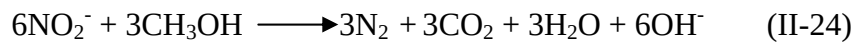
La desnitrificación es la conversión de nitratos a nitrógeno, las bacterias desnitrificantes obtienen energía para su crecimiento de esta conversión, pero requieren una fuente de carbono para la síntesis celular. Dado que los efluentes nitrificados tienen por lo general, un bajo contenido de materia carbonacea, se requiere con frecuencia una fuente externa de carbono para la síntesis celular. En la mayoría de los sistemas biológicos de desnitrificación se utilizan el afluente o el tejido celular como fuentes del carbono necesario.

Con el metanol como fuente de carbono, la estequiometría de la nitrificación en etapas separadas se describe de la siguiente manera. La cantidad requerida de metanol se puede determinar considerando las reacciones globales para la remoción de nitratos y nitritos.

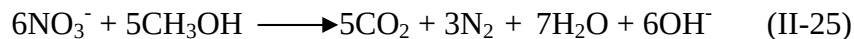
Reacción energética, primer paso:



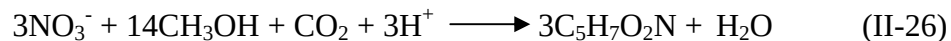
Reacción energética, segundo paso:



Reacción energética global:

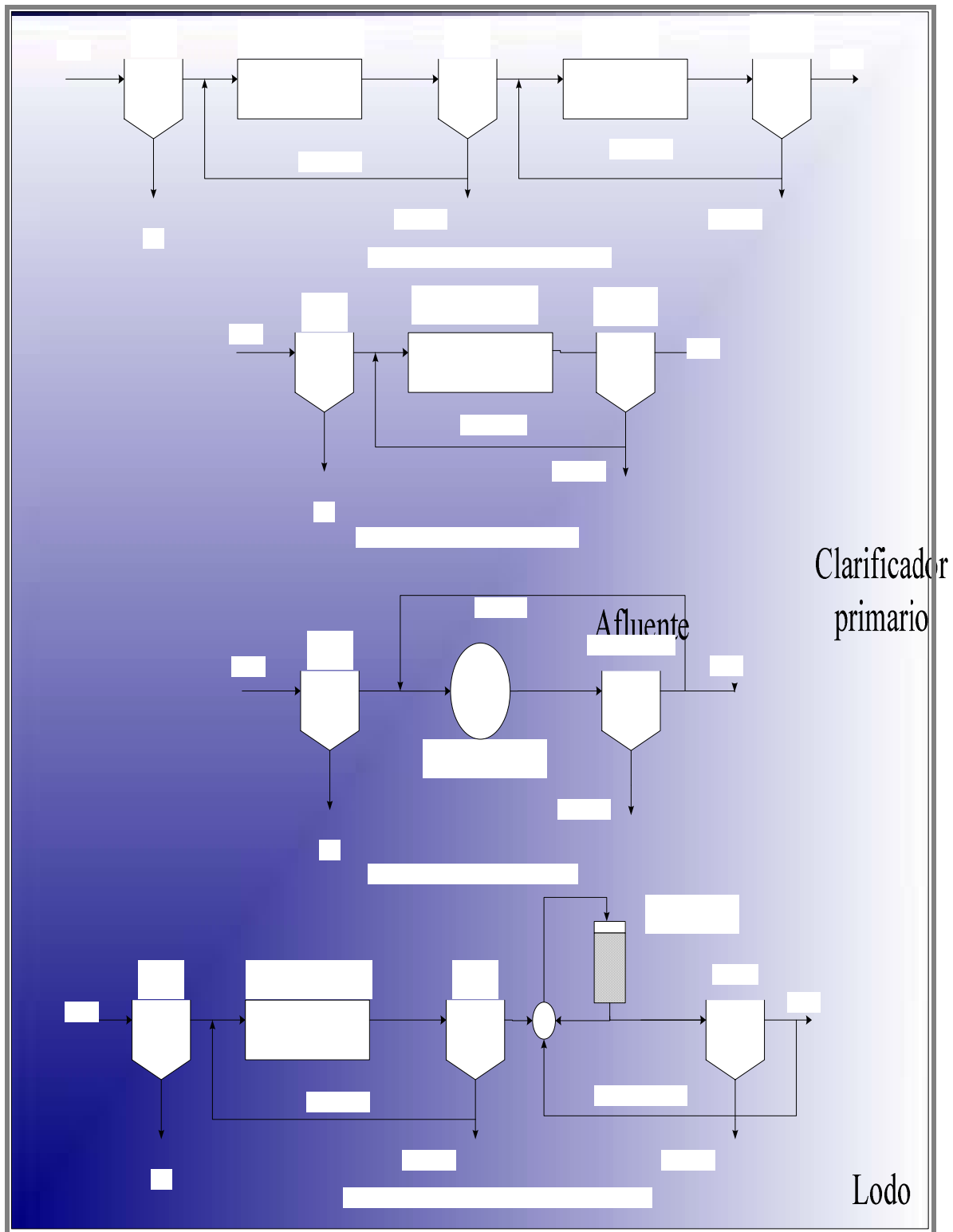


La siguiente reacción desarrollada por McCarty, representa una reacción de síntesis típica:



El proceso de desnitrificación se puede clasificar de igual forma que el de nitrificación crecimiento en suspensión y de película bacterial adherida.

El proceso de una etapa combina la oxidación del carbono, nitrificación y desnitrificación en un proceso único. Para obtener la nitrificación en los procesos de una etapa se usa bien sea el decaimiento endógeno de los organismos o el carbono de las aguas residuales. Para obtener la desnitrificación usando el carbono de las aguas residuales involucra la creación de una serie de etapas aerobias y anóxicas alternas (la operación cíclica) sin sedimentación intermedia.



**Ilustración N° II-12. Procesos empleados para la nitrificación.**



## ***Capítulo III:***

### ***Descripción de los Procesos***





### **CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS**

#### **Proceso Productivo en Matadero**

A continuación se tratará de dar una explicación general a este proceso:

Matadero posee un área de aproximadamente 46.4102 m<sup>2</sup> y se encuentra ubicado en la Zona Industrial Las Vegas, de Cagua. En el Departamento de Matanza el proceso comienza cuando los cerdos son descargados de los camiones para luego ser pesados, bañados y dejados en reposo en los corrales durante un tiempo determinado, con la finalidad de que liberen estrés, para evitar que los músculos de éstos se tensionen, ya que deteriorarían la calidad de la carne. Una vez finalizado este tiempo, los cerdos son introducidos en la manga de sacrificio, allí son transportados al área de insensibilización, donde se sumergen durante una pequeña fracción de tiempo en una cámara de gas (CO<sub>2</sub>); Inmediatamente un operador prensa una de las extremidades del cerdo dormido en un monorriel aéreo y éste es transportado al área de degüelle, donde se inserta una daga en el corazón, la cual permite recuperar la sangre del animal.

En el departamento de Tripería las vísceras provenientes del transportador de bandejas pasan a una zona donde se realiza el lavado, separado y curado de las tripas para su posterior utilización. Los cerdos son entregados a picada, según el tiempo que tengan dentro de la cava. Este departamento se encarga de pesar, decapitar, cortar las patas, desprender el pernil del cuerpo, cortar la paleta y la papada, separar la chuleta de las costillas y entregar las piezas a los limpiadores de pernil y despostadores.

Una vez en desposte se separa la carne del hueso y del cuero del animal, allí existen 3 líneas:

- Línea de Desposte de pernils
- Línea de Desposte continúa
- Línea de Descuerado.

La materia prima es almacenada en tanques y en estibas en el departamento de frigorífico y despacho, para ser transportadas a la planta principal y ser luego utilizada en los diferentes procesos.

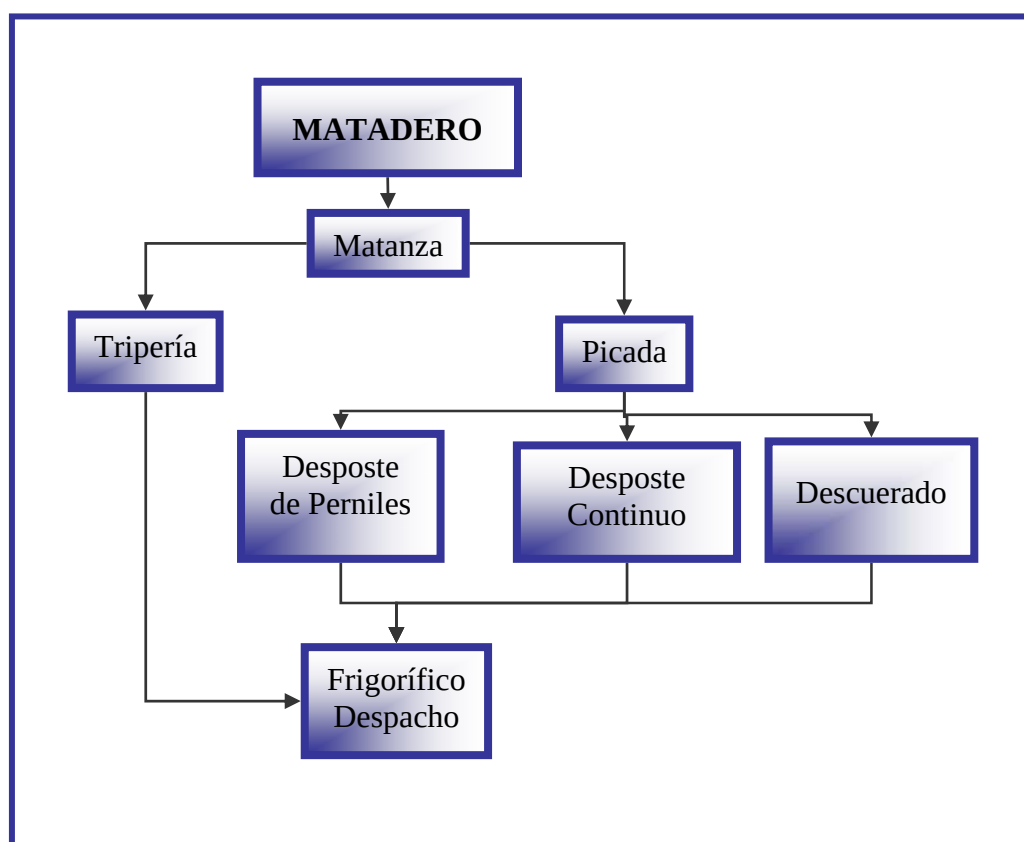
El personal de recepción se encarga de recibir la materia prima que proviene de Matadero PLUMROSE, frigoríficos externos y proveedores (compras). Posteriormente se distribuyen según la requisición del departamento de producción. En descongelación y frigorífico se encargan de la distribución del producto en la cava de recepción y disponen de la misma cuando se requiere en producción.

La materia prima solicitada es trasladada a Descongelación para ser cargada en estantería si se necesita descongelada o vaciada en tanques si se desea congelada.

Posteriormente en desposte se reciben las reses en canal, tomando nota de su peso, género y tipo de Res, despostando la carne en sus diferentes renglones. De aquí la materia prima pasa a la zona de curación en la cual es inyectada con salmuera para prevenir su descomposición y favorecer los procesos a los cuales va a ser sometida posteriormente. En los molinos se ejecuta la molienda de la materia prima proveniente de curación, picada, desposte de reses y descongelación, para pasar así al departamento de pre-mezcla; lugar donde se realiza la combinación (dependiendo de la fórmula del producto) de los diferentes tipos de materias primas procesadas en Molinos.

En la zona de mezcla se elabora la pasta de cada uno de los productos que se van a embutir, utilizando condimentos, pre-mezcla y otros tipos de materias primas de acuerdo a la formulación del producto.

Una vez obtenida cada una de las recetas para los diferentes productos de Plumrose, se distribuyen estas a cada una de las zonas de embutidos, encontrándose estas divididas en embutido de jamones, embutido de salchichas y embutido de productos enlatados, sitios en los que se embute la carne refinada, llevando un control sobre el vacío y peso para los diferentes productos que allí se elaboran.



**Ilustración N° III-1. Esquema del Proceso Productivo en Matadero.**

### **Proceso Productivo en Planta Cagua**

Existen en la actualidad 8 zonas de producción, las cuales se describen a continuación:

#### Zona 1 Recepción:

Recepción: El personal de éste área se encarga de recibir la materia prima que proviene de matadero Plumrose, frigoríficos externos y proveedores (compras), luego distribuye según la requisición de cada departamento de producción. A su vez se encarga de buscar contenedores vacíos (carros vemag, carros grandes, tanques, estibas, etc.), trasladarlos a la cava de recepción de materias primas.

Departamento de Descongelación y Frigorífico: Este departamento se encarga de la distribución del producto en la cava de recepción y extraer de la misma la materia prima cuando se requiere en producción. La materia prima solicitada es trasladada a descongelación para ser cargada en estantería, si se requiere descongelada o vaciada en tanques, si se requiere congelada.

Departamento de Desposte: Se encarga de recibir las reses en canal, tomando nota de su peso, género y tipo de res. Para definir el género de la res se observa la pelvis del animal, el tipo viene dado según el criterio del inspector; basado en la apariencia y cantidad de grasa del animal.

#### Zona 2 Premezclas:

Molinos: En ésta área se ejecuta la molienda de la materia prima proveniente de curación, picada, desposte de reses y descongelación.

*Departamento de Premezclas:* En dicho departamento se realiza la combinación (dependiendo de la fórmula del producto) de los diferentes tipos de materias primas procesadas en Molinos. Para la elaboración de la pre-mezcla se utilizan mezcladoras sin vacío.

*Departamento de Mezclas:* Se encarga de elaborar la pasta de cada uno de los productos que se van a embutir, utilizando condimentos, pre-mezcla y otros tipos de materias primas de acuerdo a la fórmula del producto. Para elaborar las mezclas se utilizan las mezcladoras con vacío y para elaborar las salmueras se utilizan la mezcladora de emulsión.

*Departamento de Embutido Mezcla:* La función de éste departamento es embutir la carne refinada, llevando un control sobre el vacío y peso para los diferentes productos que allí se elaboran.

### *Zona 3 Jamones:*

*Departamento de Jamones:* Realiza el embutido y extracción de vacío de ciertos tipos de jamones que se elaboran en la empresa, llevando un control del tamaño y peso de cada producto. Se utilizan máquinas para embutir la mezcla en una tripa sintética, constituidas por un elevador de tumbling, una campana de vacío y una balanza. Actualmente existen 3 máquinas que realizan el termo formado a: Jamón Supremo, Jamón Cocido MTV Plumrose y Jamón Pierna.

*Departamento de Curación y Colgado:* En dicho departamento se realiza la inyección de materia prima y extracción de vacío de la carne.

*Departamento Preparación de Salmuera:* En éste departamento se prepara las salmueras que se van a utilizar en las 4 inyectoras. El equipo de preparación de

salmuera está conformado por un tanque, un agitador y una bomba para vaciar la salmuera en los tanques

#### Zona 4 Salchichas:

Departamento Embutido Salchichas: Esta constituido por las siguientes líneas:

.- Línea de mezclado y refinado: En ésta línea se realiza el mezclado de los diferentes productos que se van a embutir, así como un doble refinado de la pasta para reducir la granulometría.

.- Supermatic líneas de embutido: Son utilizadas para la fabricación de los diversos tipos de salchichas Plumrose y Oscar Mayer 225 g, 450 g, 800 g, Ven Pack, Springrose, Viena, Cóctel, Pollo superior y Spring de pollo. Cada línea requiere dos operarios (un operador y un colgador). Las supermatic poseen un elevador para el vaciado y un equipo compensador de pasta, una vez embutidas las tripas son llevadas al horno Alkar de salchichas.

Departamento de Empaque de Salchichas: En éste departamento se realiza el pelado y empaque de salchichas: Plumrose y Oscar Mayer 225 g, 450 g, 800 g, Ven Pack, Springrose, Viena, Cóctel, Pollo superior y Springrose de pollo. Actualmente existen 5 peladoras a la salida del horno Alkar, 2 Multivac R530, una Multivac R7000 y dos Tiromat, conformadas por un sistema de empaque MTV y un sistema Nordson para uso de adhesivo fundido.

#### Zona 5 Empaque:

Departamento de Empaque Central: Se encarga del empaque de casi todos los productos elaborados por la empresa, excepto salchichas y enlatados.

---

En éste de departamento se encuentran las siguientes líneas:

1) Mini línea: Por ésta línea se realiza el empaque de los productos de uno y dos kilogramos, así como la pasta de hígado. Su funcionamiento es totalmente manual, a excepción del traslado, que se efectúa por medio de una banda transportadora.

2) Línea empaque de mortadela 1 Kg.: Se utiliza en el empaque de mortadela especial 1 Kg. Está constituida por una máquina que realiza la formación de los moldes en la película de polietileno, sellado y vacío del producto y un sistema para utilizar adhesivo fundido para pegar las cajas.

3) Línea de Jamones: Por ésta línea se empacan los distintos jamones, mortadelas y fiambres. Está constituida por un sistema para el pegado de las cajas, una balanza, una flejadora, un sistema de succionadores para facilitar el desmolde y sistema de secado de los jamones por aire.

4) Línea de Chuleta: Aquí se empaca la chuleta ahumada entera. Está constituida por una mesa con un dispositivo en forma de canal que permite introducir 2 piezas en una bolsa, dos máquinas que se encargan de realizar el vacío y sellado de las bolsas, un túnel de termo encogido y un sistema para pegar las cajas.

5) Línea Cryovac: La línea se utiliza para el empaque de Bologña, Tocineta Cuadrada, Jamón Visking y Shoulder, Tender, Mini Tender, etc.

Departamento de Encajado: El departamento se encarga de todos los productos enlatados, para su posterior almacenamiento y despacho. El departamento está constituido por las siguientes líneas:

1) Semi-Automática Kallfas N° 1: Se encarga del encajado de todos los productos rectangulares, como son: Carne de almuerzo 340 g (12 Oz.) y 198 g (7 Oz.) 2); Carne Mechada 330 g y 190 g; Corned Beef 340 g (12 Oz.) y 198 g (7 Oz.); Salchichas sin piel, Frankfurt, Cóctel; Albóndigas.

2) Línea Prasmatic: En ella se encajan todos los productos cilíndricos (jamón endiablado), los cuales son: Jamón Endiablado Oscar Mayer 55 g y 115 g; Jamón Endiablado Fiesta 80 g; Jamon Endiablado Plumrose 60 g, 110g.

#### Zona 6 Enlatados:

Departamento de Paletizado: Una vez ejecutado el proceso de cocción en las autoclaves, las latas son agrupadas en cestas para facilitar la alimentación de las líneas de paletizado. Existen dos líneas de paletizado, compuestas por un pistón de suspensión de cestas, que se encarga de ascender las camadas de la cesta y de colocarlas a la altura de la mesa y un pistón de suspensión de las camadas paletizadas.

Departamento de Enlatado: Se encarga del enlatado de los diferentes productos que se realizan en la empresa, para ser transportados posteriormente a las Autoclaves, para su cocción y luego a paletizado y encajado.

#### Zona 7 Procesos Térmicos:

Departamento de Hornos: Se realiza el proceso de ahumado de los chorizos, Jamón Planchado Tender, Salchichas, Bologña, Rabos y productos Gourmet. El departamento está compuesto por 14 hornos de los cuales 6 son programables, a diferencia de los restantes en los cuales se controla manualmente. Existen dos hornos,



uno de salchichas con dos canales de cocimiento y enfriamiento y otro de jamones con tres canales, los cuales son programables.

Departamento de Cocinas: Se encarga del cocimiento de algunos productos, controlando tiempo y temperatura. El Departamento está compuesto por 10 cocinas y son procesados por estas la Pechuga de Pavo, Jamón Supremo, Jamón Toscano, Pasta de Hígado, Jamón Cocido Rectangular, etc.

Departamento de Autoclaves: Su función es la de realizar el proceso de cocción esterilización de los productos obtenidos de los Enlatados.

Zona 8 Rebanado:

Departamento de Rebanado: En éste departamento se efectúa las operaciones de rebanado y empacado de tocineta, jamón y otros productos Gourmet que se rebanan. El departamento está compuesto por 2 líneas rebanadoras y empacadoras, las cuales trabajan de forma semiautomática y a una velocidad variable de acuerdo a los requerimientos de producción.

Actualmente se ha iniciado la ampliación de la Zona, abriendo 2 nuevas líneas para rebanado de fiambres, mortadelas, Bologña y otros productos de primera calidad.

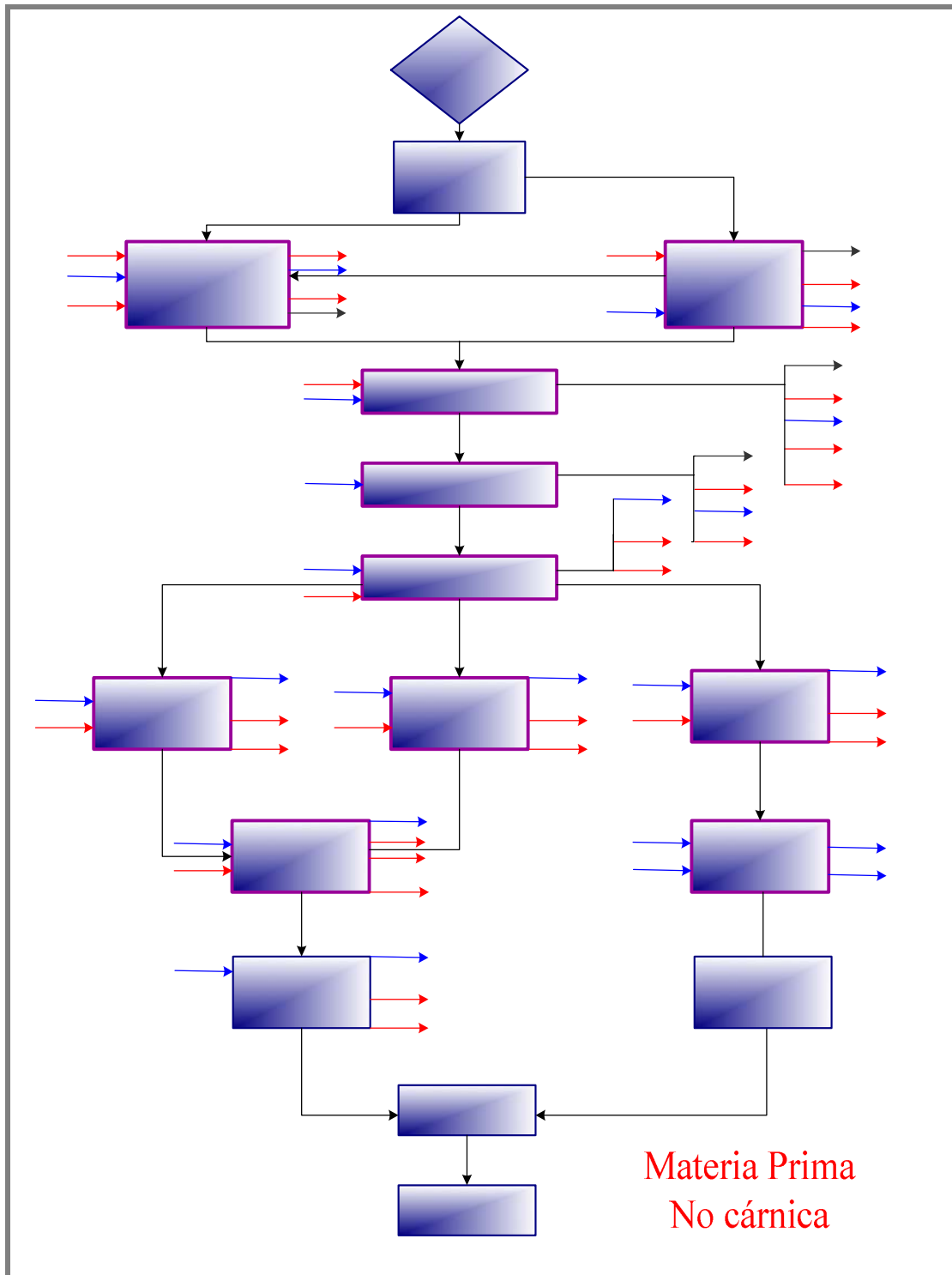


Ilustración N° III-2. Proceso Productivo en Planta Cagua.

Plasma

DESCONGELACIÓN  
Y FRIGORÍFICO

### **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Las aguas residuales originadas en el proceso de producción y en la higienización de la planta del Principal Plumrose Cagua, son recolectadas en una fosa de bombeo. Luego las aguas residuales se someten a un tratamiento preliminar, en el cual dichas aguas pasan por una criba y un tanque de flotación con aire presurizado, en esta etapa se remueve del líquido los sólidos suspendidos y aceites-grasas no emulsionadas. Posteriormente el tratamiento continúa removiendo la materia orgánica biodegradable en un sistema de lodos activados de modalidad aireación extendida y tipo canal de oxidación. El lodo en exceso producido en el sistema biológico actualmente es tratado químicamente y enviado al filtro prensa tipo bandas. El efluente final del sistema de tratamiento es desinfectado con una solución de hipoclorito de sodio.

A continuación se describen las diferentes etapas del proceso:

#### Estación de bombeo de entrada

Desde la estación de bombeo las aguas residuales se dirigen a una criba, El flujo se registra en un venturi colocado en el tubo de bombeo.



**Ilustración N° III-3. Tubería de Bombeo hacia la Criba.**

#### Fosa de Proceso

Esta fosa recibe todas las aguas afluentes provenientes de los procesos involucrados en la producción de embutidos e higienización de la Planta, simultáneamente se envían las aguas a la unidad de flotación por aire disuelto, a través de dos bombas sumergibles ubicadas en la fosa.



**Ilustración N° III-4. Fosa de Proceso.**

#### Desbaste/desarenador (Criba)

Las aguas afluentes antes de entrar a la unidad de flotación por aire disuelto pasan por esta unidad, la cual persigue retener los sólidos presentes en el afluente, que pueden ser atrapados dependiendo de su tamaño.



**Ilustración N° III-5. Criba Rotatoria.**

### Unidad de Flotación por Aire Disuelto

La función de esta unidad es separar, por diferencia de densidades, las partículas contaminantes en el agua. El sistema de flotación consiste en una sobresaturación del líquido residual con aire a una presión de unos 6 bar (5.9 atm); el líquido en el tanque de flotación baja la presión a un bar (0.98 atm), lo cual origina pequeñas burbujas de aire que ejercen un efecto de flotación sobre los sólidos suspendidos y aceites-grasas. Las aguas residuales tienen un período de retención en el tanque de flotación de aprox. 60 min. A flujo máximo.



**Ilustración N° III-6. Unidad de Flotación por Aire Disuelto.**

### Tratamiento Biológico

Unos rotores, dispuestos en el canal, provocan la oxidación, agitación y mezcla de las aguas residuales. Por este procedimiento se aseguran que se formen flóculos bacterianos (lodos activados), que transforman y descomponen las impurezas.

La planta esta dimensionada para aeración extendida y una relación de sustrato a microorganismos (F:M) de 0,1. Esto asegura no solo un nivel muy alto de purificación sino también una extensa descomposición del lodo (estabilización del lodo).

El contenido de oxígeno y el contenido de lodos activados se registra de forma continua. La medición de oxígeno se utiliza para poder operar los rotores de acuerdo con las demandas actuales de oxígeno, las bombas de lodo en la estación de bombeo de lodo se operan de acuerdo con el contenido de sólidos.



**Ilustración N° III-7. Canal de oxidación.**

#### Sedimentador Secundario (Clarificador)

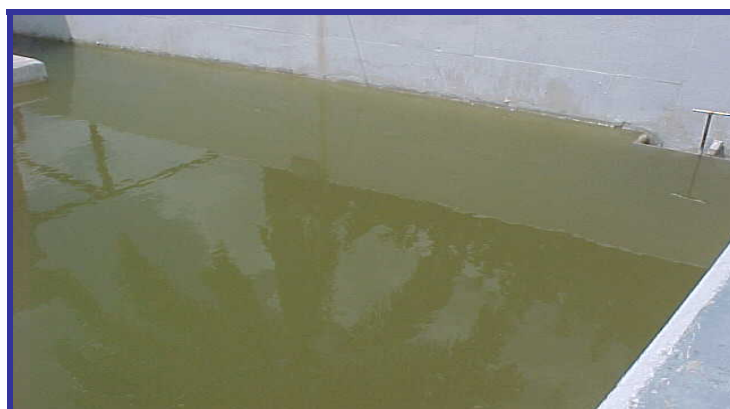
Este tanque tiene la finalidad de permitir la separación del lodo-biológico y del líquido ya tratado. Cuando esta función se lleva a cabo satisfactoriamente se obtiene un efluente claro. Esta unidad tiene como función retener los flóculos biológicos provenientes del reactor.



**Ilustración N° III-8. Clarificador secundario.**

#### Oxidación química

La desinfección es el proceso mediante el cual se destruyen los microorganismos patógenos. Esto se logra mediante la dosificación de Hipoclorito de sodio al 12.5%, el residual de cloro en el canal de salida debe estar comprendido entre 0.5-1 ppm. El período de retención en el tanque será de aprox. 0,5 h. Una vez tratado el agua se envía a un canal de aguas a un flujo de 450 m<sup>3</sup>/día.



