

UNIVERSIDAD SANTA MARÍA

FACULTAD DE FARMACIA

ESUELA DE FARMACIA

Estudio y Análisis del Impacto Directo de La Descarga de Lavadura
Sobre la Planta De Agua Residuales De Carretería Polar S.p.A.
LOS GORTIJS - CARACAS
Alternativas y Métodos Para Su Manejo Directo.

Author: Mark Edward Acosta, O.

Tutor Industrial: Ing. Luis Medina

Tutor Académico: Dra. Mirta Prince de Lara

Caracas, 20 de Mayo de 1996



CARACAS - VENEZUELA

FACULTAD DE FARMACIA

ESCUELA DE FARMACIA

MENCION CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS

TESIS DE GRADO

Universidad Santa María



Estudio y Análisis del Impacto Directo de La Descarga de Levadura
Sobre La Planta De Aguas Residuales De Cervecería Polar. Sede:
LOS CORTIJOS – CARACAS
Alternativas y Métodos Para Su Manejo Directo.

Bach. Marx Edward Acosta .O.

Tutor Industrial: Ing. Luis Medina

Tutor Académico: Dra. Mirtha Prince de Lara

Caracas ,20 de Mayo de 1996

AGRADECIMIENTO

Para la realización del presente trabajo, tuve el privilegio de contar con la ayuda incondicional de numerosas personas, quienes en diferentes formas y momentos dieron lo mejor de sí mismas, brindándome apoyo, experiencia y conocimientos, colaboración, dirección, consejo y guía, en general el soporte, apoyo y estímulo necesarios e imprescindibles, para lograr la meta.

De esta forma y con inmensa gratitud, deseo dejar testimonio de mi agradecimiento a las siguientes personas:

Empresas Polar, mediante la oportunidad brindada por el Ing. Oscar Grossman y el Lic. Leopoldo Rodríguez, permitiéndome abrir un camino para desarrollarme.

A los ingenieros Augusto Báez y Augusto Isern de la Gerencia de Aguas y Ambiente, quienes me ofrecieron confianza y me acogieron en sus espacios por siete meses, me brindaron sus conocimientos, me guiaron y fueron claves a lo largo de este período.

Marco Antonio Fonseca, René Resh y Silvio Vásquez por su valiosa cooperación.

William Gutiérrez y todo el personal de la P.T.A.R., el equipo de mecánicos y electricistas del área, quienes contribuyeron notablemente en la ejecución del proyecto; y a Jorge Amaro, quien fue mi guía y amigo incondicional.

Armando Dreyer y el personal del Laboratorio Central: David Díaz, Juan Carlos Osorio, José Rivas, Janet; quienes me brindaron ayuda y amistad, en

especial Ronald Rudas por compartir conmigo todos sus conocimientos y Anécdotas.

La Profesora Mirtha Prince por su ayuda y preocupación, igualmente el Personal del Laboratorio de Química Analítica cuantitativa de la universidad Santa María de la Facultad de Farmacia.

Luis Medina , David Gómez, Richard Rangel y todo el personal de Planta Los Cortijos por brindarme todos los recursos necesarios.

La profesora Mariangela Ruiz de la Universidad Santa María, por su ayuda y Preocupación; y por sus enseñanzas a lo largo de la carrera.

Mis padres y hermanos por su constante preocupación y solidaridad, por el Entusiasmo y fuerzas que me imprimieron para no detener mi búsqueda y no cesar hasta alcanzar la meta, especialmente a mi madre Amarilis de Acosta.

A todos ellos mi agradecimiento.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I - TEMA DE INVESTIGACIÓN	3
I - 1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	4
I - 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
I - 3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
I - 3.1 Objetivos Generales.....	9
I - 3.2 Objetivos Específicos.....	9
CAPITULO II - MARCO TEÓRICO.....	11
II - 1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	13
II - 1.1 Reseña Histórica de Cervecería Polar C.A.....	13
II - 1.2 Modelo Corporativo de Organización de Empresas Polar.....	15
II - 1.3 Ubicación del proyecto en Empresas Polar	16
II - 1.3.1 UEN de Cerveza y Malta	16
II - 1.3.2 Dirección Nacional Técnica.....	16
II - 1.3.3 Gerencia Nacional de Elaboración	16
II - 1.3.4 Gerencia de Aguas y Ambiente.....	16
II - 2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA POLAR.....	17
II - 3 LA LEVADURA	20
II - 3.1 La Célula de Levadura	20
II - 3.2 Vida de la Levadura	21
II - 3.2.1 Proceso Aeróbico	21
II - 3.2.2 Proceso Anaeróbico	21
II - 3.3 Crecimiento de la Levadura	22
II - 3.4 Dosificación de la Levadura	22
II - 3.5 Lisis de la Levadura	22
II - 3.5.1 Hidrólisis	23
II - 3.5.2 Autólisis.....	23
II - 3.5.3 Plasmólisis	23
II - 3.6 Fracciones de la Levadura Lisada	24
II - 3.6.1 Extracto de Levadura.....	24
II - 3.6.2 Pared Celular.....	24
II - 3.7 Aplicaciones de la Levadura.....	24

II - 4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA CERVECERÍA DISPUESTOS PARA EL MANEJO DE LEVADURA.....	26
II - 4.1 Tanque de Propagación.....	26
II - 4.2 Tanques Cilindro Cónicos (T.C.C.).....	26
II - 4.2.1 Cosechas y Purgas de Levadura.....	27
II - 4.3 Tanques de Ledo y Lepre.....	27
II - 4.4 Filtro Prensa.....	28
II - 4.4.1 Descripción Operativa.....	29
II - 4.5 Tanque de Autólisis.....	31
II - 4.6 Tinajas de Levadura a despacho.....	31
II - 4.7 Tinajas de la Secadora.....	32
II - 5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	32
II - 6 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES.....	34
II - 6.1 Tratamiento Anaeróbico.....	34
II - 7 BIOQUÍMICA DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA.....	35
II - 7.1 Tipos de Bacterias.....	36
II - 7.2 Etapas de la Digestión Anaeróbica.....	36
II - 7.2.1 Hidrólisis.....	36
II - 7.2.2 Acidogénesis.....	37
II - 7.2.3 Acetogénesis.....	39
II - 7.2.4 Metanogénesis.....	40
II - 7.2.5 Bacterias Reductoras de Sulfato.....	42
II - 8 GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO.....	43
II - 8.1 Condiciones requeridas para el Tratamiento Anaeróbico.....	43
II - 8.1.1 Temperatura.....	43
II - 8.1.2 pH.....	44
II - 8.2 Carga del Reactor.....	45
II - 8.3 Grado de Preacidificación.....	45
II - 8.4 Acidez y Alcalinidad.....	46
II - 9 DESCRIPCIÓN DE LA PTAR DE PLANTA LOS CORTIJOS.....	47
II - 9.1 Digestor Anaeróbico.....	50
CAPÍTULO III - MARCO METODOLÓGICO.....	51
III - 1 CARACTERIZACIÓN DE LA LEVADURA EN LAS DIFERENTES FASES EN LAS QUE SE ENCUENTRA EN LA CERVECERÍA.....	53
III - 1.1 Características Metodológicas.....	53

III - 1.2 Población y Muestra.....	53
III - 1.3 Métodos de Análisis para Aguas Residuales	55
III - 1.3.1 Demanda Química de Oxígeno	55
III - 1.3.2 Nitrógeno Total	56
III - 1.3.3 Fósforo Total	57
III - 1.3.4 Sólidos Totales	57
III - 1.3.5 Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Volátiles.....	58
III - 1.4 Estandarización de los Métodos de Análisis de Aguas Residuales aplicados a la Levadura.....	59
III - 1.4.1 Prueba de Precisión 1 – Técnica en volumen	59
III - 1.4.2 Prueba de Precisión 2 – Técnica en Peso	61
III - 1.4.3 Comparación entre las Pruebas de Precisión y Selección de la mejor técnica.....	61
III - 1.5 Aplicación de los Métodos Estandarizados a las Levaduras.....	62
III - 1.5.1 Pruebas de Linealidad.....	62
III - 1.5.2 Caracterización de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida... 63	
III - 1.5.3 Balance de Masa en el Filtro Prensa.....	63
III - 2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA LEVADURA DESCARGADA SOBRE LA PTAR	64
III - 2.1 Pruebas en Planta Piloto de la PTAR.....	64
III - 2.1.1 Características Metodológicas.....	64
III - 2.1.2 Población y Muestra	64
III - 2.1.3 Descripción de la Planta Piloto.....	64
III - 2.1.4 Proceso de Operación de la Planta Piloto.....	65
III - 2.1.5 Operación de la Planta Piloto.....	66
III - 2.1.6 Arranque y Puesta a punto de la Planta Piloto.....	70
III - 2.1.7 Pruebas con diferentes Cargas de Levadura	71
III - 2.2 Identificación del Parámetro Limitante para la Carga de Levadura en el Afluente a la PTAR.....	73
III - 2.3 Estimación de Producción de Levadura a desechar	75
III - 2.4 Volumen Máximo de Levadura a descargar a la PTAR.....	79
III - 2.6 Capacidad Máxima de Recepción de Nitrógeno de la PTAR.....	80
III - 3 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DIRECTO DE LA LEVADURA.....	81
III - 3.1 Búsqueda de Alternativas para el Manejo directo de Levadura.....	81

III - 3.2 Estudio de las Variables que influyen en la Lisis.....	82
III - 3.2.1 pH vs Temperatura.....	82
III - 3.2.2 Grado de Fermentación y Concentración %p/p vs Tiempo a una Temperatura constante.....	83
III - 3.2.3 Viscosidad vs Concentración %p/p (a 20°C y 65°C).....	84
CAPITULO IV - RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	85
IV - 1 CARACTERIZACIÓN DE LA LEVADURA EN LAS DIFERENTES FASES EN LAS QUE SE ENCUENTRA EN LA CERVECERÍA.....	87
IV - 1.1 Estandarización de los Métodos de Análisis de Aguas Residuales aplicados a la Levadura.....	87
IV - 1.1.1 Prueba de Precisión 1 – Técnica en volumen.....	87
IV - 1.1.2 Prueba de Precisión 2 – Técnica en Peso.....	88
IV - 1.1.3 Comparación entre las Pruebas de Precisión y Selección de la mejor técnica.....	88
IV - 1.2 Aplicación de los Métodos Estandarizados a las Levaduras.....	90
IV - 1.2.1 Pruebas de Linealidad.....	90
IV - 1.2.2 Caracterización de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida... 94	
IV - 1.2.3 Balance de Masa en el Filtro Prensa.....	99
IV - 2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA LEVADURA DESCARGADA SOBRE LA PTAR.....	103
IV - 2.1 Pruebas en Planta Piloto de la PTAR.....	103
IV - 2.1.1 Arranque y Puesta a punto de la Planta Piloto de la PTAR.....	103
IV - 2.1.2 Pruebas con diferentes Cargas de Levadura.....	104
IV - 2.2 Identificación del Parámetro Limitante para la Carga de Levadura en el Afluente a la PTAR.....	108
IV - 2.3 Estimación de Producción de Levadura a desechar.....	112
IV - 2.4 Volumen Máximo de Levadura a descargar a la PTAR.....	113
IV - 2.5 Capacidad Máxima de Recepción de Nitrógeno de la PTAR.....	114
IV - 3 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DIRECTO DE LA LEVADURA.....	116
IV - 3.1 Alternativas para el Manejo directo de la Levadura.....	116
IV - 3.1.1 Mezclar Levadura Lisada con Nepe Húmedo.....	116
IV - 3.1.2 Mezclar Levadura con lodo del C.A.F. y Tierra Infusoria.....	117
IV - 3.1.3 Levadura para Compost.....	118
IV - 3.1.4 Otras alternativas no viables.....	119

IV - 3.2 Estudio de las Variables que influyen en la Lisis.....	120
IV - 3.2.1. pH vs. Temperatura.....	120
IV - 3.2.2 Grado de Fermentación y Concentración %p/p vs. Tiempo a una Temperatura constante.....	121
IV - 3.2.3 Viscosidad vs. Concentración %p/p (a 20°C y 65°C).....	122
IV - 3.2.4 Limitaciones Técnicas.....	124
CAPITULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	125
V - 1 CONCLUSIONES.....	126
V - 1.1 Caracterización de la Levadura en las diferentes fases en las que se encuentra en la Cervecería.....	126
V - 1.2 Evaluación del Impacto de la Levadura descargada sobre la P.T.A.R.....	127
V - 1.3 Identificación de Alternativas para el Manejo directo de la Levadura.....	128
V - 1.3.1 Estudio de las Variables que influyen en la lisis.....	129
V - 2 RECOMENDACIONES.....	130
V - 2.1 Identificación de Alternativas para el Manejo directo de la Levadura.....	130
V - 2.1.1 Mezclar Levadura con lodo del C.A.F. y Tierra Infusoria.....	130
V - 2.1.2 Mezclar Levadura Lisada con Nepe Húmedo.....	130
V - 2.2 Recomendaciones Generales.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
APÉNDICE A.....	135
APÉNDICE B.....	147
APÉNDICE C.....	150
APÉNDICE D.....	152
APÉNDICE E.....	156
APÉNDICE F.....	158
APÉNDICE G.....	165
APÉNDICE H.....	167
APÉNDICE I.....	169
ANEXOS.....	172

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Diagrama de Nepe Húmedo y Nepe Seco, 5
- Figura 2** - Diagrama de Levadura a secado, 6
- Figura 3** - Diagrama de Levadura a PROSANA, 7
- Figura 4** - Esquema del Planteamiento del Problema, 8
- Figura 5** - Organigrama General de Empresas Polar, 15
- Figura 6** - Proceso de Elaboración de la Cerveza Polar, 19
- Figura 7** - Células de Levadura, 20
- Figura 8** - Influencia de la Temperatura sobre la Levadura, 24
- Figura 9** - Esquema General y Etapa de Llenado/Filtrado del Filtro Prensa, 30
- Figura 10** - Prensado/Filtración y Descarga del Filtro Prensa, 31
- Figura 11** - Tratamientos de Aguas Residuales, 33
- Figura 12** - Etapas de la Digestión Anaeróbica, 35
- Figura 13** - Diagrama de P.T.A.R. de Cervecería Polar Los Cortijos, 49
- Figura 14** - Diagrama de un Rector U.A.S.B., 50
- Figura 15** - Diagrama del Filtro Prensa, 55
- Figura 16** - Densidad (g/ml) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 89
- Figura 17** - DQO (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 91
- Figura 18** - NT (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 91
- Figura 19** - PT (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 92
- Figura 20** - ST (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 92
- Figura 21** - SST (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 93
- Figura 22** - SSV (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 93
- Figura 23** - Sustancia Seca (%) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 97
- Figura 24** - NT (%) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 98
- Figura 25** - Balance de Masa en el Filtro Prensa, 102

- Figura 26** - Acidez (AGV) del Tanque de Preacidificación (PA) y de la Salida del Reactor, en las Pruebas en Planta Piloto, 105
- Figura 27** - Alcalinidad (ALC) del Tanque de Preacidificación (PA) y de la Salida del Reactor, en las Pruebas en Planta Piloto, 105
- Figura 28** - DQO_T (Total) del Afluente y Efluente, en las Pruebas en Planta Piloto, 106
- Figura 29** - NT del Afluente y Efluente, en las Pruebas en Planta Piloto, 107
- Figura 30** - Representación de los Parámetros de Calidad en el Afluente a la PTAR con diferentes %v/v de Levadura, 110
- Figura 31** - Porcentaje Máximo (%v/v) de Levadura en el Afluente a la PTAR con respecto a los Parámetros de Calidad, 111
- Figura 32** - Composición del Afluente a la PTAR al producir 1 litro de C y M, 115
- Figura 33** - pH en función de la Temperatura, 120
- Figura 34** - % de Fermentación en función del Tiempo a Temperatura constante, 121
- Figura 35** - Concentración (%p/p) en función del Tiempo a Temperatura constante, 122
- Figura 36** - Viscosidad en función de la Concentración (%p/p) a 20°C y 65°C, 123
- Figura 37** - Concentración (%p/p) a 20°C en función de la Concentración (%p/p) a 65°C, 123
- Figura C1** - Diagrama de la Planta Piloto de la P.T.A.R., 151
- Figura AN1** - Fotografía Delantera de la Planta Piloto, 173
- Figura AN2** - Fotografía Posterior de la Planta Piloto, 173
- Figura AN3** - Fotografía de Frente de Levadura prensada (torta) y Levadura a prensar, 174
- Figura AN4** - Fotografía Superior de Levadura prensada (torta) y Levadura a prensar, 174
- Figura AN5** - Extracto de Hoja de cálculo para Levadura, 175

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1** - Parámetros de Control para la Planta Piloto, 67
- Tabla 2** - Caudales de las Bombas para el Arranque de la Planta Piloto, 70
- Tabla 3** - %v/v levadura, DQO_T teórico y NT teórico del Afluente, en las Pruebas en Planta Piloto, 72
- Tabla 4** - DQO y NT para el Agua Residual (sin levadura), 72
- Tabla 5** - Caudales de las Bombas, en las Pruebas en la Planta Piloto, 73
- Tabla 6** - Normas de Calidad para el Efluente de la PTAR, 74
- Tabla 7** - % Remoción Promedio para Parámetros de Calidad en la PTAR, 74
- Tabla 8** - Parámetros de Calidad para el Agua Residual (sin levadura), 75
- Tabla 9** - Datos Promedios de Producción de la Cervecería para una semana, 76
- Tabla 10** - Cerveza Envasada por TCC, 77
- Tabla 11** - Agua Residual generada por 70.000 HI CyM envasada, 78
- Tabla 12** - Resultados con la técnica en volumen y dilución de un volumen, 87
- Tabla 13** - Resultados con la técnica en volumen y dilución de un peso, 87
- Tabla 14** - Resultados con la técnica en peso, 88
- Tabla 15** - Técnicas Seleccionadas para Análisis de los Parámetros de Calidad, 89
- Tabla 16** - Concentración Promedio (%p/p) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida, 94
- Tabla 17** - Caracterización de Levadura a prensar y Levadura prensada diluida en rangos de concentración (%p/p), 95
- Tabla 18** - Caracterización de Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a una misma concentración de 50 %p/p, 98
- Tabla 19** - DQO:NT:PT para la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida, 96
- Tabla 20** - ST:SST y SST:SSV para la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida, 96
- Tabla 21** - Sustancia Seca y Humedad de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida en rangos de concentración (%p/p), 98
- Tabla 22** - NT de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida, en base seca y húmeda, 99
- Tabla 23** - Sustancia Seca y Humedad de la Levadura prensada (torta), 99
- Tabla 24** - Caracterización de la Levadura prensada (torta) y Cerveza recuperada, 100
- Tabla 25** - Parámetros de Calidad de la Levadura prensada (torta) mezclada y Cerveza recuperada mezcladas al 50 %p/p, 100

- Tabla 26** - Parámetros de Calidad de la Levadura a prensar al 50 %p/p y Levadura obtenida al mezclar los componentes por separado al 50 %p/p, 101
- Tabla 27** - Acidez (AGV) y Alcalinidad (ALC), en el Tanque de Precidificación (PA) y en la Salida del Reactor, en el Arranque de la Planta Piloto, 103
- Tabla 28** - DQO₇ (Total) y DQO₇ (Filtrado), en el Afluente y Efuyente, en el Arranque de la Planta Piloto, 103
- Tabla 29** - Producción de Biogás en el Arranque de la Planta Piloto, 104
- Tabla 30** - Parámetros de Operación en el Arranque de la Planta Piloto, 104
- Tabla 31** - Parámetros de Operación de las Pruebas en Planta Piloto, 108
- Tabla 32** - Límites para Parámetros de Calidad en el Afluente a la PTAR, 109
- Tabla 33** - Porcentaje Máximo de Levadura en el Afluente a la PTAR con respecto a los Parámetros de Calidad, 111
- Tabla 34** - Rangos para el %v/v Máximo de Levadura en el Afluente de la PTAR, 112
- Tabla 35** - Resultados Generales para la Estimación de Producción de Levadura, 113
- Tabla 36** - Parámetros de Calidad en el Afluente y Efuyente a la PTAR (con levadura), 113
- Tabla 37** - Volumen Permitido de Descarga a PTAR de Levadura prensada diluida, 114
- Tabla 38** - Capacidad Máxima de Recepción de NT diaria hacia la PTAR e Índice de NT, 114
- Tabla 39** - Estimación Diaria de la Carga de NT hacia la PTAR, 115
- Tabla F1** - DQO (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p), 159
- Tabla F2** - DQO (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 159
- Tabla F3** - NT (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p), 159
- Tabla F4** - NT (g/100g) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p), 160
- Tabla F5** - NT (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 160
- Tabla F6** - NT (g/100g) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 160
- Tabla F7** - PT (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p), 161
- Tabla F8** - PT (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 161

- Tabla F9** - ST (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p), 161
- Tabla F10** - ST (g/100g) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p), 162
- Tabla F11** - ST (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 162
- Tabla F12** - ST (g/100g) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 162
- Tabla F13** - SST (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p), 163
- Tabla F14** - SST (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 163
- Tabla F15** - SSV (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p), 163
- Tabla F16** - SSV (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p), 164
- Tabla F17** - Parámetros de Calidad para la Levadura prensada (torta), 164
- Tabla F18** - Parámetros de Calidad para la Cerveza recuperada, 164
- Tabla G1** - Acidez(AGV) y Alcalinidad (ALC) del Tanque de Preacidificación (PA) y de la Salida del Reactor, en las Pruebas en Planta Piloto, 166
- Tabla G2** - DQO_T (Total) y DQO_F (Filtrado) del Afluente y Efluente, en las Pruebas en Planta Piloto, 166
- Tabla G3** - Producción de Biogás en las Pruebas en Planta Piloto, 166
- Tabla G4** - NT del Afluente y Efluente, en las Pruebas en Planta Piloto, 166
- Tabla H1** - Levadura a dosificar por cocimiento y por TCC, 168
- Tabla H2** - Levadura cosechada por TCC, 168
- Tabla H3** - Purgas de Levadura por TCC, 168
- Tabla H4** - Levadura a prensar por TCC y Factor de Reproducción, 168

ABREVIATURAS

- A.G.V. – Ácidos Grasos Volátiles.
- C y M – Cerveza y Mata.
- C.A.F. – Cavitation Air Flotation.
- D.Q.O. – Demanda Química de Oxígeno.
- H – Humedad.
- NT – Nitrógeno Total.
- P.T.A.B. – Planta de Tratamiento de Aguas Blancas.
- P.T.A.R. – Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- PAQUES – Fabricante de la tecnología de la P.T.A.R.
- PT – Fósforo Total.
- SAP – Software para el manejo de negocios.
- SS – Sustancia Seca.
- SST – Sólidos Suspendidos Totales.
- SSV – Sólidos Suspendidos Volátiles.
- ST – Sólidos Totales.
- T.C.C. – Tanque Cilindro Cónico.
- U.A.S.B. – Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

RESUMEN

Las Empresas Polar son líderes en conservación del ambiente, y han programado soluciones para la contaminación, instalando sistemas de tratamiento de aguas residuales para procesar los desechos provenientes de las etapas de producción; así, los efluentes son devueltos a las fuentes naturales cumpliendo con la normativa ambiental vigente.

La levadura es la materia prima principal en la elaboración de la cerveza, la cual por ser un microorganismo, vive y se reproduce. Durante la fermentación, ésta se propaga a razón de 4 veces su volumen inicial, planteando un problema referente al uso de este excedente.

La finalidad de este estudio fue evaluar la situación en la cual la levadura excedente se descarga hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (P.T.A.R.) de Cervecería Polar Los Cortijos; y presentar alternativas para su manejo directo.

Se identificaron dos formas de desecho para la levadura: levadura a prensar (levadura con cerveza) y levadura prensada diluida (levadura con agua), correspondientes a las corrientes de entrada y salida del Filtro Prensa respectivamente, equipo donde ocurre la recuperación de cerveza, la cual es devuelta al proceso de elaboración. Ambas formas de desecho fueron caracterizadas a través de parámetros como Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno Total, Fósforo Total y Sólidos.

Se estudió el impacto de la levadura¹ sobre una planta piloto de la P.T.A.R., a través de pruebas con agua residual de la cervecería y diferentes cargas de levadura a prensar; de manera de determinar la máxima carga de levadura que puede ser aceptada por el proceso sin afectar su operación.

Se identificó que el parámetro limitante para la descarga de levadura hacia la P.T.A.R. es el Nitrógeno Total; sugiriendo como concentración límite en el afluente a la P.T.A.R. 85 mg/l, considerando una remoción de 55% del mismo en la P.T.A.R. Luego, se obtuvieron límites de %v/v de carga de levadura en el afluente a la P.T.A.R., 0,40% para levadura a prensar y 0,65% para levadura prensada diluida.

Se tomó como base una semana de producción en la cervecería, y a partir de la caracterización y de datos históricos de la P.T.A.R., se estimó el volumen de levadura excedente, disponible para la descarga a P.T.A.R.; así como el volumen máximo a descargar, garantizando la capacidad máxima permitida por el proceso. Estos valores varían según el volumen de producción de la cervecería, por lo que se elaboró una hoja de cálculo en la cual se calculan automáticamente los volúmenes esperados, así como otros parámetros, por ejemplo el %v/v de levadura en el afluente y un índice de g de NT en el afluente en función de los Hl de Cerveza y Malta envasados.

En resumen el desecho de la levadura dispone de dos manejos factibles; la descarga hacia la P.T.A.R., hasta un 67% máximo de su volumen total; y el secado de la levadura; sin embargo, éste último representa altos costos para la empresa, por lo que se identificaron alternativas adicionales, siendo las más viables: mezclar levadura con nepe húmedo (subproducto de la cervecería) y mezclar levadura con los desechos sólidos de la cervecería. La primera se exploró más a fondo, por ser la más recomendada por las gerencias involucradas; aunque esto no implica dejar de lado el estudio de las demás.

¹ Para el contexto de este proyecto, al nombrar a la levadura se está haciendo referencia a una corriente de levadura de una misma especie (*Saccharomyces Cerevisiae*), ya sea mezclada con cerveza o con agua.

INTRODUCCIÓN

La contaminación originada por los desechos de procesos industriales constituye una de las principales preocupaciones con respecto a la conservación del medio ambiente y de sus recursos naturales. Las Empresas Polar son consideradas líderes en conservación del ambiente, y han programado soluciones para los problemas de contaminación, evitando así que ésta sea una amenaza para el ecosistema y la civilización.

El agua residual proveniente del proceso de elaboración de cerveza está libre de elementos tóxicos, pero tiene un alto contenido de materia orgánica, lo cual es perjudicial para el cuerpo receptor del efluente. Es por ello, que en las plantas cerveceras, se han instalado sistemas de tratamiento de aguas residuales, para procesar los desechos industriales que provienen de las diferentes etapas de producción; de esta manera los efluentes son devueltos a las fuentes naturales cumpliendo con las normas establecidas por las entidades gubernamentales.

En Cervecería Polar Planta Los Cortijos se cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (P.T.A.R.) del tipo anaeróbico, tratamiento que está basado en la degradación de compuestos orgánicos, llevado a cabo por un cultivo de bacterias que operan en ausencia de oxígeno.

La levadura es una de las materias primas principales en la elaboración de la cerveza, ésta, por ser un microorganismo vivo se reproduce, originándose una levadura excedente.

En Planta Los Cortijos, ubicada en el Este de la ciudad de Caracas, se está presentando una situación en la cual parte de la levadura excedente del proceso de elaboración está siendo descargada hacia la P.T.A.R., esto viene sucediendo por no contar con otras alternativas viables para la disposición de la levadura, y como resultado de ciertos estudios realizados a nivel operacional y de costos con respecto a otros procesos de la industria.

Se conoce que la levadura tiene varias aplicaciones, entre ellas su utilización en dietética por su riqueza en vitaminas del grupo B, sales minerales y proteínas. Existen muchas otras aplicaciones para la levadura, por lo cual es importante investigar en ellas, y así buscar y encontrar alternativas para el manejo directo de la misma, además de estudiar el impacto que ésta causa sobre la P.T.A.R.

El presente trabajo consta de cinco capítulos: en el **Capítulo I** se muestra el tema de la investigación, los antecedentes del proyecto, planteamiento del problema, objetivos generales y específicos desarrollados. El **Capítulo II** describe los fundamentos teóricos necesarios para la realización del proyecto. El **Capítulo III** corresponde a la metodología a seguir para realizar el proyecto, detallando el procedimiento aplicado para el cumplimiento de los objetivos establecidos. El **Capítulo IV** presenta el análisis de los resultados obtenidos durante la realización del proyecto. Y por último, el **Capítulo V** muestra las conclusiones y recomendaciones más importantes que sirven de base para nuevos estudios y proyectos.

CAPITULO I - TEMA DE INVESTIGACIÓN

I - 1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En la Planta Los Cortijos de Cervecería Polar se han identificado dos subproductos principales de la elaboración de la cerveza.

En el proceso inicial de la elaboración de la cerveza, la cebada malteada es triturada y mezclada con las hojuelas de cereales; ésta mezcla es finalmente bombeada a una cuba de filtración a fin de separar el líquido (mosto cervicero) de la fracción insoluble (afrecho). Después de obtener la mayor parte del mosto, el afrecho cae por gravedad de la cuba de filtración a una tolva y con presión de aire es transportado a los silos de almacenamiento.

Este afrecho húmedo, comúnmente llamado "nepe", tiene dos diferentes disposiciones finales, siendo una de ellas la venta a ganaderos, para la alimentación directa del ganado bovino, la otra consiste en su bombeo hacia una secadora, pasando primero por una prensa donde se elimina cierta cantidad de humedad. Como resultado de esta separación queda el "jugo de nepe" y el nepe seco, este último resulta un subproducto rico en proteínas y fibras, y tiene una aplicación industrial como aditivo en la fabricación de alimento para animales, por lo que se vende a la empresa PROCRÍA, destinada a producir y distribuir alimentos balanceados para animales; mientras que el jugo de nepe se descarga hacia la P.T.A.R. (véase figura 1).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 1 - Diagrama de Nepe Húmedo y Nepe Seco

Por otro lado, se tiene a la levadura, que por ser un microorganismo, vive y se reproduce. Durante el proceso de fermentación, se propaga a razón de aproximadamente 4 veces su volumen inicial, planteando un problema referente al uso de este excedente altamente sustancioso.

La levadura excedente del proceso está formada por una mezcla de levadura y cerveza, la cual tiene dos direcciones, una parte del volumen se dirige hacia los tanques de "ledo" y la otra hacia los tanques de "lepre". En los tanques de ledo se encuentra la levadura a dosificar, la cual se reutiliza para una siguiente fermentación; en los tanques de lepre se encuentra la levadura a prensar, la cual se envía hacia un filtro prensa donde será separada la levadura de la cerveza, la cual se denomina "cerveza

recuperada”; ésta es filtrada, pasteurizada y enviada de nuevo al proceso de elaboración. A la salida del filtro prensa, la levadura tiene una consistencia sólida, y es mezclada con agua para ser bombeable; a partir de aquí se han implementado diferentes opciones para el manejo de levadura excedente, se puede bombear hacia la secadora de nepe, y ser secada junto con éste; o hacia una secadora de levadura donde es secada sola (véase figura 2).

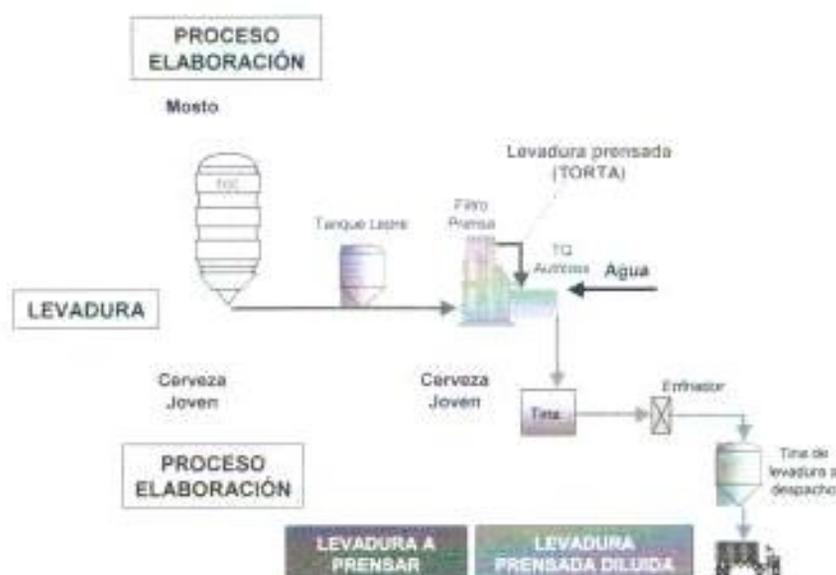


Fuente: Elaboración Propia

Figura 2 - Diagrama de Levadura a secado

En un tiempo, en la búsqueda de darle un mayor valor agregado a la “cosecha” y disposición de la levadura excedente, surgió una gran solución, ésta consistió en la colocación de la levadura excedente en la empresa PROSAÑA, Productos Saborizantes Naturales C.A., gracias a una alianza estratégica entre Empresas Polar y una compañía holandesa, la levadura era arrastrada con agua fría hacia unas tinajas de levadura, y descargada

sobre camiones cisterna de la compañía. Luego de cierto tiempo la empresa quebró y la alianza se terminó (véase figura 3).



Fuente: Elaboración Propia

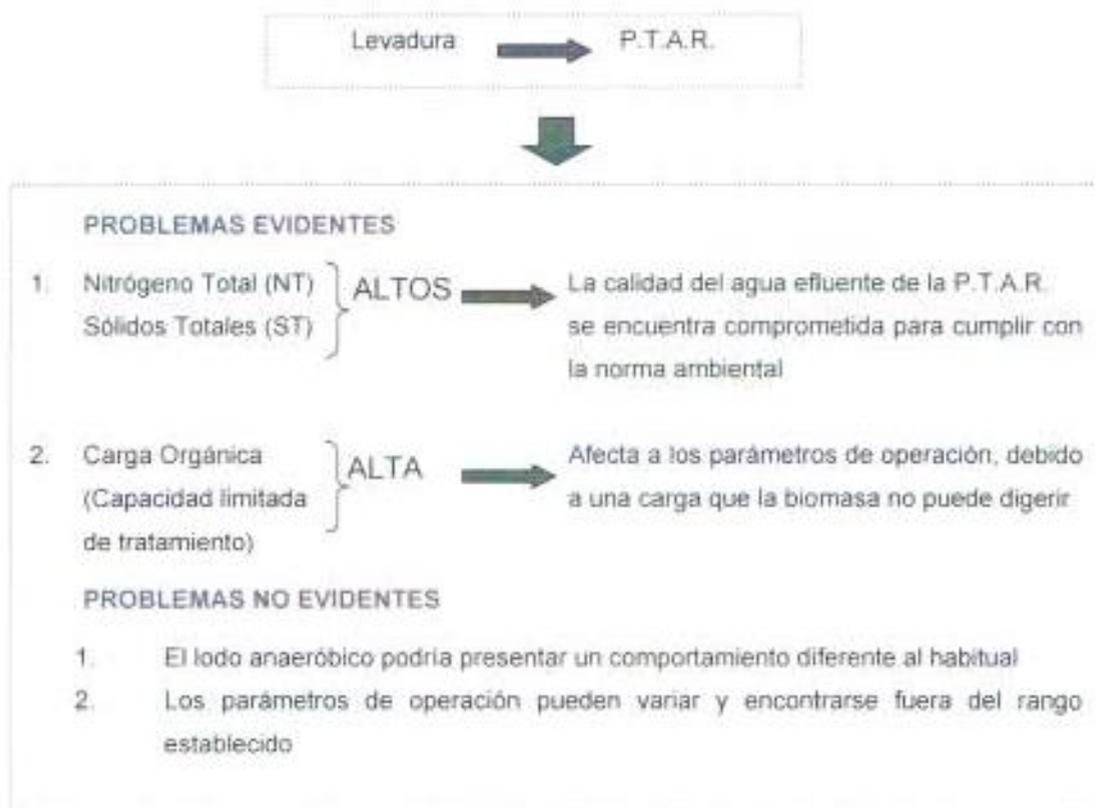
Figura 3 - Diagrama de Levadura a PROSANA

Finalmente, mediante estudios de costos de Planta Los Cortijos, se demuestra que el proceso de secado es altamente costoso para la cervecera, básicamente debido al consumo de vapor, por consiguiente, se tomó la decisión de dejar de secar el nepe, quedando como opción el venderlo húmedo.

El secado de la levadura refleja las mismas desventajas que el nepe, más la disminución de la eficiencia de la secadora, ya que la levadura se bombea junto con un volumen de agua; por consiguiente, es necesario realizar una búsqueda de alternativas para el manejo de la levadura prensada diluida, y evaluar como alternativa principal su descarga hacia la P.T.A.R.

I - 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La descarga de levadura prensada diluida hacia la P.T.A.R., trae como consecuencia problemas que pueden ser, tanto evidentes como no evidentes (véase figura 4).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4 - Esquema del Planteamiento del Problema

Por estas razones, es necesario estudiar el impacto que causa la descarga de levadura sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Planta Los Cortijos y buscar alternativas para el manejo directo de ésta.



I - 3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

I - 3.1 Objetivos Generales

- Evaluar y explicar el impacto de la descarga de levadura sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cervecería Polar Los Cortijos.
- Presentar alternativas para el manejo directo de la levadura.

I - 3.2 Objetivos Específicos

- Conocer los principios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cervecería Polar Los Cortijos.
- Manejar la operación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cervecería Polar Los Cortijos.
- Conocer la levadura y su actuación en el proceso de fermentación de la elaboración de la cerveza.
- Manejar las técnicas de medición utilizadas para realizar los análisis de calidad de las aguas residuales, y la herramienta SAP para la administración de los mismos.
- Estandarizar los métodos de análisis aplicados a la levadura.
- Caracterizar la levadura en las diferentes fases en las que se presenta en la cervecería, a través de los análisis.
- Manejar la operación de la Planta Piloto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, para realizar pruebas operacionales a escala piloto.



- Evaluar el impacto de la levadura descargada sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, a través de las pruebas y análisis, extrapolando a escala real.
- Identificar las alternativas para el manejo directo de la levadura.

CAPITULO II - MARCO TEÓRICO



En este capítulo se presenta inicialmente una breve descripción de Empresas Polar – Cervecería Polar C.A., empresa donde se realizó el proyecto y una descripción general del proceso de elaboración de la Cerveza Polar.

La levadura es el elemento principal del proyecto, por lo que más adelante se presentan sus características más resaltantes.

Se estudiaron los diferentes equipos de la cervecería en los cuales se maneja levadura, conociendo la utilidad, el funcionamiento y las condiciones en que la levadura se encuentra en cada uno. Con ello se facilitó el desarrollo del proyecto, ya que era indispensable conocer esta área de la cervecería para realizar una caracterización de la levadura en sus diferentes fases. Asimismo, fue de gran ayuda en la identificación de alternativas para el manejo directo de la levadura, teniendo como base fundamental el uso de equipos existentes en la cervecería, descartando inicialmente un gasto adicional en la inversión de nuevas tecnologías y facilitando la implementación de cualquier alternativa.

Fue primordial conocer los principios teóricos que rigen la P.T.A.R. Se estudiaron el funcionamiento y utilidad de sus equipos, siendo de mucho beneficio en la realización de pruebas en la planta piloto de la P.T.A.R., ya que se buscaba simular las condiciones reales para obtener resultados reproducibles a escala real.

II - 1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

II - 1.1 Reseña Histórica de Cervecería Polar C.A.

La Cervecería Polar tiene su origen en el año 1.938, cuando Lorenzo Mendoza Fleury, socio mayoritario de la firma familiar Mendoza & Company, y junto con Rafael Henrique Luján, Andrés Yépez Santamaría, José Manuel Sáez, Martín Benítez y Carlos García Toledo, gestan la creación de una empresa cervecera, que se edificaría en un terreno donado por el Dr. Lorenzo Mendoza en Antimano, Caracas.

Cervecería Polar desde un principio contó con personal técnico y cervecero especializado, pero no fue fácil conquistar el paladar del venezolano. Fue en el año 1.942, que al entrar el maestro Carlos Roubicek se desarrolló una fórmula "tropicalizada", adaptando la Cerveza Pilsen Europea, con la incorporación del maíz y el arroz como materias primas adjuntas, hasta lograr un producto único, adecuado al gusto del consumidor venezolano y a las condiciones climáticas locales.