**Ilustración N° III-9. Efluente final.**



Tratamiento de lodo

Silo para grasa

El lodo procedente de la instalación de flotación se almacena en un silo para grasa. El silo se evacua mediante una bomba de lodo que bombea el lodo a un container. Un rascador en el silo lleva el lodo a un repartidor que trabaja como un tubo de aspiración para la bomba de lodo.



**Ilustración N° III-10. Silo para grasa.**

Clarificador secundario

La espuma que hubiera acumulado en la superficie del agua en el clarificador secundario se rasca automáticamente una caja para espuma de donde procede a la fosa para desnatado.

El lodo sedimentado se conduce automáticamente por un rascador circular al centro del clarificador secundario.



Fosa para desnatado

La fosa para desnatado se vacía por vía manual, o bien el contenido se conduce a la estación de bombeo de lodo mediante una válvula de mando manual.



**Ilustración N° III-11. Fosa para Desnatado.**

Estación de bombeo de lodo

El lodo sedimentado en el clarificador secundario se bombea vía la estación de bombeo al canal de oxidación en forma de lodo de retorno o a una caja distribuidora de lodo.

Tanque de concentración

El lodo sedimenta en el tanque de concentración por lo que subirá la concentración hasta un contenido de materia seca del 3 al 5%. El lodo concentrado se bombea al tanque de homogeneización.

Tanque de homogeneización

Con el fin de tener un servicio estable de la prensa de lodo, hace falta disponer de lodo de una consistencia homogénea. Esto se logra en el tanque de homogeneización mediante una agitación por aire del lodo.

Filtro Prensa

Para mantener la masa microbiana constante en el reactor biológico, se debe extraer lodo del sistema periódicamente. Generalmente se extrae el lodo de la línea de recirculación y desde el tanque de homogeneización el lodo se bombea a un filtro prensa de banda donde se deshidrata hasta un contenido de sólidos del 15 al 19%. Inmediatamente antes de llegar al filtro prensa de banda el floculante disuelto se añade al lodo con el fin de formar flóculos de lodo más grandes siendo éstos más fáciles de deshidratar. Las cintas filtrantes son permeables de agua, mientras que retienen los flóculos de lodo. En la prensa el lodo se presiona entre dos cintas filtrantes, proceso por el cual el lodo es sacado por presión. El promedio de lodos generados a través del Filtro Prensa es de 3200 Kg/día.



**Ilustración N° III-12. Filtro prensa.**





## ***Capítulo IV:***

### ***Marco Metodológico***



## **CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se estructura la metodología seguida durante el estudio de la disminución de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Plumrose Latinoamericana, C.A., UEN Embutidos, así como la evaluación de las posibles opciones tecnológicas para su remoción. Se detallan los procedimientos empleados para alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación.

La metodología empleada consistió en diferentes etapas: conocimiento del área de estudio, determinación de los puntos críticos de control, caracterización físico química de las aguas en las corrientes de interés, evaluación de tecnologías, análisis de resultado y propuesta de soluciones.

### **Conocimiento del Área de Estudio**

Esta etapa se realizó con el fin de conocer sobre el proceso productivo de la empresa, las áreas de servicio y en especial el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, manejo y operación de los equipos; así como las corrientes afluentes a la planta de tratamiento y las variables que afectan el funcionamiento de la misma.

En primer lugar se realizó una inducción sobre el proceso productivo, se observaron todas las zonas productivas y se estudió la generación de aguas residuales y desechos en las mismas, con el fin de poder establecer los puntos críticos de control.

Se buscó información bibliográfica sobre los manuales de operación de la Planta de Tratamiento de Aguas, así como se recolectó toda la información que los operadores

de la planta pudieran suministrar en base a su experiencia en el tratamiento de la misma, se tomó datos sobre el funcionamiento y dimensionamiento de los equipos.

Se revisaron investigaciones anteriores realizadas sobre la disminución de fósforo y nitrógeno en aguas residuales y se consiguieron diversos métodos expuestos en los fundamentos teóricos.

Se estudiaron los planos de distribución de tuberías y alcantarillado de la planta, con el fin de obtener las direcciones de los flujos, las corrientes afluentes a la planta de tratamiento de aguas residuales y determinar los puntos estratégicos para la adecuada recolección de muestras.

Por otra parte se realizó una revisión bibliográfica sobre los métodos de recolección de muestras, como determinar la cantidad de muestra necesaria para formar una muestra compuesta, así como los aditivos químicos que son necesarios agregar a la muestra para preservarla cuando la misma no es analizada en el momento.

También se estudió el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, así como los métodos empleados en la empresa para la caracterización de las aguas residuales, para ello fue necesario realizar una inducción en el laboratorio sobre el manejo de equipos, materiales, instrumentos y reactivos, durante la caracterización de las aguas.

### **Determinación de los Puntos Críticos de Control**

Esta etapa fue empleada con la finalidad de evaluar la influencia de los procesos productivos en la generación de nitrógeno y fósforo en las corrientes afluentes a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Cuando se realizó la inducción en el proceso productivo, se hizo una selección preliminar de las zonas donde se generaban grandes cantidades de aguas residuales y en aquellas de mayor importancia en el proceso productivo. De este estudio se seleccionaron las zonas de descongelación y frigorífico, curación y colgado, molinos premezcla y mezcla, jamones, salchichas, lavado de tanques y cocción de jamones y salchichas, como puntos críticos de control.

La recolección de muestras en estos puntos se realizó directamente en los drenajes, según como lo indicaban los planos de la planta que se estudiaron con anterioridad. La selección de la alcantarilla se realizó también en función del mismo, ya que se tomaron aquellas donde según el plano se unían las otras corrientes de la misma área.

En la única zona donde no se tomó muestra de los drenajes fue en el área de cocción de jamones y salchichas, ya que las aguas residuales que se generan allí van hacia un tanque subterráneo y de allí es bombeada a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Los horarios de muestreos variaron en cada zona dependiendo de la producción en el área y el tiempo empleada en ella. También se tomaron muestras durante la higienización de las áreas en el horario destinado para ella.

### **Caracterización Físico-Química de las Aguas en las Corrientes de Interés**

Una vez conocido el proceso productivo y los puntos críticos de control se realizó el plan de muestreo para la caracterización de las aguas en las corrientes de interés, así como en las diferentes etapas del proceso de tratamiento de las aguas residuales.

Las muestras compuestas se tomaron durante la jornada de trabajo diaria en los sitios que se considerados críticos y las simples en aquellos puntos donde no es constante el flujo de agua. La frecuencia de la captación de las muestras dependió de la producción y de las actividades planificadas en cada área.

Para especificar el tipo muestreo y la frecuencia del mismo en las diferentes zonas, la información se presenta de forma detallada, por cada área:

#### Zona de Descongelación y Frigorífico

En el área de descongelación y frigorífico no se tomó muestra durante el proceso productivo, debido a que no se generaba agua residual suficiente para realizar un muestreo. Sin embargo, se realizó un muestreo durante la higienización de ésta área, en una oportunidad un día sábado, que es cuando se realiza la limpieza del área y se emplean 5 horas para su ejecución.

Las muestras se recolectaron, cada media hora, durante las 5 horas de duración de la jornada de higienización de la zona, hasta formar una muestra compuesta, que luego fue caracterizada.

#### Zona de Curación y Colgado

El muestreo en la zona de curación y colgado, se realizó en dos oportunidades, un día lunes y un día viernes, la recolección de la muestra fue instantánea, ya que el agua residual que se genera en esta área es producto del vaciado de tanques de salmuera.

En esta área el proceso de higienización no ocurre como tal, ya que los tanques descargados con salmuera son enviados a la zona de lavado de tanques.



#### Zona de Lavado de Tanques

El lavado de tanques opera durante 8 horas diariamente de lunes a viernes, es por ello que se realizaron muestras compuestas en dos días distintos (lunes y miércoles), recolectadas cada hora, durante 8 horas.

#### Zona de Molinos, Pre-mezcla y Mezcla

La zona de molinos, pre-mezcla y mezcla opera las 24 horas del día, por turnos rotativos de 6 horas, durante seis días de la semana, utilizando el día sábado para la limpieza del área.

Se recolecto una muestra compuesta, a partir de muestras instantáneas, tomadas en ésta área durante seis horas, cada vez que se observaba un flujo de agua hacia los drenajes.

El área de molinos, pre-mezcla y mezcla, se higieniza los sábados durante 7 horas; el muestreo se realizó en dos sábados diferentes, durante las 7 horas del proceso y se preparó una muestra compuesta, por muestras tomadas cada hora.

#### Zona de Salchichas

La recolección de la muestra fue compuesta durante 6 horas de producción correspondiente a la primera jornada. Se recolectó muestra cada vez que llegaba agua a la alcantarilla, ya que no era muy frecuente la afluencia de agua a la alcantarilla. Este muestreo se realizó sólo un día debido a la poca generación de aguas residuales.

El área de salchichas se higieniza todos los días a partir de la 1:00 am, una vez, este proceso demora 5 horas, durante el mismo se recolectó muestras de aguas cada 30

minutos y se realizó una muestra compuesta. Este muestreo se efectuó en dos días diferentes.

#### Zona de Jamones

La producción de jamones dura las 24 horas durante seis días, dedicando el séptimo día a la higienización del área. Se trabajó por turnos rotativos de 6 horas, el muestreo se realizó durante este tiempo, recolectando muestras cada vez que llegaba agua hasta el drenaje, este estudio se realizó durante 3 días seguidos.

La zona de jamones, como se dijo anteriormente, dedica un día para la higienización profunda del área, por lo general este día es un sábado, sin embargo, varía dependiendo de las necesidades de la producción.

El muestreo durante la higienización del área se hicieron los días sábados, se tomó una muestra compuesta, en dos oportunidades durante la limpieza de la zona de jamones. Las muestras se tomaron con una frecuencia de media hora durante 5 horas, que dura el proceso de limpieza.

#### Zona de Cocción de Salchichas y Jamones

La limpieza de los hornos se realiza los días domingo en ambos hornos y las descargas de los tanques de salmuera se realizan al mismo tiempo. Se tomó una muestra simple de la fosa que almacena la salmuera y las aguas provenientes de los dos hornos, en dos domingos diferentes.

Durante el proceso productivo no se genera agua residual en ésta área.

El muestreo fue representativo del proceso; el formato de recolección incluye el sitio y la hora en que se recolectó la muestra, se estableció si son muestras compuestas o simples, así como el tiempo que demoró entre la recolección de la muestra y el análisis de las mismas, como también el tipo de envase en que se almacenó la muestra, según el tipo de análisis a realizado.

La caracterización de las aguas se realizó empleando los métodos especificados en el Standard Methods (APHA) con el fin de determinar las concentraciones de los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH, fósforo total y como ortofosfato, nitrógeno total kjeldhal, nitrógeno orgánico. La Tabla N° IV-1 especifica los métodos utilizados del Standard Methods (20ª ed.) para determinar los parámetros anteriores.

**Tabla N° IV-1 Métodos Utilizados para la Caracterización de las Aguas en las Corrientes de Interés**

| <b>Parámetro</b>           | <b>Método a aplicar según el Standard Methods (20ª ed.)</b> |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Demanda Química de Oxígeno | 5220 C                                                      |
| Fósforo Total              | 4500–P-B Y 4500–P-C                                         |
| Fósforo como Ortofosfatos  | 4500 –P-C                                                   |
| Nitrógeno Total            | 4500-N-B                                                    |
| Nitrógeno Orgánico         | 4500-N-C                                                    |

Fuente: Standard Methods For the Examination Water and Wastewater

## **Evaluación de Tecnologías**

En esta etapa se proponen alternativas para disminuir las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el afluente a la Planta de Tratamientos de Aguas y por ende en el efluente de la misma.

Para ello se analizan los resultados obtenidos de la caracterización de las aguas y a partir de ellos se proponen alternativas de solución, en función de las revisiones bibliográficas hechas sobre las mismas, para luego escoger la que mejor se ajuste a las necesidades.

En esta etapa también se realizaron evaluaciones de productos químicos, como alumbre, cal y polímeros coagulantes y floculantes, en pruebas de jarra, con el fin de evaluar el tratamiento físico-químico como alternativa de solución para la disminución de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el efluente de la planta de tratamientos de aguas residuales.

Las pruebas de jarra se realizaron en las aguas afluentes a la PTAR y en el reactor biológico. En la primera se agregaron los polímeros y el alumbre, mientras que a las aguas del reactor solo se agregó cal.

Las muestras fueron compuestas por 24 horas, cada hora, se recolectaron 16 litros de cada muestra, para someterla a las pruebas de jarra.

El procedimiento seguido para ambas muestras y las aplicaciones de los diferentes químicos, fue el siguiente:

Se tomó un litro de muestra en un vaso precipitado y se colocó en el equipo de jarras, luego se encendió el equipo y se operó a 150 rpm, se le agregó la cantidad de químico

y se redujo la velocidad de agitación a 40 rpm y dejando mezclar por 5 minutos. Luego se apagó el equipo y se esperó 15 minutos a que precipitaran los flocúlos formados.

Los polímeros, al igual que el alumbre, fueron agregados con jeringas, primero se dosificó 500 ppm de coagulante, se dejó actuar por 2 minutos a 40 rpm y luego se agregó el floculante a distintas dosificaciones y se dejó actuar por 5 minutos más, para luego dejar precipitar los flóculos formados por 15 minutos.

La razón para que se agregara 500 ppm de coagulante se debe a que la dosis recomendada por el proveedor es de 150 a 300 ppm, sin embargo a estas concentraciones no se formaban flóculos, ni actividad de la misma, por lo que fue necesario agregar más coagulante hasta 500 ppm, que fue cuando se observó la formación de flóculos.

El alumbre fue diluido con agua destilada a una concentración de 133 g/l y se agregó con una jeringa, alícuotas de la solución de alumbre a las muestras. La elección de la concentración de la solución de alumbre fue realizada por ensayo, ya que se preparó la solución hasta que al agregar a las muestras de aguas 1 ml de la solución de alumbre se viera una acción del químico en el agua, como la formación de flóculos.

La cal se empleo en polvo, fue pesada y luego agregada a la muestras agitando las mismas a 40 rpm, para luego dejar precipitar con el equipo apagado.

Los polímeros y el alumbre fueron empleados solo en el agua de la entrada de la planta de tratamientos de aguas; mientras que la cal se utilizó en el reactor de oxidación.

Luego a las muestras tratadas con los químicos y a las aguas crudas se les hizo una caracterización, para conocer los parámetros como nitrógeno total Kjeldhal, nitrógeno orgánico, fósforo total, fosforo como ortofosfatos y pH.

### **Análisis de Resultados**

En esta etapa se presentaron y analizaron los resultados obtenidos de las distintas caracterizaciones y pruebas de jarras, y en función de ellas se estableció la solución apropiada al problema, descartando aquellas no factibles ni técnica ni económicamente, escogiendo aquellas, cuyos resultados obtenidos se adapten mejor al sistema que se tiene en la Planta de Tratamiento de Aguas.

Para analizar los resultados se elaboraron tablas con las distintas concentraciones y flujos de los parámetros estudiados en la determinación de puntos críticos de control y gráficos comparativos de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las distintas zonas del proceso productivo y su impacto en la planta de tratamientos de aguas residuales, y en función de ello se concluyó cuales son las corrientes del proceso que tienen mayor impacto sobre el afluente de la PTAR, en lo que a concentración de fósforo y nitrógeno se refiere.

Mediante gráficos se presenta el comportamiento de las diferentes etapas del tratamiento de aguas, especificando la eficiencia de la unidad de flotación en la remoción de fósforo y nitrógeno, partiendo de las concentraciones de entrada y las concentraciones de salida de la unidad.

Con ayuda de gráficos se compararon los resultados de los distintos aditivos químicos empleados en la pruebas de jarra para disminuir el fósforo y nitrógeno en el tratamiento primario y secundario.

Se establecieron conclusiones en base a los resultados obtenidos sobre cual tecnología es la más apropiada para disminuir las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las aguas residuales de Plumrose, para ellos se tomaron en cuenta factores como: eficiencia de remoción, factibilidad técnica de implementar la tecnología en la planta y el impacto ambiental derivado de su aplicación.

### **Propuesta de Soluciones**

Una vez obtenida la tecnología más adecuada, se realizó un estudio sobre los equipos adicionales necesarios para poner en práctica ésta tecnología, y así tener una evaluación económica preliminar.

Se realizó el diseño de la tecnología a emplear para la disminución de nitrógeno y fósforo; ésta información fue acompañada de un diagrama de flujo de la planta de tratamientos de aguas residuales, con los cambios incorporados, incluyendo los tratamientos previos de la corriente, servicios a utilizar, productos y desechos generados, todo esto con el fin de determinar el capital total de inversión.



## ***Capítulo V:***

### ***Análisis de Resultados***





## **CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las caracterizaciones de las aguas residuales en diferentes zonas de la planta de embutidos, durante el proceso de producción y de higienización de la misma, así como el impacto de estas corrientes en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Se realiza un estudio de los caudales másicos de nitrógeno y fósforo en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales, durante 24 horas, también se presenta gráficamente los aportes de nitrógeno y fósforo por hora de cada zona a dicha planta.

En este capítulo también se presentan los parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno Total Kjeldhal, Fósforo Total y Ortofosfatos, obtenidos de las caracterizaciones de las aguas residuales de las diferentes etapas del proceso de tratamiento de las mismas.

Se realiza la evaluación de tecnologías, presentando los resultados de la pruebas de jarras realizadas al agua cruda que entra en la planta de tratamiento de aguas residuales, así como al reactor de oxidación, con diferentes compuestos químicos.

Por último se presentan los resultados del diseño de los tanques de homogeneización, mezclado y sedimentación, así como el suministro de aireación en el canal de oxidación, los cuales forman parte de la solución propuesta para mejorar el funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Plumrose Latinoamericana, C. A. y disminuir las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el efluente de la misma.

### **Determinación de los Puntos Críticos de Control**

En esta sección se exponen los resultados obtenidos a partir de la caracterización de las aguas en diferentes zonas de la planta de embutidos y en la entrada de la planta de tratamiento de aguas, para determinar los puntos de mayor contribución en fósforo y nitrógeno. La recolección de las muestras se realizó durante el proceso de producción y durante el proceso de higienización; se determinaron parámetros como Nitrógeno Total Kjeldhal, Nitrógeno Orgánico, Nitrógeno Amoniacal, Fósforo Total, Fósforo como Ortofosfatos, pH y Demanda Química de Oxígeno.

Durante el proceso productivo, no fue posible determinar el caudal de agua residual, debido a que la generación de la misma no es muy frecuente; por lo general se limita su uso a la limpieza de los residuos en el área, la cual es una actividad que se realiza en pocas ocasiones durante la producción en esa zona. Es por ello que se tomó un factor de reingreso para estimar el caudal de agua residual a partir del consumo de agua dura y suave. Este factor se utilizó sólo en las zonas de salchichas, jamones y la de molinos, pre-mezcla y mezcla.

En las zonas de molinos, pre-mezcla y mezcla, embutido de salchichas y embutido de jamones, las aguas residuales son producto del empleo de agua en los equipos y las porciones de las mismas que caen a los suelos y luego a las alcantarillas, del traslado de tanques de un lado a otro con salmueras y muchos de ellos poseen perforaciones, o se desbordan por el movimiento de los mismos; también se originan las aguas residuales del manejo de agua para el lavado de las zonas en las ocasiones en que se encuentre muy sucia.

El agua suave es utilizada para la elaboración de los productos, mientras que el agua dura se utiliza para la limpieza e higiene del área y de las personas que laboran en ella.

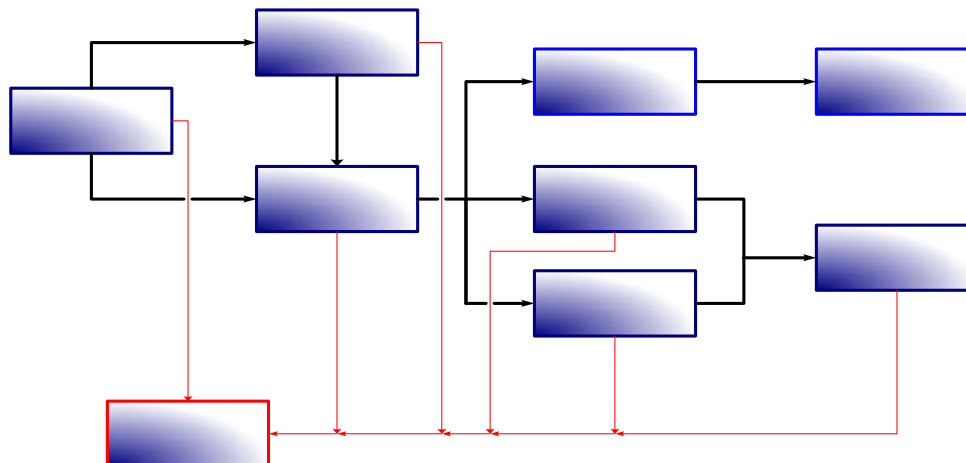
Hay lavamanos en éstas áreas que no forman parte de las corrientes estudiadas, en función de las mencionadas razones, los factores empleados para estimar el caudal residual son de 1% para el consumo de agua suave y 10% para el de agua dura.

La higienización de las zonas se realiza por lo general en horas de la madrugada y fines de semana, o al culminar la jornada de trabajo, a estas horas el personal que labora, así como la producción es menor, disminuyendo el consumo de agua y por lo tanto la generación de aguas residuales.

Durante la higienización el consumo de agua es prácticamente igual a la generación de las aguas residuales, ya que toda el agua empleada en la limpieza se dirige hacia el drenaje, siendo muy poca la cantidad retenida en los equipos. Para la higienización de las áreas se utilizan distintos detergentes, dependiendo de la necesidad del área y agua caliente.

Es importante explicar que los valores presentados a continuación son los promedios obtenidos de distintas caracterizaciones realizadas a las aguas en diferentes días a una misma zona.

El tipo de muestreo varió en cada zona, dependiendo de la afluencia de agua en la zona y la producción. A continuación se ilustran las zonas donde se realizó el muestreo:



**Ilustración N° V-1. Zonas del proceso productivo donde se realizó el muestreo.**

En la zona de enlatados y cocción de los mismos, la generación de agua residual es casi nula y no es significativa, por ello no se caracterizaron las aguas en estas zonas.

Para explicar un poco más el muestreo por zona se da una breve descripción del mismo en la tabla N° V-1:

**Tabla N° V-1. Descripción de la Recolección de Muestras en la Descongelación y Frigorífico**

| Zona                            | Muestreo Durante la Producción |                 |                       |                         | Muestreo Durante la Higienización |                 |                       |                         |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
|                                 | Nro. De Días de Estudios       | Tipo de Muestra | Duración del Muestreo | Frecuencia del Muestreo | Nro. de Días de Estudios          | Tipo de Muestra | Duración del Muestreo | Frecuencia del Muestreo |
| Descongelación y Frigorífico    | -                              | -               | -                     | -                       | 1 día                             | Compuesta       | 5 horas               | Cada 30 minutos         |
| Curación y colgado              | 2 días                         | Instantánea     | -                     | -                       | -                                 | -               | -                     | -                       |
| Lavado de Tanques               | 2 días                         | Compuesta       | 8 horas               | Cada hora               | -                                 | -               | -                     | -                       |
| Molinos, pre-mezcla y mezcla    | 1 día                          | Compuesta       | 6 horas               | -                       | 2 días                            | Compuesta       | 7 horas               | Cada hora               |
| Salchichas                      | 1 día                          | Compuesta       | 6 horas               | -                       | 2 días                            | Compuesta       | 5 horas               | Cada 30 minutos         |
| Jamones                         | 3 días                         | Compuesta       | 6 horas               | -                       | 2 días                            | Compuesta       | 5 horas               | Cada 30 minutos         |
| Cocción de Jamones y Salchichas | -                              | -               | -                     | -                       | 2 días                            | Instantánea     | -                     | -                       |

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan los resultados alcanzados después de la caracterización de las aguas en las diferentes zonas estudiadas, durante el proceso de producción en la zona y de higienización.

#### Zona de Descongelación y Frigorífico

En el área de descongelación y frigorífico, no se captaron muestras durante el proceso productivo, porque la afluencia de agua era muy poca, menor a las de las otras áreas estudiadas, debido a que allí sólo se someten a calor en hornos y otros equipos los productos congelados. Sin embargo, sí se realizó un muestreo durante la higienización de ésta zona.

Para la higienización de ésta zona se emplea jabón neutro, detergente ácido para limpiar la porcelana de las paredes, espuma clorada para la limpieza de los hornos luego de haber aplicado y retirado un detergente alcalino para hornos.

Es importante que se observe la cantidad de productos empleados para la higienización y la naturaleza de las mismas; ya que se emplean productos de pH elevado y otros de pH bajo, generando cambios bruscos en las concentraciones de los distintos contaminantes del agua residual y que llegan a la PTAR y afectan al reactor biológico.

Este uso de diferentes productos de distinta naturaleza, se observa no sólo en esta zona, ya que durante la higienización de las diferentes áreas, se tiende a utilizar distintos detergentes, dependiendo de las necesidades del área.

Los resultados obtenidos durante la higienización de la zona de descongelación y frigorífico se exponen a continuación.

La tabla N° V-2 a continuación expone los resultados de las concentraciones de nitrógeno y fósforo, así como la DQO en la corriente proveniente de la zona de descongelación y frigorífico, durante la higiene del área:

**Tabla N° V-2. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Descongelación y Frigorífico Durante la Higienización**

|                                   | Concentración (mg/l) | Flujo Másico (g/h) |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 661                  | 661,0              |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 203                  | 203,0              |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 864                  | 864,0              |
| <b>Fósforo Total</b>              | 17,5                 | 17,5               |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 11,2                 | 11,2               |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 14400                | 14400              |
| <b>pH</b>                         | 11,8                 |                    |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 1,0                  |                    |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-2 se aprecia que la cantidad de nitrógeno orgánico es 3 veces mayor que de nitrógeno amoniacal presente en esas aguas. Dicha procedencia se debe a los rastros de sangre que quedan en los alrededores de los hornos y equipos.

La concentración de nitrógeno en esta área es bastante elevada, en comparación a las obtenidas en la higienización de otras áreas, sin embargo, no hay muchos residuos cárnicos en ésta área, pero si quedan restos de sangre, no muy espesa, en los suelos de los hornos, provenientes de las carnes durante el proceso de descongelación.

En la tabla N° V-2 se observa que la concentración de fósforo en la corriente proveniente del área de descongelación y frigorífico es elevada, similar a las

obtenidas durante otras higienizaciones (17,5 mg/l). También se aprecia que los Ortofosfatos representan una buena parte del fósforo presente en éstas aguas residuales, cuya procedencia se debe principalmente a la cantidad de detergentes utilizados y en parte a la sangre que se retiran de las paredes del horno.

La carga orgánica proveniente del área de descongelación y frigorífico durante la higienización es de 14,4 kg/h, sin embargo en esta zona no aparecen muchos residuos cárnicos durante su limpieza, pero si se utiliza abundante detergente para quitar el óxido de las paredes de los hornos y retirar la poca sangre que se puede acumular en distintas partes de la zona.

También se observa que el pH es el más elevado, de los estudiados hasta ahora, esto se debe principalmente al uso de los detergentes alcalinos, especialmente el utilizado para la limpieza de los hornos, que es a base de soda cáustica.

#### Zona de Curación y Colgado

En la zona de curación y colgado la materia prima cárnica es sumergida en un tanque con salmuera y se deja por un día, para luego ser colgada una parte y otra se envía a los molinos; en curación y colgado se utiliza poca agua, la cual se emplea para limpiar el área cercana a la descarga de los tanques de salmuera, una vez que los mismos se han descargado.

Explicando un poco más el manejo de aguas en ésta zona se puede decir, que en curación y colgado se utilizan tanques de 500 litros de capacidad con 160 a 200 litros de salmuera, la misma es vertida al drenaje que va a la planta de tratamiento de aguas residuales cuando los tanques son vaciados para el colgado de los productos.

Al día son vaciados alrededor de 80 tanques, con un período de 15 a 18 minutos entre tanques, lo que implicaría que a la PTAR llegan de 12,8 - 16 m<sup>3</sup>/día de salmuera.

Los resultados de la caracterización de las aguas residuales de ésta zona se presentan a continuación.

**Tabla N° V-3. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Curación y Colgado Durante la Producción**

|                                   | Concentración (mg/l) | Flujo Másico (g/h) |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 1338                 | 802,8              |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 343                  | 205,8              |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 1681                 | 1008,6             |
| <b>Fósforo Total</b>              | 158,7                | 95,2               |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 18,6                 | 11,2               |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 24000                | 14400              |
| <b>pH</b>                         | 7,0                  |                    |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 0,6                  |                    |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-3 se observa que el 80% del nitrógeno total es orgánico; el mayor aporte se debe a la sangre que se encuentra en la salmuera, producto del proceso de curación de la carne de cerdo.

Se realizó un análisis para conocer el contenido de nitratos en ésta área y se observó que la concentración del mismo es de 6,4 mg/l. De las zonas estudiadas, es la única en la cual se determinó su presencia, sin embargo, no se encontró nitritos en estas aguas, se supone que por el ciclo de nitrógeno los mismos se convirtieron a nitratos.



Se aprecia un flujo de Nitrógeno Total Kjeldal de 1 kg/h, el flujo no es mucho, pero la concentración de nitrógeno en la salmuera se debe al aporte de nutrientes por parte de la carne a la salmuera, durante el proceso de curación.