En 1.948, debido a la creciente demanda de la cerveza y para satisfacer las exigencias del mercado, se proyecta la creación de otra planta cervecera, y se comienza a construir la Cervecería Oriente, C.A., en Barcelona, Estado Anzoátegui, siendo inaugurada en 1.950. Un año después ésta da origen a Maltín Polar para satisfacer la demanda de una bebida refrescante y nutritiva. Para ese mismo año, también se crea la Distribuidora Polar S.A., Diposa, en un pequeño edificio caraqueño, para dar más agilidad a la venta en el área

capital. La empresa matriz de distribución resulta todo un éxito por lo cual luego se fundan compañías similares en otras zonas.

Para el año 1.951 entra en actividad la Cervecería Polar Los Cortijos, en sustitución de la Planta de Antimano, la cual se encuentra ubicada en la cuarta Transversal de Los Cortijos de Lourdes, Municipio Sucre, Estado Miranda.

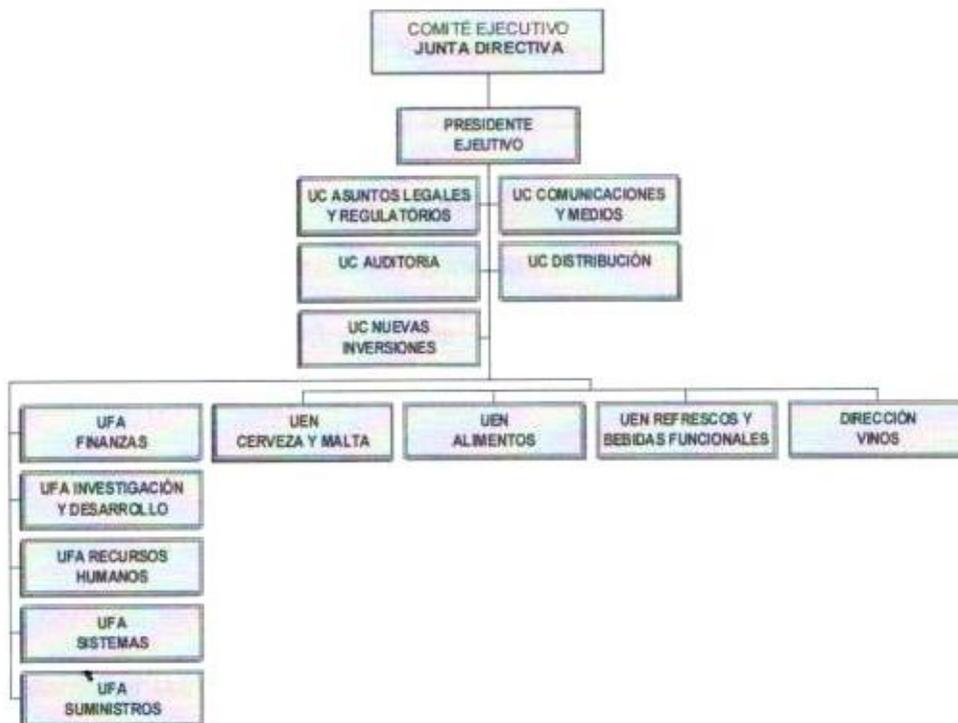
Para el año 1.961 comienza a operar Cervecería Modelo, C.A. en Maracaibo. En 1.978, se pone en marcha Cervecería Polar del Centro C.A., en la población de San Joaquín, Estado Carabobo, para ese momento, el mayor complejo cervecero de América Latina. Esta es la primera cervecería del mundo equipada para realizar los procesos de fermentación y maduración en los tanques cilíndricos cónicos.

Para el año Empresas Polar se convierte en la primera organización de Latinoamérica que recibe la certificación integral Platinum 9000, para sus cuatro plantas cerveceras, por contar con sistemas de gestión de calidad certificados según la norma COVENIN ISO 9000 y, al mismo tiempo poseer la marca NORVEN en sus productos.

II - 1.2 Modelo Corporativo de Organización de Empresas Polar

Este es el esquema adoptado por Empresas Polar para estar en capacidad de responder a las demandas actuales y futuras del mercado. No se trata sólo de una estructura, sino de una forma de actuar en sus distintos negocios para lograr mejores resultados. Toda gran empresa debe estar en capacidad de planificar su desarrollo a corto, mediano y largo plazo.

La estructura de Empresas Polar presenta la Junta Directiva y el Comité Ejecutivo, luego se encuentra el Presidente Ejecutivo a quien reportan las distintas Unidades Estratégicas de Negocio (UEN), Unidades Funcionales de Apoyo (UFA) y Unidades Corporativas (UC) (véase figura 5).



Fuente: Portal de Información Empresarial de Empresas Polar

Figura 5 - Organigrama General de Empresas Polar

II - 1.3 Ubicación del proyecto en Empresas Polar

El proyecto se realizó en la Gerencia de Aguas y Ambiente, dentro de la Dirección Nacional Técnica de la UEN de Cerveza y Malta.

II - 1.3.1 UEN de Cerveza y Malta

Fija los objetivos generales de Cervecería Polar, y establece políticas y estrategias para su cumplimiento.

II - 1.3.2 Dirección Nacional Técnica

Es responsable de homogeneizar tanto el proceso productivo como sus inversiones asociadas, así como garantizar la calidad de los productos.

II - 1.3.3 Gerencia Nacional de Elaboración

Es responsable de establecer los estándares y políticas de elaboración de cerveza y malta supervisando su adopción en las plantas cerveceras.

II - 1.3.4 Gerencia de Aguas y Ambiente

Tiene las siguientes atribuciones principales:

- Apoyar la gestión eficiente de las Plantas de Tratamiento de Aguas Blancas (P.T.A.B.) y las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (P.T.A.R.) en las plantas cerveceras principalmente.
- Seleccionar la tecnología que se va a utilizar en el área.
- Coordinar todos los proyectos referentes al tratamiento de aguas.
- Mantener las relaciones en todo lo relacionado con el medio ambiente.

II - 2 PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA POLAR

La cerveza es una bebida alcohólica preparada a partir de cebada malteada, lúpulo, levadura, agua y adjuntos cerveceros.

La cebada malteada y las hojuelas de cereales son transportadas en gandolas hasta las zonas de recepción; luego de ser descargadas en sus tolvas respectivas, son sometidas a un proceso de limpieza para separar las partículas extrañas, y ser almacenadas en silos antes de ser trituradas.

El cocimiento es la primera etapa de la elaboración, la cual comienza con la trituración de la cebada malteada, ésta es triturada en molinos de rodillos especiales, para facilitar la extracción de sus componentes solubles, lo que permite el trabajo de las enzimas sobre los almidones y proteínas.

Seguidamente, en la paila se mezcla la cebada malteada, molida, con las hojuelas de cereales y el agua, formando una suspensión espesa, que va a estar en constante agitación y a temperaturas entre 50 y 75 °C.

A continuación viene la maceración, donde el almidón, tanto de la cebada malteada como de los cereales, es transformado en azúcares fermentables.

Esta mezcla se bombea hacia la cuba de filtración, en la cual la temperatura se eleva a 78 °C para inhibir completamente la acción enzimática y para separar el líquido denominado "mosto", de la fracción insoluble (afrecho).

El mosto es transferido a una paila donde es hervido, para permitir la precipitación de materias nitrogenadas, isomerización del lúpulo, además de la esterilización del mosto con el propósito de eliminar cualquier tipo de

bacterias que puedan influir sobre éste. A la vez, se le dosifica el lúpulo, el cual le dará a la cerveza su sabor y aroma característico.

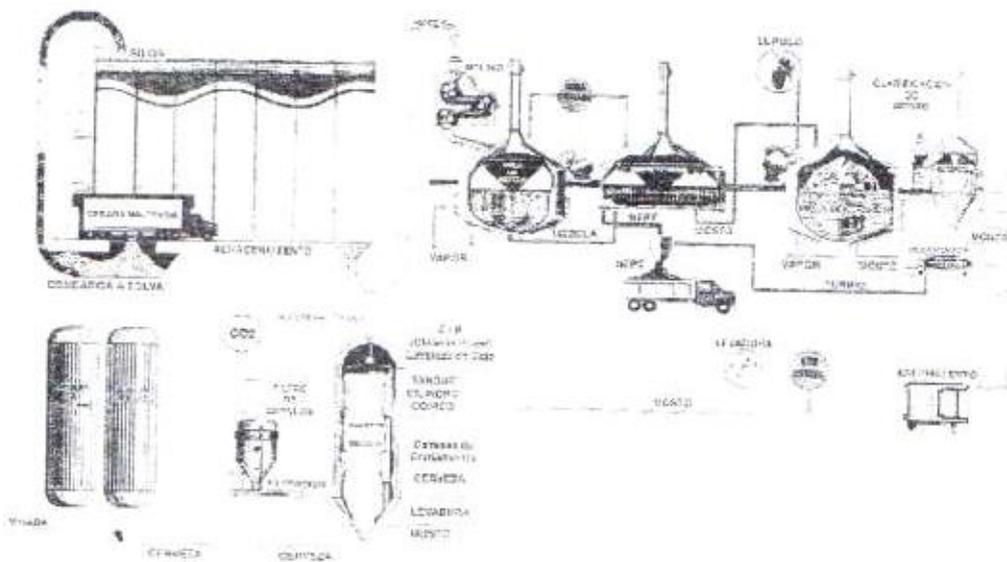
El mosto es sometido a la clarificación en un rotapool. A través de un movimiento de fuerzas centrifugas son separados los sedimentos insolubles del líquido, como por ejemplo residuos de lúpulo y complejos proteínicos no deseados en el producto terminado, a los cuales se les denomina "trub".

El mosto es enviado luego hacia el enfriador. Éste es enfriado a 10 °C, aproximadamente, con el fin de obtener las condiciones ideales para que la levadura efectúe la fermentación, la cual es agregada a la salida del enfriador junto con el aire estéril.

Luego comienza la fermentación, en Planta Los Cortijos se lleva a cabo en tanques cilindro-cónicos de acero inoxidable, con capacidad de hasta 650.000 litros cada uno. Durante la fermentación, cuya duración normal es de 7 días, la levadura transforma los azúcares del mosto en alcohol etílico, gas carbónico y un gran número de compuestos aromáticos adicionales que proporcionan a la cerveza su típico carácter.

Una vez concluida la fermentación, se inicia el proceso de maduración, el cual es realizado a temperaturas entre 0 y -1 °C, durante 2 semanas aproximadamente, tiempo en el cual la cerveza joven se madura alcanzando el agradable aroma y el sabor característico de una cerveza de calidad, este proceso favorece la precipitación de sustancias insolubles y la sedimentación de la levadura aún en suspensión.

A pesar de que durante el proceso de maduración se ha producido una clarificación natural, la cerveza todavía no está lo suficientemente brillante. En los filtros se clarifica la cerveza por medio de tierra infusoria, eliminando las últimas células de levadura y partículas mínimas de proteínas precipitadas, dando a la cerveza su brillantez y estabilidad físico-química; el gas carbónico, producido durante la fermentación y extraído para su purificación, es reinyectado a la cerveza a su salida de la filtración, éste da frescura a la cerveza y promueve la formación de espuma. Concluye así la elaboración de la Cerveza Polar, una vez colocada en los tanques de gobierno, está lista para ser envasada.



Fuente: Gerencia Nacional de Elaboración

Figura 6 - Proceso de Elaboración de la Cerveza Polar

II - 3 LA LEVADURA

La levadura de cerveza pertenece al grupo del hongo microscópico, *Saccharomyces Cerevisiae*, que tiene la propiedad de fermentar las azúcares del mosto. Ésta se debe a que las células hallan en el mosto un medio apropiado para su multiplicación y desarrollo, en el cual consumen los azúcares, transformándolos en alcohol y dióxido de carbono.



Fuente: Gerencia Nacional de Elaboración

Figura 7 - Células de Levadura

A continuación se detallan algunas de las características generales de la levadura.

II - 3.1 La Célula de Levadura (Tejero, [en línea] a)

Las levaduras son seres vivos unicelulares, de forma ovalada de 6 a 8 milésimas de milímetros, un gramo contiene 10 millones de células.

La célula de levadura está envuelta por una membrana exterior denominada pared celular. La membrana celular permite, al ser semipermeable, la entrada de nutrientes y sustancias disueltas en el agua; igualmente pudiendo ser evacuados el dióxido de carbono y el alcohol generados.

La membrana celular regula por procesos osmóticos la igualdad entre el medio intracelular y extracelular. La presión osmótica es proporcional al

número de moléculas disueltas en el agua, así pues cuanto mayor sea el contenido en soluto, la cantidad de agua de la disolución es menor, aumentando la presión osmótica.

II - 3.2 Vida de la Levadura (Tejero, [en línea] a)

Las levaduras son microorganismos anaeróbicos facultativos, es decir, que pueden sobrevivir y crecer con o sin oxígeno.

II - 3.2.1 Proceso Aeróbico

La propagación de la levadura en los procesos aeróbicos se refiere a cuando la levadura convierte el oxígeno y el azúcar, a través del metabolismo oxidativo, en dióxido de carbono y en energía libre útil para el crecimiento eficiente de la célula de la levadura.

Levadura + Azúcar + O₂ → Respiración → CO₂ + Agua + Célula

II - 3.2.2 Proceso Anaeróbico

La fermentación anaeróbica da por resultado la producción de alcohol etílico. La levadura fermenta las azúcares simples en etanol y dióxido de carbono, creciendo muy lentamente.

Levadura + Azúcar → Fermentación → CO₂ + Alcohol

Para optimizar la producción del alcohol, el proceso de fermentación se realiza sin oxígeno; pero, para maximizar el crecimiento de la célula de la levadura, se debe proporcionar oxígeno en la forma de aire estéril.

II - 3.3 Crecimiento de la Levadura

El crecimiento de la levadura puede ser definido como el incremento ordenado en el número de células individuales; las condiciones externas (composición del mosto, aireación, dosis de levadura, entre otros) y las características hereditarias de la levadura en sí, tendrán un efecto directo sobre el crecimiento de la misma. La cantidad de levadura desarrollada está restringida por provisión de oxígeno, agotamiento de nutrientes y acumulación de productos metabólicos inhibitorios (Mesones, [en línea]).

II - 3.4 Dosificación de la Levadura (Broderick, 1.977)

La adición de levadura se realiza sobre el mosto, el cual se encuentra con una temperatura ideal y suficientemente oxigenado para que la levadura se multiplique.

Si se utiliza levadura resultante de una fermentación anterior, ésta se encuentra mezclada con dióxido de carbono, producido por ella misma, lo que dificulta el comienzo rápido de la fermentación; por ello se dosifica aire estéril para obtener células jóvenes y vigorosas de la multiplicación.

II - 3.5 Lisis de la Levadura

Se denomina "lisis" la muerte de las células asociada con el rompimiento de la pared celular, ocurriendo entre valores de pH 6- 6,5 aproximadamente, el cual es el pH interno de la célula. La lisis se da de varias maneras:

II - 3.5.1 Hidrólisis

Con la presencia de enzimas hidrolíticas, las cuales son capaces de digerir la pared celular de la levadura compuesta por polisacáridos, esto ocurre desde afuera de la célula hacia adentro.

II - 3.5.2 Autólisis

Con la acción de las enzimas autolíticas presentes dentro de la célula de levadura, las cuales digieren la pared celular de adentro hacia fuera.

Incluso en fase inactiva, la actividad metabólica continúa, aunque despacio, hasta agotar los nutrientes, allí acuden a lo que se llama canibalismo. Las células excretan enzimas que disuelven las paredes de células vecinas, haciendo disponible los nutrientes que esas células contienen. La levadura autolisada emite un olor sulfuroso muy desagradable.

II - 3.5.3 Plasmólisis

A través de la presión osmótica, con la presencia de agentes plasmolíticos como cloruro de sodio, ácido fórmico o solventes como el acetato de etilo.

Para acelerar la muerte y el rompimiento de las células a nivel industrial, éstas se exponen a temperaturas relativamente altas (véase *figura 8*).



Fuente: Tejero, [en línea] b.

Figura 8 - Influencia de la Temperatura sobre la Levadura

II - 3.6 Fracciones de la Levadura Lisada

II - 3.6.1 Extracto de Levadura

Se refiere a los componentes intracelulares, cuando la pared celular es removida; este producto es rico en proteínas, minerales y aminoácidos.

II - 3.6.2 Pared Celular

Principalmente está formada por peptidoglicanos, los cuales son polisacáridos similares al almidón, para los cuales se necesita de varias enzimas para romperlos y convertirlos en azúcares simples.

II - 3.7 Aplicaciones de la Levadura

Las levaduras se han administrado en la dieta de los animales durante años, ya sea en la forma de masa fermentada, subproductos de levaduras de cervecera, o productos comerciales elaborados a base de levaduras. Aun cuando esta práctica de utilizar las levaduras en los alimentos pecuarios ha existido durante mucho tiempo, todavía existe mucha incertidumbre en la

industria para su uso, de cualquier manera, el uso de levaduras tiene grandes beneficios. Su principal contribución nutricional proviene de las proteínas, péptidos, vitaminas y minerales presentes dentro de la célula. Para que estos nutrientes se encuentren disponibles para la digestión y la absorción, la célula se debe encontrar lisada.

En la industria alimenticia para la población, la levadura lisada es comúnmente utilizada para saborizantes en sopas y snacks, ya que contiene ácidos nucleicos que son los responsables de acentuar sabores.

La levadura tiene una acción preventiva y curativa sobre el organismo, la cual es muy poco conocida, ayuda para que el sistema sea inmune en el control de las infecciones bacterianas, ya que inhibe el crecimiento de muchos tipos de bacterias, incluyendo la *Escherichia Coli* y la *Salmonella* (Editorial PERFIL, [en línea]).

Por otra parte, es el elemento nutritivo más indicado para el sistema nervioso, por su notable contenido en vitaminas del complejo B, que le otorgan un beneficioso poder en la regulación del trofismo de los nervios, la vitamina B2 interviene en los llamados procesos de oxireducción celular y evita los retrasos de crecimiento y ciertos trastornos oculares, de la piel y las mucosas (Editorial PERFIL, [en línea]).



II - 4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE LA CERVECERÍA DISPUESTOS PARA EL MANEJO DE LEVADURA

II - 4.1 Tanque de Propagación

Tanque metálico cilíndrico herméticamente cerrado donde se realiza la propagación de levadura pura, la cual proviene de una propagación a nivel de laboratorio de la cepa madre de levadura. Al tanque se inocula levadura y se le dosifica aire estéril y mosto, reproduciéndose la levadura para luego ser dosificada a los T.C.C.s; cabe destacar que este proceso se realiza con esterilidad total.

II - 4.2 Tanques Cilindro Cónicos (T.C.C.)

Son grandes tanques de acero inoxidable, con capacidad de hasta 650.000 litros cada uno, en donde se lleva a cabo la fermentación.

Los T.C.C.s tienen una capacidad máxima de 14 cocimientos, los cuales están compuestos por mosto, el cual contiene las azúcares que serán fermentadas. Inicialmente se trabaja con 11 cocimientos dentro del T.C.C. junto con la levadura dosificada, y luego de extraer una primera cosecha se le añaden 3 cocimientos adicionales provenientes de las cubas de fermentación, de esta manera se completa el T.C.C. con 14 cocimientos.

Las cubas de fermentación son tanques horizontales que tienen la misma función de los T.C.C.s, sólo que su capacidad es de aproximadamente 1,2 cocimientos, más la levadura correspondiente. Con el contenido de aproximadamente 2,5 cubas, se completa un T.C.C.

II - 4.2.1 Cosechas y Purgas de Levadura

Se denomina cosecha solamente a la porción de levadura proveniente de los T.C.C.s que va a los tanques de ledo (levadura a dosificar) o de lepre (levadura a prensar), las porciones restantes se denominan purgas y tienen como destino las tinas de la secadora.

La cosecha de levadura es una mezcla de cerveza y levadura de aproximadamente 50 %p/p, los datos para los volúmenes de cosecha se muestran en la tabla H2.

Las purgas de levadura se identificaron en las cubas de fermentación y tanques de maduración como levadura depositada en el fondo, la cual debido a la geometría del tanque presenta dificultad para ser cosechada, por lo que es rociada con agua y empujada hacia el desagüe que lleva a las tinas de la secadora. Los datos de los volúmenes se encuentran en la tabla H3.

II - 4.3 Tanques de Ledo y Lepre

Son tanques donde se almacena la levadura que va a ser reutilizada, ya sea levadura a dosificar o levadura a prensar.

La levadura que sale de los T.C.C.s se encuentra aproximadamente a 12 °C. Ésta es enfriada a 2–3 °C donde se encuentra en un estado de inactividad y no tiene capacidad de fermentar, la temperatura es mantenida en los tanques a través de chaquetas de alcohol.

Los tanques de ledo poseen un contador donde se coloca el volumen de levadura a dosificar, la cual es calculada y suministrada por el laboratorio, el volumen varía según la concentración %p/p de la misma.

De los tanques de ledo se puede descargar levadura a:

- T.C.C. y cubas de fermentación (levadura a dosificar).
- Tinas de la secadora (cuando hay muy poca cantidad).
- Tanques de lepre (cuando sobra un gran volumen de la dosificación).

Generalmente los tanques de ledo se mantienen homogenizados a través de la adición de aire estéril, el cual necesita la levadura para su reproducción, mientras que los tanques de lepre utilizan CO_2 , teniendo en cuenta que el aire estéril puede oxidar la cerveza a recuperar.

II - 4.4 Filtro Prensa

Este es el equipo principal en el manejo de la levadura excedente del proceso, la mezcla de levadura y cerveza alimenta al filtro prensa donde ocurre la separación de cerveza de la levadura, obteniendo una cerveza recuperada y una levadura excedente, la cual es enviada a las tinas de la secadora.

La recuperación de cerveza de la cosecha de levadura significa para Cervecería Polar, C.A. una alternativa de alta rentabilidad debido a que representa en la práctica un porcentaje aproximado del 1,5 % del total de producción de las cuatro plantas cerveceras.

Generalmente se conoce que la cerveza recuperada de las cosechas de levadura es de calidad inferior. El filtro prensa es un sistema abierto, por consiguiente, la cerveza recuperada generalmente tiene un alto contenido de carga microbiológica, por lo que ésta continúa con un proceso de filtración y pasteurización, para luego ser reincorporada al proceso de elaboración.

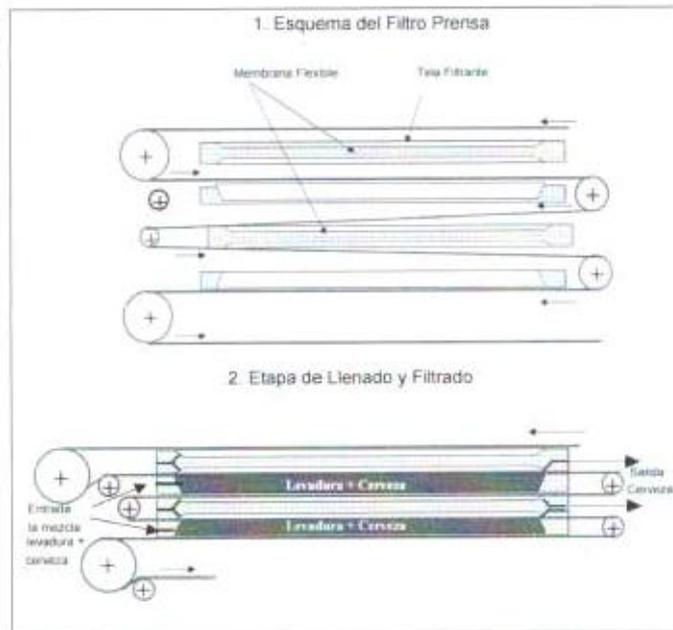
II - 4.4.1 Descripción Operativa

Este equipo actualmente en uso en las cuatro plantas cerveceras, está integrado de varios marcos de filtración (*véase figura 9-1*) cuya parte superior e inferior son limitadas por una tela filtrante sin fin, donde seguidamente están colocadas las placas con sus membranas flexibles de prensado.

El ciclo de filtración, de un *batch* de prensado, consiste de tres etapas:

- Llenado / Filtrado.
- Prensado / Filtración.
- Descarga de Levadura

La figura 9-2 muestra la etapa de Llenado / Filtrado del filtro prensa de levadura, ésta operación consiste en el llenado simultáneo de las cámaras del filtro, mediante el uso de una bomba proveniente de los tanques que contienen la levadura. El programa de llenado alimenta al filtro prensa con una mezcla de las cosechas de levadura. Durante el periodo de llenado va formándose una presión que induce el paso de la cerveza por los poros de la tela a la superficie de las membranas y de allí, a los colectores de cerveza, los cuales alimentan a los tanques de cerveza recuperada.

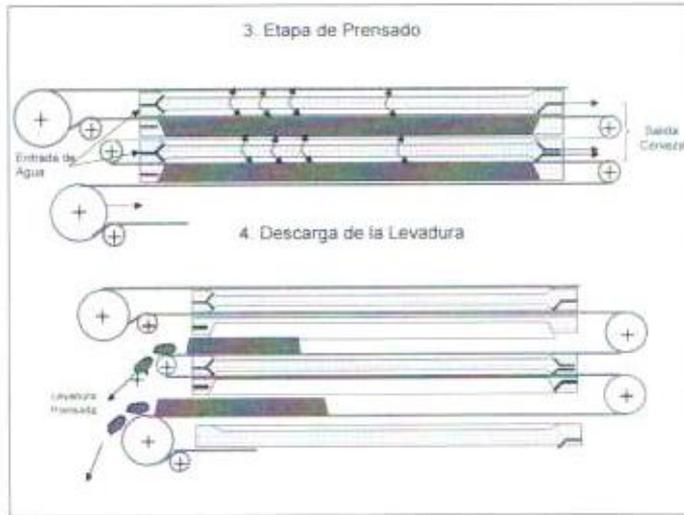


Fuente: Gerencia Nacional de Tecnología Cervecera

Figura 9 - Esquema General y Etapa de Llenado/Filtrado del Filtro Prensa

La figura 10 muestra las etapas subsiguientes de Prensado/Filtración y Descarga de la levadura del filtro prensa, el proceso de prensado comienza luego de alcanzar una presión definida de 3 bar en las cámaras, incrementando la presión por efecto hidráulico de 3 a 5 bar. La levadura aumenta su contenido de sustancia seca de 16 % "levadura a prensar" a 27 % "levadura prensada torta" después del prensado.

La última etapa del proceso es la apertura del filtro y la descarga de la levadura prensada (torta) a un tanque mezclador o tanque de autólisis, aquí se adiciona agua disminuyendo la sustancia seca a 9 % aproximadamente "levadura prensada diluida" para ser bombeada a las tinajas de la secadora.



Fuente: Gerencia Nacional de Tecnología Cervecera

Figura 10 - Prensado/Filtración y Descarga del Filtro Prensa

II - 4.5 Tanque de Autólisis

Es un tanque que se encuentra incorporado a la estructura del filtro prensa. El tanque cuenta con un mezclador, que se encarga de desgarrar la levadura prensada (torta) y mezclarla con agua contenida en el mismo, de esta manera se obtiene una levadura prensada diluida. El tanque cuenta con una chaqueta la cual puede ser utilizada para mantener la temperatura en el interior del mismo, pero no se encuentra en uso.

II - 4.6 Tinas de Levadura a despacho

Son dos tinas que se encuentran en las instalaciones de la cervecera, pero no tienen uso en la actualidad. Anteriormente cuando la levadura era suministrada a la empresa PROSANA, ésta requería que la levadura se encontrara a baja temperatura para mantener ciertas condiciones necesarias

para su posterior tratamiento, por esta razón al salir la levadura prensada diluida del tanque de autólisis, ésta pasaba por un enfriador y luego se almacenaba en estas tinajas, donde se mantenía la temperatura a través de chaquetas de alcohol, finalmente se descargaba a unos camiones cisternas.

II - 4.7 Tinajas de la Secadora

Son dos tinajas en las cuales se almacena la levadura proveniente del filtro prensa y de las purgas; desde este punto, la levadura puede ir hacia las secadoras o hacia la estación de bombeo 1, que va hacia la P.T.A.R.

Las tinajas tienen forma de cubos que se encuentran abiertos al aire libre por su parte superior, por esta razón es importante no almacenar la levadura por períodos largos, ya que esta tiende a autolisarse, lo que ocasiona malos olores. En las tinajas no se monitorean parámetros, ni se mantienen condiciones, simplemente tienen la función de almacenar la levadura, con una capacidad de aproximadamente 16 m³ cada una.

En las figuras 2 y 3, se encuentran los diagramas con los equipos explicados anteriormente.

II - 5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

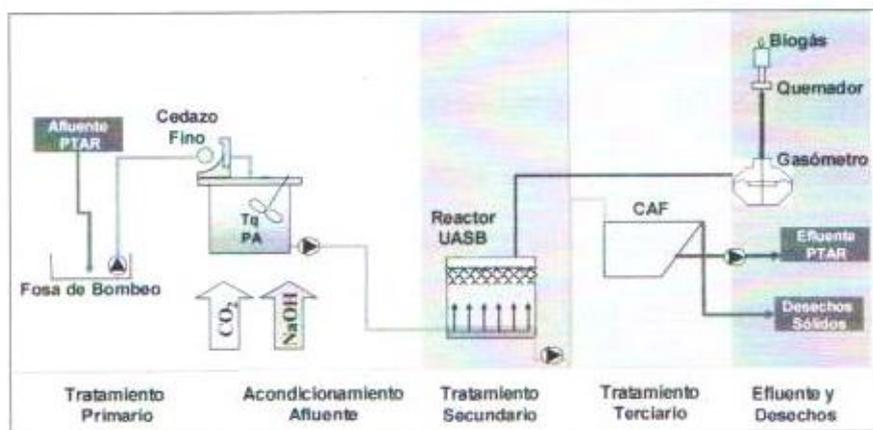
Para cumplir con el óptimo tratamiento de las aguas se tienen 3 pasos (véase *figura 1*):

El tratamiento primario, se basa en procesos físicos, y consiste en eliminar los principales elementos extraños presentes en las aguas residuales tales

como: arenas, grava, piedras, pitillos, y en general toda partícula de gran tamaño que haya sido arrastrada a lo largo de las tuberías hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, entre estos se destacan las rejas, cedazos finos, entre otros.

El tratamiento secundario que por lo general son procesos biológicos de oxidación en donde la materia orgánica putrescible es descompuesta. Básicamente estas sustancias son convertidas en gases, por lo general metano, en el caso del tratamiento anaeróbico y lodo en el caso del tratamiento aeróbico (Rivas, 1.978).

El objetivo del tratamiento terciario es lograr que los efluentes resultantes del agua residual bajo tratamiento, adquieran una pureza tal que puedan ser vertidos bajo requerimientos especiales a los cuerpos de recepción.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11 - Tratamientos de Aguas Residuales

II - 6 TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo del tratamiento biológico es remover los sólidos coloidales no sedimentables y eliminar la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Este proceso se lleva a cabo por medio de una población mixta de microorganismos que utilizan como alimento o sustrato la materia orgánica presente en el agua residual, para transformarla en diferentes gases y tejido celular (Metcalf & Eddy, 1.991). Este tipo de tratamiento puede dividirse en dos grandes grupos, el aeróbico y el anaeróbico. A continuación se describirá el tratamiento anaeróbico, el cual es el empleado en la P.T.A.R. de Planta Los Cortijos.

II - 6.1 Tratamiento Anaeróbico

El tratamiento anaeróbico se refiere a la remoción de materia orgánica del agua residual sin la inyección de aire, consiste en la descomposición de materia orgánica, convirtiéndola aproximadamente en 90% de biogás, el cual está compuesto básicamente por gases como el metano y el dióxido de carbono, los cuales son quemados luego de su formación.

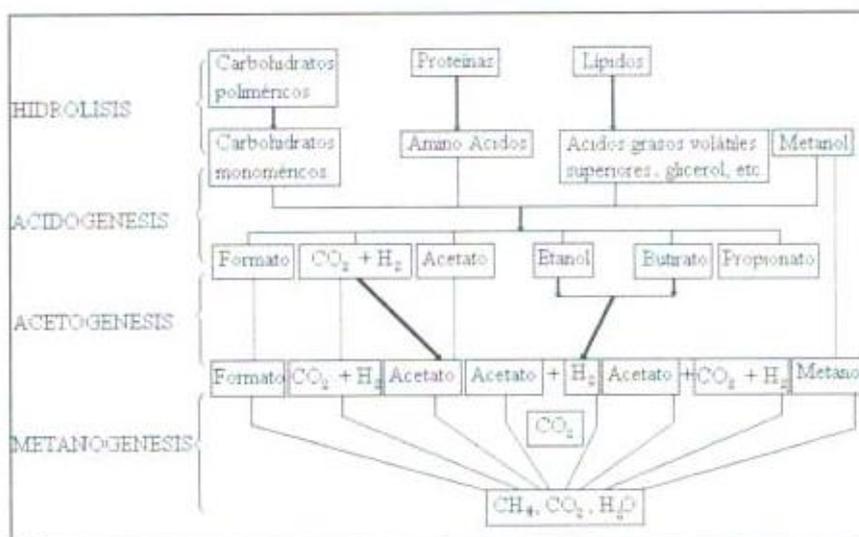
La biomasa está conformada por un lecho de lodo en el cual se encuentran las bacterias encargadas de la digestión anaeróbica, una vez que las bacterias van digiriendo los nutrientes, se reproducen a una baja tasa (1-5%), de esta manera se puede mantener la cantidad necesaria del lodo anaeróbico dentro del reactor.

II - 7 BIOQUÍMICA DE LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaeróbica de materia orgánica implica una conversión de ésta hasta productos finales inofensivos, resulta de un gran número de reacciones interdependientes y simultáneas. El proceso de digestión puede ser clasificado en cuatro etapas (*véase figura 12*):

- Hidrólisis
- Acidogénesis
- Acetogénesis
- Metanogénesis

En condiciones de equilibrio, todas estas reacciones deben ocurrir con la misma velocidad puesto que no debe haber acumulación de productos intermedios.



Fuente: Vereijken & Yspeert, 1993

Figura 12 - Etapas de la Digestión Anaeróbica

II - 7.1 Tipos de Bacterias

En un proceso de digestión anaeróbica se requiere de un gran número de bacterias que en la mayoría de los ecosistemas anaeróbicos coexisten como poblaciones mixtas.

En general se distinguen tres grupos, cada uno cumple un papel específico en la degradación anaeróbica.

- Bacteria Fermentadora (Hidrólisis y Acidogénesis)
- Bacterias Acetogénicas (Acetogénesis)
- Bacterias Metanogénicas (Metanogénesis)

Únicamente las bacterias acetogénicas y metanogénicas son estrictamente anaeróbicas, las hidrolíticas y acidogénicas se conforman de bacterias facultativas y anaerobias. Las bacterias facultativas son aquellas que pueden vivir tanto en la presencia de oxígeno como en su ausencia (Metcalf & Eddy, 1.985).

II - 7.2 Etapas de la Digestión Anaeróbica

II - 7.2.1 Hidrólisis

Esta etapa depende de la actividad de un selecto grupo de microorganismos que lleva a cabo el ataque enzimático (exoenzimas) a los compuestos solubles de alto peso molecular (carbohidratos poliméricos, lípidos y proteínas). Estas exoenzimas son: celulosa, amilasa, proteasa, y lipasa.

Esta primera parte del proceso de digestión anaeróbica es relativamente lenta. Su velocidad depende del pH del medio, del tiempo de residencia

del agua residual y de la disponibilidad de los nutrientes a ser hidrolizados por las enzimas excretadas por los organismos digestores. El tamaño de las partículas presentes en el sustrato es otro de los factores que determinan la rapidez con que se lleva a cabo este proceso, la hidrólisis de las partículas es más lenta cuanto mayor sea su tamaño (Metcalf & Eddy, 1.991).

La materia orgánica contenida en el agua residual debe encontrarse apropiadamente hidrolizada antes de introducirla en el reactor, para evitar la acumulación de partículas difíciles de degradar que causarían una acidificación indeseada dentro del reactor. Una hidrólisis adecuada se alcanza operando la planta de tratamiento de aguas con un tiempo de residencia lo suficientemente alto (4 – 6 horas) y un pH dentro del rango óptimo (6,0 - 7,5; siendo 6,5 el pH óptimo) (Vereijken & Yspeerrt, 1.993).

II - 7.2.2 Acidogénesis

Esta fase del proceso es llevada a cabo, con mayor velocidad que la primera, mediante la acción conjunta de diferentes microorganismos, implica la conversión bacteriana de los compuestos producidos en la primera etapa (hidrólisis) en compuestos intermedios de menor peso molecular (acidogénesis). Los compuestos hidrolizados pueden entrar en las células, donde ocurre un proceso de oxidación-reducción para dar lugar a la producción de Ácidos Grasos Volátiles (A.G.V.) bajos, alcoholes, dióxido de carbono, hidrógeno y amoníaco (Godoy, 1.987).

Los microorganismos activos presentes, la naturaleza química del sustrato y las condiciones del proceso, son los parámetros que determinarán los tipos y cantidad de productos finales de la acidogénesis.

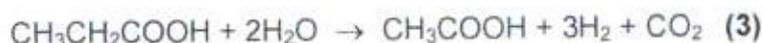
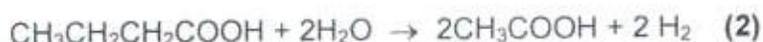
En esta etapa los aminoácidos son convertidos en ácido acético, amoníaco, y dióxido de carbono, entre otros compuestos. El buen desenvolvimiento de la digestión anaeróbica depende en parte del amoníaco producido, puesto que la mayoría de las bacterias pueden utilizar el nitrógeno para su crecimiento en la forma de amoníaco, y no ocurre igual con el nitrógeno en otras formas.

La acidificación se lleva a cabo en un rango de pH (4,5 - 8,0). La bacteria acidificadora tiene una gran tolerancia al pH, puede resistir hasta un pH de 4 sin inhibirse.

El agua residual requiere un cierto grado de preacidificación entre un 20 - 30% antes de entrar en el reactor, ya que se evita que éste se acidifique, esto además favorece la granulación puesto que se garantiza que parte del proceso será llevado a cabo dentro del Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (U.A.S.B.), y las bacterias acidificadoras son de mayor tamaño que las metanogénicas, de manera que contribuyen con la buena estructura del gránulo de lodo. Las bacterias que no forman gránulos (floculantes) deben ser descartadas y salen del reactor por el lavado provocado por el flujo ascendente (Vereijken & Yspeerrt, 1.993).

II - 7.2.3 Acetogénesis

Esta etapa del proceso es rápida y se lleva a cabo en los reactores U.A.S.B. Los productos finales de la acidificación son convertidos por la bacteria acetogénica hasta acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Algunas de las reacciones que ocurren durante esta etapa se citan a continuación:



Esta bacteria sólo puede llevar a cabo las reacciones de la acetogénesis bajo condiciones en las que se mantengan bajos los niveles de concentración de acetato, y de manera radical la presión parcial de hidrógeno en el líquido, esto es posible gracias a la presencia de las bacterias metanogénicas consumidoras de hidrógeno o las reductoras de sulfato.

La acetogénesis depende de la efectividad de la transferencia interespecífica del hidrógeno, ya que en un reactor anaeróbico U.A.S.B. con un buen funcionamiento, la presión parcial del hidrógeno se encuentra alrededor de 10^{-5} atm. Una acumulación de hidrógeno producida, por ejemplo por un desbalance entre la acidogénesis y la metanogénesis, puede causar una inhibición brusca del cambio de la composición de los A.G.V. que contengan más de dos átomos de carbono. En dicha situación, la degradación del propionato, es la primera en ser afectada, por ende se considera que su oxidación es la más

desfavorable termodinámicamente. Una alta concentración de acetato afecta negativamente la tasa de conversión del propionato (Vereijken & Yspeert, 1.993).

Se puede destacar que la transferencia específica del hidrógeno entre las bacterias acetogénicas y las metanogénicas es la responsable de la adherencia entre estas bacterias para la formación de los gránulos (Metcalf & Eddy, 1.991).

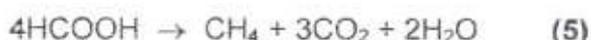
Las bacterias acetogénicas actúan en un rango amplio de pH (4,0 - 8,0). Es importante aclarar que durante las fases de hidrólisis, acidogénesis y acetogénesis no se produce una reducción de la materia orgánica, sólo se lleva a cabo la transformación de una forma a otra. La eliminación neta del material orgánico del agua residual se produce en la etapa metanogénica en la que un 70-75% de la materia orgánica se convierte en la forma de metano, que es un gas altamente insoluble en el agua.

II - 7.2.4 Metanogénesis

Esta es la otra etapa que se cumple dentro del reactor anaeróbico. En una digestión anaeróbica, el paso limitante de la velocidad del proceso es la conversión del acetato a metano. Cuando se poseen bacterias metanogénicas con una tasa de crecimiento lento, su metabolismo se considera como el paso limitante del proceso global.