La concentración de Fósforo Total en ésta área es la más elevada determinada durante el estudio, observando que sólo el 20% del fósforo esta como Ortofosfatos.

A la salmuera empleada en el proceso de curación, a pesar de agregar sales, se agregan otros condimentos, los cuales no pudieron conocerse, ya que forman parte de las recetas de los productos de la empresa, sin embargo, se puede suponer que tengan compuestos fosforados, debido a la gran cantidad de fósforo presente en este agua residual.

El pH es neutro, también se aprecia que la carga orgánica es superior a los 14 kg/h; esto se debe al contenido de sangre que se encuentra en las aguas de las salmueras.

Es importante señalar que a pesar de que en el método empleado para la determinación de DQO se incluyen medidas para inhibir la influencia de los cloruros, es posible que en este caso por tratarse de salmuera, los niveles de cloruros hayan afectado el resultado obtenido.

Si ésta corriente se desvía y no se lleva a la planta de tratamiento de aguas residuales, se disminuiría considerablemente el aporte de nutrientes a la PTAR.

A esta salmuera se le podría dar un tratamiento aparte, ya que además de tener concentraciones de nutrientes elevadas, por su calidad de salmuera posee una cantidad significativa de cloruros (112000 mg/l), lo que implicaría que a la planta de tratamiento llegan 1613 kg de cloruros al día, que afectan el buen funcionamiento del

reactor biológico, ya que las concentraciones de cloruros en el mismo superan los 5000 mg/l.

En esta zona no hay un proceso de higienización como tal, si no que los tanques son enviados a la zona de lavado de tanques.

#### Zona de Lavado de Tanques

En la zona de lavado de tanques, se reciben los tanques utilizados para la elaboración de salmueras y los empleados para trasladar las mezclas cárnicas de una zona a otra.

En el lavado de tanques se emplea agua y detergente neutro para limpiar los mismos y retirar cualquier resto de mezclas o carnes.

Los resultados de las caracterizaciones de estas aguas se presentan a continuación.

**Tabla N° V-4. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Lavado de Tanques Durante la Producción**

|                                   | Concentración (mg/l) | Flujo Másico (g/h) |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 186                  | 613,8              |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 111                  | 366,3              |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 297                  | 980,1              |
| <b>Fósforo Total</b>              | 17,6                 | 58,1               |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 11,3                 | 37,3               |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 1600                 | 5280,0             |
| <b>pH</b>                         | 7,2                  |                    |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 3,3                  |                    |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-4 se observa que el 60% del nitrógeno es orgánico, provenientes de los residuos cárnicos y de mezcla que queda en los tanques después de ser utilizados, también de los restos de salmuera que queden en los tanques, las cuales poseen restos de sangre disueltas en las mismas.

Se aprecia que cerca de 1 kg/h es aportado por esta corriente a la planta de tratamiento de aguas residuales; la concentración de nitrógeno se debe principalmente a los residuos de pasta que puedan quedar en los tanques y que son retirados de los mismos con agua y jabón y luego se dirige hacia el drenaje, junto con las aguas.

La concentración de fósforo, tanto total como en forma de Ortofosfatos, presentada en la tabla N° V-4 son parecidos a los obtenidos durante el proceso de higienización de las zonas de salchichas, jamones, molienda, pre-mezcla y mezcla; estas concentraciones se deben principalmente a los detergentes (con compuestos) fosforados empleados para limpiar los tanques; también aportan algo los residuos de las mezclas y las carnes.

Para evitar éstas últimas se puede colocar los tamices ya mencionados, en las bocas de los drenajes. De esta manera se disminuyen los nutrientes y la carga orgánica.

Con respecto a la Demanda Química de Oxígeno se puede decir que la misma no es muy elevada en comparación con los datos anteriores obtenidos de otras áreas durante la higienización de las mismas y el pH se mantiene relativamente neutro, tal como se aprecia en la tabla N° V-4.

#### Zona de Molinos, Pre-Mezcla y Mezcla

La zona de molinos, pre-mezcla y mezcla es una de las más importantes del proceso productivo, ya que aquí se preparan las mezclas de todos los productos.

---

En ésta zona, es muy poco el producto derramado y el agua se emplea para la limpieza del área; por ésta razón se realizó el muestreo en un día, el cual es representativo de una jornada de trabajo. El caudal consumido en ésta área es de 2,1 m<sup>3</sup>/día en agua dura y 65 m<sup>3</sup>/día en agua suave.

Para conocer las proporciones de nitrógeno, fósforo y la Demanda Química de Oxígeno en la zona de molinos, pre- mezcla, mezcla, durante la producción, se exponen las concentraciones en la siguiente tabla:

**Tabla N° V-5. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Molinos, Pre-Mezcla y Mezcla Durante la Producción**

|                                   | Concentración (mg/l) | Flujo Másico (g/h) |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 280                  | 11,2               |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 56                   | 2,2                |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 336                  | 13,4               |
| <b>Fósforo Total</b>              | 12,1                 | 0,5                |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 9,5                  | 0,4                |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 4000                 | 160,0              |
| <b>pH</b>                         | 7,4                  |                    |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 0,04                 |                    |

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia, que el mayor contenido de nitrógeno, es orgánico, corroborando la suposición de que proviene de los nutrientes constituyentes de la carne.

En la tabla N° V-5 se observa que la concentración de nitrógeno es parecida a la obtenida durante la higienización de las zonas anteriores, comparando el uso del agua

en estas zonas con el área de molinos, pre-mezcla y mezcla, se observa que es justamente cuando se retiran los restos cárnicos se obtienen estas concentraciones de Nitrógeno Total Kjeldhal.

Más del 75% del Fósforo Total, está en forma de Ortofosfatos, en esta agua residuales, tal como se ve en la tabla N° V-5, sin embargo los aportes máxicos hacia la planta de tratamiento son bastantes pequeños, debido a que el caudal de agua residual en esta zona es muy bajo.

En la tabla N° V-5 se observa que el pH de la muestra es mayor a 7, por lo que tiende a ser básico; con respecto a la Demanda Química de Oxígeno, se observa que el aporte a la planta de tratamiento de aguas no es tan significativo como lo es en las otras áreas ya estudiadas.

El contaminante principal de las aguas residuales provenientes de la zona de molinos, pre-mezcla y mezcla durante la producción, son los residuos cárnicos los cuales aumenten el contenido de nutrientes y la carga orgánica de las aguas.

Si estos residuos son recogidos, en vez de ser lavados con agua, se puede evitar la contribución de esta corriente, a pesar de que la misma no es muy significativa.

Durante la higienización se emplea espuma alcalina, jabón neutro, detergente ácido para la limpieza de las porcelanas, todos ellos poseen compuestos fosforados dentro de sus componentes.

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de las aguas en el área de molinos, pre-mezcla y mezcla durante su higienización.

**Tabla N° V-6. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Molinos, Pre-Mezcla y Mezcla Durante la Higienización**

|                                   | <b>Concentración (mg/l)</b> | <b>Flujo Másico (g/h)</b> |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 637                         | 764,7                     |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 352                         | 422,4                     |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 989                         | 1187,1                    |
| <b>Fósforo Total</b>              | 16,6                        | 19,9                      |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 10,1                        | 12,2                      |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 16000                       | 19200,0                   |
| <b>pH</b>                         | 7,0                         |                           |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 1,2                         |                           |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-6, se observa que el efluente del área de molinos, pre-mezcla y mezcla durante la higienización posee una mayor concentración de nitrógeno orgánico que amoniacal; durante la higienización de esta zona se retira una gran cantidad de residuos cárnicos y de mezclas de los equipos, que contribuyen con el aumento de los nutrientes y la carga orgánica en el agua residual.

El aporte de la corriente proveniente del área de molinos, pre-mezcla y mezcla durante su limpieza tiene un alta concentración en comparación con las obtenidas durante la higienización de las otras áreas, sin embargo, es importante recalcar que esta zona posee una gran variedad de equipos y que retienen dentro de los mismos muchos residuos cárnicos, que son retirados durante la higiene del área; de allí puede provenir la elevada concentración de nitrógeno en el agua.

La concentración de Fósforo Total en la corriente en estudio es de 16,6 mg/l, esto es principalmente por los detergentes utilizados en la limpieza; también se observa que

la concentración de Ortofosfatos en la corriente de estudio es elevada y representa más de la mitad del Fósforo Total de la misma corriente.

Como anteriormente se dijo, el fósforo puede provenir del uso de detergentes o de los residuos de cárnicos y de mezclas que se retiran con agua durante la higiene de la zona de molinos, pre-mezcla y mezcla.

La Demanda Química de Oxígeno en la corriente de interés es de 16000 mg/l, y un pH neutro, a pesar de la cantidad de detergentes alcalinos y ácidos que se emplean en la limpieza.

También se observa que la carga orgánica supera los 19 kg/h, este valor se puede disminuir si se colocan tamices o rejillas más pequeñas en los drenajes, que permitan separar los residuos sólidos gruesos y desalojarlos para su disposición final, de esta manera, no solo se reduce la carga orgánica de las aguas, sino de los nutrientes, tal como se ha propuesto en páginas anteriores en situaciones similares.

#### Zona de Salchichas

En la zona de salchichas se realiza el embutido de salchichas, el uso de agua está limitado como se dijo anteriormente al consumo de agua de los equipos y a limpiezas ocasionales en la zona, sin embargo, se pudo estimar un caudal residual para las aguas caracterizadas de esta zona de 0,17 m<sup>3</sup>/h, partiendo de que se consumen 9 m<sup>3</sup>/día de agua suave y 41 m<sup>3</sup>/día de agua dura, durante la jornada de producción que dura aproximadamente 19 horas diarias, menos los domingos, ya que en este día se realiza la higienización del horno de salchichas.

Las características de las aguas provenientes de la zona de salchichas durante la producción se presentan a continuación:

**Tabla N° V-7. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Salchichas Durante la Producción**

|                                   | <b>Concentración (mg/l)</b> | <b>Flujo Másico (g/h)</b> |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 21                          | 3,6                       |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 7                           | 1,2                       |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 28                          | 4,8                       |
| <b>Fósforo Total</b>              | 0,5                         | 0,09                      |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 0,4                         | 0,07                      |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 420                         | 71,4                      |
| <b>pH</b>                         | 7,9                         |                           |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 0,17                        |                           |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-7 se puede observar que el 75% del Nitrógeno Total Kjeldhal determinado en esta corriente corresponde a nitrógeno orgánico.

La mayor parte del nitrógeno viene de los restos de pasta de mezcla cárnica que va hacia a los drenajes, si las mismas no se desviarán hacia la alcantarilla, sino que se recogieran con una pala, y se dispusiera de manera adecuada, se evitaría que estos residuos llegaran a los drenajes y el uso de líquido para eliminar malos olores. Sin embargo el aporte no es tan significativo, y habría que comparar los costos que acarrearía la disposición de estos residuos, con el aporte de esta corriente hacia la planta de tratamiento de agua residuales.

Se puede apreciar que la concentración de nitrógeno en ésta área es inferior a 30 mg/l, siendo su flujo igual a 4,8 g/h., durante la jornada de trabajo.

La posible causa de la presencia de nitrógeno se debe a la limpieza de residuos de mezcla cárnica, que caen de la embutidora al suelo durante el llenado de las tripas, también se agrega al drenaje un líquido, que dentro de su composición posee



amoníaco; éste líquido es empleado con el fin de evitar los malos olores, que se originan a raíz de la descomposición de los restos cárnicos que caen hacia el drenaje.

Las concentraciones de Fósforo Total y de Ortofosfatos son bajas y sus flujos son inferiores a 0,1 gramos por hora, así lo indican los resultados expuestos en la tabla N° V-7. El contenido de los mismos se puede deber a los restos cárnicos de los que se hablaron anteriormente, ya que dentro de la composición de la pasta utilizada en la elaboración de salchichas están los fosfatos, además del fósforo que contiene la carne.

El pH de esta corriente tiende a ser básico, también se tiene una DQO de 420 mg/l, la misma es baja, si se compara con otras zonas durante la producción, a pesar de ser la mezcla cárnica el mayor contaminante del agua en ésta área.

Además de realizar un estudio al área de embutidos de salchichas durante la producción en esta zona, también se hizo un análisis de las aguas residuales generadas durante la higienización del área de salchichas.

El área de salchichas se higieniza todos los días a partir de la 1:00 am, una vez culminada la jornada de trabajo dedicada a la producción.

Durante la higienización de la zona de embutidos de salchichas se emplea un jabón neutro para la limpieza de los equipos, y un detergente ácido para la limpieza de las paredes (las cuales tienen porcelana en su superficie) preparado al 5%. Primero se retiran los residuos de mezcla de los equipos con agua caliente y después se aplica este detergente.

Para conocer las proporciones de los distintos parámetros estudiados de las aguas provenientes de la zona de salchichas durante la higienización de la misma, se presentan las concentraciones de los mismos en la siguiente tabla:

**Tabla N° V-8. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Salchichas Durante la Higienización**

|                                   | <b>Concentración (mg/l)</b> | <b>Flujo Másico (g/h)</b> |
|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 350                         | 1435,0                    |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 123                         | 504,3                     |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 473                         | 1939,3                    |
| <b>Fósforo Total</b>              | 15,6                        | 64,0                      |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 10,3                        | 42,2                      |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 6400                        | 26240,0                   |
| <b>pH</b>                         | 7,2                         |                           |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 4,1                         |                           |

Fuente: Elaboración Propia

Se observa un aumento en los valores de nitrógeno orgánico y amoniacal, durante la higienización con respecto a durante la producción, aumentando el flujo que llega a la planta de tratamiento, ya que durante este proceso el caudal de agua es mucho mayor; así se observa en la tabla N° V-8.

Comparando las concentraciones de nitrógeno en esta zona se observa que es mayor la concentración de nitrógeno orgánico, el cual viene principalmente de los residuos de mezclas cárnicas que se retiran de los equipos durante la higienización.

A pesar de que en los drenajes hay rejillas, el espaciado entre ellas es muy ancho permitiendo la entrada de la pasta, si se cambiaran estas rejillas por unas más unidas se puede evitar que las formaciones de pasta más gruesas llegara a la planta de tratamiento de aguas.

Se puede apreciar que la concentración de Nitrógeno Total Kjeldhal es muy superior a la observada en esta misma zona durante la producción, esto se debe a que a pesar de que se emplea mucha agua durante la higienización se retira grandes cantidades de residuos de mezcla cárnica de las embutidoras y las mismas llegan a los drenajes que van hacia la planta de tratamiento con las aguas que utilizan durante la limpieza.

El mayor porcentaje de fósforo en la zona de salchichas durante la higienización está presente en forma de Ortofosfatos, así se puede apreciar en la tabla N° V-8; sin embargo, más de la mitad esta presente como Ortofosfatos, comparando estos datos con los presentados durante la producción se puede observar que la concentración aumenta considerablemente y por ende el flujo que llega a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Este aumento considerable se debe al empleo de distintos detergentes para realizar la limpieza del área, puestos que ellos son realizados con compuestos fosforados, aumentando la concentración de fósforos en las aguas residuales; aunado a esto, está el aumento de la cantidad de residuos cárnicos que se descargan en la alcantarilla y se dirige hacia la planta de tratamiento de aguas.

A pesar de utilizarse durante la limpieza un detergente ácido y uno neutro se observa que el pH, está un poco por encima de 7,0. Sin embargo, al compararlo con el obtenido durante la producción se aprecia una disminución de 0,7 en el valor.

La Demanda Química de Oxígeno de las agua durante la higienización de la zona de salchichas, aumentó 15 veces más que la obtenida durante la producción en ésta área, la carga orgánica es aportada por los residuos cárnicos y de mezclas, así como los productos utilizados para la limpieza del área.

Zona de Jamones

En la zona de jamones se maneja mucha salmuera durante el proceso de inyección, en el mismo se utiliza una máquina que posee una purga de salmuera que va directamente al drenaje y de allí a la planta de tratamiento de aguas residuales; y los tanques de salmuera de las máquinas inyectoras se llenan manualmente, utilizando envases, durante el llenado tiende a derramarse un poco en los suelos y luego se retira del área utilizando agua.

En esta área también se llenan los moldes de jamones con una mezcla cárnica, es poca la que se derrama, pero cuando ocurre se retira igualmente con agua, dirigiéndose hacia el alcantarillado. El caudal de agua consumido en ésta área es de 32 m<sup>3</sup>/día en agua dura y 51 m<sup>3</sup>/día en agua suave.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo así como la DQO durante la producción en la zona de jamones se presentan a continuación:

**Tabla N° V-9. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Jamones Durante la Producción**

|                                   | Concentración (mg/l) | Flujo Másico (g/h) |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 7683                 | 1152,5             |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 861                  | 129,2              |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 8544                 | 1281,6             |
| <b>Fósforo Total</b>              | 183,2                | 27,5               |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 15,7                 | 2,4                |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 112000               | 16800,0            |
| <b>pH</b>                         | 7,0                  |                    |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 0,15                 |                    |

Fuente: Elaboración Propia

En las aguas residuales efluentes de la corriente de estudio, la mayor concentración es de nitrógeno orgánico, representa el 90% del Nitrógeno Total Kjeldhal.

Esto puede corroborar la suposición de que el mayor aporte es proveniente de los residuos que vienen en la purga de la máquina de salmuera; para evitar que esta agua llegue a la planta de tratamiento de aguas residuales, se podría almacenar la purga en tanques, y filtrarla a través de un tamiz, con el fin de disminuir la cantidad de residuos cárnicos sólidos, y luego diluir el filtrado con agua, para ser descargado poco a poco por el drenaje, con el fin de disminuir el impacto en la planta de tratamiento de aguas residuales.

También hay que considerar que en ésta área al igual que en la de salchichas se emplea un líquido que contiene amoníaco para la disminución de los olores en el área, ocasionada por la descomposición de los restos cárnicos que quedan en los drenajes, los cuales contribuyen con el aumento en la concentración de nitrógeno amoniacal.

El contenido de Nitrógeno Total Kjeldhal es el más elevado de las zonas del proceso productivo de la planta de embutidos, el mismo tiene una concentración de 8544 mg/l, como lo dice la tabla N° V-9, el flujo de nitrógeno es superior a un kilogramo por hora. El origen del mismo se debe principalmente a la presencia de restos cárnicos disueltos y sólidos en la purga de la máquina de inyección, además de los residuos de las mezclas cárnicas y el líquido empleado para eliminar olores, que van hacia el drenaje de la zona.

Las concentraciones de fósforo en ésta área son superiores a las obtenidas en el área de salchichas durante la producción, encontrándose la concentración de Fósforo Total cercana a los 30 mg/l y casi la mitad del fósforo esta presente en forma de Ortofosfatos.

Dentro de la materia prima utilizada para la elaboración de jamones, está el tiosulfato de fósforo, y como se dijo anteriormente, hay un aporte importante por parte de la purga de la máquina de inyección, de la cual no se puede controlar el flujo de la misma, pero si del tiempo de purgado. Durante los días de muestreo el tiempo estuvo fijado en cada 6 minutos. Los residuos cárnicos, dentro de los nutrientes que los componen, está el fósforo, por lo que se puede afirmar que esta corriente tiene aporte significativo en el mismo, al igual que en nitrógeno.

En ésta área el pH se mantiene neutro durante la producción. También se observa la alta Demanda química de Oxígeno por parte de esta corriente, la cual aporta a la planta de tratamiento de aguas residuales, una carga orgánica de 16,8 kg/h. Este aporte se debe al gran contenido de residuos cárnicos que va por el drenaje de esta zona; si se logra disminuir el contenido de los residuos cárnicos, de las formas indicadas anteriormente, se disminuiría el impacto de esta corriente, en lo que a nitrógeno, fósforo y carga orgánica se refiere.

La zona de jamones, como se dijo anteriormente, dedica un día para la higienización profunda del área, por lo general este día es sábado, sin embargo, varía dependiendo de las necesidades de la producción.

En la higienización se empleó detergente ácido para las porcelanas de las paredes, desengrasantes, jabón neutro, y espuma alcalina para la limpieza total del área.

La tabla N° V-10 presenta los resultados obtenidos de las concentraciones de nitrógeno, fósforo y la DQO de las aguas residuales provenientes de la zona de jamones durante su higienización:

**Tabla N° V-10. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en la Zona de Jamones Durante la Higienización**

|                                   | Concentración (mg/l) | Flujo Másico (g/h) |
|-----------------------------------|----------------------|--------------------|
| <b>Nitrógeno Orgánico</b>         | 286                  | 1372,8             |
| <b>Nitrógeno Amoniacal</b>        | 228                  | 1094,4             |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal</b>   | 514                  | 2467,2             |
| <b>Fósforo Total</b>              | 16,3                 | 78,2               |
| <b>Ortofosfatos</b>               | 11,1                 | 53,3               |
| <b>Demanda Química de Oxígeno</b> | 8000                 | 38400,0            |
| <b>pH</b>                         | 7,5                  |                    |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>   | 4,8                  |                    |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-10 se observa que en la higienización el 55% de nitrógeno está en forma orgánica y el resto en forma amoniacal. Al igual que en salchichas durante la limpieza se desprenden muchos restos de mezclas cárnicas de los equipos, así como se vacían muchos de los tanques de salmuera utilizados para la inyección, los cuales contienen condimentos y restos de productos cárnicos, estos pueden contribuir con el aporte de nitrógeno y fósforo en esta zona.

La tabla N° V-10 presenta una concentración de Nitrógeno Total Kjeldhal de 514 mg/l en las aguas residuales generadas durante la higienización del área de jamones, la misma es inferior a la observada durante el proceso productivo del área, a que el aporte de nitrógeno durante este proceso, se debe principalmente a los restos de las mezclas de pastas que se retiran de los equipos, durante la limpieza; también hay que considerar que el caudal de agua residual durante este proceso, es mucho mayor que durante la producción.

Se observa que casi el 75% del fósforo en la higienización de jamones se encuentra en forma de Ortofosfatos, provenientes de los detergentes utilizados para higienizar y el material retirado de los equipos, pisos y paredes, que en su mayoría son restos de mezclas cárnicas; además se tiene la presencia del tiosulfato de fósforo agregado a la mezcla cárnica.

La carga orgánica que viene de la corriente de la higienización de jamones, es de 8000 mg/l según lo indica la tabla N° V-10; esto se debe principalmente a los restos cárnicos que se retiran con agua durante la higiene del área de jamones.

Se pueden disminuir la carga orgánica y las concentraciones de fósforo y nitrógeno si se colocan tamices en la boca de los drenajes, para evitar que los residuos de pasta gruesos, lleguen a la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### Zona de Cocción de Salchichas y Jamones

La cocción de salchichas y jamones, se realiza en hornos estacionarios, cuando se realiza la limpieza de los mismos se descargan los tanques de salmuera y se almacena en un tanque subterráneo que se encuentra cercano a los hornos para luego ser bombeadas a la planta de tratamiento, una vez que el tanque subterráneo se haya llenado, a esta fosa también llega el agua utilizada para la limpieza de los hornos.

El tanque subterráneo tiene una capacidad de 1000 litros, el caudal impulsado por la bomba se desconoce, ya que las especificaciones técnicas de la misma eran desconocidas por los operarios y no se encontró información adicional sobre la bomba.



A continuación en la tabla N° V-11 se presentan los valores obtenidos de la caracterización de las aguas provenientes de la descarga del horno de jamones y salchichas, durante la limpieza de los mismos.

**Tabla N° V-11. Caracterización de las Aguas Residuales Generadas en el Horno de Jamones y Salchichas Durante la Higienización**

|                                         |      |
|-----------------------------------------|------|
| <b>Nitrógeno Orgánico, mg/l</b>         | 5    |
| <b>Nitrógeno Amoniacal, mg/l</b>        | 0    |
| <b>Nitrógeno Total Kjeldhal, mg/l</b>   | 5    |
| <b>Fósforo Total, mg/l</b>              | 0,3  |
| <b>Ortofosfatos, mg/l</b>               | 0,1  |
| <b>Demanda Química de Oxígeno, mg/l</b> | 80   |
| <b>pH</b>                               | 10,1 |
| <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>         | N.D. |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-11 se observa que todo el nitrógeno presente en las aguas de esta corriente es orgánico, también se observa una concentración de nitrógeno bastante baja en comparación con la observada en las otras zonas ya estudiadas. La concentración tan baja, se puede deber a que a este tanque sólo llega la salmuera y el agua empleada durante las cocciones de salchichas y no hay derrames de pasta ni resto de productos en el área, por lo que la pequeña cantidad de nitrógeno se deba a que la salmuera al ser rociada sobre los jamones y salchichas absorbe una pequeña cantidad de nutrientes, originando estos resultados.

Se observa una concentración de fósforo inferior a 0,5 ppm, casi despreciable, las razones de su presencia en esta agua, pueden ser las mismas que se explicaron anteriormente con la concentración de nitrógeno, puesto que no se usan detergentes en esta área, ni otros compuestos fosforados, además de los que componen el producto.

La tabla N° V-11 presenta un pH básico y la demanda química de oxígeno más baja que se haya observado durante el estudio de las zonas con mayor aporte de nutrientes a la planta de tratamiento de aguas residuales, siendo poco significativa esta corriente en la contribución de nutrientes y carga orgánica a la PTAR.

### **Impacto de los Diferentes Efluentes del Proceso de Elaboración de Embutidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

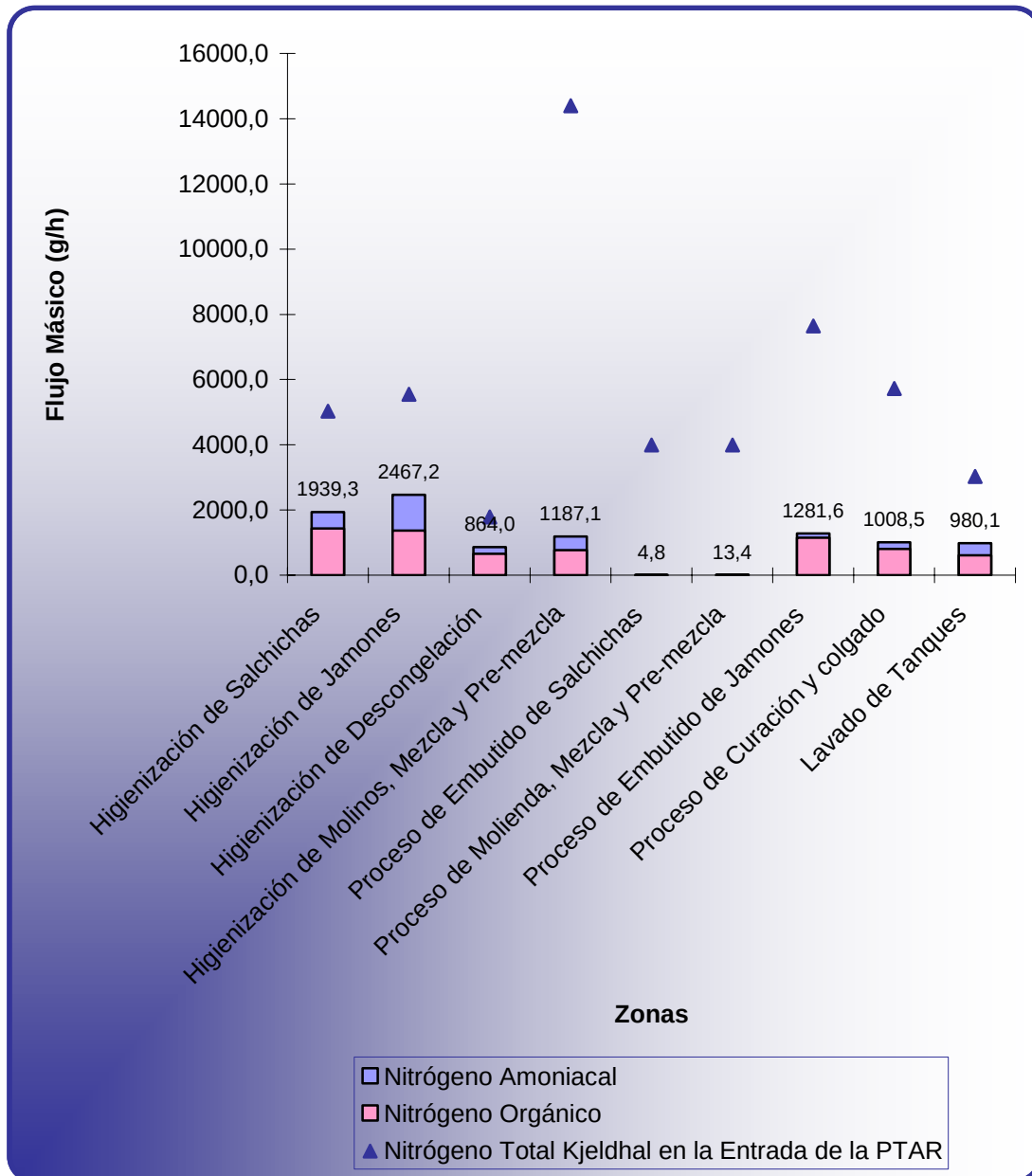
Después de haber estudiado los flujos de fósforo y nitrógeno efluentes de diferentes zonas de la planta de embutidos, se realizará a continuación, una comparación de los mismos con los obtenidos en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales, durante el proceso de recolección de muestras en las zonas anteriores.