Las bacterias metanogénicas son estrictamente anaeróbicas. Es importante notar que éstas sólo pueden utilizar un número limitado de

sustratos para la formación de metano. En esta etapa pueden ocurrir las siguientes reacciones (Metcalf & Eddy, 1.991):



Las bacterias metanogénicas se clasifican en dos grupos principales:

- Las convertidoras de acetato en metano y dióxido de carbono (acetotróficas o acetoclásticas).
- Las convertidoras de hidrógeno y dióxido de carbono en metano y agua (hidrogenotróficas).

Un pequeño grupo de estas tiene la capacidad de convertir ambos tipos de sustrato, además del dióxido de carbono y el metanol, algunas de las metanogénicas hidrogenotróficas pueden transformar el formato en metano.

En la digestión anaeróbica las bacterias acidogénicas y acetogénicas producen una relación casi constante de sustratos metanogénicos (alimento para bacterias metanogénicas), acetato e hidrógeno, dióxido de carbono, formato, metanol, metilaminas y monóxido de carbono. En la estabilización del agua residual se logra la producción de metano y dióxido de carbono, el metano es producido a través de la fermentación, mientras que el dióxido de carbono es el resultado de la respiración anaeróbica

Un sistema de tratamiento anaeróbico que estabilice el agua residual de la manera adecuada, tendrá un equilibrio dinámico entre las diferentes bacterias que conforman el lodo. Las bacterias acetogénicas y metanogénicas mantienen una relación "sintrópica" (mutuamente beneficiosa). Los organismos productores de metano consumen el hidrógeno manteniendo así valores considerablemente bajos de presión parcial de hidrógeno, de manera que el equilibrio de las reacciones de fermentación se desplaza en el sentido de la formación de los productos finales más oxidados (como lo son el acetato y formato), esto se conoce como la transferencia de hidrógeno interespecífica; aún más, las bacterias metanogénicas eliminan compuestos que pueden inhibir el crecimiento de los organismos acetogénicos (Metcalf & Eddy, 1.991).

La bacteria metanogénica trabaja dentro de un rango más restringido de pH (6,8 y 7,4) por lo que a un pH inferior, el consumo del hidrógeno producido será menor, esto puede provocar un descontrol de mayor nivel en la planta de tratamiento de aguas, por acumulación de ácidos que bajan el pH dentro del reactor anaeróbico.

II - 7.2.5 Bacterias Reductoras de Sulfato

Las bacterias reductoras de sulfato consumen principalmente hidrógeno y materia orgánica, compitiendo con las metanogénicas, ésta es una de las razones por lo que se desea que la concentración de sulfato en el afluente sea mínima. En la medida que existan sulfatos proporcionalmente existirá

una concentración de ácido sulfhídrico en el biogás, lo que provoca malos olores, riesgos de intoxicación y problemas de corrosión en el área. Sin embargo, la concentración de sulfato en el afluente no debe llegar a ser nula porque el azufre es un nutriente requerido por las bacterias.

En el caso de Cervecería Polar, las bacterias sulfatoreductoras están presentes en menor proporción que las metanogénicas debido a que hay mayor cantidad de materia orgánica que de sulfato (alrededor de un 98% contra un 2%), las bacterias sulfatoreductoras se reproducen sólo en la medida en que tengan sulfato presente en el medio

II - 8 GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO

II - 8.1 Condiciones requeridas para el Tratamiento Anaeróbico

El logro de un buen funcionamiento operativo del tratamiento anaeróbico de aguas residuales depende del balance entre las diferentes velocidades de las reacciones que ocurren dentro del tanque de preacidificación y en el reactor. El proceso de digestión anaeróbica es muy susceptible a pequeños cambios en las condiciones del medio.

Los factores más importantes que se deben controlar son:

II - 8.1.1 Temperatura

Como todo proceso biológico, el tratamiento anaeróbico se ve afectado por la temperatura, ésta afecta tanto dentro de la célula bacteriana como fuera de la

misma. Internamente afecta al A.D.N. y externamente puede provocar la disociación de ciertos compuestos como ácidos débiles y bases.

Las bacterias pueden ser clasificadas según su comportamiento de acuerdo a la temperatura del medio como (Vereijken & Yspeertt, 1.993):

- Sincrofilicas, cuyas temperaturas óptimas de operación se encuentran comprendidas entre los 0 y 20 °C.
- Mesofilicas de temperaturas entre 20-42 °C, siendo el rango óptimo entre 30-41 °C.
- Termofilicas de temperaturas por encima de 45 °C.

El lodo anaeróbico de la cerveceria está compuesto por bacterias mesofilicas. Por encima de los 41°C se desnaturalizan las enzimas, por esto es muy importante mantener la temperatura con un máximo de 40°C y asegurar que los termómetros estén bien calibrados. En la Cerveceria Polar se tiene como medida de seguridad, la temperatura máxima de la operación del reactor en 38,5°C

II - 8.1.2 pH

El pH es el parámetro más importante de control en los reactores anaeróbicos. Debido a que la metanogénesis puede ser el paso limitante, el pH debe ser mantenido por encima de 6, por otro lado, debido a que las bacterias acidogénicas son menos sensibles a variaciones de pH, podría predominar la fermentación ácida sobre la metanogénica, lo que ocasionaría la acumulación de A.G.V. dentro del reactor. Por ello el

sistema debe tener una capacidad buffer (exceso de alcalinidad) para neutralizar la producción de ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono

El rango de tolerancia de pH requerido por las bacterias es bastante restringido (6,5 - 7,5), fuera de este margen de pH la tasa de crecimiento y de actividad disminuye rápidamente, situación que puede llegar a ser fatal para el lodo; el pH alto reduce la actividad más lentamente que un pH bajo.

II - 8.2 Carga del Reactor

La carga del reactor ($\text{KgDQO}/\text{m}^3\text{d}$) determina (junto con otras variables) el comportamiento del sistema de tratamiento anaeróbico, cuanto mayor sea la carga "tratable" en determinado reactor mayor capacidad de estabilización de las aguas residuales tendrá la planta. Dicha capacidad no debe ser superada bruscamente (es decir, sin previa adaptación del lodo) puesto que se producirá una excesiva producción de A.G.V. en el reactor (por consiguiente una disminución en el pH) ocasionando la acidificación del mismo. Por otra parte, si la carga orgánica del reactor es demasiado baja se produce una cantidad insuficiente de biogás, el cual es necesario para mantener fluidizada el lecho de lodos (Brower, 1.996).

II - 8.3 Grado de Preacidificación

El grado de acidificación refleja la cantidad de A.G.V. formados por cantidad de materia orgánica.

No es saludable que la acidificación sea total en el tanque de preacidificación porque alteraría la disponibilidad de sustrato para la fracción de bacterias acidogénicas que componen el lodo, lo que afectaría el equilibrio del proceso. Se recomienda una acidificación de 20 a 30%. Si es menor de 20%, se corre el riesgo de tener un pH demasiado bajo dentro del reactor, pero si es superior a 30%, se obtiene mayor consumo de soda cáustica antes de que el agua residual entre al reactor y la granulación es de baja calidad (Vereijken & Yspeerrt, 1.993).

II - 8.4 Acidez y Alcalinidad

La acumulación de hidrógeno inhibe la descomposición del ácido propiónico en fracciones de segundo. La medición de la presión parcial de hidrógeno en el reactor implica un procedimiento complejo, por lo que se registra concentración de ácido propiónico y ácido acético o A.G.V. "La acidez se define como la capacidad cuantitativa de un agua, para reaccionar con una base fuerte hasta un pH determinado" (APHA-AWWA-WPCF, 1.992).

El pH en una digestión anaeróbica es, por lo general, bien amortiguado debido a la presencia de bicarbonato. Un aumento en la concentración de los ácidos grasos volátiles no será detectado de inmediato a través del registro del pH, puesto que primero ocurrirá la conversión del bicarbonato a dióxido de carbono.

El correcto funcionamiento de la digestión anaeróbica puede ser identificado mediante ciertos parámetros medibles entre los cuales se encuentra la

acidez y la alcalinidad. Es importante que el máximo de A.G.V. se obtenga en el tanque de preacidificación, el pH del reactor depende de su capacidad amortiguadora. "La alcalinidad se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables" (APHA-AWWA-WPCF, 1.992).

II - 9 DESCRIPCIÓN DE LA PTAR DE PLANTA LOS CORTIJOS

En Cervecería Polar se han detectado dos grandes e importantes efluentes a tratar, las vertidas de las áreas de elaboración y las de envasado.

Los afluentes provenientes del área de elaboración se caracterizan por contener una elevada carga orgánica, alto contenido de sólidos y productos químicos resultantes de los procesos de limpieza y desinfección de equipos.

Los afluentes del área de envasado se destacan por su alto contenido de sólidos, temperaturas elevadas, pH muy alcalino comprendido en un rango de (8 – 12) y productos químicos consecuencia de la limpieza y desinfección de equipos.

El primer tratamiento que reciben las aguas residuales al llegar a la P.T.A.R. es el paso a través de un cedazo fino, el cual es un filtro rotatorio que opera de forma continua y cuyo objetivo es separar los sólidos de gran tamaño (mayor a 0.5 mm), para evitar taponamientos y otros problemas en la digestión del lodo anaeróbico. El agua se introduce en el filtro a través del interior del tambor giratorio, para lograr la deposición de los sólidos en la superficie de una malla de acero

inoxidable. Se utiliza un rociador de agua para mantener la malla limpia y se transfiere el sólido a una tolva. El agua ya filtrada continúa hacia el segundo tratamiento

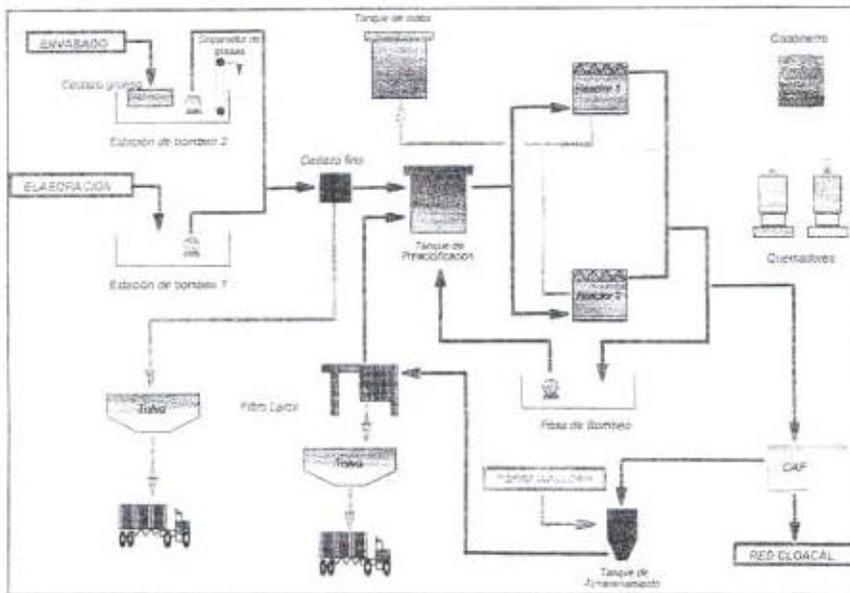
El segundo tratamiento se lleva a cabo en el llamado "Tanque de Preacidificación", en el cual se crea el medio adecuado, corrigiendo pH y temperatura para que se desarrollen las dos primeras etapas de la digestión anaeróbica (hidrólisis y acidogénesis). La acidogénesis sólo se desarrolla en un 20 a 30% dentro de este tanque. El pH se corrige con dióxido de carbono para acidificar y con soda cáustica para alcalinizar el medio. El tiempo de residencia del tanque es de 4 a 6 horas.

Después del tratamiento en el tanque de preacidificación, el agua llega a los reactores en donde se realizan las dos últimas etapas de la digestión anaeróbica: acetogénesis, metanogénesis, y un aproximado de un 70 a 80% de la etapa de la acidogénesis. El agua residual entra por la parte inferior de los reactores, de manera de fluidizar la biomasa que está dentro de éste, la materia orgánica transformada es convertida en biogás.

A la salida de los reactores el agua es dirigida hacia el tanque de flotación C.A.F. (*Cavitation Air Flotation*), donde ocurre un tratamiento físico-químico, a través de un proceso de coagulación, floculación para la remoción de sólidos suspendidos, partículas coloidales, fósforo y sulfuro presentes en el agua residual

El lodo que se genera en el C.A.F. es enviado a un tanque de almacenamiento, en el cual se prepara una mezcla de lodo y tierra infusoria, la cual proviene del proceso de filtración de cerveza. Esta mezcla se bombea a un filtro prensa por placas LAROX. Dicho filtro es capaz de deshidratar los lodos del C.A.F. con la ayuda de la tierra infusoria, para luego utilizarlos como relleno sanitario. El agua filtrada en el LAROX es enviada al tanque de preacidificación

A continuación en la figura 13 se presenta el diagrama de la P.T.A.R. de Planta Los Cortijos.



Fuente: Gerencia de Aguas y Ambiente

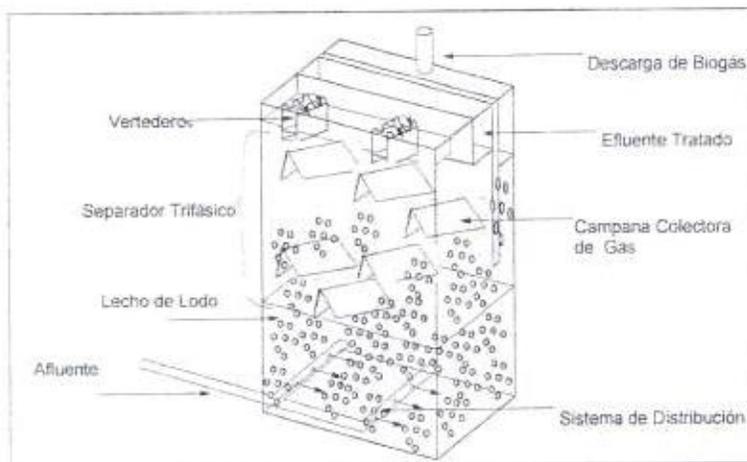
Figura 13 - Diagrama de P.T.A.R. de Cervecería Polar Los Cortijos

II - 9.1 Digestor Anaeróbico

El digestor anaeróbico empleado en la P.T.A.R. de Planta Los Cortijos es del tipo Flujo Ascendente con Lecho de Lodo Fluidizado, U.A.S.B. (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), (véase figura 14).

El agua se introduce en el sistema mediante los agujeros dispuestos en los tubos en la parte inferior del reactor y se distribuye uniformemente para alcanzar una fluidización óptima del lecho de lodos.

El biogás generado por las condiciones anaeróbicas, también provoca una fluidización, que contribuye a la formación y mantenimiento del lodo granular. Al ascender el lodo anaeróbico y entrar en contacto con un separador trifásico se libera el biogás adherido a las partículas biológicas y los gránulos desgasificados caen y forman nuevamente parte del lecho del lodo; el gas liberado es recolectado en los colectores de biogás y es enviado a unos quemadores



Fuente: Gerencia de Aguas y Ambiente

Figura 14 - Diagrama de un Reactor U.A.S.B.

CAPITULO III - MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo se divide en tres partes fundamentales, las cuales son básicas para el proyecto. Cada una de ellas se realizó independientemente en el orden expuesto a continuación, sin embargo se encuentran ligadas por objetivos comunes.

- Caracterización de la levadura en las diferentes fases en las que se encuentra en la cervecería, ésta se basó en los parámetros de calidad del agua residual, y para ello se evaluaron diferentes técnicas para la estandarización de los métodos de análisis aplicados a la levadura.
- Evaluación del impacto de la levadura, descargada sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, ésta se realizó a través de pruebas en planta piloto, y a partir de datos históricos de la P.T.A.R. y de la cervecería. Adicionalmente se estudió el volumen máximo de descarga de levadura hacia la P.T.A.R., y su capacidad máxima de recepción de nitrógeno total.
- Identificación de alternativas para el manejo directo de la levadura, ésta se realizó en base a estudios realizados anteriormente y a investigaciones propias. Se tomaron en cuenta las recomendaciones hechas por las gerencias de la empresa involucradas en el proyecto.

III - 1 CARACTERIZACIÓN DE LA LEVADURA EN LAS DIFERENTES FASES EN LAS QUE SE ENCUENTRA EN LA CERVECERÍA

III - 1.1 Características Metodológicas

Para caracterizar la levadura se seleccionaron los métodos de análisis de los parámetros de calidad, que actualmente se realizan a las aguas residuales.

- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Nitrógeno Total (NT).
- Fósforo Total (PT).
- Sólidos Totales (ST).
- Sólidos Suspendidos Totales (SST).
- Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV).

Fue indispensable estandarizar los métodos de análisis de aguas residuales adaptados a la levadura.

Es importante mencionar que se requirió que los resultados de estos análisis se encontraran en volumen, específicamente en unidades (mg/l); esto se debió a que en la cervecería, la levadura es cuantificada en volumen. Adicionalmente, en la P.T.A.R. los resultados de estos análisis son reportados en estas unidades.

III - 1.2 Población y Muestra

Se identificaron los diferentes puntos de la cervecería donde se presentaba la levadura en diferentes fases, de esta manera se seleccionaron las formas de desecho de levadura a ser caracterizadas.

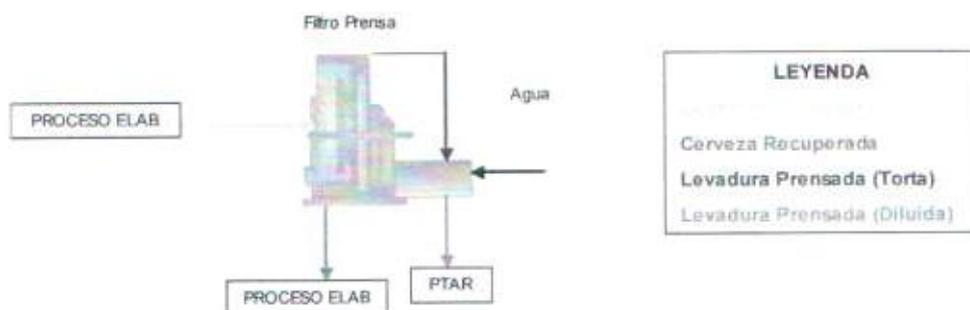
Cabe destacar que en la cervecería se producen diferentes tipos de cerveza, es decir que se tienen diferentes levaduras. Se observó que la levadura de cierto tipo de cerveza se encuentra en abundancia en comparación con las demás, por lo que fue recomendable trabajar con ésta. Asimismo, se puede decir que estas levaduras tienen valores similares en los análisis a realizar, ya que sólo difieren en el tipo de cerveza que las acompañan; y éstas se diferencian en aspectos que no son influyentes en los resultados de estos análisis.

Finalmente, los puntos identificados para el estudio fueron los correspondientes a las corrientes de entrada y salida del Filtro Prensa - Tanque de Autólisis (véase figura 15), estas levaduras no son similares, una representa una mezcla con cerveza y la otra una mezcla con agua, igualmente su concentración %p/p promedio varía para ambas.

Estas levaduras son:

- Levadura a prensar (mezcla de levadura con cerveza).
- Levadura prensada diluida (mezcla de levadura con agua).

Para las pruebas de estandarización, se utilizó la levadura a prensar como muestra, debido a su abundancia en la planta.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15 - Diagrama del Filtro Prensa

III - 1.3 Métodos de Análisis para Aguas Residuales

III - 1.3.1 Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno (D.Q.O.) se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte, como el dicromato de potasio $K_2Cr_2O_7$ en una solución ácida fuerte H_2SO_4 .

Los compuestos volátiles no se oxidan de forma apreciable, debido a que se encuentran en forma de vapor y no entran en contacto con el líquido oxidante, por ello, se añade Ag_2SO_4 como catalizador, sin embargo, éste reacciona con el cloro, el bromo y el yodo, esta dificultad puede ser superada con la formación de un complejo con el sulfato de mercurio $HgSO_4$.

El método empleado es el colorimétrico, el cual se basa en el calentamiento de la muestra por dos horas junto con los reactivos, y así, los compuestos orgánicos presentes en la muestra reaccionan reduciendo el ión dicromato

($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), al ión crómico verde (Cr^{3+}), se deja enfriar a temperatura ambiente y se mide la concentración a 620 nm.

El procedimiento empleado se encuentra en la sección A1.

III - 1.3.2 Nitrógeno Total

Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación, nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas esas formas del nitrógeno, lo mismo que el nitrógeno gaseoso, son inter-convertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo de nitrógeno.