Las muestras en la entrada de la PTAR fueron captadas con la frecuencia enunciada para cada zona, ya que por cada muestra tomada en la planta de embutidos, durante el proceso productivo y la higienización, se tomaba una muestra en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales; con el fin de evaluar el impacto de esta corriente en estas aguas.

Los gráficos a continuación presentan los flujos máxicos de nitrógeno total y Fósforo Total en las diferentes zonas, junto con los flujos máxicos obtenidos en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales, cuando se realizaba el estudio en cada zona.

Los resultados se exponen a continuación, presentando en primer lugar el flujo máxico de Nitrógeno Total Kjeldhal, en el gráfico N° V-1:

**Gráfico N° V-1. Nitrógeno Total Kjeldhal aportado por Diferentes Zonas a la Entrada de la PTAR**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° V-1 se observa que durante la higienización del área de embutido de jamones se tiene el mayor aporte de nitrógeno y para el momento del muestreo se observa que es el responsable de la mayor parte de nitrógeno que llegaba a la planta de tratamiento de aguas residuales. En segundo lugar se tiene la zona de higienización de salchichas, cuyo aporte de nitrógeno viene dado por la presencia de residuos cárnicos en la corriente, sin embargo el aporte para el momento de estudio representó cerca del 40% del nitrógeno que llega a la PTAR.

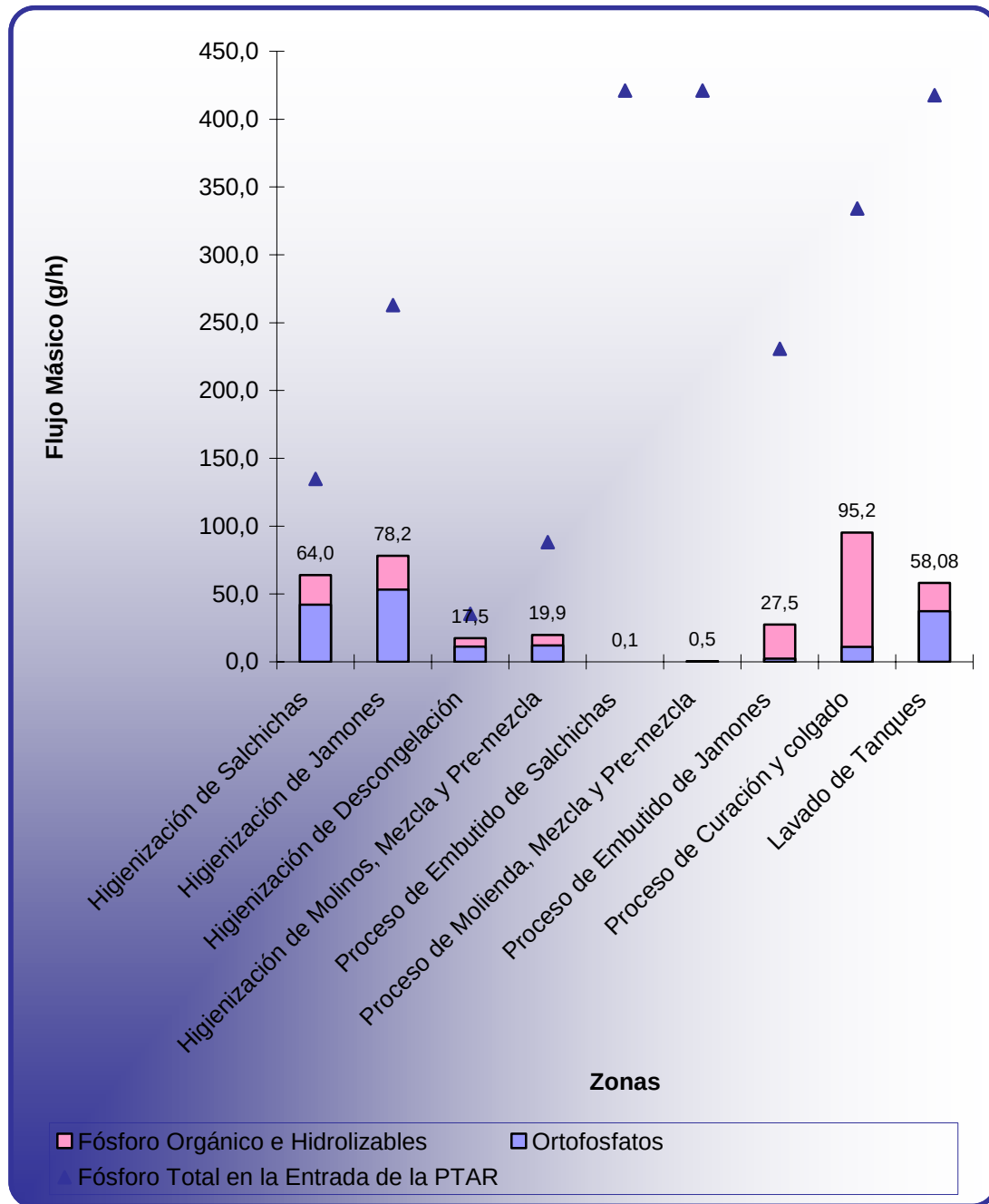
También se observa que para el momento de la recolección de muestras de las zonas de embutido de jamones, curación y colgado, y para cuando se higienizaba la zona de molinos, pre-mezcla, y mezcla, a pesar de tener unas corrientes elevadas en carga de nitrógeno, representaron menos del 18% de la carga másica de nitrógeno que entraba a la planta de tratamiento de aguas residuales; implicando que hubo otras corrientes, aparte de las estudiadas con mayor aporte en Nitrógeno Total Kjeldhal que llegaban a la PTAR ese día.

También se aprecia que las zonas cuyos aportes son mínimos durante su producción son las áreas de salchichas y de moliendas, pre-mezclas y mezclas, cuyos aportes son inferiores al 1%, del nitrógeno que entra a la PTAR.

Interpretando el gráfico N° V-1, se aprecia que la mayor parte del nitrógeno que aportan las diferentes zonas se encuentra en forma orgánica, infiriendo que el mismo proviene de los residuos de carne y mezclas cárnicas que alcanzan a llegar a las aguas, durante el proceso de elaboración de embutidos y del proceso de higienización.

Con respecto al aporte másico de Fósforo Total y como Ortofosfatos hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, por parte de las zonas estudiadas anteriormente, las mismas se ilustran en el siguiente gráfico:

**Gráfico N° V-2. Fósforo Total aportado por Diferentes Zonas a la Entrada de la PTAR**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° V-2 se aprecia que la mayor parte del fósforo aportado por las zonas de estudio se encuentra en forma de Ortofosfatos, a excepción de las zonas de curación y colgado y embutido de jamones, donde el fósforo orgánico se encuentra en mayor proporción que los Ortofosfatos.

También se observa en el gráfico que la corriente que contribuye más con la presencia de fósforo en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales, es la de curación y colgado.

El proceso de curación y colgado se realiza de lunes a viernes, y el aporte no es continuo, si no que aproximadamente cada 18 minutos llega a la planta de tratamiento 31,7 gramos de fósforo provenientes de esta corriente, mientras que las otras corrientes que le siguen con un aporte también significativo, son durante el proceso de higienización, el cual es diario en el área de salchichas, pero que en jamones, solo se realiza una vez a la semana.

Se aprecia que a pesar de que las zonas de embutido de salchichas y la de molinos, pre-mezcla y mezcla, no dieron un aporte significativo a la PTAR durante el muestreo en esas áreas, en la planta de tratamiento de aguas residuales, se observó una entrada de fósforo mayor que las obtenidas en otros estudios, infiriendo así que para el momento del muestreo, había corrientes que no fueron estudiadas en ese momento, con un aporte de fósforo más significativo que las corrientes de embutido de salchichas y la de molinos, pre-mezcla y mezcla.

Una vez observada como influyen en la PTAR los niveles de fósforo y nitrógeno de las corrientes de aguas provenientes de las principales zonas del proceso de elaboración de embutidos, se exponen a continuación, la variación a lo largo del día

de los caudales, los flujos de nitrógeno y fósforo en la entrada de la PTAR; así como el aporte total de las zonas estudiadas, por hora, durante la semana.

Los valores de la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales en los gráficos N° V-3, V-4 y V-5, fueron elaborados partiendo de muestras instantáneas realizadas a las aguas en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales durante 24 horas, cada hora, en un día jueves, suponiendo que este comportamiento es igual durante los días de lunes a viernes, se graficó esta tendencia.

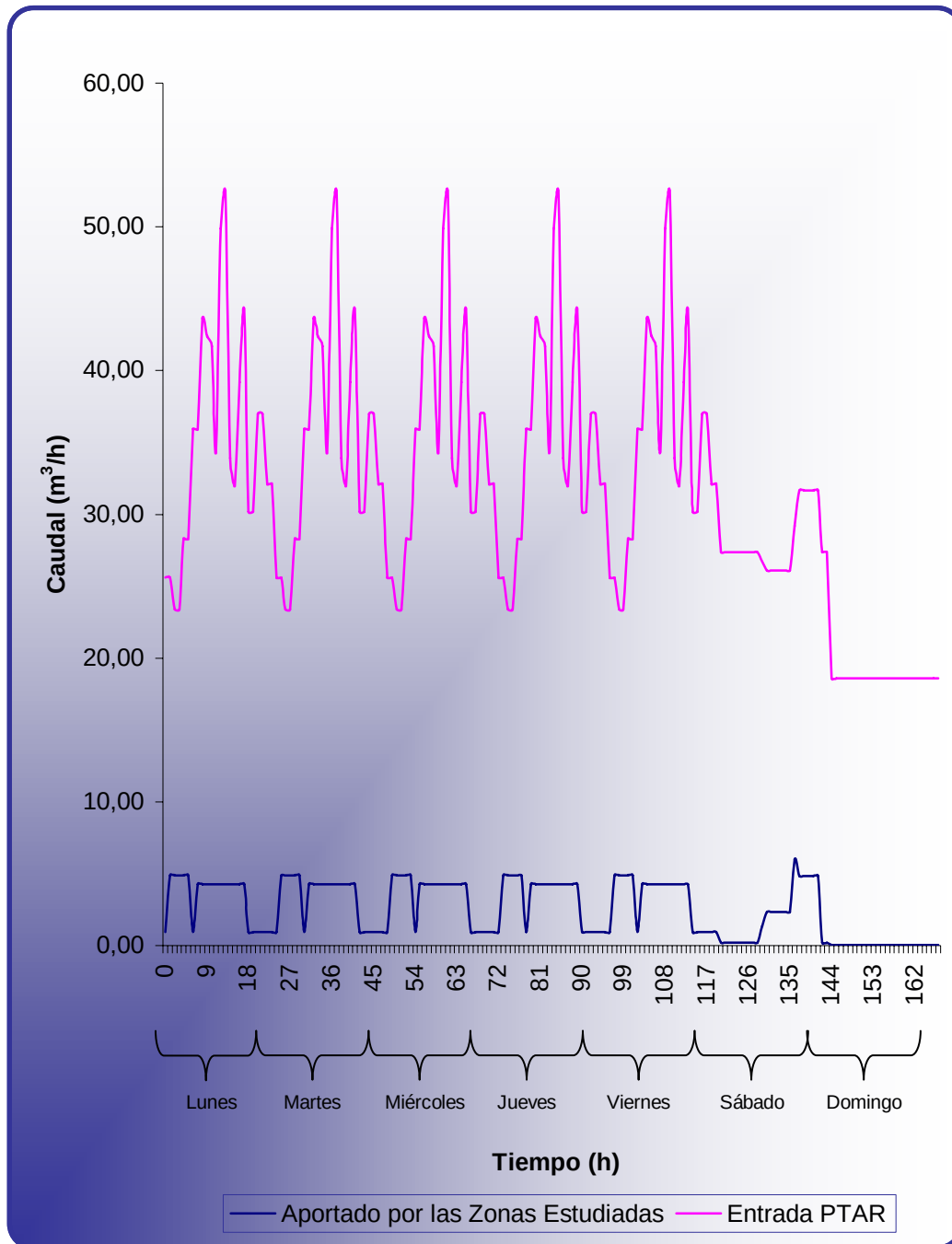
Sin embargo para el día sábado no se contaba con muestras instantáneas, sólo con muestras compuestas durante distintos períodos de tiempo, por lo que se supuso que el resultado de la muestra compuesta, era representativa de lo que ocurría cada hora durante esos períodos.

Para el domingo sólo se contaba con 2 muestras realizadas en domingos diferentes, y los resultados de ellas se promediaron y se tomó como el comportamiento por hora para todo el domingo.

Con respecto a cómo fueron graficados los datos de los aportes de las zonas, se supuso que los valores obtenidos con las muestras compuestas tomadas durante las jornadas de trabajo y limpieza de cada área, representan los promedios de cada hora durante la jornada. Todos estos valores fueron sumados para obtener el aporte total de las diferentes zonas estudiadas y graficarlos.

A continuación se presentan las variaciones de caudal en la entrada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y la suma de los caudales de las diferentes zonas estudiadas, por hora durante la semana:

**Gráfico N° V-3. Variación de Caudal en la Entrada de la Planta de tratamiento de Aguas Residuales Durante la Semana**



Fuente: Elaboración propia



Antes de interpretar el gráfico N° V-3, se explicará un poco los horarios que se manejan en la empresa para la entrada y salida de personal.

El personal administrativo, labora de 7 de la mañana a 4:30 de la tarde, los empleados asociados (obreros) laboran por turnos rotativos, los mismos varían dependiendo del área en que trabajen. De ésta manera se tiene el horario de 7:00 am a 5:00 pm y de 5:00 pm a 1:00 am. También hay otros horarios, utilizados por los supervisores de área y operadores donde entran a las 6:00 am y salen a las 2:00 pm, luego de 2:00 pm a 10:00 pm y el último de 10:00 pm a 6:00 am.

La producción de la empresa varía constantemente, sin embargo las jornadas de trabajo en su mayoría terminan a las 3:00 pm, para proceder a la limpieza del área (no profunda, sólo aplicar agua en las zonas que se encuentren sucias), lo cual podría justificar el pico obtenido a esta hora.

El horario de 11:00am a 1:00 pm es cuando se almuerza en la empresa, durante estas horas, el personal hace uso de los baños y los lavamanos, aumentando el caudal de agua para estas horas.

El personal que labora los fines de semana es menor al que labora el resto de la semana, sin embargo, en estos días se realiza la higiene de las zonas del proceso de productivo, así como de las oficinas, baños y otras áreas de la empresa, originando más agua residual en estas zonas durante los fines de semana. Sin embargo en el gráfico N° V-3 se observa una disminución en el caudal de agua de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales, esto debido principalmente a que en estos días son pocas las zonas que operan y el personal que labora.

Se observa en el gráfico N° V-3 que los flujos aportados por las zonas estudiadas representan poco menos de la quinta parte del caudal que entra a la planta de

---

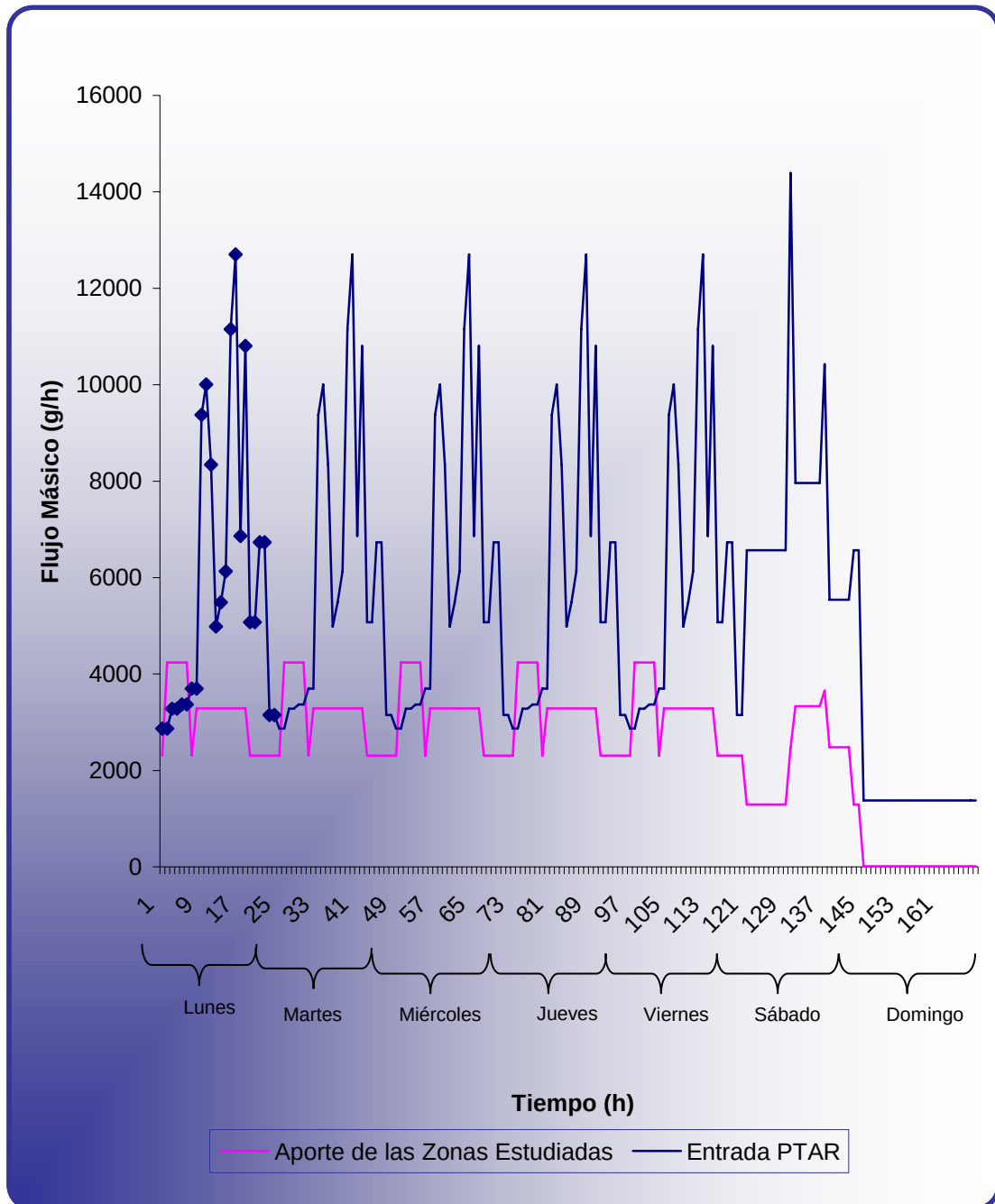
tratamiento de aguas residuales, lo que implica que hay otros aportes de caudal provenientes de otras zonas que no fueron estudiadas, entre ellas están las aguas provenientes de los baños, vestuario y del edificio administrativo; así como otras zonas de producción como lo es empacado, donde se realiza la esterilización de los productos y es precisamente por ello que no se permitía el muestreo en ésta área, para evitar cualquier contaminación del área al levantar las tapas de los drenajes, además de que el acceso en el área es restringido, ya que las personas deben estar esterilizadas.

También hay que tener en cuenta que los caudales de aguas residuales generadas durante la producción en las zonas de salchichas, jamones, molinos, pre-mezcla y mezcla fue estimado a partir de factores de reingreso y el consumo de agua en éstas áreas, consumo que varía constantemente, dependiendo de la producción y el personal utilizado en la misma y puede ser el caso de que para el momento del muestreo de 24 horas en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales, el consumo de agua en éstas áreas pudo ser mayor que para la fecha en que se realizó el muestreo en las zonas del proceso productivo.

Todos estos son factores que hay que tener en cuenta a la hora de interpretar el gráfico N° V-3 y los gráficos N° V-4 y V-5, que se presentan seguidamente, donde se estudian los aportes de nutrientes y en los cuales se puede presentar el mismo caso observado en el gráfico N° V-3, donde aparentemente los aportes de la zonas estudiadas no son significativos, con respecto al caudal de agua en la entrada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

El gráfico que se presenta a continuación corresponde a las variaciones de Nitrógeno Total Kjeldhal en la entrada de la PTAR durante la semana:

**Gráfico N° V-4. Variación del Flujo Másico de Nitrógeno Total Kjeldhal en la Entrada de la PTAR durante la semana**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° V-4 se observa que la mayor afluencia de Nitrógeno Total Kjeldhal a la planta de tratamiento de aguas residuales, se da a las 3 de la tarde y la más baja a la 1 de la mañana, en los días de lunes a viernes, mientras que los sábados se tiene que el flujo más alto es a las 9 de la mañana, cuyo valor es de 14,391 kg/h; siendo el flujo más alto registrado durante la semana.

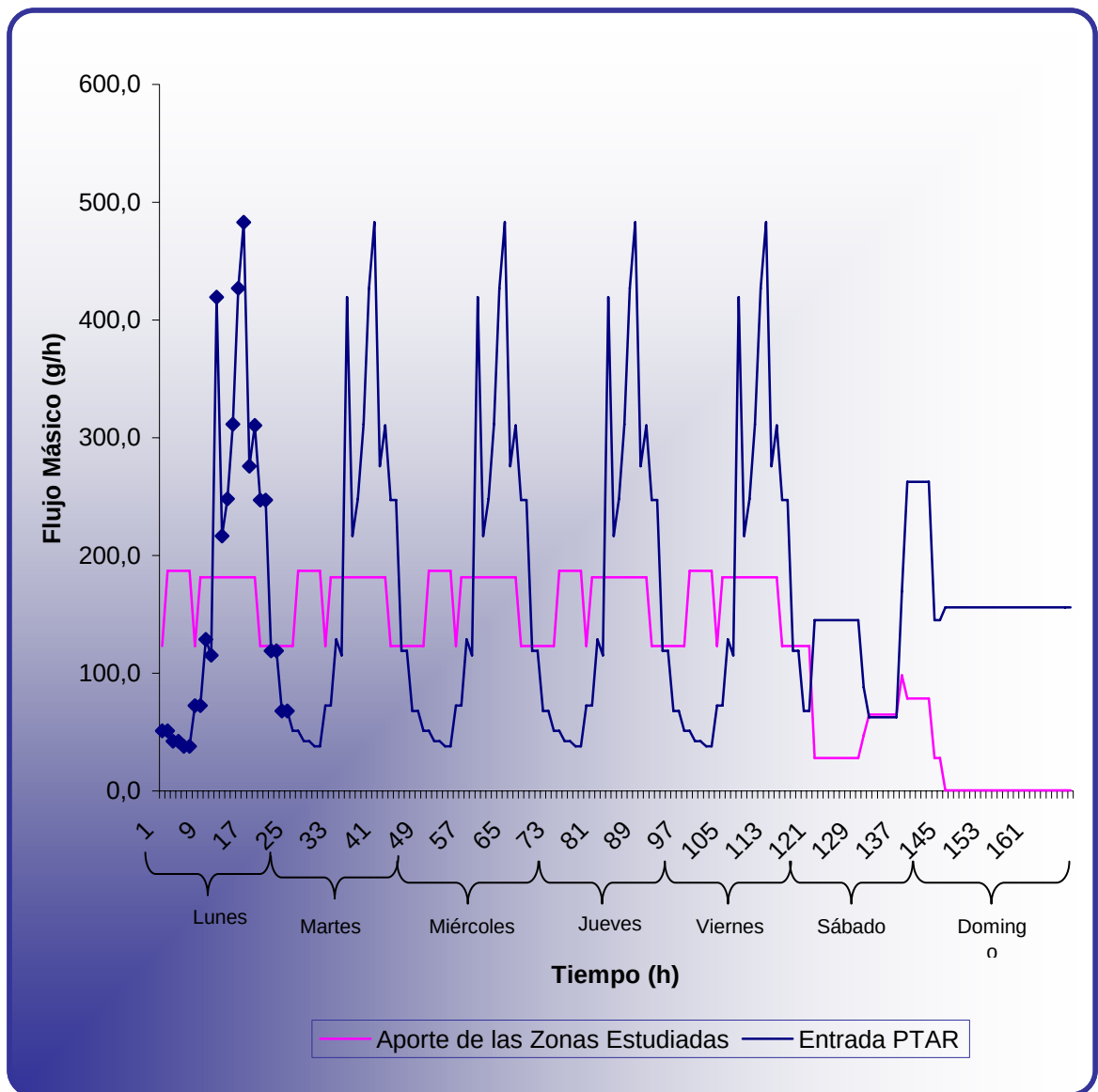
Se observan otros picos de importancia en las horas de las 9 de la mañana, 2 y 5 de la tarde durante el período de lunes a viernes, el aumento de los flujos de Nitrógeno Total Kjeldhal. Estos picos no se deben a un aumento en la concentración de nitrógeno en la entrada de la PTAR, ya que la concentración de nitrógeno se mantiene en el mismo rango que en otras horas, pero si se observa un aumento en el caudal de agua que entra en la planta, originando estos picos.

En el gráfico se observa que en las horas de la madrugada del período de lunes a viernes, el flujo de nitrógeno aportado por las zonas es mayor al observado en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales. Dentro de las causas que puedan justificar este hecho está que para el día en que se realizó el muestreo de 24 horas el caudal de agua residual generado por las zonas de estudio fue menor que el obtenido durante los días de muestreo en las diferentes zonas. Como se explicó anteriormente, la gráfica fue realizada con los datos promedios obtenidos de la caracterización de las diferentes zonas del proceso productivo consideradas como puntos críticos, y a partir de los datos obtenidos de una caracterización de las aguas en la entrada de la PTAR durante 24 horas; dichos muestreos fueron realizados en fechas diferentes.

También pudo pasar que parte del agua que viene de las zonas estudiadas no llegó a la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea porque la tubería se encontraba obstruida, o cualquier otra anomalía en las tuberías que pudo haber afectado el flujo de las aguas por las mismas.

El gráfico a continuación presenta los valores de fósforo de las aguas afluentes a la PTAR durante la semana:

**Gráfico N° V-5. Variación del Flujo Másico de Fósforo Total en la Entrada de la PTAR durante la semana**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° V-5 se aprecia que en el período de lunes a viernes el fósforo llega a la planta en mayor proporción a las cuatro de la tarde y se observa un aumento progresivo del mismo desde las once de la mañana, las causas pueden ser las mismas explicadas anteriormente, la salida de la mayor parte de los empleados de la empresa.

También se observa otro pico a las 10 de la mañana, producto de alguna actividad específica realizada en planta que afectó la entrada de la PTAR. Mientras, que el menor aporte de fósforo se observa durante la madrugada, donde hay menos personal laborando y operan algunas zonas de la planta, mientras que otras son higienizadas.

Se observa que en algunas oportunidades, sobre todo durante la madrugada, el nivel de fósforo aportado por las zonas es mayor al que entra en la planta de tratamiento de aguas residuales, las razones que pueden justificar este hecho, pueden ser las mencionadas anteriormente, un caudal de agua mayor durante el estudio de las zonas, o la pérdida del mismo en la red de tuberías, antes de llegar a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Si se lograra homogenizar la carga de nitrógeno y fósforo afluente a la PTAR, se podrían disminuir las concentraciones de los mismos, en las distintas etapas del proceso de tratamientos de aguas residuales. La regularización de la entrada de nutrientes se lograría colocando un tanque de homogeneización en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### **Caracterización de las Aguas en las Diferentes Etapas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales:**

En esta sección se presenta el comportamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en sus diferentes etapas. Se exponen los valores medios, mínimos y

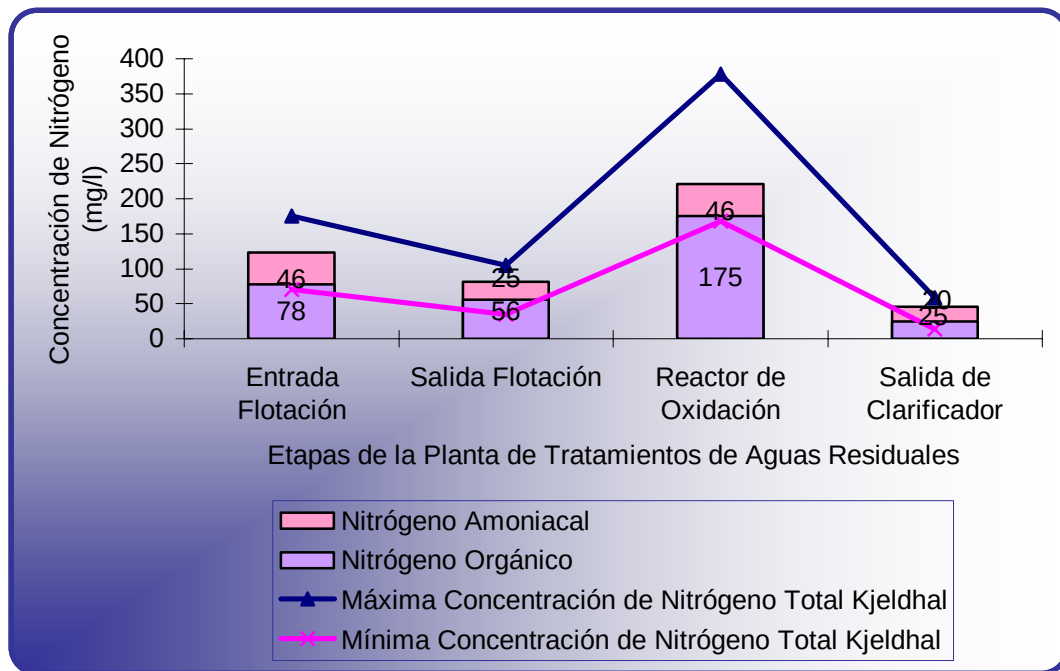
---

máximos de Nitrógeno Total Kjeldhal, Fósforo Total, Demanda Química de Oxígeno, pH y sólidos obtenidos en cada etapa.