El nitrógeno orgánico se define funcionalmente como nitrógeno ligado orgánicamente en el estado de oxidación trinegativo, no incluye a los compuestos orgánicos del nitrógeno, pero si incluye productos naturales, como las proteínas y péptidos, ácidos nucleicos y úrea.

Analíticamente, el nitrógeno orgánico y el amoníaco se pueden determinar juntos y se han denominado "nitrógeno kjeldahl", un término que refleja la técnica utilizada en su determinación.

Las sustancias orgánicas se convierten por incineración húmeda con ácido sulfúrico concentrado y peróxido de hidrógeno en dióxido de carbono, agua y amoníaco; éste último reacciona con el ácido sulfúrico formando sulfato de amonio. Por un posterior tratamiento con soda cáustica se libera el amoníaco, el cual destila a un recipiente con cierta cantidad de ácido bórico y es fijado por el ácido formando borato de amonio; luego se titula con ácido



sulfúrico hasta un pH de 4,80, convirtiendo el borato de amonio en sulfato de amonio. El pH 4,80 corresponde al punto promedio de equivalencia en la titulación del borato de amonio con el ácido sulfúrico.

El procedimiento empleado se encuentra en la sección A2.

III - 1.3.3 Fósforo Total

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensado piro, meta y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente, se presentan en solución, partículas o detritos, o en los cuerpos de organismos acuáticos.

Si a una solución de ortofosfato se trata con un exceso de reactivo vanadato molibdato amónico, la mezcla produce una coloración amarilla de ácido vanadomolibdofosfórico. El método empleado está basado en la determinación del fósforo total en una muestra utilizando un medio ácido y sometido a calentamiento en presencia de persulfato de amonio para formar el complejo amarillo al reaccionar con el vanadato molibdato amónico. Finalmente se utiliza la colorimetría para conocer la concentración de fósforo. El procedimiento empleado en el proyecto se encuentra en la sección A3.

III - 1.3.4 Sólidos Totales

Los sólidos son materiales suspendidos o disueltos en aguas residuales. Los sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que

quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.

Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105 °C. el aumento de peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales.

Esta técnica es la misma empleada para la determinación de la humedad o sustancia seca de la levadura.

El procedimiento empleado en el proyecto se encuentra en la sección A4.

III - 1.3.5 Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Volátiles

Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro.

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103 - 105 °C.

El aumento de peso del filtro representa los sólidos suspendidos totales.

“Sólidos suspendidos volátiles” es la expresión aplicada a la pérdida de peso de los sólidos suspendidos totales después de someterse a ignición durante un tiempo determinado y a una temperatura específica.

La determinación de sólidos suspendidos volátiles no distingue exactamente entre materia orgánica e inorgánica, porque la pérdida de peso por ignición no se limita al material orgánico, sino que incluye también pérdida por descomposición o volatilización de algunas sales minerales.

El residuo obtenido con el método SST se incinera, a peso constante. Los sólidos remanentes representan los sólidos suspendidos fijos, mientras que la pérdida de peso por ignición representa los sólidos suspendidos volátiles. El procedimiento empleado en el proyecto se encuentra en la sección A5.

III - 1.4 Estandarización de los Métodos de Análisis de Aguas Residuales aplicados a la Levadura

La levadura es una sustancia viscosa y una mezcla trifásica (líquido, sólido y gas), por lo que requiere de un trato diferente al que recibe el agua residual. El gas implica la presencia de burbujas de aire en la muestra, las cuales ocupan un volumen que no debe ser contabilizado; por ello se debe homogeneizar la muestra y dejarla sedimentar por un periodo de tiempo, permitiendo el escape del aire. La levadura no es completamente soluble en agua, lo cual lleva a la falta de homogeneización de la muestra; por ello se debe mantener una agitación constante de la muestra.

Se realizaron pruebas utilizando diferentes técnicas para la realización de los análisis, ya fuera considerando la muestra en volumen o en peso, buscando obtener resultados en (mg/l); en cada caso se determinó la precisión de los métodos, procesando los resultados a través de la desviación estándar y del coeficiente de variación.

III - 1.4.1 Prueba de Precisión 1 – Técnica en volumen

Con esta prueba se buscaba trabajar con los métodos de aguas residuales, modificando únicamente el factor de dilución y la toma de la muestra a diluir

(volumen o peso). El factor de dilución empleado fue de 500, ya que éste cumplía con los requerimientos de todos los métodos de análisis, es decir que los resultados se encontraban dentro de los rangos recomendados por los métodos o de los intervalos manejados por los equipos.

La prueba se dividió en dos partes:

III - 1.4.1.1 Experimento A - Dilución de un volumen conocido

Se prepararon soluciones a una misma concentración en % v/v, a partir de una muestra de levadura a prensar, el factor de dilución se logró luego de varias diluciones sucesivas a partir de la muestra original, debido a la presencia de sólidos lo cual dificulta pipetear la muestra.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Diluir la muestra con el factor de dilución indicado (%v/v).
- Realizar análisis (DQO, NT, PT, ST y SST) (véase apéndice A).
- Obtener resultados en mg/l.
- Realizar el procedimiento por triplicado.

III - 1.4.1.2 Experimento B - Dilución de un peso conocido

Se prepararon soluciones a una misma concentración en % p/v, a partir de una muestra de levadura a prensar. Para lograr el factor de dilución requerido, se realizó una sola dilución, se tomó el peso requerido y se vertió en un balón aforado, llevándolo a un volumen conocido.

El procedimiento que se siguió fue el siguiente:

- Diluir la muestra con el factor de dilución indicado (%p/v).
- Realizar análisis (DQO, NT, PT, ST y SST) (véase apéndice A).

- Obtener resultados en mg/l.
- Realizar el procedimiento por triplicado.

III - 1.4.2 Prueba de Precisión 2 – Técnica en Peso

Con esta prueba se buscaba trabajar con los métodos de aguas residuales, modificando únicamente la selección de la muestra, que en lugar de un volumen era un peso, por consiguiente los resultados de los análisis se encontraban en peso, y finalmente eran convertidos a unidades de volumen con la densidad. Esta prueba sólo se aplicó en los análisis de nitrógeno y sólidos, debido a que para los análisis de D.Q.O. y fósforo era indispensable contar con diluciones para realizar los análisis.

El procedimiento a seguir se muestra a continuación:

- Tomar un peso de la muestra.
- Realizar análisis (NT, ST y SST) (véase *apéndice A*).
- Obtener resultados en g/100g.
- Convertir unidades a mg/l a través de la densidad.
- Realizar el procedimiento por triplicado.

III - 1.4.3 Comparación entre las Pruebas de Precisión y Selección de la mejor técnica

Luego de realizar las pruebas se hizo una comparación entre los resultados del experimento A y B con la técnica en volumen y los resultados de la prueba con la técnica en peso. A partir de estos resultados, se buscaba seleccionar la mejor técnica para realizar cada uno de los análisis.

III - 1.5 Aplicación de los Métodos Estandarizados a las Levaduras

Esta sección del estudio consistió en la aplicación de los métodos ya estandarizados a ambas levaduras a caracterizar. La concentración %p/p de la levadura se consideró como una variable independiente, y cada uno de los análisis fueron variables dependientes de la misma.

Cabe destacar que para cada muestra de levadura se determinaba la densidad y la concentración %p/p, ya que ésta varía entre los tanques de almacenamiento, oscilando alrededor de un valor promedio.

III - 1.5.1 Pruebas de Linealidad

Para cada uno de los parámetros de calidad se realizaron curvas de linealidad, tanto para la levadura a prensar, como para la levadura prensada diluida. Se buscaba obtener resultados que fueran directamente proporcionales a la concentración %p/p de la levadura, para ello se graficaron los resultados obtenidos en función de la concentración %p/p.

Es importante mencionar que cada uno de los métodos estandarizados se encontraban validados para las aguas residuales, esto implica que tenían sus respectivas curvas de calibración.

Para cada caso se realizó una regresión lineal, la cual tuvo por finalidad la búsqueda de una relación funcional entre el parámetro analizado y la concentración %p/p de la levadura. Adicionalmente se estableció una ecuación que representara la relación detectada, y se presentó junto con el grado de ajuste de la ecuación, dicho ajuste se realizó a través de un análisis

de correlación, el cual viene dado por el coeficiente R^2 , que verifica $0 < R^2 < 1$, cuanto más cercano a uno sea su valor, mejor será el ajuste.

Se procedió de la siguiente manera:

- Tomar la muestra de levadura (a prensar o prensada diluida).
- Determinar la concentración % p/p y la densidad (véase apéndice B).
- Realizar análisis por triplicado (DQO, NT, PT, ST, SST y SSV) según los métodos estandarizados para la levadura.
- Obtener resultados en mg/l.

Esta prueba se realizó para 4 ó 5 diferentes concentraciones de ambas levaduras a caracterizar.

III - 1.5.2 Caracterización de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida

Según las curvas obtenidas se seleccionó un rango de concentraciones representativas para cada una de las levaduras a caracterizar.

Adicionalmente se calcularon y se observaron las relaciones existentes entre diferentes parámetros de calidad (DQO:NT:PT, ST:SST y SST:SSV), observando así sus tendencias y se estudiaron el % de sustancia seca, y el % de NT en base seca y húmeda.

III - 1.5.3 Balance de Masa en el Filtro Prensa

Una vez que la levadura a prensar entra al filtro prensa, se separan la levadura prensada (torta) y la cerveza recuperada, las cuales son las corrientes de salida del equipo. Para obtener un balance en este equipo, fue

necesario realizar los análisis de caracterización a estas corrientes a través de los métodos de análisis correspondientes (véase *apéndice A*).

III - 2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA LEVADURA DESCARGADA SOBRE LA PTAR

III - 2.1 Pruebas en Planta Piloto de la PTAR

III - 2.1.1 Características Metodológicas

Se alimentó una planta piloto de la P.T.A.R. con agua residual del tanque de preacidificación de la P.T.A.R. junto con levadura, simulando las condiciones de operación de la P.T.A.R, esto se realizó con el fin de evaluar el impacto de la descarga de levadura, observando el comportamiento de los diferentes parámetros de operación y analizando ciertos parámetros de calidad.

III - 2.1.2 Población y Muestra

Se escogió como muestra la levadura a prensar, ya que ésta posee mayores concentraciones en %p/p y mayores concentraciones para los parámetros de calidad, por lo que se asumió que ésta causa mayor impacto que la levadura prensada diluida, la cual se dirige principalmente hacia la P.T.A.R.

III - 2.1.3 Descripción de la Planta Piloto

Para llevar acabo estas pruebas se utilizó la planta piloto de tratamiento de aguas residuales marca PAQUES B.V., Tecnología Ambiental, la cual consta de diferentes equipos (véase *apéndice C*).

III - 2.1.4 Proceso de Operación de la Planta Piloto

La planta piloto cuenta con un reactor de flujo ascendente U.A.S.B., donde ocurre la reducción de la materia orgánica por parte de la biomasa, produciéndose biogás.

También se cuenta con otros equipos, los cuales se encargan principalmente de garantizar las condiciones necesarias para el correcto desarrollo del proceso dentro del reactor. La planta piloto está controlada por un P.L.C. (Controlador Lógico Programable), el cual se encarga de mantener el pH, la temperatura y el nivel dentro del tanque de preacidificación.

El agua residual se alimenta hacia el tanque de preacidificación donde el valor de pH es ajustado, ya sea añadiendo soda cáustica para aumentar el mismo o ácido clorhídrico para disminuirlo, hasta que éste se encuentre dentro del rango requerido por las bacterias.

Una vez que el agua se encuentra preacidificada se introduce por la parte inferior del reactor y va fluyendo en forma ascendente a través de la biomasa, la cual ocupa la mitad del volumen del reactor.

El biogás producido (metano y dióxido de carbono) junto con la velocidad ascendente del agua dentro del reactor, dan lugar a una fluidización del lecho de lodos, el cual favorece la formación y el mantenimiento de los gránulos de lodos, aumentando la superficie de contacto entre estos y el agua residual.

El biogás producido dentro del reactor se adhiere a los gránulos de lodos, los cuales ascienden hacia la parte superior del reactor, estos entran en contacto

con un separador trifásico donde se desgasifican y ocurre la liberación del biogás adherido.

Los gránulos desgasificados vuelven a la superficie del lecho de lodos, mientras que el biogás es recolectado en un compartimiento que se encuentra conectado a una trampa de agua, y ésta a un medidor de gas, donde se registra el volumen producido. El agua tratada fluye hacia la parte superior del reactor, abandonando el mismo por rebose.

III - 2.1.5 Operación de la Planta Piloto

El buen funcionamiento de la planta piloto se garantiza al obtener principalmente un valor de D.Q.O. de 900 mg/l. o menor y un A.G.V. no mayor de 3 meq/l, en la salida del reactor. Para cumplir con estos valores se establecieron parámetros de control y parámetros de operación. Adicionalmente se tomaron en cuenta los parámetros de calidad, los cuales se rigen por normas ambientales de calidad reguladas por entidades gubernamentales.

III - 2.1.5.1 Parámetros de Control

III - 2.1.5.1.1 Control Automático

Los parámetros de control automático se establecieron según los valores establecidos en la P.T.A.R. (véase *tabla 1*).



Tabla 1 - Parámetros de Control para la Planta Piloto

Canal #	Descripción	Valor seleccionado	Acción
10	Alarma de pH alto en el tanque de preacidificación	7,5	parada de la planta
11	pH alto	7,3	dosificación de HCl
12	pH bajo	6,4	dosificación de soda cáustica
13	Alarma de pH bajo en el tanque de preacidificación	6,0	parada de la planta
20	Alarma de nivel alto en tanque de preacidificación	22%	parada de la planta
21	Nivel bajo	20%	activa bomba de afluente crudo
22	Alarma de nivel bajo en el tanque de preacidificación	17%	parada de la planta

Fuente: Elaboración Propia

Fue de gran importancia mantener el pH entre 6,5 y 7,5 dentro del reactor ya que éste es el rango dentro del cual las bacterias metanogénicas pueden operar.

Se eliminó el sistema de calentamiento que posee la planta piloto, ya que las condiciones ambientales permitieron que la temperatura se mantuviera dentro del rango requerido por los microorganismos (20-45°C).

Es importante mencionar que cuando se presentaba una situación de alarma, en la que se alcanzaban los valores expuestos en la tabla 1, la planta piloto se detenía automáticamente hasta que todo estuviese bajo control de nuevo.

Los reactivos (ácido clorhídrico y soda cáustica) utilizados para controlar el pH en la planta fueron preparados al 1,5 %v/v.

El medidor de pH se calibró una vez por semana, al igual que se verificó el caudal de cada una de las bombas peristálticas debido al desgaste que sufren las mangueras.

III - 2.1.5.1.2 Control Manual

Otros parámetros de operación que se controlan manualmente, son los caudales de las bombas de alimentación al tanque de preacidificación y al reactor, y el de recirculación.

También se tiene la velocidad ascendente (véase ecuación D1) dentro del reactor, parámetro que depende del caudal de alimentación al reactor.

Para mantener fluidizado el lecho de lodos es conveniente que la velocidad ascendente tenga un valor entre 0,5 y 1,0 m/h.

III - 2.1.5.1.3 Medición de Acidez y Alcalinidad

La alcalinidad es la encargada de mantener la capacidad buffer del reactor, por lo que es recomendable un valor de alcalinidad de aproximadamente 12 meq/l en el reactor. El A.G.V. no debe ser mayor de 3 meq/l, el cual es el límite recomendado por PAQUES (véase apéndice E).

III - 2.1.5.1.4 Medición de la Demanda Química de Oxígeno

El análisis de D.Q.O. es muy importante porque es el factor determinante para el buen funcionamiento de la planta, ya que el requerimiento principal es la reducción de materia orgánica por parte de las bacterias, lo cual se ve reflejado a través de este análisis (véase sección A1). El valor de D.Q.O._T máximo en el efluente es 900 mg/l.

III - 2.1.5.2 Parámetros de Operación

A partir de estos, es posible evaluar las fluctuaciones que se pueden presentar durante la operación de la planta piloto.

III - 2.1.5.2.1 Factor de Recirculación

La recirculación del efluente del reactor hacia el tanque de preacidificación tiene como objetivo aumentar la alcalinidad y diluir la concentración de D.Q.O. del afluente que entra al reactor (véase ecuación D2).

III - 2.1.5.2.2 Carga Volumétrica del Reactor

Para un reactor U.A.S.B. la carga volumétrica (véase ecuación D3) debe encontrarse menor a $8 \text{ kgDQO/ m}^3 \cdot \text{d}$, valor recomendado por PAQUES.

III - 2.1.5.2.3 Grado de Preacidificación

El grado de preacidificación del agua residual antes de entrar al reactor, se debe mantener entre el 20-30 %, para evitar la acidificación del mismo, éste se calcula a partir de la ecuación D4.

III - 2.1.5.2.4 Eficiencia de Remoción de DQO_F

La eficiencia del proceso está expresada en el porcentaje de remoción de la materia orgánica soluble alimentada al sistema. La eficiencia de un reactor U.A.S.B. está entre 75-80%, y se calcula a partir de la ecuación D5.

III - 2.1.5.2.5 Producción Específica de Biogás

La producción de gas específica es la producción de metros cúbicos de biogás por kilogramo de DQO_{REM} . Este parámetro está alrededor de $0,42 \text{ m}^3 \text{ biogás/kgDQO}_{\text{REM}}$ si la digestión es satisfactoria (véase ecuación D6).

III - 2.1.5.3 Parámetros de Calidad

Los parámetros de calidad son los análisis que se realizan al agua residual a nivel de laboratorio, para garantizar el cumplimiento de las normas ambientales de calidad, estos parámetros de calidad pueden ser: D.Q.O., nitrógeno total, fósforo total, sólidos, entre otros (véase apéndice A).

III - 2.1.6 Arranque y Puesta a punto de la Planta Piloto

Para el arranque de la planta piloto fue necesario realizar la revisión y el mantenimiento de todos los equipos de la misma. Luego, se trabajó en la puesta a punto de la planta, fijándose los parámetros de operación, con el propósito de garantizar la reproducibilidad de los resultados de la P.T.A.R.

El afluente de la planta piloto fue el agua residual proveniente del tanque de preacidificación de la P.T.A.R., éste se encontraba previamente acondicionado (pH, temperatura) y era bombeado directamente al tanque de preacidificación de la planta piloto.

Los valores de los set-points de pH y nivel fueron los establecidos en la tabla 1. La temperatura se mantuvo dentro del rango establecido y se fijaron los caudales de las bombas de alimentación con los valores presentados en la tabla 2; el valor de la velocidad ascendente dentro del reactor fue 0,32 m/h.

Tabla 2 - Caudales de las Bombas para el Arranque de la Planta Piloto

Caudal	(l/h)
Alimentación al Tanque PA (Q_{PA})	24,0
Alimentación al Reactor (Q_R)	9,0
Recirculación (Q_{REC})	4,0

Fuente: Elaboración Propia

Se analizaron el A.G.V. y la alcalinidad; y se tomaron muestras del afluente y el efluente de la planta piloto para medir el D.Q.O.; finalmente, se calcularon los parámetros de operación.

III - 2.1.7 Pruebas con diferentes Cargas de Levadura

En el proceso de degradación de la materia orgánica llevado a cabo por los lodos anaeróbicos, se fija como factor limitante la cantidad de carga volumétrica que puede ser digerida y convertida en biogás por los microorganismos de los lodos, manteniendo la concentración de A.G.V. menor a 3 meq/l y un valor de D.Q.O. menor a 900 mg/l en el efluente.

En esta sección, además de tomar en cuenta el factor anterior, se consideró como factor limitante la carga máxima de levadura contenida en el afluente a la planta para garantizar una operación satisfactoria.

Para ello se prepararon varias cargas volumétricas utilizando levadura a prensar de los tanques de lepre, constituyendo un total de tres pruebas.

Para la preparación del afluente se utilizó un tanque de 200 l de capacidad, el cual poseía un agitador; en éste se colocaba la mezcla de agua residual proveniente del tanque de preacidificación de la P.T.A.R. y de levadura a prensar, según la proporción establecida para cada prueba; adicionalmente, se añadió un volumen de 50 ml de soda al 50% para garantizar una buena alcalinidad.

Se estableció como un tiempo de duración de cada prueba de 6 horas, y el tiempo de residencia del agua antes de entrar al reactor fue de 4 – 8 horas.

A continuación se presentan el %v/v de levadura, el D.Q.O._T teórico, y el nitrógeno total teórico para el afluente de la planta piloto en cada una de las pruebas (véase tabla 3).