Las muestras analizadas fueron compuestas desde las siete de la mañana hasta las cinco de la tarde, tomando cada hora una alícuota de muestra en las diferentes etapas. Este muestreo se realizó en diferentes días de la semana entre lunes y viernes, para conocer el funcionamiento de la planta y las variaciones de las concentraciones de los parámetros como Nitrógeno Total Kjeldhal, Fósforo Total, Demanda Química de Oxígeno, pH y sólidos en cada etapa.

En el gráfico N° V-6 se presentan las concentraciones de nitrógeno obtenidas de la caracterización de las aguas residuales de la PTAR:

**Gráfico N° V-6. Concentraciones de Nitrógeno en las Diferentes Etapas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° V-6 se observa que la mayor parte del nitrógeno en las diferentes etapas es orgánico, también se aprecia una disminución en las concentraciones de nitrógeno tanto orgánico como amoniacal a medida que sale de cada etapa del tratamiento, a excepción de un aumento en las concentraciones del mismo en el reactor biológico, pero que luego disminuyen a la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales.

La remoción de nitrógeno en la unidad de flotación en función de la disminución de nitrógeno promedio entre la entrada y la salida de la misma, es de 34,7 %.

Las concentraciones más altas en la entrada de la planta puede llegar a 175 mg/l, no muy lejos del promedio 124 mg/l, mientras que el reactor la más alta llega a los 378, sin embargo en la salida la concentración máxima registrada durante el estudio es de 58 mg/l.

También se observa que la concentración de Nitrógeno Total Kjeldhal más baja en la entrada de la PTAR es de 70 mg/l y a la salida de 14 mg/l, mayor que los 10 mg/l permitido por el MARN en su decreto N° 3219.

En un análisis realizado a las agua a la entrada y salida de la unidad de flotación, se determinó el contenido de nitritos y nitratos y el mismo era igual a cero, a pesar de que en el proceso había una corriente con aportes de nitratos (la proveniente de curación y colgado con 6,4 mg/l de nitratos). Esto se puede deber al efecto de dilución de las otras corrientes disminuyendo las concentraciones de la misma hasta hacerla indetectable por el cromatógrafo.

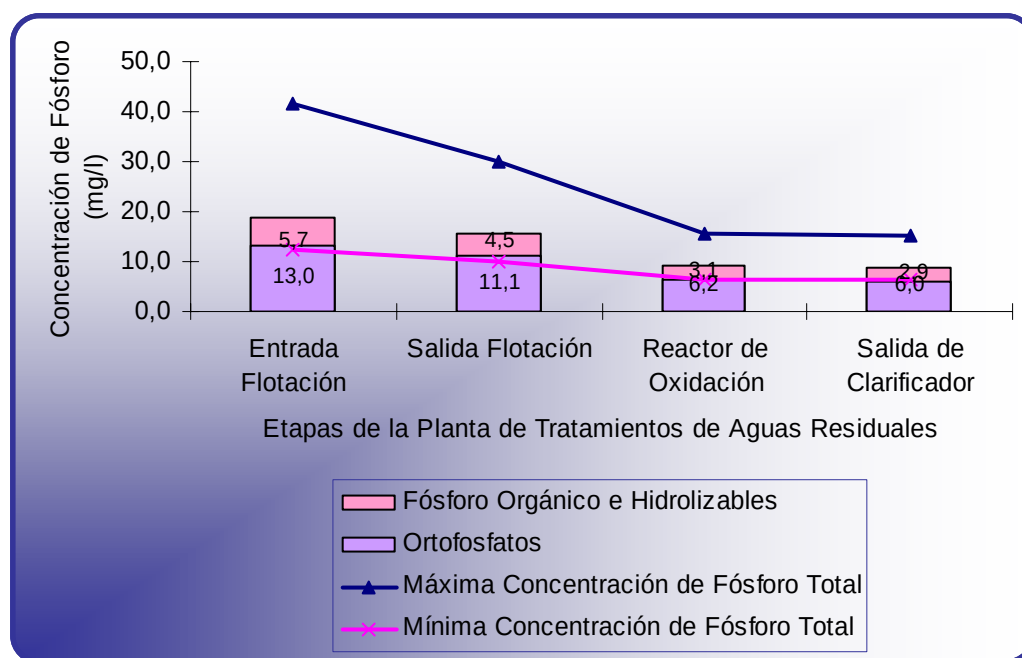
Sin embargo a la salida de la PTAR también se le realizó este mismo análisis y se obtuvo que había una concentración de 40,6 mg/l en nitratos, pero no se detectó



nitritos en esta corriente. Es importante señalar que la conversión de nitritos a nitratos es muy rápida, lo que pudiera influir en el análisis.

El gráfico N° V-7 presenta las concentraciones de fósforo en estas corrientes:

**Gráfico N° V-7. Concentraciones de Fósforo en las Diferentes etapas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° V-7 se observa que a diferencia con lo observado con las concentraciones de nitrógeno, las de fósforo van disminuyendo en cada etapa. El porcentaje de remoción de remoción de fósforo en la unidad de flotación es de 16,6%.

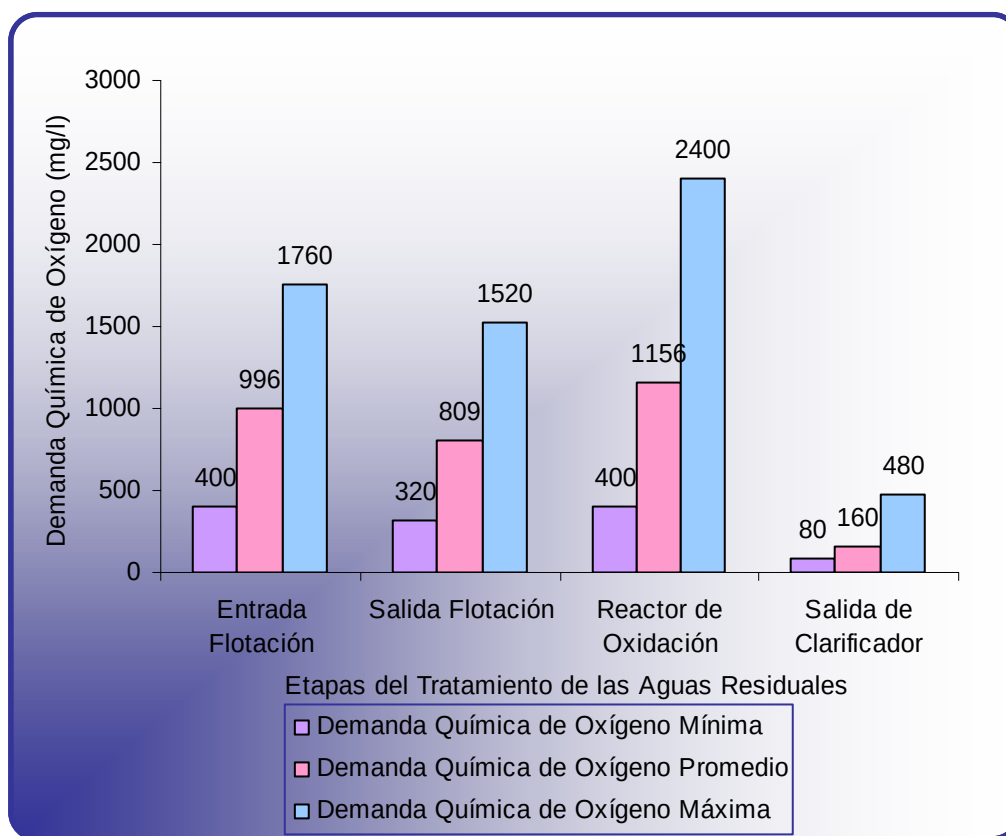
La concentración promedio de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales es de 18,7 mg/l, sin embargo se observa que la máxima es de 41,7 mg/l, tiene una desviación grande con respecto al valor promedio, mientras que en la salida de la

planta se observa que el valor promedio es de 8,9 mg/l y el valor máximo observado es de 15,3.

En el gráfico se aprecia que la mayor parte del fósforo está presente en forma de Ortofosfatos, y el valor mínimo en la salida de la PTAR es 6,3 veces mayor al 1 mg/l permitido por el MARN en su Decreto N° 3219.

En el gráfico a continuación se presenta la Demanda Química de Oxígeno en las diferentes etapas del proceso de tratamientos de aguas residuales:

**Gráfico N° V-8. Demanda Química de Oxígeno en las Diferentes Etapas del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales**



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N° V-8 presenta como disminuye la Demanda Química de Oxígeno después de pasar por la unidad de flotación y luego como aumenta en el reactor biológico, para luego disminuir nuevamente en la salida de la planta.

En la unidad de flotación se disminuye en un 18,8% la Demanda Química de Oxígeno. Esta disminución se debe principalmente a los sólidos suspendidos que se remueven con las grasas y aceites. Sin embargo, el porcentaje de disminución de la Demanda Química de Oxígeno en esta etapa del tratamiento debe ser aumentada, ya que las grasas dificultan la transferencia de oxígeno en el reactor biológico, originando problemas operacionales en el mismo.

Es importante tener en cuenta que en la PTAR entran aguas con pH superiores a 11 y que al reaccionar con las grasas presentes en el agua pueden provocar la saponificación de las mismas, afectando la tensión superficial del agua y dificultando la transferencia de oxígeno.

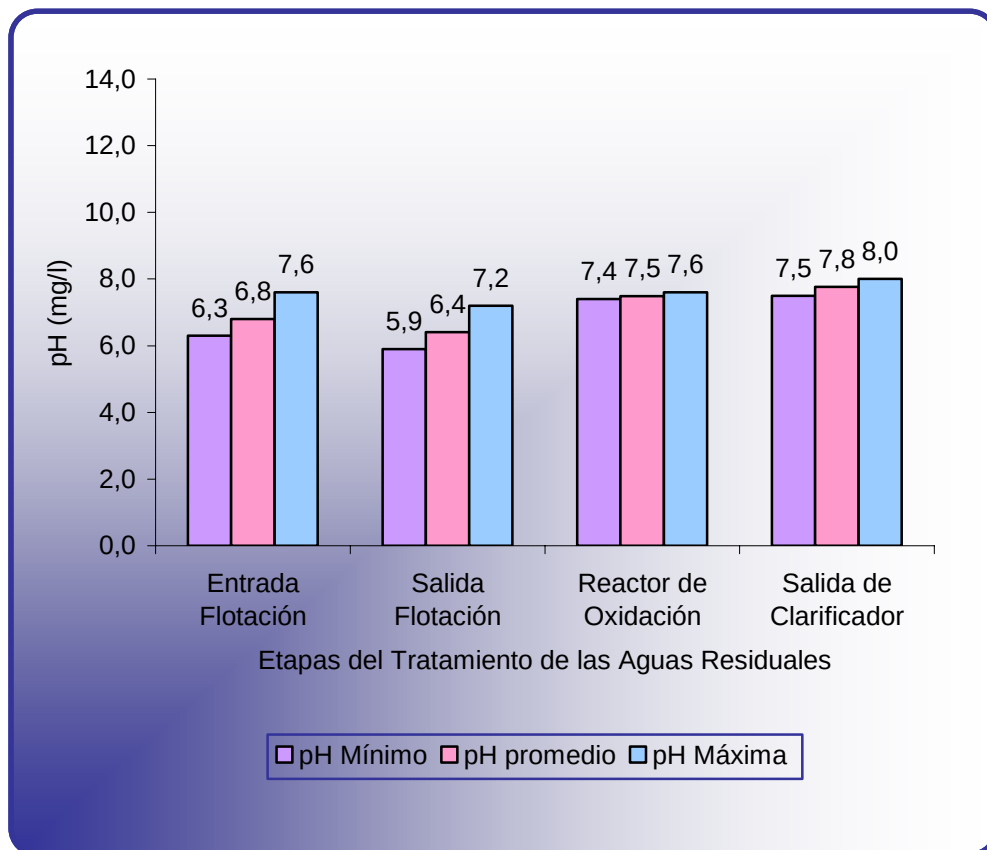
Los valores de la Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno Total Kjeldhal, Fósforo Total, Ortofosfatos y pH fluctúan mucho originando la elevada desviación de los valores máximos y mínimos con respecto a los resultados promedio. Estas fluctuaciones, como se explicó anteriormente, hacen inestable el tratamiento biológico, es por ello la necesidad de estabilizar las cargas, mediante un sistema de homogeneización, que permita mejorar el funcionamiento de los diferentes procesos del tratamiento de las aguas residuales.

Los valores promedios de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, están dentro del límite máximo permitido por el Estado para las descargas a la cuenca del Lago de Valencia.

Cuando aumenta la Demanda Química de Oxígeno en la descarga final de la planta se debe principalmente a problemas operacionales en el clarificador, como lo es el abultamiento de lodo, el cual consiste en la presencia de lodo en la superficie del clarificador; otro problema operacional es el fenómeno conocido como ashing; así como el de desnitrificación, lo que provoca grandes variaciones en la calidad del agua en el efluente final.

A continuación se presenta la variación de pH de las aguas residuales en cada fase del tratamiento aplicado:

**Gráfico N° V-9. Variación de pH en las Diferentes Etapas del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N° V-9 se aprecia que el pH varía en cada etapa, siendo el reactor de oxidación el que presenta menos fluctuaciones, debido a las dimensiones del mismo ( $3150 \text{ m}^3$ ). Sin embargo en la salida sí se observan estas fluctuaciones, pero los valores se mantienen dentro del rango permitido por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales.

El pH más alto en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales durante el período de estudio fue de 7,6 mientras que el más bajo fue de 6,3; pero en la salida de la unidad de flotación el pH tiende a ser menor que en la entrada llegando hasta 5,9 el mínimo; y este valor de pH no es adecuado para el buen funcionamiento del reactor biológico.

Debido a que en el sistema de tratamiento de aguas residuales hay un reactor biológico de lodos activados; para garantizar el crecimiento bacterial se estima una relación  $\text{DBO}_{5,20}:\text{N}:\text{P}$  de 100:5:1, es por ello que se calcula la cantidad de nitrógeno requerida en el reactor según la carga orgánica y se compara con la que entra al reactor.

En el laboratorio de Plumrose Latinoamericana no es posible determinar la  $\text{DBO}_{5,20}$ , sin embargo, se tienen datos de la misma por análisis realizados por laboratorios externos y a partir de ellos se estimó una relación entre la  $\text{DBO}_{5,20}$  y DQO igual a 0,57. Ésta estimación se realizó mediante un promedio de las  $\text{DBO}_{5,20} / \text{DQO}$  obtenidas en el laboratorio externo.

La cantidad de nutrientes requeridos por el reactor se presentan a continuación:

**Tabla N° V-12. Relación entre los Nutrientes y la Carga Orgánica en el Reactor Biológico**

| <b>Fecha</b> | <b>Nitrógeno Requerido (mg/l)</b> | <b>Nitrógeno Disponible (mg/l)</b> | <b>Fósforo Requerido (mg/l)</b> | <b>Fósforo Disponible (mg/l)</b> |
|--------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 06/07/2005   | 43                                | 81                                 | 8,7                             | 12,5                             |
| 12/07/2005   | 21                                | 35                                 | 4,1                             | 30,1                             |
| 22/07/2005   | 32                                | 105                                | 6,4                             | 18,9                             |
| 26/07/2005   | 21                                | 56                                 | 4,1                             | 15,3                             |
| 02/08/2005   | 21                                | 94                                 | 4,1                             | 10,1                             |
| 09/08/2005   | 14                                | 88                                 | 2,7                             | 11,3                             |
| 16/08/2005   | 32                                | 84                                 | 6,4                             | 13,9                             |
| 02/09/2005   | 9                                 | 98                                 | 1,8                             | 15,1                             |
| 15/09/2005   | 16                                | 91                                 | 3,2                             | 12,9                             |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-12 se observa que los nutrientes se encuentran en exceso, ya que las concentraciones de nitrógeno y fósforo disponibles siempre superan a las concentraciones requeridas por el reactor; con estos datos se puede concluir que de remover mayores concentraciones de fósforo y nitrógeno en el tratamiento primario, no afectaría el funcionamiento del reactor; sin embargo, hay que tener en cuenta estas relaciones entre las concentraciones de nutrientes y carga orgánica al momento de establecer el tratamiento primario aplicado para la remoción de fósforo y nitrógeno.

### **Evaluación de Tecnologías**

En ésta sección se exponen distintas tecnologías estudiadas para disminuir las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

### Pruebas de Jarra

En esta sección se presentan los resultados del tratamiento de las aguas del reactor biológico con distintas cantidades de cal y los obtenidos del tratamiento del agua que entra a la PTAR con alumbre y los polímeros MQ 131 como coagulante y MQ 297 como floculante a distintas concentraciones y cantidades.

Las muestras del agua a la entrada de la PTAR como la del reactor biológico fueron compuestas de cada hora por 24 horas, los resultados de las caracterizaciones de las mismas se presentan a continuación.

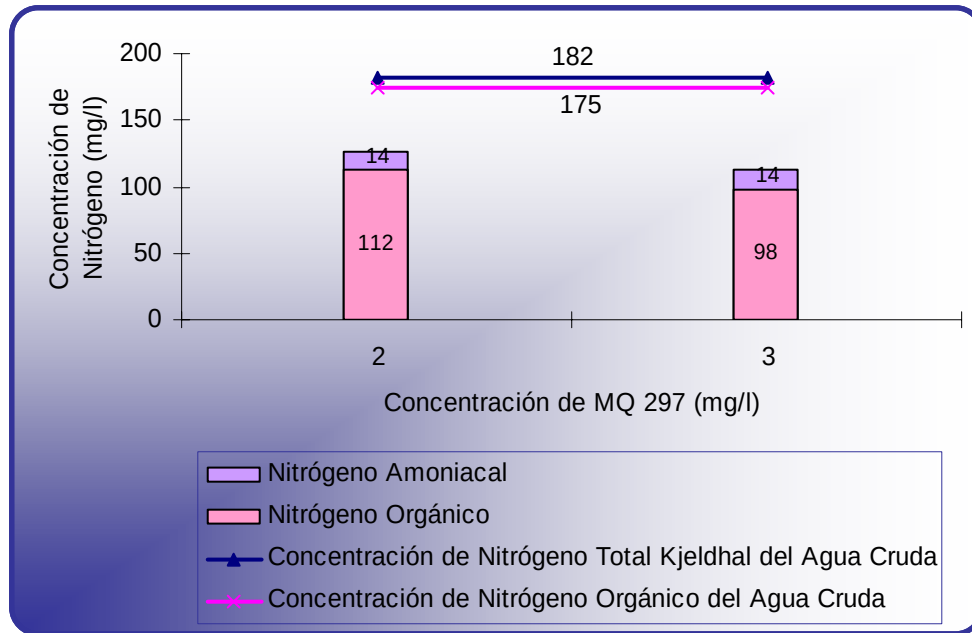
En primer lugar se expondrán los resultados del tratamiento del afluente de la PTAR con los polímeros MQ 131 como coagulante y MQ 297 como floculante; luego se presentan los resultados de la utilización de alumbre y por último el tratamiento con cal al agua del reactor biológico.

### Polímeros MQ 131 y MQ 297

Las pruebas de jarras realizadas con estas combinaciones de polímeros se hicieron con una concentración de 500 mg/l de coagulante MQ 131 y diferentes concentraciones de MQ 297.

A continuación se presentan los resultados de las concentraciones de nitrógenos en el agua residual a la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales y después de emplear los polímeros en las mismas:

**Gráfico N° V-10. Concentraciones de Nitrógeno en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamiento Tratada con 500 mg/l de MQ 131 como Coagulante y Diferentes Cantidades de MQ 297 como Floculante**



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° V-10 se observa una disminución en la concentración de nitrógeno total de 182 mg/l a 126 mg/l cuando se utiliza 2 mg/l de floculante y a 112 mg/l cuando se utiliza 3 mg/l, siendo sus porcentajes de remoción igual a 30,8% y 38,5% respectivamente; sin embargo, se puede apreciar que la concentración de nitrógeno amoniacal aumentó el doble en ambos casos, lo que implica que hubo una reacción que provocó que parte del nitrógeno orgánico pasara a amoniacal, originando una disminución en la concentración de nitrógeno orgánico y un aumento en la de nitrógeno amoniacal.

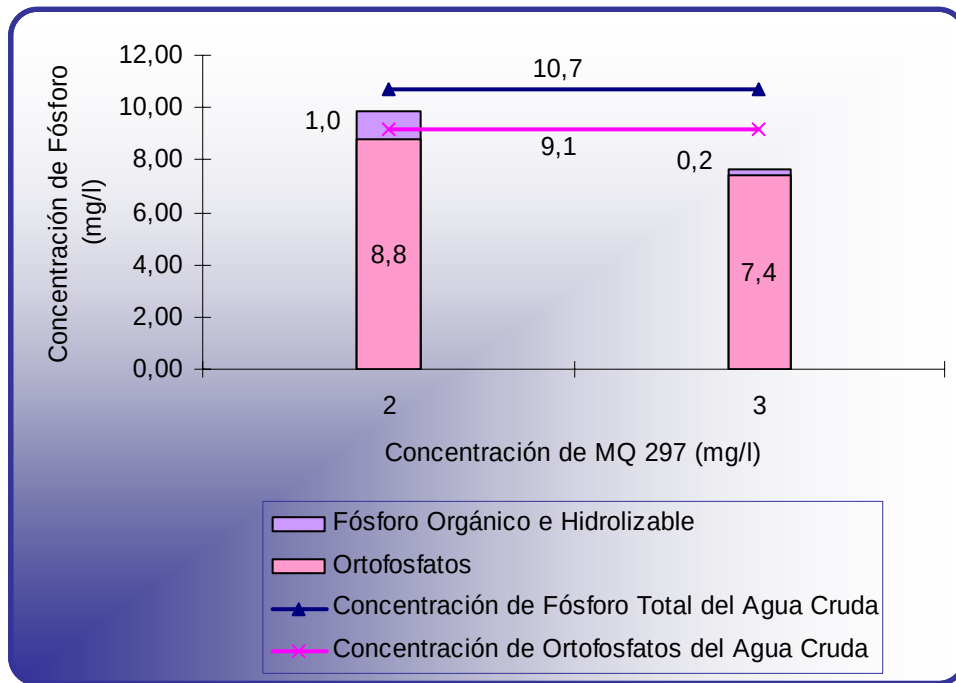
Sin embargo, los porcentajes de remoción de nitrógeno orgánico fueron de 36 % cuando se utilizó 2 ppm de polímero floculante y cuando se empleó 3 ppm la remoción fue de 44 %. Superiores a los obtenidos con Nitrógeno Total Kjeldhal.



Durante la experiencia se observó que los flóculos formados eran muy pequeños e inestables, que a la menor agitación se dispersaban, además se podían observar sólidos suspendidos en el sobrenadante.

En el gráfico N° V-11 se ilustran los resultados de la remoción de fósforo, con el tratamiento físico-químico con los polímeros MQ 131 y MQ 297.

**Gráfico N° V-11. Concentraciones de Fósforo en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamiento Tratada con 500 mg/l de MQ 131 como Coagulante y Diferentes Cantidades de MQ 297 como Floculante**

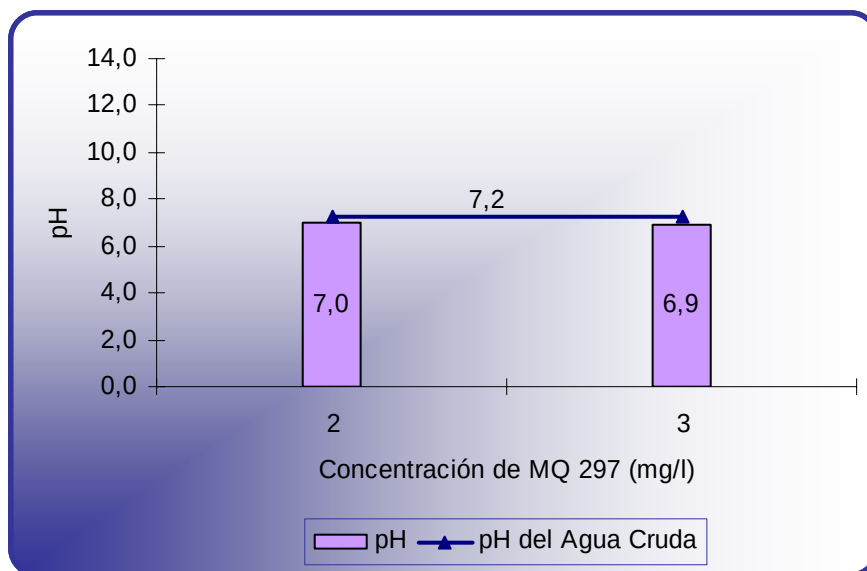


Fuente: Elaboración Propia

Con los datos que se aprecian, se obtienen los porcentajes de remoción de Fósforo Total de 8,4 % cuando la concentración del floculante es de 2 mg/l y de 29% cuando se agregó 3 mg/l del polímero MQ 297 al agua cruda.

Con respecto a la remoción de fósforo como Ortofosfatos se obtuvo una remoción del 3,3 % para la concentración más baja del polímero MQ 297 y 18,7 % para la más alta, concluyendo que la mayor remoción se obtuvo en fósforo orgánico e hidrolizable.

**Gráfico N° V-12. Variación de pH en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamiento Tratada con 500 mg/l de MQ 131 como Coagulante y Diferentes Cantidades de MQ 297 como Floculante**

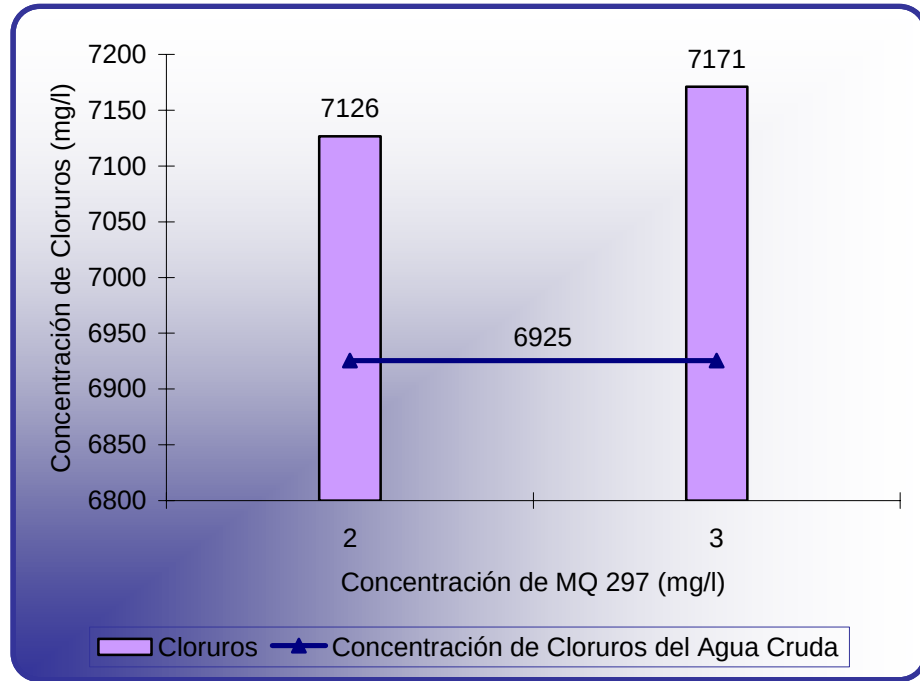


Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° V-12 se observa una tendencia a disminuir el pH a medida que se aumenta la concentración del polímero floculante, esta variación no es significativa, por lo que no afectaría los procesos posteriores al tratamiento físico-químico.

El polímero coagulante MQ 131 es a base de cloruro férrico, por lo que fue necesario determinar como afecta este compuesto en los niveles de cloruros del agua:

**Gráfico N° V-13. Concentración de Cloruros en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamiento Tratada con 500 mg/l de MQ 131 como Coagulante y Diferentes Cantidades de MQ 297 como Floculante**



Fuente: Elaboración Propia

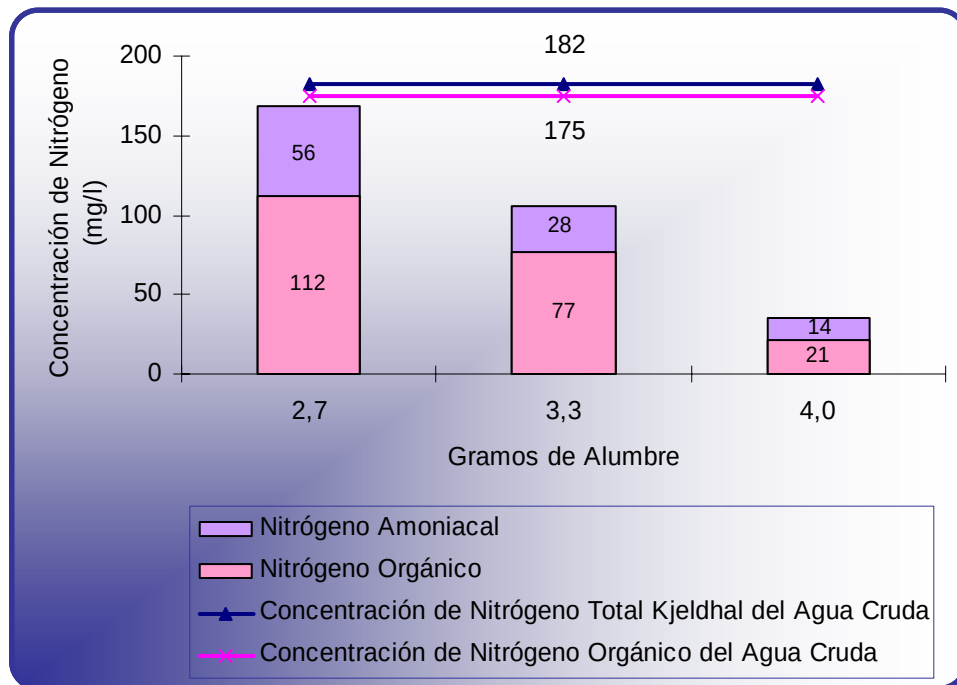
En el gráfico N° V-13 se observa el aumento de los niveles de cloruro, a medida de que se aumentó la concentración del polímero floculante a pesar de que el cloruro férrico está presente en el coagulante, el cual se mantiene en la misma concentración de 500 ppm para ambas dosificaciones de floculante.

El aumento de los niveles de cloruro fue de 2,9% en la dosis mas baja y de 3,6% para la dosis más alta, no son tan significativos y la diferencia entre ambos no es mucha, por lo que la diferencia se puede deber al error involucrado con el método para la determinación de cloruros, o el error asociado con la apreciación de las unidades en la jeringa al momento de agregar el polímero coagulante.

Alumbre

El alumbre fue utilizado solo como coagulante, ya que el combinarlo con el polímero floculante MQ 297, no se observó ningún cambio en los flóculos formados, a pesar de que se agregaron distintas concentraciones de MQ 297. Los resultados de la caracterización de las aguas después de su tratamiento con alumbre se muestran a continuación:

**Gráfico N° V-14. Concentraciones de Nitrógeno en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamiento Tratada con Diferentes Cantidades de Alumbre**



Fuente: Elaboración Propia

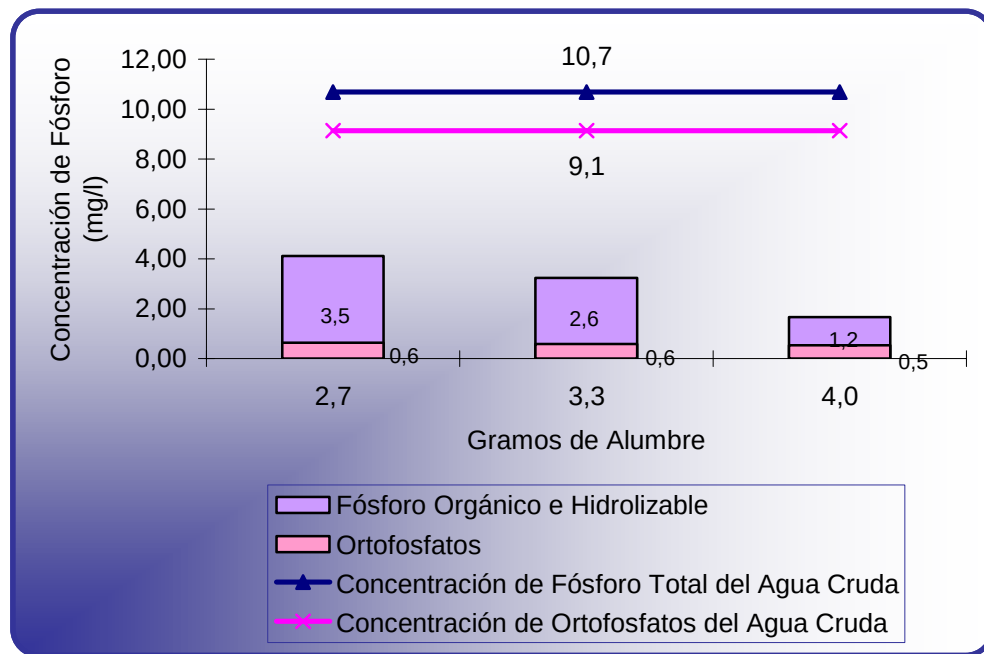
En el gráfico N° V-14 se observa una disminución significativa en lo que a nitrógeno orgánico se refiere en las distintas dosis de alumbre empleadas, por litro de muestra. Pero se observa que al igual que cuando se emplearon los polímeros, la concentración de nitrógeno amoniacal aumentó, la causa puede ser atribuida a la reacción que

ocurre, en la cual parte del nitrógeno orgánico que no se remueve se transforma en nitrógeno amoniacal.

Los porcentajes de remoción de nitrógeno total para las dosis de 2,7 g; 3,3 g y 4,0 g de alumbre son 7,7%; 42,3% y 80,8% respectivamente.

A continuación se presentan las concentraciones de Fósforo Total y como Ortofosfatos obtenidas después del tratamiento del agua afluente a la PTAR con alumbre:

**Gráfico N° V-15. Concentraciones de Fósforo en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamiento Tratada con Diferentes Cantidades de Alumbre**



Fuente: Elaboración Propia

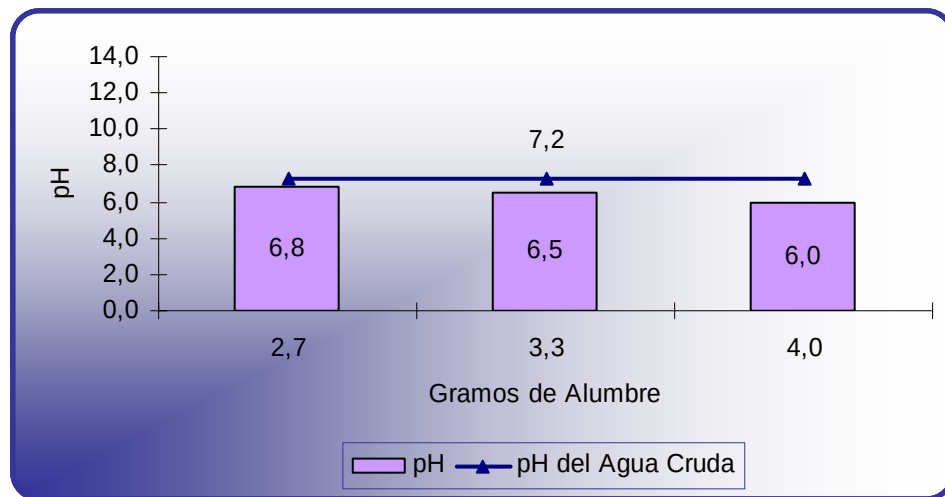
A diferencia de la remoción de fósforo obtenida con los polímeros, con el alumbre se logró reducir en gran parte el contenido de Ortofosfatos, los mismos disminuyeron en

porcentajes de 93,0 %; 93,6% y 94,2% para las dosificaciones de alumbre de 2,7 g; 3,3 g y 4,0 g respectivamente.

Si hacemos referencia a la remoción de Fósforo Total, los porcentajes son menores a los alcanzados con los Ortofosfatos, pero mucho mayores que los obtenidos durante el tratamiento con los polímeros MQ 131 y MQ 297. Los porcentajes de disminución de Fósforo Total para las cantidades de 2,7 g; 3,3 g y 4,0 g de alumbre, son 61,5%; 69,8% y 84,5% respectivamente.

Para estudiar el efecto del alumbre en el pH del agua, se presenta el gráfico N° V-17:

**Gráfico N° V-16. Variación de pH en el Agua de la Entrada de la Planta de Tratamiento Tratada con Diferentes Cantidades de Alumbre**



Fuente: Elaboración Propia

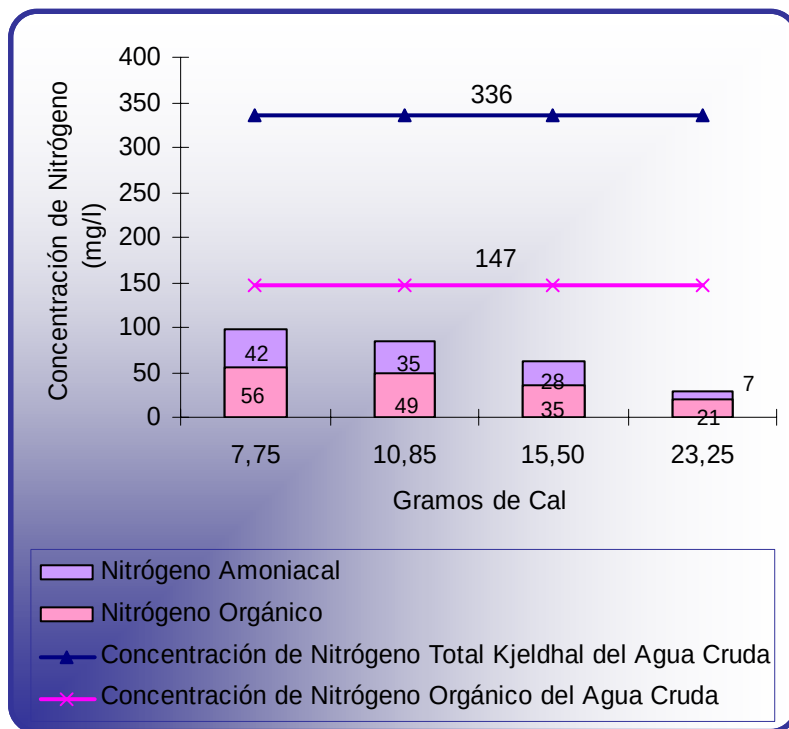
En el gráfico N° V-16 se observa una disminución en el pH a medida que aumentaba la dosis de alumbre, el mismo llegó hasta 6,0 en la dosificación más alta, siendo un valor bajo para la entrada de un reactor biológico, ya que puede crear un ambiente no apto para las bacterias.

### Cal

La cal se empleó para tratar el agua del reactor, se estudiaron distintas cantidades de cal en muestras de un litro de agua del reactor:

En el gráfico N° V-17 se observan los cambios en las concentraciones de nitrógeno del agua del reactor cruda y la tratada con cal:

**Gráfico N° V-17. Concentraciones de Nitrógeno en el Agua del Reactor Biológico Tratada con Diferentes Cantidades de Cal**



Fuente: Elaboración Propia

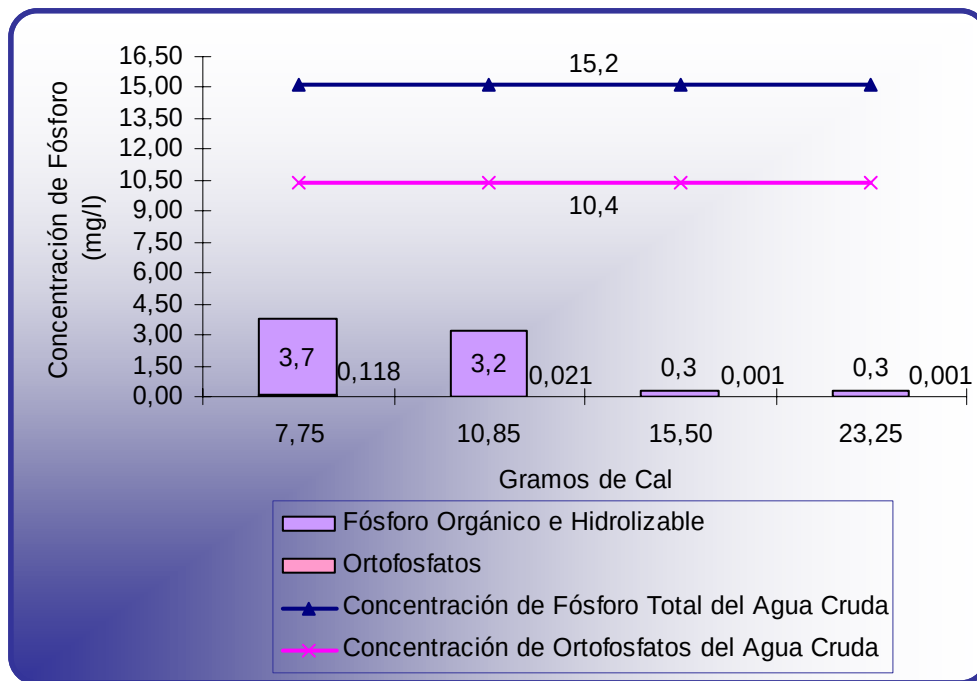
En el gráfico N° V-17 se observa que a medida que se agregaba más cal los niveles de nitrógeno orgánico y amoniacal disminuían, sin embargo, para la dosificación más

alta de cal, donde se obtuvo la mayor remoción de nitrógeno, los niveles de concentración de Nitrógeno Total Kjeldhal no alcanzan las especificaciones del MARN para el control de descargas a las cuencas del Lago de Valencia, cuyo valor es de 10 mg/l.

Los porcentajes de remoción de Nitrógeno Total Kjeldhal son de 70,8%; 75,0%; 81,3%; y 91,7% para 7,75 g; 10,85 g; 15,50 g y 23,25 g, de cal respectivamente.

A continuación se presentan los valores de las concentraciones de fósforo en al agua del reactor tratada con cal:

**Gráfico N° V-18. Concentraciones de Fósforo en el Agua del Reactor Biológico Tratada con Diferentes Cantidades de Cal**



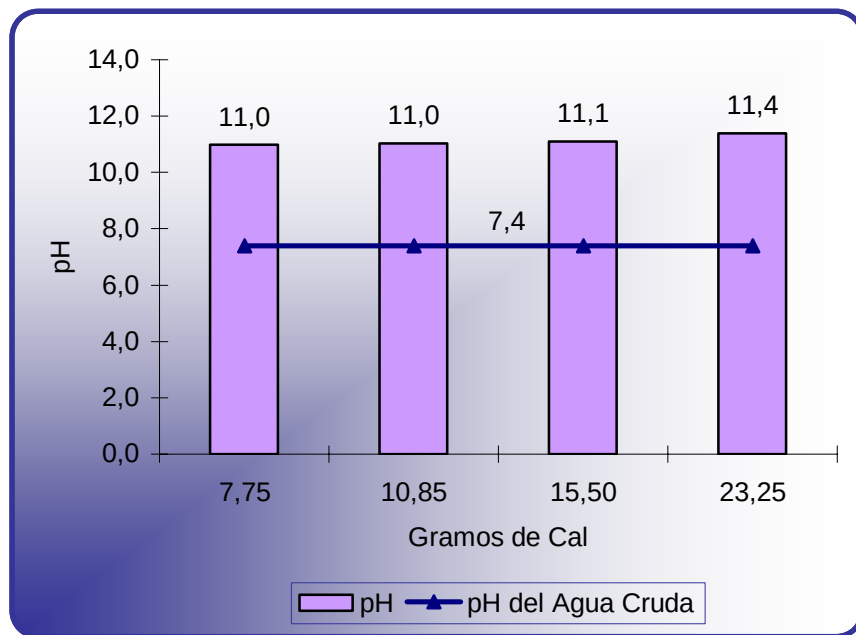
Fuente: Elaboración Propia



En el gráfico N° V-18 se observa que los niveles de fósforo en las aguas tratadas con cal disminuyeron considerablemente, hasta ser poco detectables en las 2 dosificaciones más altas. En las mismas el fósforo presente como Ortofosfatos fue removido casi al 100% .

Con respecto a la variación de pH en las aguas del reactor después del tratamiento con cal, los resultados se presentan en el gráfico N° V-19:

**Gráfico N° V-19. Variación de pH en el Agua del Reactor Biológico Tratada con Diferentes Cantidades de Cal**



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° V-19 se observa el aumento de pH a medida que aumentaba la cantidad de cal agregada a las muestras, el valor más bajo de pH es de 11,0; que de aplicarse cal en un clarificador secundario, el lodo no podría ser devuelto al reactor nuevamente, porque el pH no es adecuado para los microorganismos que se encuentran en el.

Las pruebas de jarra fueron realizadas en las aguas a la entrada de la planta de tratamiento, ya que la empresa deseaba aplicar un tratamiento físico-químico primario.

Sin embargo, en función a los resultados obtenidos sobre las variaciones de las concentraciones de fósforo y nitrógeno en las diferentes etapas del tratamiento de aguas residuales, se observó que de remover fósforo en la primera etapa del tratamiento, originaría un déficit de nutrientes en el reactor biológico, además de disminuir la carga orgánica en el mismo.

Por las razones anteriores se recomienda aplicar un tratamiento físico químico a las aguas en la salida del clarificador secundario y de esta manera la cantidad de fósforo a remover es menor a la que se obtendría en el tratamiento primario, puesto que en este punto las concentraciones de fósforo son menores y se podrían llevar hasta la concentración de 1 mg/l, la cual es la máxima permitida por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales Renovables en su decreto N° 3219.

### **Propuesta de Soluciones**

Después de haber observado los resultados de la caracterización de las aguas de la planta de tratamiento, se propone regular la entrada de agua a la PTAR con el fin de mejorar la eficiencia de los procesos, pues además de disminuir las variaciones de caudal, disminuye los cambios bruscos de concentración de nitrógeno y fósforo, carga de sólidos, materia orgánica y pH, mejorando la tratabilidad de las aguas, uniformando las cargas y proporcionando un flujo continuo.

Una vez estudiada la tecnología de tratamiento físico químico primario, se propone remover el fósforo con tratamiento físico químico, pero no en la etapa primaria, sino como un tratamiento terciario. En la salida del clarificador las concentraciones de fósforo son las más bajas de todas las etapas del tratamiento de las aguas residuales en la planta de embutidos, lo que implica una menor remoción de fósforo.

Otra ventaja de aplicar este tratamiento a la salida del clarificador y no en la primera etapa, es la necesidad de nutrientes que se debe cubrir para garantizar el buen funcionamiento del reactor biológico.

La propuesta incluye la construcción de un tanque de homogeneización de  $67 \text{ m}^3$  y un tanque de mezclado, floculación y sedimentación. A continuación se detalla información sobre las características y dimensiones requeridas de los mismos para alcanzar el objetivo principal: disminuir nitrógeno y fósforo en el efluente final de la PTAR.

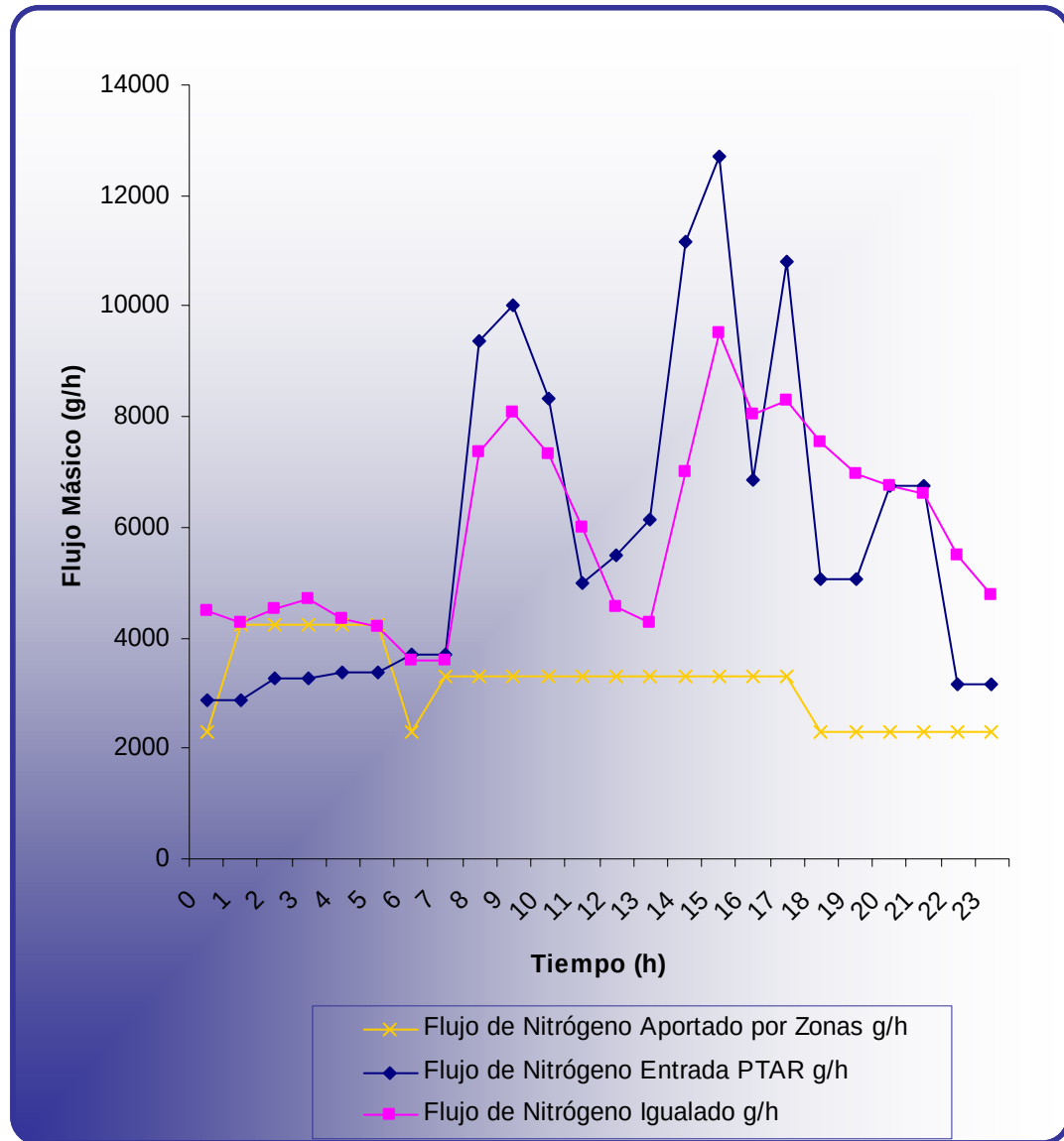
#### Tanque de Homogeneización

Con las gráficas de las variaciones de caudal y concentraciones de fósforo y nitrógeno en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales, durante la semana; se estudió la elaboración de un tanque de homogeneización, con el fin de homogenizar las aguas que entran en la PTAR, con el fin de disminuir el impacto de las mismas en las distintas etapas del tratamiento de las aguas residuales y mejorar el funcionamiento de los mismos.

Siguiendo los parámetros de diseño de tanques de homogeneización, del diagrama de masa obtenido del flujo acumulado versus tiempo, se determinó que el volumen del tanque de homogeneización debe ser de  $67 \text{ m}^3$ , el efecto de la homogeneización en los flujos de nitrógeno y fósforo a la entrada de la PTAR se presentan a continuación:

---

**Gráfico N° V-20. Efecto de la Homogeneización sobre el Flujo Másico de Nitrógeno Total Kjeldhal a la entrada de la PTAR**



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° V-20 se observa que los picos en la entrada de la planta de tratamiento son más suavizados después de la homogeneización logrando hacer las fluctuaciones menos bruscas.

Se observa que en la madrugada y las últimas horas de la noche la homogeneización de las concentraciones es más uniforme que durante el resto del día. Haciendo más uniforme la carga de nitrógeno en la planta de tratamiento de aguas residuales.

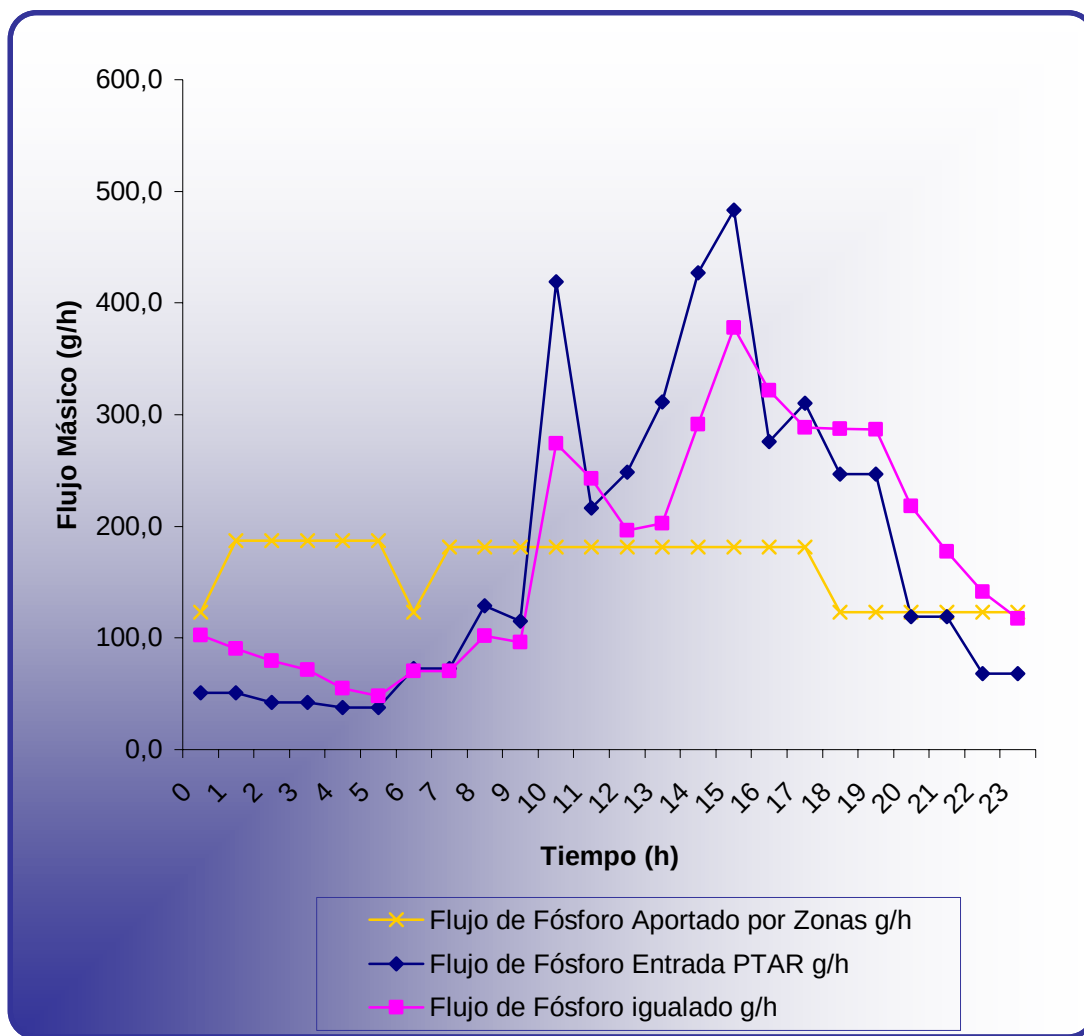
Sin el tanque de homogeneización la relación entre los flujo máxicos de Nitrógeno Total Kjeldhal máximo y medio estaba alrededor de 2,14, después de la homogeneización se disminuyó a 1,60, observándose que el flujo máximo de nitrógeno total disminuyó en 25%.

La relación entre el mínimo y el promedio es de 0,48 cuando no se aplica homogeneización y de 0,61 después de igualar las cargas. El flujo mínimo de Nitrógeno Total Kjeldhal aumenta, pero es con el fin de que las fluctuaciones no sean tan bruscas y mejorar el funcionamiento de los procesos de tratamientos de aguas residuales, posteriores.

Como se explicó en líneas anteriores, con el fin de suavizar el impacto en la planta de tratamiento de aguas residuales, con el tanque de homogeneización se logró disminuir la relación entre los flujos de Nitrógeno Total Kjeldhal máximos y mínimos 4,43 a 2,64, casi el 50%.

Con respecto a las concentraciones y los flujos de Fósforo Total en la entrada de la planta de tratamiento y el efecto del tanque de homogeneización se presenta a continuación el gráfico N° V-21:

**Gráfico N° V-21. Efecto de la Homogeneización sobre el Flujo Másico de Fósforo Total a la entrada de la PTAR**



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° V-21 se observa que la carga de fósforo de fósforo se logra homogeneizar un poco, sin embargo la suavización de los picos es menor que la obtenida con los niveles de nitrógeno total; esto se puede corroborar al estudiar las relaciones entre los flujos mínimo, promedios y máximo de Fósforo Total, sin homogeneizar y después de la igualación.

La relación entre el flujo máximo y mínimo disminuyó sólo 20%, de 2,75 a 2,15. Mientras que la relación entre el flujo de Fósforo Total mínimo y el medio aumentó de 0,22 a 0,28. Por otra parte la relación entre máximos y mínimos es de 12,75 cuando el proceso fluye normal y de 7,82 luego del igualamiento con el tanque de homogeneización; disminuyendo la desviación entre ambos en un 39%.

A pesar de que no se logró una uniformidad completa en el flujo de fósforo, si se logra suavizar el impacto de los cambios bruscos en las concentraciones de Fósforo Total en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales.

#### Tratamiento Físico Químico Terciario

Partiendo de los resultados de las pruebas de jarras y del comportamiento de las concentraciones de nitrógeno y fósforo en las diferentes etapas del tratamiento de aguas residuales, se observa que una remoción de fósforo y nitrógeno antes del reactor biológico, no es adecuado, ya que afectaría el buen funcionamiento del canal de oxidación, debido a un déficit de nutrientes y de carga orgánica que entraría en el mismo; afectando el funcionamiento del clarificador, y originando que otras variables, como sólidos suspendidos, turbidez e incluso fósforo y nitrógeno superen los niveles actuales, deteriorando la calidad del agua en el efluente final.