Tabla 3 - %v/v levadura, DQO_T teórico y NT teórico del Afluente, en las Pruebas en Planta Piloto

Prueba #	%v/v levadura	DQO _T teórico (mg/l)	NT teórico (mg/l)
1	0,30	3.183	77
2	1,00	4.775	141
3	1,25	5.344	163

Fuente: Elaboración Propia

Estos valores se calcularon por la ecuación 7, con los datos teóricos obtenidos a partir de la caracterización de la levadura (véase tabla 17) y con los datos teóricos para el agua residual sin levadura (véase tabla 4).

Tabla 4 - DQO y NT para el Agua Residual (sin levadura)

Parámetro	Agua Residual (mg/l)
DQO	2.500
NT	50

Fuente: SAP

$$\text{Parámetro}_{\text{final Mezc}} = \text{Parámetro}_{\text{teórico Lev}} * \%Lev + \text{Parámetro}_{\text{teórico Agua}} * (1 - \%Lev) \quad (7)$$

donde;

- Parámetro_{final Mezc}: Valor del parámetro final en la mezcla (mg/l)
- Parámetro_{teórico Lev}: Valor del parámetro teórico en la levadura (mg/l)
- Parámetro_{teórico Agua}: Valor del parámetro teórico en el agua residual afluente (mg/l)
- %Lev: Porcentaje de levadura en el afluente (%)

Durante las pruebas, se mantuvieron constante los parámetros de control automático (véase *tabla 1*). El valor de la velocidad ascendente fue 0,45 m/h y los caudales de las bombas fueron fijados con los valores de la *tabla 5*.

Tabla 5 - Caudales de las Bombas, en las Pruebas en la Planta Piloto

Caudal	(l/h)
Alimentación al Tanque PA (Q_{PA})	24,0
Alimentación al Reactor (Q_R)	12,6
Recirculación (Q_{REC})	4,5

Fuente: Elaboración Propia

Los caudales de alimentación al reactor y de recirculación se aumentaron, en comparación con la puesta a punto de la planta piloto, ya que se buscaban cargas volumétricas similares a la P.T.A.R., la cual posee valores de 3 - 5 kgDQO/m³d.

Se analizaron el A.G.V. y la alcalinidad; y se tomaron muestras del afluente y el efluente de la planta piloto para medir el D.Q.O. y el nitrógeno total. Finalmente, se calcularon los parámetros de operación, para observar las variaciones en cada prueba.

III - 2.2 Identificación del Parámetro Limitante para la Carga de Levadura en el Afluente a la PTAR

Se deseaba obtener un carga máxima de levadura en el agua afluente a la P.T.A.R., para ello fue necesario buscar un parámetro de la levadura que fuera el limitante (DQO, NT, ST, o SST).

Conociendo los valores de las normas ambientales de calidad para los parámetros de calidad en el efluente de la P.T.A.R. (véase *tabla 6*), y los valores correspondientes a los porcentajes de remoción en la P.T.A.R. para cada parámetro (véase *tabla 7*), se estimaron los valores máximos permitidos para estos en el afluente a la P.T.A.R.

Tabla 6 - Normas de Calidad para el Efluente de la PTAR

Parámetro	Norma efluente (mg/l)
DQO	900
NT	40
ST	1.600
SST	400

Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales No Renovables

Tabla 7 - % Remoción Promedio para Parámetros de Calidad en la PTAR

Parámetro	Porcentaje de Remoción Promedio (%)
DQO	90
NT	55
ST	55
SST	80

Fuente: SAP

Se escogieron concentraciones promedio de la levadura a prensar (50 %p/p) y de la levadura prensada diluida (35 %p/p); y partir de la caracterización de ambas levaduras, se conocieron los valores teóricos de sus diferentes parámetros de calidad (véase *tabla 17*). Adicionalmente a través de SAP se obtuvieron los valores promedio de estos parámetros para el agua residual afluente a la P.T.A.R. sin carga de levadura (véase *tabla 8*).

Tabla 8 - Parámetros de Calidad para el Agua Residual (sin levadura)

Parámetro	Agua Residual (mg/l)
DQO	2.500
NT	50
ST	2.800
SST	500

Fuente: SAP

Con estos datos se calcularon los valores para los diferentes parámetros de calidad en mezclas de agua residual afluyente a la P.T.A.R. con distintos %v/v de levadura a prensar o levadura prensada diluida (véase ecuación 7). Luego, se realizaron gráficas para cada uno de los parámetros, en función del %v/v de levadura en el afluyente.

Finalmente, con este valor, se identificó en las gráficas cuál era el parámetro limitante de la levadura para garantizar el cumplimiento de las normas ambientales.

III - 2.3 Estimación de Producción de Levadura a desechar

En la cervecería no se contabiliza el volumen de levadura a prensar, y por consiguiente tampoco el de levadura prensada diluida, se pueden calcular teóricamente, aunque con poca exactitud; esto se debe a las variaciones que existen con respecto a la concentración %p/p debido al variable volumen de agua añadido en la salida del filtro prensa (bombeabilidad).

Se evaluó el peor caso, en el cual toda la levadura excedente (prensada diluida) de la cervecería se dirige hacia la P.T.A.R., para ello se tomó como base una semana de producción en la cervecería (véase tabla 9).

Tabla 9 - Datos Promedios de Producción de la Cervecería para una semana

Volumen de Producción C y M	70.000	HI
Volumen de Producción de Maltin	10.000	HI
Volumen de Producción de Cerveza	60.000	HI
Días de Operación P.T.A.R.	5,5	d.

Fuente: Gerencia de Elaboración de Planta Los Cortijos

A partir del volumen de producción se estimó el posible volumen de levadura prensada diluida. Al tener un rango de posibles valores para la concentración %p/p, se tomó como base el caso promedio en que la levadura prensada diluida al 35 %p/p.

Se conoce que el volumen de levadura a prensar por T.C.C. es de 17.836 l aproximadamente (véase tabla H4), y para conocer el volumen de levadura prensada diluida por T.C.C, fue necesario el cálculo de un factor de aumento de volumen (Fa), ya que a la salida del filtro prensa ésta sale diluida por la adición de agua; éste se obtuvo a partir de la ecuación 8 a partir de la sustancia seca de la levadura a prensar y la sustancia seca de la levadura prensada diluida (véase tabla 21).

$$Fa = \frac{SS \text{ lev. a prensar } (\%)}{SS \text{ lev. prens. dil. } (\%)} \quad (8)$$

Con el factor de aumento de volumen se pudo estimar el volumen de levadura prensada diluida por T.C.C. (véase ecuación 9) a partir del volumen conocido de levadura a prensar por T.C.C (17.836 l/TCC).

$$\text{lev. prens. dil. (l/TCC)} = \text{lev. a prensar (l/TCC)} * Fa \quad (9)$$

A continuación, para conocer el volumen por semana, se calculó un índice de litros de levadura prensada diluida en función de HI de cerveza envasada (véase ecuación 10), conociendo la cerveza envasada estimada para un T.C.C (véase tabla 10).

Tabla 10 - Cerveza Envasada por TCC

Cerveza envasada / TCC	9.677	HI
-------------------------------	-------	----

Fuente: Gerencia Nacional de Tecnología Cervecera

$$\text{Índice lev. prens dil. (l / HI)} = \frac{\text{lev. prens. dil. (l/TCC)}}{\text{Cerveza envasada (HI/TCC)}} \quad (10)$$

A partir del índice y de la producción semanal (véase tabla 9), se calculó el volumen de levadura prensada diluida semanal con la ecuación 11, y se llevó a unidades en m³/d. con la ecuación 12.

$$\text{lev. prens. dil. (l / sem)} = \text{Ind. lev. prens dil. (l / HI)} * \text{Cerveza envasada (HI / sem)} \quad (11)$$

$$\text{lev. prens. dil. (m}^3\text{ / d.)} = \frac{\text{lev. prens. dil. (l / sem)}}{1000(\text{m}^3\text{ / l)} * \text{días (d. / sem)}} \quad (12)$$

Le ecuación 13 se utilizó para calcular el volumen de agua residual generado a partir de la producción de la cervecería seleccionada, contando con un

índice de agua residual el cual varía en función de la producción total de la cervecería (véase tabla 11).

Tabla 11 - Agua Residual generada por 70.000 HI CyM envasada

Agua Residual (sin levadura) / l cerveza envasada	2.82	l/l
--	------	-----

Fuente: Gerencia de Aguas y Ambiente

$$Agua\ Res.(m^3 / d.) = \frac{Ind.Agua\ Res.(l/l) * 100(l/HI) * CyM\ envasada(HI / sem)}{1000(l/m^3) * días(d./sem)} \quad (13)$$

Sumando el volumen de levadura y el volumen de agua residual, se tiene el volumen total del afluente (véase ecuación 14).

$$Afluente(m^3 / d.) = lev.\ prens.\ dil.(m^3 / d.) + Agua\ Res.(m^3 / d.) \quad (14)$$

Finalmente, para conocer un estimado del %v/v de levadura en el afluente de la P.T.A.R. se hizo el cálculo a través de la ecuación 15.

$$\% lev = \frac{lev.\ prens.\ dil.(m^3 / d.) * 100}{Afluente(m^3 / d.)} \quad (15)$$

Adicionalmente, se calcularon las posibles cargas de los parámetros de calidad que contendría el afluente, a partir de los datos teóricos obtenidos de la caracterización de la levadura (véase tabla 17), y de los datos para el agua residual sin levadura (véase tabla 8).

Por ejemplo, para el NT vea la ecuación 16:

$$NT_{Afluente}(mg/l) = \frac{NT_{AguaRes}(mg/l) * AguaRes.(m^3 / d.) + NT_{lev.\ prens.\ dil.}(mg/l) * lev.\ prens.\ dil.(m^3 / d.)}{Afluente(m^3 / d.)} \quad (16)$$

De la misma manera se calcularon los valores de los demás parámetros de calidad, y se obtuvieron los valores de los mismos en el efluente, calculándolos a partir de los porcentajes de remoción teóricos (véase tabla 7) con la ecuación 17:

$$NT_{Efluente} (mg/l) = NT_{Afluente} (mg/l) * \frac{(100 - \% \text{ Remoción } NT)}{100} \quad (17)$$

III - 2.4 Volumen Máximo de Levadura a descargar a la PTAR

Este volumen se encuentra estrechamente relacionado con el %v/v máximo de levadura en el afluente, el cual se encuentra ligado con la norma de NT en el efluente de la P.T.A.R y con el límite de NT permitido en el afluente hacia la P.T.A.R., calculado a partir del porcentaje de remoción de NT en la P.T.A.R.

El volumen máximo de levadura hacia la P.T.A.R. depende de la producción de la cervecería, ya que a partir de ésta varía el volumen de agua residual y de levadura prensada diluida. Para calcularlo (véase ecuación 18), continuando la secuencia de la sección anterior con una producción semanal de la cervecería, se calculó cual sería el volumen máximo para garantizar la concentración de NT límite en el afluente (85 mg/l), a partir de los datos del NT de la levadura prensada diluida (5.000 mg/l) y del agua residual sin levadura (50 mg/l) utilizando la ecuación 18.

$$lev. \text{ prens. dil. }_{PERMITIDA} (m^3/d) = \frac{Agua \text{ Res. } (m^3/d) * (NT_{lim} - NT_{Agua \text{ Res.}})}{(NT_{lev \text{ prens. dil.}} - NT_{lim})} \quad (18)$$

Se calculó también el porcentaje que representa el volumen máximo de levadura a descargar a la P.T.A.R. del volumen total de levadura (véase ecuación 19).

$$\% \text{ lev. prens. dil. a PTAR} = \frac{\text{lev. prens. dil. PERMITIDA} (\text{m}^3 / \text{d.}) * 100}{\text{lev. prens. dil.} (\text{m}^3 / \text{d.})} \quad (19)$$

III - 2.5 Capacidad Máxima de Recepción de Nitrógeno de la PTAR

A partir del volumen máximo de levadura a descargar, se recalculó el volumen del afluente hacia la P.T.A.R. Luego, a partir del límite de NT en el afluente a la P.T.A.R. (85 mg/l), se calculó la capacidad máxima de recepción de nitrógeno de la P.T.A.R. para la producción seleccionada (véase la ecuación 20).

$$NT_{\max} (\text{kg} / \text{d.}) = \frac{NT_{\lim} (\text{mg} / \text{l}) * 1.000 (\text{l} / \text{m}^3) * \text{Afluente} (\text{m}^3 / \text{d.})}{1.000.000 (\text{mg} / \text{kg})} \quad (20)$$

Adicionalmente, se calculó un índice máximo (véase ecuación 21), el cual indica la cantidad de nitrógeno total en gramos que contiene el efluente de la cervecería por HI de C y M envasada.

$$\text{Índice NT} (\text{g NT} / \text{HI CyM}) = \frac{NT_{\max} (\text{kg} / \text{d.}) * 1.000 (\text{g} / \text{kg}) * \text{días} (\text{d.} / \text{sem})}{\text{CyM envasada} (\text{HI} / \text{sem})} \quad (21)$$

Adicionalmente se verificó la carga de nitrógeno que aporta el volumen de levadura disponible para la descarga hacia la P.T.A.R., a partir de la ecuación 20; y su respectivo índice (véase ecuación 21). Los cálculos se realizaron a partir de datos del NT para una levadura prensada diluida al 35

% p/p (véase tabla 17); asimismo se realizaron para el agua residual sin levadura, a partir de un valor promedio de NT (50 mg/l) y con el volumen de agua residual estimado.

Conociendo las cargas de nitrógeno de la levadura y de agua residual por separado, se sumaron para obtener la carga total en el afluente de la P.T.A.R.

III - 3 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DIRECTO DE LA LEVADURA

III - 3.1 Búsqueda de Alternativas para el Manejo directo de Levadura

Luego de haber estudiado el impacto de la levadura sobre la P.T.A.R., se continuó con la identificación de alternativas para el manejo directo de la levadura. Se investigaron diferentes aplicaciones de la levadura en el mundo, pero se encontraron viables solamente algunas, como por ejemplo los manejos tradicionales, secarla para materia prima de alimento de animales y venderla húmeda para procesar saborizantes. Asimismo, se identificaron alternativas adicionales:

1. Mezclar levadura lisada con nepe húmedo.
2. Mezclar levadura con lodo del C.A.F. y tierra infusoria.
3. Vender levadura para compost.
4. Otras.

Para cada alternativa, se presentan sus bases y fundamentos. Sin embargo, la mezcla de levadura lisada con nepe húmedo fue la más explorada, al ser la opción más recomendada.

III - 3.2 Estudio de las Variables que influyen en la Lisis

Luego de estudiar las bases y fundamentos de la mezcla de levadura lisada con nepe húmedo, fue necesario analizar diferentes variables que influyen en su implementación, basadas en el proceso de lisis que se daría en el tanque de autólisis; sin embargo las pruebas se realizaron a nivel de laboratorio.

Para las diferentes pruebas se empleó levadura prensada diluida al 35 %p/p, ya que ésta es la que se forma en el tanque de autólisis, una vez que es mezclada con agua; y la cual sería utilizada para este manejo. Se seleccionó como método para la lisis, la elevación de la temperatura, en vista de que cualquiera de los otros métodos investigados, incluía un gasto adicional para su implementación.

III - 3.2.1 pH vs Temperatura

Se tomó una muestra de 500 ml de levadura prensada diluida al 35 %p/p, y se comenzó a calentar, manteniendo un termómetro en el centro de la levadura y una agitación constante. Se esperaba a llegar a cierta temperatura, y se tomaba una muestra de 60 ml en el tiempo cero.

Se tomaron muestras a diferentes temperaturas, hasta llegar a 80-90 °C. Se dejaron enfriar hasta una temperatura de 20 °C y se midió el pH. Para mayor confiabilidad se realizó el procedimiento tres veces.

III - 3.2.2 Grado de Fermentación y Concentración %p/p vs Tiempo a una Temperatura constante

La levadura se encuentra bastante concentrada, siendo difícil que la totalidad de las células alcancen la temperatura seleccionada en el tiempo cero; por consiguiente, se realizaron pruebas a una temperatura constante y en función del tiempo.

Esta prueba se realizó para dos temperaturas (55°C, y 60°C), utilizando un baño de maría para garantizar la temperatura interna de la levadura constante. Este rango de temperaturas fue seleccionado, conociendo que a partir del mismo la levadura comienza a morir, se tomó una muestra de 300 ml de levadura prensada diluida al 35 %p/p y se colocó en el baño agitando constantemente, se esperó hasta llegar a la temperatura seleccionada, y se registró el tiempo cero con un cronómetro; a la vez se tomó una muestra de 60 ml, y se continuaron tomando muestras en intervalos de 3-4 minutos, hasta un valor máximo de 10-12 minutos.

Se dejó enfriar las muestras hasta 20°C y se procedió a medir la concentración %p/p. Finalmente, con cada una de las muestras, se montaron grados de fermentación (véase apéndice I) con un mosto concentrado, es decir con azúcares disponibles para ser fermentadas. Esta es una prueba que indica el porcentaje de fermentación ocurrida, a través de un % de

extracto inicial (azúcares) y un % de extracto final en el mosto, en un periodo de 24 horas. Este procedimiento se realizó para cada una de las temperaturas escogidas y se graficaron los resultados para ser comparados.

III - 3.2.3 Viscosidad vs Concentración %p/p (a 20°C y 65°C)

La viscosidad de la levadura fue estudiada para evaluar su comportamiento a diferentes concentraciones %p/p, ésta se ve afectada en el volumen de agua añadido al tanque de autólisis. La razón de añadir el agua es hacer bombeable a la levadura, pero se considera un gasto de agua adicional, por lo tanto se buscaba el poder disminuir el volumen estudiando la viscosidad de diferentes mezclas.

La prueba se realizó con un viscosímetro de Brookfield, preparando cuatro mezclas a diferentes concentraciones %p/p (35%p/p, 40%p/p, 50%p/p y 60%p/p), a partir de levadura prensada (torta) y agua destilada. A cada una se le midió la viscosidad a temperatura ambiente de 20°C; luego, se calentaron las mezclas hasta una temperatura de 65 °C en un baño de maría, se dejaron enfriar y se procedió a medir nuevamente la viscosidad.



En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a través de la metodología propuesta en el capítulo III.

- Caracterización de la levadura en las diferentes fases en las que se encuentra en la cervecería. Se muestran los resultados obtenidos de los parámetros de calidad. Se presenta un balance de masa en el filtro prensa y una verificación del mismo. Los análisis se ejecutaron en función de la precisión de los métodos y basándose en la estandarización de los mismos.
- Evaluación del impacto de la levadura descargada sobre la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Se muestran los resultados a escala piloto. Adicionalmente, se presenta el porcentaje máximo de levadura en el afluente hacia la P.T.A.R, así como el volumen máximo de levadura a descargar hacia la misma y la capacidad máxima de recepción de nitrógeno de la P.T.A.R.
- Identificación de alternativas para el manejo directo de la levadura. Se presentan diferentes alternativas, haciendo hincapié en la más recomendada, que es la mezcla de la levadura lisada con nepe húmedo.