También se conoce que el empleo de químicos aumenta el contenido de sólidos disueltos y sería necesario estudiar los efectos de los niveles de aluminio o hierro (cualquiera sea el caso del químico a utilizar para precipitar el fósforo), sobre los microorganismos presentes en el reactor biológico.

Por estas razones, se estudia a continuación la aplicación del tratamiento físico-químico en el efluente del clarificador, con el fin de remover el fósforo en este punto.

Para ello se supone que el agua a la salida del clarificador, tiene el mismo comportamiento del agua en la entrada de la planta de tratamiento de aguas, ya que no se realizaron pruebas de jarras en este punto, debido a que como se explicó anteriormente, el equipo de jarras sólo se tuvo por un día y era requerimiento de la empresa el aplicar tratamiento físico químico en las aguas afluentes a la planta; razón por la cual suponemos que los porcentajes de remoción de fósforo serán los mismos que los obtenidos en la entrada de la planta de tratamiento.

Partiendo de que el mejor resultado se obtuvo con el tratamiento con 4 g/l alumbre, a continuación se presentan los equipos necesarios, para la dosificación del mismo.

*Tanque de Mezclado*

Para el diseño del tanque se consideró un tiempo de retención igual a un minuto y con la velocidad de 150 rpm, los mismos fueron tomados de las pruebas de jarras realizadas con alumbre, donde primero se realizó una mezcla rápida de 1 minuto y luego un mezclado lento de 5 minutos.

Partiendo del caudal medio suministrado por el tanque de homogeneización en la planta de tratamiento de aguas residuales ( $672 \text{ m}^3/\text{día}$ ) y un minuto como tiempo de retención, propone un mezclador con las siguientes características.

**Tabla N° V-13. Características del Tanque de Mezclado Rápido**

|                                            |                           |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| Volumen, ( $\text{m}^3$ )                  | 0,5                       |
| Tiempo de Retención (min)                  | 1                         |
| Profundidad (m)                            | 1                         |
| Diámetro (m)                               | 0,8                       |
| Tipo de Impulsor                           | Turbina de 6 palas planas |
| Potencia Requerida (W)                     | 110                       |
| Gradiente de Velocidad ( $\text{s}^{-1}$ ) | 543                       |

Fuente: Elaboración Propia



En la tabla N° V-13 se observa que se trata de un tanque circular bastante pequeño de 500 litros de capacidad, de allí que solo mida un metro de profundidad. Se puede emplear un impulsor similar al que se propone, para generar un gradiente de velocidad de  $598 \text{ s}^{-1}$ , típico en este tipo de mezcladores.

Con en este tanque se supone que se logra una mezcla completa del alumbre en el agua residual, tal como se observaba en las pruebas de jarra, para luego formar flóculos que precipitan con el fósforo.

#### Floculador

El floculador fue diseñado para un tiempo de retención igual a 5 minutos, para el caudal medio de  $672 \text{ m}^3/\text{día}$ , el área de las paletas fue supuesta con el fin de obtener un gradiente de velocidad dentro del rango típico para este tipo de floculadores con una velocidad.

**Tabla N° V-14. Características del Tanque de Floculación**

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| Volumen, ( $\text{m}^3$ )                  | 2,3 |
| Tiempo de Retención (min)                  | 5   |
| Profundidad (m)                            | 1   |
| Ancho (m)                                  | 0,9 |
| Longitud (m)                               | 2,7 |
| Área de las Paletas ( $\text{m}^2$ )       | 0,2 |
| Potencia Requerida (W)                     | 14  |
| Gradiente de Velocidad ( $\text{s}^{-1}$ ) | 88  |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla N° V-14 se observa un tanque también pequeño, que no ocupa mucho espacio y la potencia del mezclado es bajo, por lo que no generaría costos elevados de operación.

Sedimentador

Para diseñar el tanque de sedimentación se supuso un diámetro de partícula y gravedad específica de la misma, partiendo de datos suministrados por la bibliografía, donde se informa que los mismos oscilan entre 0,1 mm y 0,2 mm, con gravedades específicas de 1,02 a 1,03.

**Tabla N° V-15. Características del Sedimentador**

|                                                                        |      |
|------------------------------------------------------------------------|------|
| Volumen, (m <sup>3</sup> )                                             | 43   |
| Tiempo de Retención (min)                                              | 92   |
| Profundidad (m)                                                        | 2    |
| Ancho (m)                                                              | 2,1  |
| Longitud (m)                                                           | 10,4 |
| Tasa de Desbordamiento Superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·d) | 31   |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° V-15 los valores de obtenidos del dimensionamiento del sedimentador, se encuentran dentro de los rangos típicos, para un tanque donde se precipita flóculo de alumbre.

El sedimentador si es de gran volumen en comparación con los otros tanques, sin embargo, en la planta de embutidos se dispone de espacio suficiente cerca de la planta que puede ser empleado para disponer estos tratamientos.



El costo estimado de inversión en la elaboración de los tanques de homogeneización, mezclado, floculación y sedimentación, se presenta en la tabla N° V-16:

**Tabla N° V-16. Estimación de Costos de Inversión de la Propuesta**

| <b>Unidad</b>                         | <b>Costo de Inversión, \$</b> |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Tanque de homogeneización             | 12194                         |
| Agitador de turbina de 6 palas planas | 6167                          |
| Tanque de mezclado                    | 86                            |
| Agitador de palas                     | 784                           |
| Tanque de floculación                 | 419                           |
| Tanque de sedimentación               | 7826                          |
| <b>Total de Inversión</b>             | <b>27476</b>                  |

Fuente: Elaboración propia

Para la remoción de nitrógeno se propone un mejoramiento en el sistema de aireación del reactor. En Plumrose Latinoamericana, C. A., se dispone de 6 aireadores mecánicos de cepillo con una potencia de 17,5 kw, con una transferencia de oxígeno de 2 kg O<sub>2</sub> / kw y un rendimiento aproximado de 60%. Sin embargo, sólo la mitad de los aireadores se encuentran funcionando en buen estado, mientras que los otros tres presentan problemas en su funcionamiento.

En base a los cálculos teóricos sobre las necesidades de oxígeno del reactor, para la síntesis de la materia carbonosa y nitrogenada, así como el requerimiento de oxígeno necesario para la respiración endógena y el suministrado por los aireadores se estima la cantidad de aireadores mecánicos de cepillo necesarios para lograr nitrificar todo el Nitrógeno Total Kjeldhal presente en el reactor. En la tabla N° 17 se presentan los resultados de este cálculo:

**Tabla N° V-17. Requerimientos y Suministro de Oxígeno en el Reactor Biológico**

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| Oxígeno requerido en el reactor, kg / día                | 1049 |
| Oxígeno suministrado por cada aireador mecánico, kg /día | 318  |
| Número de aireadores mecánicos necesarios                | 3,3  |

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla N° V-17, es necesario que 4 rotores se encuentren en buen funcionamiento, y que 3 de ellos operen todo el tiempo, mientras que uno solo debe operar intermitentemente, manteniendo la concentración de oxígeno disuelto en el reactor de 2 a 4 mg/l.

Con esta propuesta se logra disminuir las concentraciones de Nitrógeno Total Kjeldhal, el cual es la única forma de nitrógeno regulada por el MARN en su decreto N° 3219. Sin embargo, se propone crear en la entrada del canal de oxidación una zona donde se lleve a cabo la desnitrificación, disminuyendo las cantidades de oxígeno suministrado en esta área del reactor, de esta manera se logrará pasar los nitritos y nitratos obtenidos en la nitrificación a nitrógeno gaseoso, disminuyendo la presencia del nitrógeno en el efluente final de la planta.

Es por ello que con un tratamiento físico químico a la salida del clarificador y un mejoramiento en el sistema de aireación del reactor se logrará disminuir las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la unidad de embutidos de Plumrose Latinoamericana, C.A.



## ***Capítulo VI:***

### ***Conclusiones y Recomendaciones***



## CONCLUSIONES

En esta sección se concluyen sobre los resultados obtenidos durante la elaboración de este trabajo:

- Durante la higienización el consumo de agua es prácticamente igual a la generación de las aguas residuales y el aporte de fósforo es más significativo que durante las horas de producción de las zonas, debido al uso de detergentes.
- Cuando se higieniza la zona de embutido de jamones se tiene el mayor aporte de nitrógeno hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, producto del aumento en la cantidad de residuos cárnicos que son desprendidos de los equipos de la zona.
- La mayor parte del nitrógeno que aportan las diferentes zonas se encuentra en forma orgánica, mientras que más del 50% de fósforo aportado por las zonas de estudio, se encuentra en forma de ortofosfatos.
- La corriente proveniente de curación y colgado es la que más contribuye con la presencia de fósforo en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- La Demanda Química de Oxígeno, el pH y las concentraciones de nitrógeno, y fósforo en la entrada de la planta fluctúan constantemente a lo largo del día.
- La unidad de flotación remueve un 34,7 % de Nitrógeno Total Kjeldhal, 16,6% de fósforo y disminuye en un 18,8% la Demanda Química de Oxígeno en las aguas.
- En el efluente de la PTAR la concentración de Nitrógeno Total Kjeldhal máxima registrada durante el estudio fue de 58 mg/l, mientras que la más baja fue de 14 mg/l.

- Las concentraciones de fósforo en el efluente final de la planta son de 15,3 mg/l la máxima y la mínima de 6,3 mg/l; mayores a los permitidos por el MARN en su decreto N° 3219.
- Los valores promedios de pH y de la Demanda Química de Oxígeno en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, están dentro del límite máximo permitido por el Estado para las descargas a la cuenca del Lago de Valencia.
- Los niveles de fósforo y nitrógeno en el reactor biológico superan a las concentraciones requeridos por el mismo, observándose un exceso de nutrientes.
- Los porcentajes de remoción de nitrógeno, obtenidos en la pruebas de jarra cuando se aplicó 500 mg/l del polímero coagulante MQ 131 y el floculante MQ 297 a las concentraciones de 2 mg/l y 3 mg/l en las aguas residuales de la entrada de la PTAR fueron de 30,8% y 38,5% respectivamente.
- La remoción de fósforo total de 8,4 % cuando la concentración del floculante MQ 297 fue de 2 mg/l y de 29% cuando se agregó 3 mg/l del polímero al agua cruda.
- Se observó una tendencia a disminuir el pH a medida que se aumentó la concentración del polímero floculante MQ 297. Dicha disminución es de 3% para la dosis más baja y 4% para la más alta.
- Al agregar los polímeros MQ 131 y MQ 297 se observó un aumento de los niveles de cloruro de 2,9% en la dosis mas baja y de 3,6% para la dosis más alta.



- Los porcentajes de remoción de Nitrógeno Total Kjeldhal en las aguas afluentes a la planta de tratamientos de aguas residuales, para las dosis de 2,7 g/l; 3,3 g/l y 4,0 g/l de alumbre son 7,7%; 42,3% y 80,8% respectivamente.
- Las disminuciones de fósforo total en el afluente de la PTAR para las dosis de 2,7 g/l; 3,3 g/l y 4,0 g/l de alumbre, son 61,5%; 69,8% y 84,5% respectivamente.
- A medida que se aumentó la dosis de alumbre en las pruebas de jarra se observó un descenso del pH del agua, disminuyendo un 5,6% para la dosis de 2,7 g/l de alumbre 9,7% para 3,3 g/l de alumbre y 16,7% para 4 g/l de alumbre.
- La mayor remoción de fósforo y nitrógeno en las aguas residuales de la entrada de la PTAR se observó cuando se realizaron las pruebas de jarra con alumbre.
- Los porcentajes de remoción de Nitrógeno Total Kjeldhal en las aguas del reactor biológico cuando se trataron con cal, son de 70,8%; 75,0%; 81,3%; y 91,7% para 7,75 g/l; 10,85 g/l; 15,50 g/l y 23,25 g/l, respectivamente.
- En las dosificaciones más altas de cal se logró una remoción cercana al 100% en ortofosfatos, en las aguas del reactor de oxidación.
- El pH en las aguas del reactor biológico aumento significativamente después del tratamiento con cal, siendo los valores obtenidos iguales a 11,0; 11,0; 11,1 y 11,4 para las respectivas dosis de cal de 7,75 g/l; 10,85 g/l; 15,50 g/l y 23,25 g/l.
- La disminución de las concentraciones de nitrógeno y fósforo obtenidas en las pruebas de jarra realizadas tanto en la etapa primaria, así como en la secundaria no

llegan a ser menores a las concentraciones establecidas por el Estado para las descargas a cuerpos de agua.

- Construyendo un tanque de homogeneización con una capacidad de  $67 \text{ m}^3$ , después de la unidad de desbaste, se podrá disminuir las fluctuaciones de caudal y de carga en la planta de tratamientos, mejorando el funcionamiento de los distintos procesos.
- Empleando un tratamiento físico químico terciario, se disminuirá las concentraciones de fósforo en el efluente final, para ello se deben construir tanques de mezclado rápido, floculación y sedimentación, cuyo costo de inversión incluyendo el tanque de homogeneización se encuentra por los \$ 27476.

## **RECOMENDACIONES**

A continuación se presentan las recomendaciones propuestas emanadas de la realización de este proyecto:

- Colocar tamices en los diferentes drenajes de la planta de embutidos y evaluar la disposición de los desechos sólidos cárnicos generados y recolectados en estos tamices.
- Evaluar la opción de cambiar los detergentes y productos empleados durante la higienización de las áreas, con el fin de disminuir las concentraciones de fósforo aportados por los mismos.
- Estudiar la recuperación de la salmuera en el área de curación y colgado, como tratamiento alternativo para disminuir las concentraciones de nitrógeno, fósforo y cloruros en la entrada de la planta de tratamientos de aguas residuales.
- Mejorar el sistema de recolección de grasas en la unidad de flotación, cambiando el silo destinado para su recolección. Esto con el fin de mejorar el proceso de lodos activados disminuyendo la cantidad de grasa que entra el mismo, así como las concentraciones de nitrógeno.
- Realizar pruebas de jarra con diferentes químicos, incluyendo el alumbre en las aguas a la salida del clarificador, para evaluar cual es el químico más apropiado para la remoción de fósforo, así como la dosis requerida del mismo.

- Determinar el efecto sobre las aguas, del químico empleado para la remoción del fósforo y estudiar si cumplen con los parámetros permitidos por el MARN sobre las descargas a cuerpos de agua.
- Determinar el volumen de lodo producido por la precipitación del fósforo en el sedimentador, así como su caracterización físico – química para estudiar el tratamiento y disposición del mismo.
- Mejorar el sistema de aireación en los lodos activados, ampliando el uso de los rotores, ya que de esta manera se logrará nitrificar el Nitrógeno Total Kjeldhal.
- Estudiar los parámetros físicos químicos que controla el estado sobre la descarga de aguas residuales en la cuenca del Lago de Valencia, ya que en el mismo sólo se regula el Nitrógeno Total Kjeldhal y no las otras formas de nitrógeno, como nitritos y nitratos.



## ***Referencias Bibliográficas***



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRICULTURE AND AGRI-FOOD CANADA (1999) **“Characterization of wastewater from hog slaughterhouses in Eastern Canada and evaluation of their in plant waste treatment systems”** Agriculture and Agri-Food Canada, Julio
- APHA, AWWA, WPCF, (2000) **“Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”** Edition 20<sup>th</sup>.
- BALMÉR, P. (1988) **“Control of phosphorus discharges: present situation and trends”** Hydrobiologia, volumen 170, número 1.
- CARAWAN, R. (1989). **“Meat Processing Water and Wastewater Management”** The North Carolina Agricultural Extension Service. Raleigh.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, (1998) **“Guía para el Control y Prevención de la contaminación Industrial. Industrias Procesadoras de Carne”**. Santiago de Chile, Chile.
- CORBITT, R. (2003) **“Manual de Referencia de la Ingeniería Ambiental”** Mc Graw- Hill. España.
- CRITES, R.; TCHOBANOGLOUS, (2000) **“Sistemas de Manejo de Aguas Residuales”** Tomo I, II y III. McGraw Hill, Colombia .
- CRUZ, J. (2004) **“Aguas Residuales: Un Compromiso Sostenible”** VirtualPro N° 26, Marzo. Bogotá.

- DELLA, M. (1980) **“An electrochemical sewage treatment process”** Journal of Applied Electrochemistry, volumen 10, número 4.
- IENCA (1983) **“Manual de Operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de IENCA”** Cagua, Venezuela.
- IRVINE, R. (1983) **“Municipal application of sequencing bath treatment at Culver”** Canada Journal of Water Pollution Control Federation, número 59.
- JOKO, I. (1984) **“Phosphorus removal from wastewater by the crystallization”** Method Water Science and Technology, número 17
- LARSON, T. (1993). **“The ideal Lime Softened Water”** AWWA.
- MANCY, K. (1973). **“Applied Chemistry of Wastewater Treatment. Programmed Learning. Unit VII: Applications, Inorganic Pollutants”** Cuarta edición. Ann Arbor Science Publishers Inc. Detroit.
- 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.
- MCCABE, W; SMITH, J y HARRIOTT, P. (1996) **“Operaciones Unitarias en Ingeniería Química”** Cuarta Edición. McGraw-Hill. Madrid, España.
- METCALF Y EDDY (1996) **“Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización”** Tomo I. McGraw Hill, México.

- METCALF Y EDDY (1996) **“Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización”** Tomo II. McGraw Hill, México.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE DE COLOMBIA, (2005) **“Formulación de Planes de Pretratamiento de Efluentes Industriales”** Disponible en: [http://sabanet.unisabana.edu.co/ingenieria/especializacion/ambiental/material/apoyo\\_lectura/cicloII/4toxicos/efluentes\\_industriales.pdf](http://sabanet.unisabana.edu.co/ingenieria/especializacion/ambiental/material/apoyo_lectura/cicloII/4toxicos/efluentes_industriales.pdf) Consultado en octubre de 2005.
- NALCO CHEMICAL COMPANY, KEMMER, F (1982) **“Manual del Agua, Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones”** Primera Edición, McGraw Hill, México.
- RIVAS, G. (1978) **“Tratamiento de Aguas Residuales”** Segunda Edición. Ediciones Vega. Madrid.
- ROMERO, J (1999) **“Tratamiento de Aguas de Residuales, Teoría y Principios de Diseño”** Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogota, Colombia.
- RYBICKI, S. (2005) **“New Technologies of Phosphorus Removal from Wastewater”** Disponible en: <http://www.lwr.kth.se/Forskningsprojekt/Polishproject/JPS3s121.pdf> Consultado en agosto de 2005.
- SAFFERMAN, S. (2003) **“Carbon and Nutrient removal in a Dual-Media Fluidized Bed Reactor”** Journal of Environmental Science and Health, volumen 38, número 9.



- SEMARNAT (2005) **“Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua”** Disponible en: [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx), Consultada en diciembre de 2005.
- SOTIRAKOU, E. (1999) **“Amonia and Phosphorus removal in Municipal Wastewater Treatment Plant with Extended Aeration”** Global Nest, volumen 1, número 1.
- TORO, E. **“Diseño General de un Tratamiento”** Disponible en: [www.tar5.eup.us.es/master/ponencias/pdf/disenio\\_tratamiento.pdf](http://www.tar5.eup.us.es/master/ponencias/pdf/disenio_tratamiento.pdf) Consultada en diciembre de 2005.
- WALAS, S. (1990) **“Chemical Process Equipment, Selection and Design”** Butterworth-Heinemann, USA.
- WILLIS, J. **“Best Management Practices for Nitrogen and Phosphorus Control in Rendering Plants”** Disponible en: [www.BMPrendering.htm](http://www.BMPrendering.htm). Consultado en diciembre de 2005.



## ***Cálculos Tipo***



## **CÁLCULOS TIPO**

### **Cálculos Referidos a los Parámetros Físico-Químicos**

#### Cálculo de la Concentración de Nitrógeno Total

Para determinar la concentración del nitrógeno total kjeldhal se emplea la siguiente fórmula:

$$C_{NTK} = \frac{Vg \times N \times E \times F}{V_M} \quad (C-1)$$

Donde,

$C_{NTK}$ : Concentración de Nitrógeno total Kjeldhal, mg/l.

Vg: Volumen de ácido consumidos en la titulación por la muestra, ml.

N: Normalidad del ácido clorhídrico, 0,1 N.

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

$V_M$ : Volumen de muestra, ml.

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

$$C_{NTK} = \frac{0,50 \times 0,1 \times 14 \times 1000}{10} = 70 \text{ mg/l}$$

#### Cálculo de la Concentración de Nitrógeno Orgánico

El cálculo de la concentración de nitrógeno orgánico es similar al de nitrógeno total kjeldhal:

$$C_{\text{NOrg}} = \frac{Vg \times N \times E \times F}{V_M} \quad (\text{C-2})$$

Donde,

$C_{\text{NOrg}}$ : Concentración de Nitrógeno Orgánico, mg/l.

Vg: Volumen de ácido consumidos en la titulación por la muestra, ml.

N: Normalidad del ácido clorhídrico, 0,1 N.

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

$V_M$ : Volumen de muestra, ml.

E: mg equivalentes a 1 ml. 0,1 N HCl.

$$C_{\text{NOrg}} = \frac{0,40 \times 0,1 \times 14 \times 1000}{10} = 56 \text{ mg / l}$$

#### Cálculo de la Concentración de Nitrógeno Amoniacal

La determinación de nitrógeno amoniacal se realiza por la diferencia entre el nitrógeno total kjeldhal y el nitrógeno orgánico.

$$C_{\text{N-NH}_3} = C_{\text{NTK}} - C_{\text{NOrg}} \quad (\text{C-3})$$

Donde,

$C_{\text{N-NH}_3}$ : Concentración de Nitrógeno Amoniacal, mg/l.

$C_{\text{NTK}}$ : Concentración de Nitrógeno Orgánico más Nitrógeno Amoniacal, mg/l.

$C_{\text{NOrg}}$ : Concentración de Nitrógeno Orgánico, mg/l.

$$C_{\text{N-NH}_3} = 259 - 238 = 21 \text{ mg / l}$$

### Determinación de la Curva Patrón de Fósforo

Para determinar las concentraciones de fósforo total y ortofosfatos, primero es necesario determinar la curva patrón, a partir de una solución patrón con concentración conocida a la cual se le mide el valor de transmitancia.

Con la transmitancia se calcula la absorbancia de cada patrón.

$$\text{Abs} = 2 - \log(\%T) \quad (\text{C-4})$$

Donde:

Abs: Absorbancia.

T: Transmitancia, %.

$$\text{Abs} = 2 - \log(94) = 0,027$$

Se grafica la absorbancia versus la concentración de los patrones y se obtiene el valor de la pendiente y el punto de corte.

$$y = mx + b \quad (\text{C-5})$$

Donde,

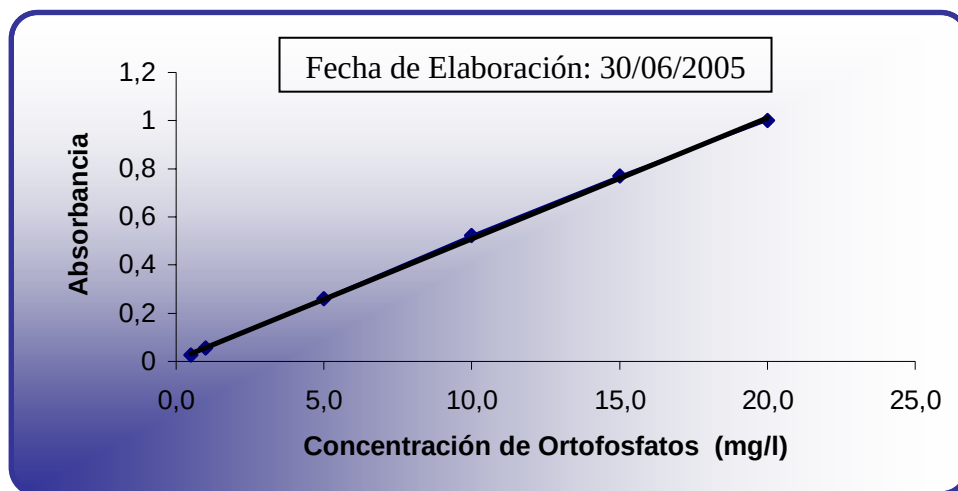
x: Concentración de Fosfato, mg/l.

y: Absorbancia.

b: Punto de corte.

m: Pendiente.

Gráfico N° C-1 Curva de Calibración de Ortofosfatos



$$y = 0,0502x + 0,0081$$

#### Cálculo de la Concentración de Fósforo Total y Ortofosfatos

La determinación de las concentraciones de fósforo total y ortofosfatos se realiza siguiendo el mismo procedimiento, en ambos casos y partiendo de las respectivas curvas patrón.

$$\text{Abs} = 2 - \log(94) = 0,027$$

Entonces:

$$C_p = \frac{\text{Absorbancia} - b}{m} \quad (\text{C-6})$$

Donde,

$C_p$ : Concentración de Fósforo, mg/l.

$b$ : Punto de corte de la recta patrón.

m : Pendiente de la recta patrón.

$$C_p = \frac{0,027 - 0,0081}{0,0502} = 0,4 \text{ mg/l}$$

#### Cálculo de la Demanda Química de Oxígeno

$$DQO = \frac{(V_B - V_A) \times N \times PE \times E \times F}{V_M} \quad (C-7)$$

Donde,

DQO: Demanda Química de Oxígeno, mg/l.

V<sub>A</sub>: Volumen de Tiosulfato consumido en la titulación por la muestra, ml.

V<sub>B</sub>: Volumen de Tiosulfato consumido en la titulación por el blanco, ml.

N: Normalidad Solución Tiosulfato.

PE: Peso equivalente del Oxígeno (8 gr/Eq).

F: Factor para llevar gramos a miligramos (1000).

E: Factor de dilución (si se utiliza).

V<sub>M</sub>: Volumen de muestra ensayada, ml.

$$DQO = \frac{(19,80 - 19,75) \times 0,05 \times 8 \times 20 \times 1000}{5} = 80 \text{ mg/l}$$

#### Cálculo de Sólidos Totales

Los sólidos totales se determinan empleando la siguiente fórmula:

---

$$ST = \frac{(P_f - P_i)}{V_M} \times 1000000 \quad (C-8)$$

Donde,

ST: Sólidos Totales, mg/l.

P<sub>i</sub> : Peso de la cápsula, g.

P<sub>f</sub> : Peso de la cápsula mas muestra seca, g.

V<sub>M</sub>: Volumen de muestra, ml.

$$ST = \frac{(34,3481 - 34,2909)}{10} \times 1000000 = 5720 \text{ mg/l}$$

#### Cálculo de Sólidos Suspendidos Totales

La fórmula empleada para determinar los sólidos suspendidos totales es la siguiente:

$$SST = \frac{(P_f - P_i)}{V_m} \times 1000000 \quad (C-9)$$

Donde,

SST: Sólidos Suspendidos Totales, mg/l.

P<sub>i</sub> : Peso de la cápsula, g.

P<sub>f</sub> : Peso de la cápsula mas muestra seca, g.

V<sub>M</sub> : Volumen de muestra, ml.

$$SST = \frac{(44,8635 - 44,8580)}{25} \times 1000000 = 220 \text{ mg/l}$$



### Cálculo de Sólidos Disueltos Totales

Los sólidos disueltos se calculan por diferencia entre los sólidos totales y los suspendidos:

$$\text{SDT} = \text{ST} - \text{SST} \quad (\text{C-10})$$

Donde,

SDT: Sólidos Disueltos Totales, mg/l.

ST: Sólidos Totales, mg/l.

SST: Sólidos Suspendidos Totales, mg/l.

$$\text{SDT} = 5720 - 220 = 5500 \text{ mg / l}$$

### Cálculo de la Concentración de Cloruro

Utilizando el equipo de titulación automática, sólo es necesario aplicar la siguiente fórmula, para determinar la concentración de cloruro.

$$C_{\text{Cl}^-} = \% \text{Sal} \times F$$

Donde,

$C_{\text{Cl}^-}$  : Concentración de Cloruros.

% Sal: Porcentaje de sal que arroja el equipo de titulación.

F: Factor de normalización del nitrato de plata y del programa del equipo, 1117

$$C_{\text{Cl}^-} = 6,2 \times 1117 = 6925 \text{ mg / l}$$

### Cálculo de Flujos Másicos

Los flujos másicos de cualquier compuesto se determina, empleando la siguiente fórmula:

$$\dot{m}_i = Q \times C_i \quad (C-11)$$

Donde,

$\dot{m}_i$  : Flujo másico del compuesto i, g/h.

Q: Caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/h.

C<sub>i</sub>: Concentración del compuesto i, mg/l.

$$\dot{m}_p = 16,8 \times 8,1 = 136,1 \text{ g/h}$$

### Cálculo de Concentraciones, Flujos y Caudales Promedio

Para determinar cualquier concentración, flujo o caudal promedio se emplea la misma fórmula en cada caso:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i^n X_i}{n} \quad (C-12)$$

Donde,

$\bar{X}$  : Promedio de la Variable de Estudio.

X<sub>i</sub>: Magnitud i de la Variable a promediar.

N: Números de datos a promediar.

$$\overline{C_p} = \frac{8,1 + 8,7}{2} = 8,4$$

#### Cálculo para Determinación de pH promedios

Para determinar el pH promedio primero se calcula la concentración de hidrógeno, empleando la siguiente fórmula:

$$[H^+] = 10^{-pH} \quad (C-13)$$

Donde,

$[H^+]$ : Concentración de Hidrógeno.

$$[H^+] = 10^{-7,5} = 3,16 \times 10^{-8}$$

Luego de tener todas las concentraciones de hidrógeno, se determina la concentración promedio de hidrógeno empleando la ecuación C-12, para después emplear la siguiente fórmula para determinar el pH promedio:

$$\overline{pH} = -\log[H^+] \quad (C-14)$$

$$\overline{pH} = -\log[3,16 \times 10^{-8}] = 7,5$$

#### Cálculo de la Demanda Bioquímica de Oxígeno

Como en el laboratorio de Plumrose Latinoamericana, C.A.; no se determinó la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se utiliza un factor obtenido por un laboratorio

externo producto de promediar el resultado de la Demanda Bioquímica de Oxígeno entre la Demanda Química de Oxígeno obtenida en dicho laboratorio, cuyo valor es de 0,57. Para determinar la Demanda Bioquímica de Oxígeno, se emplea la siguiente ecuación:

$$DBO_{5,20} = 0,57 \times DQO \quad (C-15)$$

Donde,

$DBO_{5,20}$ : Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días y a 20°C, mg/l.

DQO: Demanda Química de Oxígeno, mg/l.

$$DBO_{5,20} = 0,57 \times 960 = 547 \text{ mg/l}$$

#### Cálculo de Nitrógeno Requerido

Para calcular la cantidad de nitrógeno requerida en el reactor se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Nitrógeno Requerido} = \frac{DBO_{5,20}}{\text{Tasa Sugerida DBO / N}} \quad (C-16)$$

Donde,

$DBO_{5,20}$ : Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días y a 20°C, mg/l.

La tasa sugerida DBO/N es 20.

$$\text{Nitrógeno Requerido} = \frac{1360}{20} = 68 \text{ mg/l}$$

### Cálculo de Fósforo Requerido

Para calcular la cantidad de fósforo requerida en el reactor se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Fósforo Requerido} = \frac{\text{DBO}_{5,20}}{\text{Tasa Sugerida DBO/P}} \quad (\text{C-17})$$

Donde,

$\text{DBO}_{5,20}$ : Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días y a 20°C, mg/l.

La tasa sugerida DBO/P es 100.

$$\text{Fósforo Requerido} = \frac{1360}{100} = 13,6 \text{ mg/l}$$

### Cálculo de la Eficiencia de Remoción

Para determinar la cantidad removida, se emplea la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remocion} = \frac{\text{Valor}_\text{Inicial} - \text{Valor}_\text{Final}}{\text{Valor}_\text{Inicial}} \times 100 \quad (\text{C-18})$$

Donde,

Valor Inicial: Entrada al sistema de estudio.

Valor Final: Salida del sistema de estudio.

$$\% \text{ Remocion} = \frac{336 - 84}{336} \times 100 = 75\%$$

### **Cálculo del Efecto del Igualamiento**

Los cálculos se inician a partir del período en el cual el tanque de igualamiento está vacío. El período inicial se obtiene del diagrama de masas.

#### Cálculo del Volumen Afluyente Durante el Período

Se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$V_{ap} = Q \times t_p \quad (C-19)$$

Donde,

$V_{ap}$ : Volumen afluyente durante el período,  $m^3$

$Q$ : Caudal volumétrico,  $m^3/h$ .

$t_p$ : Tiempo de duración del período, h

$$V_{ap} = 35,90 \times 1 = 35,90 \text{ m}^3$$

#### Cálculo del Volumen en el Tanque de Homogenización al Final del Período

El volumen en el tanque de homogenización al final de cada período se obtiene por la expresión siguiente:

$$V = V_{pp} + V_{ap} - V_{ep} \quad (C-20)$$

Donde,

$V$ : Volumen en el tanque al final del período,  $m^3$

$V_{pp}$ : Volumen en el tanque al final del período previo,  $m^3$

$V_{ap}$ : Volumen afluente durante el período,  $m^3$

$V_{ep}$ : Volumen efluente durante el período,  $m^3$

$$V = 0,96 + 35,9 - 34,94 = 1,96 \text{ m}^3$$

#### Cálculo de la Concentración Igualada

Este cálculo se realiza tanto para las concentraciones de fósforo como las de nitrógeno, la misma representa la concentración promedio de fósforo o nitrógeno en el efluente del tanque de homogenización, y se calculan por la relación siguiente:

$$C_i = \frac{V_{ap} \times C + V_{pp} \times C_{ipp}}{V_{ap} + V_{pp}} \quad (C-21)$$

Donde,

$C_i$ : Concentración igualada del compuesto en el efluente durante el período, mg/l

$C$ : Concentración del compuesto en el afluente durante el período, mg/l

$C_{ipp}$ : Concentración igualada del compuesto en el período previo, mg/l

$V_{ap}$ : Volumen afluente durante el período,  $m^3$

$V_{pp}$ : Volumen en el tanque al final del período previo,  $m^3$

$$C_i = \frac{35,90 \times 103 + 0,96 \times 103}{35,90 + 0,96} = 103 \text{ mg/l}$$

#### Cálculo de la Carga Másica Igualada

La carga másica de nitrógeno o fósforo igualada se calcula por la relación siguiente:

$$m_i = C_i \times \bar{Q} \quad (C-22)$$

Donde,

$m_i$ : Carga másica igualada del compuesto, g/h

$C_i$ : Concentración igualada del compuesto en el efluente durante el período, mg/l

$\bar{Q}$ : Caudal promedio, m<sup>3</sup>/h

$$m_i = 103 \times 34,94 = 3599 \text{ g / h}$$

### **Cálculos Referidos al Diseño del Tanque de Mezclado**

Se supone un tiempo de retención igual a 1 minuto y de allí se derivan los cálculos:

#### Cálculo del Volumen del Tanque

La fórmula empleada para determinar el volumen del tanque es la siguiente:

$$V = Q \times t \quad (C-23)$$

Donde,

$V$ : Volumen del tanque, m<sup>3</sup>.

$Q$ : Caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/h.

$t$ : Tiempo de retención, h.

$$V = 28 \times 0,017 = 0,5 \text{ m}^3$$



### Cálculo del Área Superficial

Suponiendo un valor de profundidad igual a 1 m, se calcula el área superficial del tanque:

$$A_s = \frac{V}{H} \quad (C-24)$$

Donde,

$A_s$ : Área superficial,  $m^2$ .

$V$ : Volumen del tanque,  $m^3$ .

$H$ : Profundidad del tanque, m.

$$A_s = \frac{0,5}{1} = 0,5 m^2$$

### Cálculo del Diámetro del Tanque

Diseñando un tanque circular se puede obtener el diámetro utilizando la siguiente fórmula:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A_s}{\pi}} \quad (C-25)$$

Donde,

$D$ : Diámetro del tanque, m.

$A_s$ : Área superficial,  $m^2$ .

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,5}{\pi}} = 0,8 \text{ m}$$

#### Cálculo del Diámetro del Impulsor

Se supone un turbina de 6 palas planas y se determina el diámetro del impulsor a partir de la siguiente ecuación:

$$D_i = \frac{1}{3} \times D \quad (\text{C-26})$$

Donde,

$D_i$ : Diámetro del impulsor, m.

$D$ : Diámetro del tanque, m.

$$D_i = \frac{1}{3} \times 0,8 = 0,26 \text{ m}$$

#### Cálculo del Número de Reynolds

Para obtener la potencia de mezclado, es necesario determinar en que régimen se encuentra el flujo a mezclar, suponiendo una velocidad de 150 rpm:

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 \times n_r \times \rho}{\mu} \quad (\text{C-27})$$

Donde,

$N_{Re}$ : Número de Reynolds.

$D_i$ : Diámetro del impulsor, m.

$n_r$ : Número de revoluciones por segundo.

$\rho$ : Densidad del fluido a la temperatura de la mezcla,  $\text{kg/m}^3$  ( $995,65 \text{ kg/m}^3$  a  $T = 30^\circ\text{C}$ ).

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido a la temperatura de la mezcla,  $\text{Nxseg/m}^2$  ( $7,98 \times 10^{-4} \text{ Nxseg/m}^2$  a  $T = 30^\circ\text{C}$ ).

$$N_{\text{Re}} = \frac{0,26^2 \times 2,5 \times 995,65}{7,98 \times 10^{-4}} = 205929$$

#### Cálculo de la Potencia Requerida

Como el régimen es turbulento se emplea la siguiente ecuación:

$$P = k \times \rho \times n_r^3 \times D_i^5 \quad (\text{C-28})$$

Donde,

P: Potencia requerida, W.

k: Constante que depende del tipo de mezclador (6,3 para la turbina de 6 palas planas).

$\rho$ : Densidad del fluido a la temperatura de la mezcla,  $\text{kg/m}^3$  ( $995,65 \text{ kg/m}^3$  a  $T = 30^\circ\text{C}$ ).

$n_r$ : Número de revoluciones por segundo.

$D_i$ : Diámetro del impulsor, m.

$$P = 6,3 \times 995,65 \times 2,5^2 \times 0,26^5 = 110 \text{ W}$$

#### Cálculo del Gradiente de Velocidad

Para determinar el gradiente de velocidad se utiliza la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times V}} \quad (C-29)$$

Donde,

G: Gradiente de velocidad, s<sup>-1</sup>.

P: Potencia requerida, W.

μ: Viscosidad dinámica del fluido a la temperatura de la mezcla, Nxseg/m<sup>2</sup> (7,98x10<sup>-4</sup> Nxseg/m<sup>2</sup> a T= 30°C).

V: Volumen del tanque, m<sup>3</sup>.

$$G = \sqrt{\frac{110}{7,98 \times 10^{-4} \times 0,5}} = 543 \text{ s}^{-1}$$

### **Cálculos Referidos al Diseño del Tanque de Floculación**

Se supone un tiempo de retención igual a 5 minutos y de allí se derivan los cálculos:

#### Cálculo del Volumen del Tanque

La fórmula empleada para determinar el volumen del tanque es la C-23:

$$V = 28 \times 0,083 = 2,3 \text{ m}^3$$

#### Cálculo del Área Superficial

Suponiendo un valor de profundidad igual a 1 m, se calcula el área superficial del tanque, con la ecuación C-24:

$$A_s = \frac{2,3}{1} = 2,3 \text{ m}^2$$

#### Cálculo del Ancho del Tanque

Suponiendo una relación entre el largo y el ancho, se calcula el ancho a través de la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{A_s}{R_{L/a}}} \quad (C-30)$$

Donde,

a: Ancho del tanque, m.

$A_s$ : Área superficial,  $\text{m}^2$ .

$R_{L/a}$ : Relación entre el largo y el ancho del tanque.

$$a = \sqrt{\frac{2,3}{3}} = 0,88 \text{ m}$$

#### Cálculo de la Longitud del Tanque

Partiendo de la relación entre la longitud y el ancho se obtiene la longitud del tanque:

$$L = R_{L/a} \times a \quad (C-31)$$

Donde,

L. Longitud del tanque, m.

a: Ancho del tanque, m.

$R_{L/a}$ : Relación entre el largo y el ancho del tanque.

$$L = 3 \times 0,94 = 2,65 \text{ m}$$

#### Cálculo del Ancho de las Paletas

La longitud de la paleta se calcula suponiendo que las mismas miden el 50% de la longitud del tanque:

$$L_p = L \times 0,5 \quad (C-32)$$

Donde,

$L_p$ : Longitud de la paleta, m.

L: Longitud del tanque, m.

$$L_p = 2,65 \times 0,5 = 1,32 \text{ m}$$

#### Cálculo del Ancho de las Paletas

El ancho de las paletas se calcula suponiendo un décimo de la longitud de la paleta

$$a_p = \frac{L_p}{10} \quad (C-33)$$

Donde,

$a_p$ : Ancho de la paleta, m.

$L_p$ : Longitud de la paleta, m.

$$a_p = \frac{1,32}{10} = 0,13 \text{ m}$$

#### Cálculo del Área de las Paletas

Se emplea la siguiente fórmula para determinar el área de las paletas:

$$A_p = L_p \times a_p \quad (\text{C-34})$$

Donde,

$A_p$ : Área de las paletas,  $\text{m}^2$ .

$L_p$ : Longitud de la paleta, m.

$a_p$ : Ancho de la paleta, m.

$$A_p = 1,32 \times 0,13 = 0,18 \text{ m}^2$$

#### Cálculo de la Potencia Requerida

En este tanque se utilizan paletas, para mezclar, partiendo del área de las mismas, se supone la velocidad de ellas, para obtener la potencia que permita determinar un gradiente velocidad dentro de los rangos típicos de operación de estos tanques:

$$P = \frac{C_D \times A_p \times \rho \times v^3}{2} \quad (\text{C-35})$$

Donde,

$P$ : Potencia requerida, W.

$C_D$ : Coeficiente de resistencia de las paletas (1,8).

$A_p$ : Área de las paletas,  $m^2$ .

$\rho$ : Densidad del fluido a la temperatura de la mezcla,  $kg/m^3$  ( $995,65 kg/m^3$  a  $T= 30^\circ C$ ).

$v$ : Velocidad relativa de las paletas, típicamente entre 0,7 y 0,8 de la velocidad de las paletas.

$$P = \frac{1,8 \times 0,18 \times 995,65 \times (0,75 \times 0,6)^5}{2} = 14 W$$

#### Cálculo del Gradiente de Velocidad

Para determinar el gradiente de velocidad se utiliza la ecuación C-29:

$$G = \sqrt{\frac{14}{7,98 \times 10^{-4} \times 2,3}} = 88 s^{-1}$$

### **Cálculos Referidos al Diseño del Sedimentador**

Se supone un diámetro de partícula igual a 0,2 mm y una gravedad específica de 1,02 y a partir de allí se derivan los cálculos:

#### Cálculo del Número de Reynolds

Se supone una velocidad de asentamiento, para calcular el Reynolds y luego se calcula la velocidad de asentamiento dependiendo del régimen, para verificar si la velocidad supuesta es la correcta.

$$N_{Re} = \frac{d_p \times v_s}{\nu} \quad (C-36)$$



Donde,

$N_{Re}$ : Número de Reynolds.

$d_p$ : Diámetro de partículas, m.

$v_s$ : Velocidad de asentamiento, m/seg.

$\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido a la temperatura del mismo,  $m^2/s$  ( $8,01 \times 10^{-7} m^2/s$  para  $T = 30^\circ C$ ).

$$N_{Re} = \frac{0,2 \times 10^{-3} \times 5,4 \times 10^{-4}}{8,01 \times 10^{-7}} = 0,14$$

#### Cálculo de la Velocidad de Asentamiento

Conociendo el régimen se calcula la velocidad de asentamiento por la siguiente ecuación, y el resultado se compara con el la velocidad de asentamiento supuesta:

$$v_s = \frac{g}{18} \times \frac{(S_p - 1) \times d_p^2}{\nu} \quad (C-37)$$

Donde,

$v_s$ : Velocidad de asentamiento, m/seg.

$g$ : Gravedad  $m/seg^2$  ( $9,81 m/seg^2$ ).

$S_p$ : Gravedad específica de la partícula (1,02).

$d_p$ : Diámetro de partículas, m.

$\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido a la temperatura del mismo,  $m^2/s$  ( $8,01 \times 10^{-7} m^2/s$  para  $T = 30^\circ C$ ).

$$v_s = \frac{9,81}{18} \times \frac{(1,02 - 1) \times (0,2 \times 10^{-3})^2}{8,01 \times 10^{-7}} = 5,4 \times 10^{-4} m/s$$

### Cálculo de la Tasa de Desbordamiento Teórica

La tasa de desbordamiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$TDS_{Teórica} = v_s \times 86400 \quad (C-38)$$

Donde,

$TDS_{Teórica}$ : Tasa de desbordamiento teórica,  $m^3/m^2 \times día$ .

$v_s$ : Velocidad de asentamiento, m/seg.

$$TDS_{Teórica} = 5,4 \times 10^{-4} \times 86400 = 47 m^3 / m^2 \times día$$

### Cálculo de la Tasa de Desbordamiento Real

La tasa de desbordamiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$TDS_{Real} = \frac{TDS_{Teórica}}{R_{TDS_{Teórica}/TDS_{Real}}} \quad (C-39)$$

Donde,

$TDS_{Real}$ : Tasa de desbordamiento real,  $m^3/m^2 \times día$ .

$TDS_{Teórica}$ : Tasa de desbordamiento teórica,  $m^3/m^2 \times día$ .

$R_{TDS_{Teórica}/TDS_{Real}}$ : Relación entre las tasas de desbordamiento teórica y real (1,5).

$$TDS_{Real} = \frac{47}{1,5} = 31 m^3 / m^2 \times día$$

### Cálculo del Área Superficial

Partiendo del valor de la  $TDS_{Real}$ :

$$A_s = \frac{Q \times 24}{TDS_{Real}} \quad (C-40)$$

Donde,

$A_s$ : Área superficial,  $m^2$ .

$Q$ : Caudal volumétrico,  $m^3/h$ .

$TDS_{Real}$ : Tasa de desbordamiento teórica,  $m^3/m^2 \times día$ .

$$A_s = \frac{28 \times 24}{31} = 21,5 m^2$$

### Cálculo del Ancho del Tanque

Suponiendo una relación entre el largo y el ancho, se calcula el ancho a través de la ecuación C-30:

$$a = \sqrt{\frac{21,5}{5}} = 2,1 m$$

### Cálculo de la Longitud del Tanque

Partiendo de la relación entre la longitud y el ancho se obtiene la longitud del tanque partir de la ecuación C-31

$$L = 5 \times 2,1 = 10,4 m$$

### Cálculo del Volumen del Tanque

Suponiendo una profundidad se determina el volumen del tanque con la siguiente ecuación:

$$V = A_s \times p \quad (C-41)$$

Donde,

V: Volumen del tanque, m<sup>3</sup>.

A<sub>s</sub>: Área superficial, m<sup>2</sup>.

p: Profundidad del tanque, m.

$$V = 21,5 \times 2 = 43 \text{ m}^3$$

### Cálculo del Tiempo de Retención

La fórmula empleada para determinar el tiempo de retención es la siguiente:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (C-42)$$

Donde,

t: Tiempo de retención, h.

V: Volumen del tanque, m<sup>3</sup>.

Q: Caudal volumétrico, m<sup>3</sup>/h.

$$t = \frac{43}{28} = 1,53 \text{ h}$$

#### Cálculo del Área Transversal

El área transversal se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$A_T = a \times p \quad (\text{C-43})$$

Donde,

$A_T$ : Área transversal,  $\text{m}^2$ .

$a$ : Ancho del tanque, m.

$p$ : Profundidad del tanque, m.

$$A_T = 2,1 \times 2 = 4,2 \text{ m}^2$$

#### Cálculo de la Velocidad Horizontal

La velocidad horizontal se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$v_H = \frac{Q}{A_T \times 3600} \quad (\text{C-44})$$

Donde,

$v_H$ : Velocidad de Horizontal, m/seg.

$Q$ : Caudal volumétrico,  $\text{m}^3/\text{h}$ .

$A_T$ : Área transversal,  $\text{m}^2$ .

$$v_H = \frac{28}{4,2 \times 3600} = 1,9 \times 10^{-3} \text{ m/seg}$$

### Cálculo de la Velocidad Crítica de Arrastre

Para determinar la velocidad de crítica de arrastre, se utiliza la siguiente fórmula:

$$v_c = \sqrt{\frac{8 \times K}{f} \times (S_p - 1) \times g \times d_p} \quad (C-45)$$

Donde,

$v_c$  : Velocidad de Resuspensión, m/seg.

K: 0,04 para material unigranular y 0,06 para material viscoso

g: Gravedad m/seg<sup>2</sup> (9,81 m/seg<sup>2</sup>).

$S_p$ : Gravedad específica de la partícula (1,02).

$d_p$ : Diámetro de partículas, m.

f: Factor de fricción de Darcy-Weisbach, usualmente entre 0,02 y 0,03

$$v_c = \sqrt{\frac{8 \times 0,04}{0,02} \times (1,02 - 1) \times 0,2 \times 9,81 \times 10^{-3}} = 0,025 \text{ m / seg}$$

### **Cálculos Referidos al Sistema de Aireación**

Para el cálculo de necesidades de oxígeno, se toman los caudales y concentraciones máximas, con la temperatura promedio del reactor de oxidación:

### Cálculo del Factor de Carga

Se emplea calcula empleando la siguiente ecuación:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times \text{DBO}_{5,20_0}}{V \times C_{\text{SSLM}}} \quad (\text{C-46})$$

Donde,

F/M: Carga másica,  $\text{d}^{-1}$

Q: Caudal volumétrico,  $\text{m}^3/\text{d}$ .

$\text{DBO}_{5,20_0}$  : Demanda Bioquímica de Oxígeno en la entrada del reactor,  $\text{mg/l}$ .

V: Volumen del tanque,  $\text{m}^3$ .

$C_{\text{SSLM}}$ : Concentración de sólidos suspendidos en el reactor,  $\text{mg/l}$ .

$$\frac{F}{M} = \frac{672 \times 461}{3150 \times 2045} = 0,05 \text{d}^{-1}$$

#### Cálculo de Necesidades de Oxígeno por Materia Carbonosa

Se emplea el Modelo de Eckenfelder:

$$\text{kg O}_2 / \text{día}_{\text{MC}} = a' \times \frac{\text{DBO}_{5,20_0} - \text{DBO}_{5,20}}{1000} + b' \times V \times C_{\text{SSLM}} \quad (\text{C-47})$$

Donde,

$\text{Kg O}_2/\text{día}_{\text{MC}}$ : Kilogramos de Oxígeno requeridos en un día para la síntesis de la materia carbonosa.

$a'$ : Coeficiente estequiométrico que define la necesidad de  $\text{O}_2$  para síntesis,  $\text{kg O}_2/\text{kg DBO}_{5,20}$ , eliminada en función de la edad del fango.

$\text{DBO}_{5,20_0}$  : Demanda Bioquímica de Oxígeno en la entrada del reactor,  $\text{mg/l}$ .

$\text{DBO}_{5,20}$  : Demanda Bioquímica de Oxígeno en el reactor,  $\text{mg/l}$ .

$b'$ : Coeficiente cinético que define el desarrollo de la respiración endógena, kg O<sub>2</sub>/kg SSLM/día, en función de la temperatura y la edad del fango.

$V$ : Volumen del tanque, m<sup>3</sup>.

$C_{SSLM}$ : Concentración de sólidos suspendidos en el reactor, mg/l.

Es necesario corregir el coeficiente cinético con la temperatura, mediante la siguiente ecuación:

$$b'_T = b'_{20} \times Y^{(T-20)} \quad (C-48)$$

Donde,

$b'_T$ : Coeficiente cinético que define el desarrollo de la respiración endógena a la temperatura  $T$ , kg O<sub>2</sub>/kg

$b'_{20}$ : Coeficiente cinético que define el desarrollo de la respiración endógena a 20 °C, kg O<sub>2</sub>/kg

$Y$ : Constante cuyo valor es de 1,07 para  $T$  de 5 °C a 35 °C.

$T$ : Temperatura, °C.

$$b'_T = 0,040 \times 1,07^{(29,1-20)} = 0,074 \text{ d}^{-1}$$

$$\text{kg O}_2 / \text{día}_{MC} = 0,66 \times \frac{461 - 659}{1000} + 0,074 \times 3150 \times 2045 = 370$$

### Cálculo de Necesidades de Oxígeno por Materia Nitrogenada

Se emplea el Modelo de Eckenfelder:



$$\text{kg O}_2 / \text{día}_{\text{NTK}} = \frac{4,57 \times Q \times C_{\text{NTK}}}{1000} \quad (\text{C-49})$$

Donde,

$\text{Kg O}_2/\text{día}_{\text{NTK}}$ : Kilogramos de Oxígeno requeridos en un día para la síntesis de la materia nitrogenada.

Q: Caudal volumétrico,  $\text{m}^3/\text{d}$ .

$C_{\text{NTK}}$ : Concentración de Nitrógeno Total Kjeldhal en el reactor,  $\text{mg/l}$ .

$$\text{kg O}_2 / \text{día}_{\text{NTK}} = \frac{4,57 \times 672 \times 221}{1000} = 679$$

#### Cálculo del Coeficiente de Transferencia

Se emplea la siguiente ecuación:

$$K_t = K_{t_1} \times \frac{(\beta \times C_{ss} \times \zeta) - C_I}{C_s} \times 1,025^{(T-T_s)} \quad (\text{C-50})$$

Donde,

$K_t$ : Constante de Transferencia.

$K_{t_1}$ : Factor que relaciona la transferencia de oxígeno en el fango activado y la transferencia en el agua destilada. Para aguas residuales Urbanas:

Aireadores Superficiales: 0,75 - 0,98

Difusores: 0,40 – 0,80

$\beta$ : Factor de corrección para la salinidad y la tensión superficial, depende del Agua Residual, típicamente de 0,95 - 0,98.

$C_{ss}$ : Nivel de saturación del Oxígeno en agua pura a la temperatura del licor,  $\text{mg/l}$

$\zeta$ : Factor que relaciona la presión barométrica y la altitud del emplazamiento de la instalación.

CI: Nivel de Oxígeno disuelto que se quiere mantener en el licor mezcla, mg/l (2 mg/l).

Cs: Nivel de saturación del agua pura en condiciones estandar, en general a 20 °C es 9,17 mg/l.

$$Kt = 0,87 \times \frac{(0,98 \times 7,61 \times 0,981) - 2}{9,17} \times 1,025^{(29,1-20)} = 0,63$$

#### Generación de Oxígeno por Aireador Mecánico

Partiendo de los aireadores de cepillo y su potencia se calcula la generación de oxígeno del mismo:

$$\text{kg O}_2 / \text{día}_{\text{AM}} = \psi \times \eta \times P \times 24 \quad (\text{C-51})$$

Donde,

Kg O<sub>2</sub>/día<sub>AM</sub>: Kilogramos de Oxígeno generados en un día por el aireador mecánico.

$\psi$ : Aporte específico de aireadores mecánicos, kg O<sub>2</sub> / kwh. (2 kg O<sub>2</sub> / kwh).

P: Potencia requerida, kw.

$\eta$ : Rendimiento del equipo.

$$\text{kg O}_2 / \text{día}_{\text{AM}} = 2 \times 0,6 \times 17,5 \times 24 = 504$$

#### Cálculo de la Tasa Real de Transferencia de Oxígeno

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$O_2 \text{ Real} = \text{kg } O_2 / \text{día}_{AM} \times Kt \quad (C-52)$$

Donde,

$O_2$  Real: Tasa real de transferencia de oxígeno en condiciones de campo, kg/día

$\text{Kg } O_2/\text{día}_{AM}$ : Kilogramos de Oxígeno generados en un día por el aireador mecánico.

$Kt$ : Constante de Transferencia.

$$O_2 \text{ Real} = 504 \times 0,63 = 317,5 \text{ kg / día}$$

#### Cálculo del Número de Aireadores de Cepillo

Conociendo la cantidad de oxígeno requerida para la síntesis de materia carbonosa y nitrogenada, y la generada por el aireador, se puede determinar la cantidad de aireadores de cepillo necesarios:

$$N_{AM} = \frac{\text{kg } O_2 / \text{día}_{MC} + \text{kg } O_2 / \text{día}_{NTK}}{O_2 \text{ Real}} \quad (C-53)$$

Donde,

$N_{AM}$ : Número de aireadores mecánicos.

$O_2$  Real: Tasa real de transferencia de oxígeno en condiciones de campo, kg/día

$\text{Kg } O_2/\text{día}_{AM}$ : Kilogramos de Oxígeno generados en un día por el aireador mecánico.

$$N_{AM} = \frac{370 + 679}{317,5} = 3,29 \approx 4$$

### **Cálculos Referidos a la Estimación de Costo**

Las estimaciones de los mezcladores se realiza mediante una fórmula para calcular costos en función del material, la velocidad de agitación y la potencia requerida. Mientras que para calcular el precio de la construcción del tanque, se emplea el costo del material por dimensiones del tanque.

#### Cálculo del Costo del Agitador

Se emplea la siguiente ecuación:

$$C_A = \exp[a + b \times \ln P + c \times (\ln P)^2] \quad (C-54)$$

Donde,

$C_A$ : Costo del Agitador, \$.

$P$ : Potencia requerida, Hp.

$a$ ,  $b$  y  $c$ : Constantes de estimación de costos del agitador que dependen del material y la velocidad del agitador.

$$C_A = \exp[6,62 + 0,2474 \times \ln 0,02 + 0,0654 \times (\ln 0,02)^2] = 784\$$$

#### Cálculo del Costo del Tanque

Conociendo el material y el precio (Concreto 180 kg/cm<sup>2</sup>), se estima el costo del tanque.

$$C_T = P_M \times V \quad (C-55)$$

Donde,

$C_T$ : Costo del tanque, \$

$P_M$ : Precio del material de construcción del tanque, \$/m<sup>3</sup>. (182 \$/m<sup>3</sup>)

$V$ : Volumen del tanque, m<sup>3</sup>.

$$C_T = 182 \times 2,3 = 419\$$$