IV -1 CARACTERIZACIÓN DE LA LEVADURA EN LAS DIFERENTES FASES EN LAS QUE SE ENCUENTRA EN LA CERVECERÍA

IV - 1.1 Estandarización de los Métodos de Análisis de Aguas Residuales aplicados a la Levadura

IV - 1.1.1 Prueba de Precisión 1 – Técnica en volumen

IV - 1.1.1.1 Experimento A – Dilución de un volumen conocido

A continuación en la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 12 - Resultados con la técnica en volumen y dilución de un volumen

	DQO	NT	PT	ST	SST
Solución 1 (mg/l)	398.000	9.275	1.671	192.200	139.000
Solución 2 (mg/l)	348.000	12.614	1.508	208.600	111.130
Solución 3 (mg/l)	428.000	7.894	773	134.400	212.000
Promedio (mg/l)	391.333	9.928	1.318	178.400	154.043
Desv Estandar (mg/l)	40.415	2.427	478	38.977	52.090
Coef Variación (%)	10	24	36	22	34

Fuente: Elaboración Propia

IV - 1.1.1.2 Experimento B – Dilución de un peso conocido

A continuación en la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 13 - Resultados con la técnica en volumen y dilución de un peso

	DQO	NT	PT	ST	SST
Solución 1 (mg/l)	232.575	10.500	1.920	182.248	104.101
Solución 2 (mg/l)	238.172	10.120	2.285	171.540	116.147
Solución 3 (mg/l)	240.660	10.130	1.836	169.431	112.724
Promedio (mg/l)	237.136	10.250	2.014	174.406	110.991
Desv Estandar (mg/l)	4.141	217	239	6.872	6.207
Coef Variación (%)	2	2	12	4	6

Fuente: Elaboración Propia

IV - 1.1.2 Prueba de Precisión 2 – Técnica en Peso

A continuación en la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 14 - Resultados con la técnica en peso

	NT	ST	SST
Solución 1 (mg/l)	10.625	162.371	144.777
Solución 2 (mg/l)	10.454	163.577	141.067
Solución 3 (mg/l)	10.743	158.561	141.493
Promedio (mg/l)	10.607	161.503	142.446
Desv Estandar (mg/l)	145	2.618	2.030
Coef Variación (%)	1	2	1

Fuente: Elaboración Propia

IV - 1.1.3 Comparación entre las Pruebas de Precisión y Selección de la mejor técnica

En general, comparando la precisión de los experimentos A y B de la prueba 1, se obtuvo que el experimento B fue el que presentó resultados más precisos; esto se debió principalmente a que se tomaba un peso para la dilución en lugar de un volumen. Luego, al comparar el experimento B con la prueba 2, se tuvo que ésta última fue más precisa; debido a que en ningún momento se necesitó tomar alícuotas de volumen, puesto que el método se realizó tomando la muestra en peso. Tanto el experimento B como la prueba 2 fueron técnicas precisas, ya que se obtuvieron coeficientes de variación menores al 5 %, exceptuando el caso del fósforo, en el cual se presentaron coeficientes de variación por encima del 10 %; lo que se atribuye a errores asociados al método.

Cabe destacar, que no se realizaron los SSV en las pruebas de estandarización, debido a que este análisis es continuación del análisis de los SST, por lo que se consideró que no era necesario.

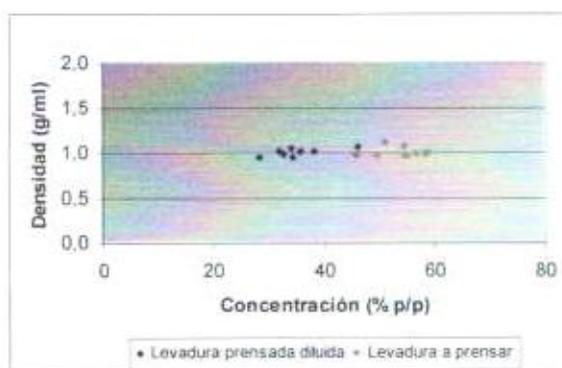
Las técnicas seleccionadas para cada análisis se presentan en la tabla 15.

Tabla 15 - Técnicas Seleccionadas para Análisis de los Parámetros de Calidad

Parámetro	Técnica seleccionada
DQO	Dilución en peso (%p/v)
NT	Peso
PT	Dilución en peso (%p/v)
ST	Peso
SST	Peso
SSV	Peso

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente se establecieron las densidades a utilizar en ambas levaduras, buscando un promedio a través de varias mediciones. En la figura 16 se muestra que la densidad en ambas levaduras oscila alrededor de 1,0 g/ml, por lo que se estableció éste como promedio para ambas levaduras.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 16 - Densidad (g/ml) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

CAPITULO IV - RESULTADOS Y ANÁLISIS

IV - 1.2 Aplicación de los Métodos Estandarizados a las Levaduras

IV - 1.2.1 Pruebas de Linealidad

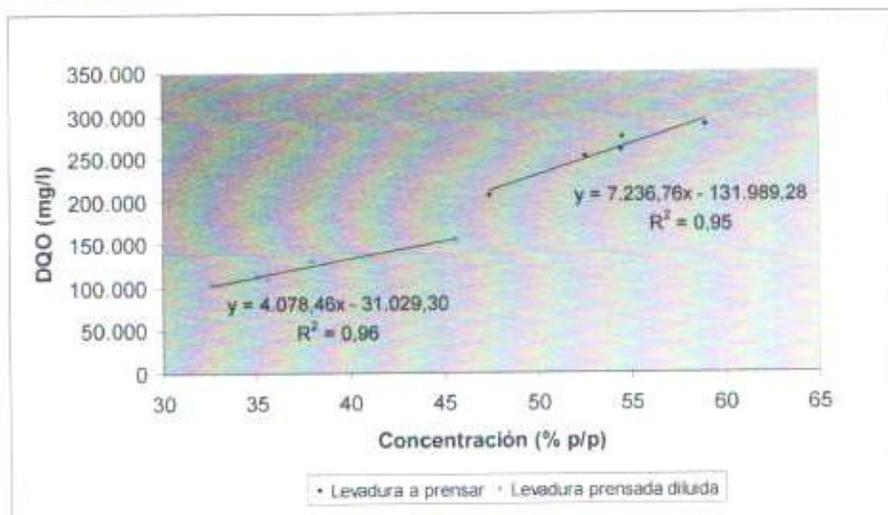
A continuación se presentan las gráficas con las curvas correspondientes para cada parámetro de calidad, y para ambas levaduras a caracterizar. Se observa que para todos los casos, representan líneas rectas con correlaciones cercanas a 1, lo que se interpretan como buenos ajustes.

Con estas curvas se comprueba que los parámetros de calidad son directamente proporcionales a la concentración %p/p de la levadura.

Se tiene que para un mismo parámetro, pero dependiendo del tipo de levadura, las curvas presentan diferentes tendencias; esto se debe básicamente a la variación en los componentes de las mezclas (cerveza y agua).

Los resultados de precisión para la medición de cada uno de los puntos pertenecientes a las curvas se encuentran en el apéndice F. Se puede observar que en la mayoría de los casos los coeficientes de variación son bajos, lo que indica una precisión satisfactoria. Se admitió hasta un valor del 10 % debido a las limitaciones presentadas por la levadura al ser una sustancia trifásica y muy inestable.

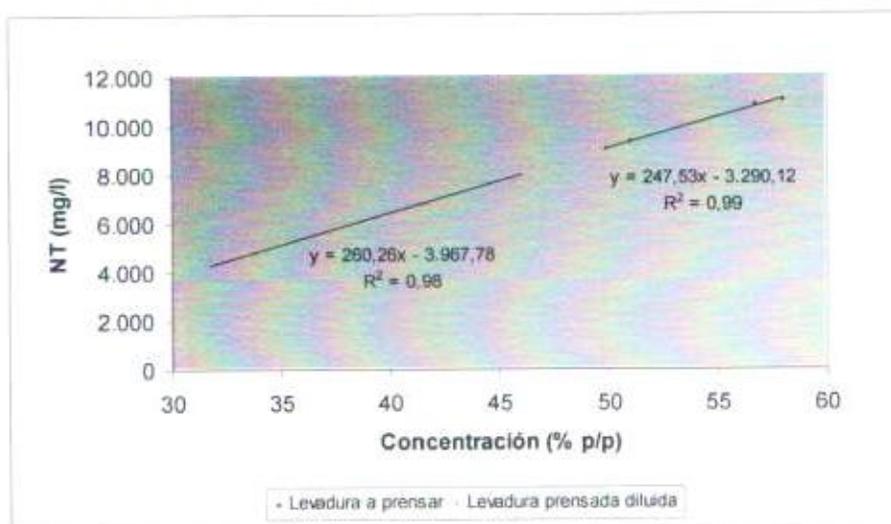
IV - 1.2.1.1 Demanda Química de Oxígeno



Fuente: Elaboración Propia

Figura 17 - DQO (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

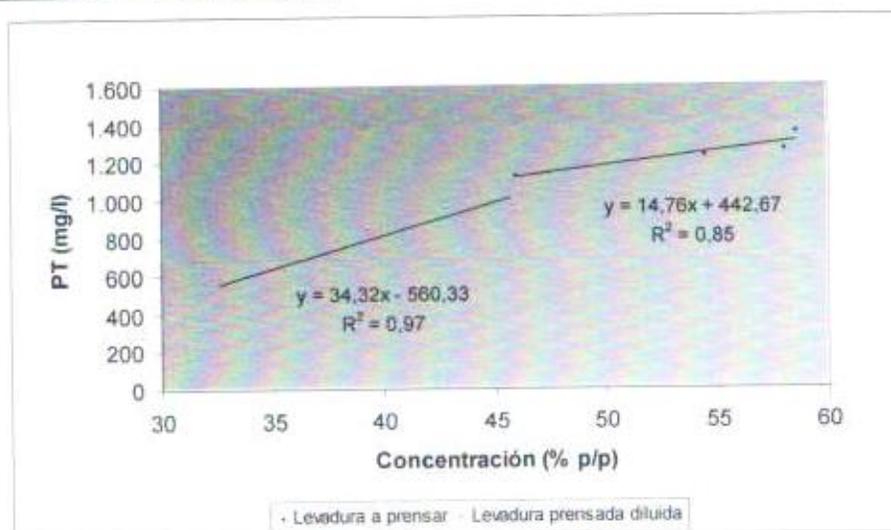
IV - 1.2.1.2 Nitrógeno Total



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18 - NT (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

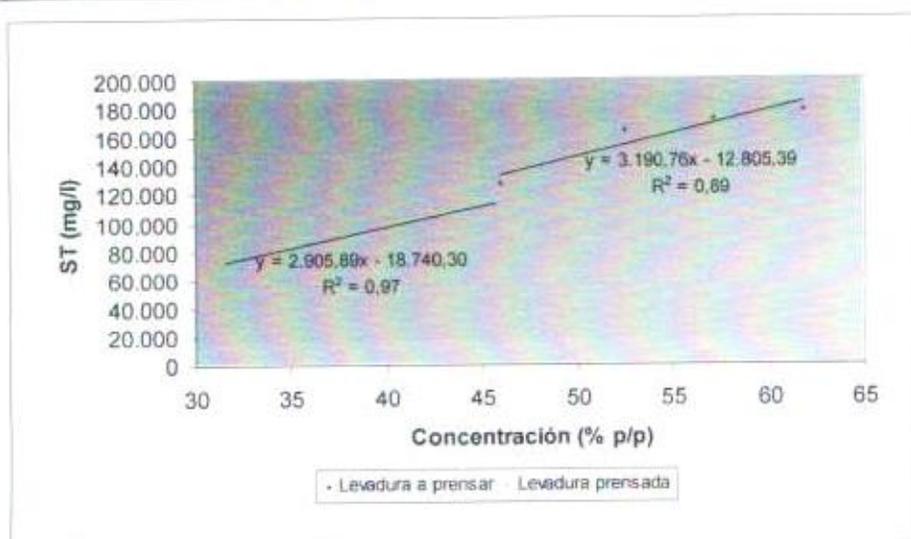
IV - 1.2.1.3 Fósforo Total



Fuente: Elaboración Propia

Figura 19 - PT (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

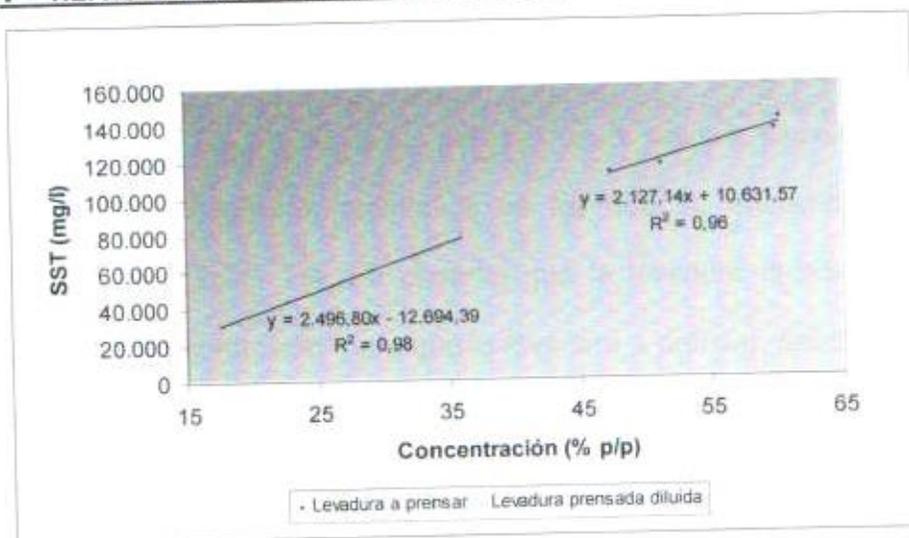
IV - 1.2.1.4 Sólidos Totales



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20 - ST (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

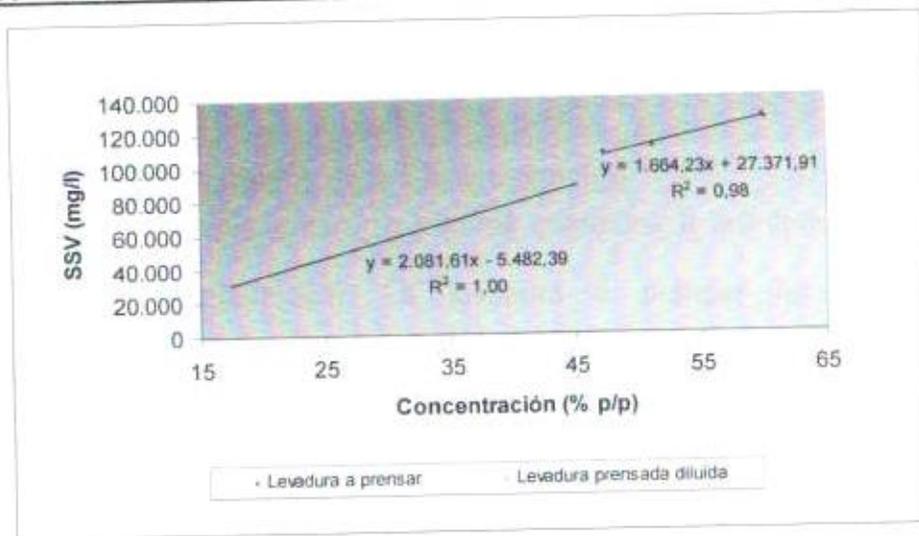
IV - 1.2.1.5 Sólidos Suspendidos Totales



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 21 - SST (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

IV - 1.2.1.6 Sólidos Suspendidos Volátiles



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 22 - SSV (mg/l) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

IV - 1.2.2 Caracterización de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida

IV - 1.2.2.1 Concentración %p/p representativa

Luego de obtener las curvas de los parámetros de calidad, se seleccionaron las concentraciones %p/p, promedios en las que se encuentran ambas levaduras (véase *tabla 16*). Se observa que la levadura prensada diluida posee menor concentración %p/p que la levadura a prensar; debido a que el volumen de la cerveza recuperada difiere del volumen de agua añadido luego del prensado de la levadura (considerando que la densidad de la cerveza es muy similar a la del agua), lo que se debe principalmente a que se desea que la levadura sea bombeable, y para ello se diluye con agua.

Tabla 16 - Concentración Promedio (%p/p) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida

Levadura a prensar	Levadura prensada diluida
(50-60) %p/p	(35-45) %p/p

Fuente: Elaboración Propia

IV - 1.2.2.2 Resultados de la Caracterización

En la *tabla 17* se presentan los valores obtenidos a las concentraciones especificadas anteriormente. La levadura a prensar tiene mayores concentraciones de los parámetros de calidad, puesto que la levadura a prensar es más concentrada en peso, y contiene cerveza, la cual aporta su contenido. La mayor diferencia se observa para el D.Q.O., observando que se tienen valores del doble para la levadura a prensar, en comparación con la levadura prensada diluida.

Tabla 17 - Caracterización de Levadura a prensar y Levadura prensada diluida en rangos de concentración (%p/p)

Parámetro	Lev a prensar (50-60)%p/p (mg/l)	Lev prensada diluida (35-45)%p/p (mg/l)
DQO	229.851 – 302.219	111.719 – 152.504
NT	9.086 – 11.562	5.141 – 7.744
PT	1.181 – 1.328	641 – 984
ST	146.735 – 178.643	82.967 – 112.026
SST	116.987 – 138.258	74.694 – 99.662
SSV	110.966 – 130.115	71.055 – 94.460

Fuente: Elaboración Propia

Es importante mencionar que si se desea conocer los valores a concentraciones específicas, se puede realizar de igual manera a través de las curvas de linealidad, por ejemplo en la tabla 18 se presentan los valores para ambas levaduras a una misma concentración de 50 %p/p. El valor de la relación entre ambas concentraciones es 1, y las diferencias obtenidas de este valor se pueden atribuir a la cerveza contenida en la levadura.

Por otro lado, la diferencia entre la densidad del agua y la cerveza es mínima, por lo que se puede considerar que no es un valor que vaya a afectar en gran medida las comparaciones entre los resultados de las diferentes levaduras a una misma concentración %p/p. Se observa que para el D.Q.O. y para los ST, es donde se encuentra variación de la relación.

Tabla 18 - Caracterización de Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a una misma concentración de 50 %p/p

Parámetro	Lev a prensar 50 %p/p (mg/l)	Lev prensada diluida 50 %p/p (mg/l)	Lev a prensar / Lev prensada diluida
DQO	229.851	172.896	1,3
NT	9.086	9.045	1,0
PT	1.181	1.156	1,0
ST	146.735	126.555	1,2
SST	116.987	112.146	1,0
SSV	110.966	106.163	1,1

Fuente: Elaboración Propia

IV - 1.2.2.3 Relaciones entre Parámetros de Calidad

A partir de la caracterización se obtuvieron otras relaciones, como por ejemplo DQO:NT:PT (véase tabla 19); se observa que la relación solo varía un poco para el caso del D.Q.O. Otras relaciones son las presentadas entre los sólidos (véase tabla 20), como por ejemplo ST:SST y SST:SSV, las cuales se mantienen similares para ambas levaduras. Estas relaciones se mantienen casi constantes a diferentes concentraciones (%p/p).

Tabla 19 - DQO:NT:PT para la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida

	DQO	NT	PT
Lev a prensar	130	5	0,6
Lev prensada diluida	110	5	0,6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20 - ST:SST y SST:SSV para la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida

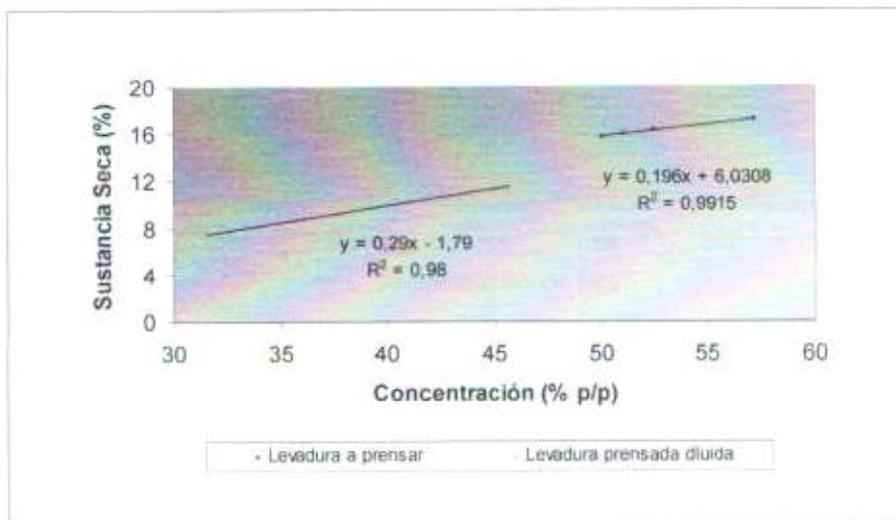
	SST/SSV	ST/SST
Lev a prensar	1,1	1,3
Lev prensada diluida	1,1	1,1

Fuente: Elaboración Propia

IV - 1.2.2.4 Porcentaje de Sustancia Seca y de Nitrógeno Total

Se analizó la sustancia seca en cada una de las levaduras, el cual era parte del análisis de los ST (véase figura 23), pero en unidades de (g/100g) ó (%).

Se observa que dentro del rango de concentraciones para la levadura a prensar la sustancia seca presenta un valor de (15,8-17,8) % (véase tabla 21). Es decir, que para una levadura a prensar al 50 %p/p, un 50 % corresponde a cerveza y el otro 50 % contiene el % sustancia seca analizado y el resto humedad; lo cual se debe a que la concentración en %p/p es calculada a partir del peso de sólidos centrifugables de la levadura. La humedad contenida en la levadura centrifugada incluye cerveza o agua perteneciente a la mezcla y el líquido intracelular de la levadura, que al ser llevada a altas temperaturas se rompe y lo deja salir.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 23 - Sustancia Seca (%) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

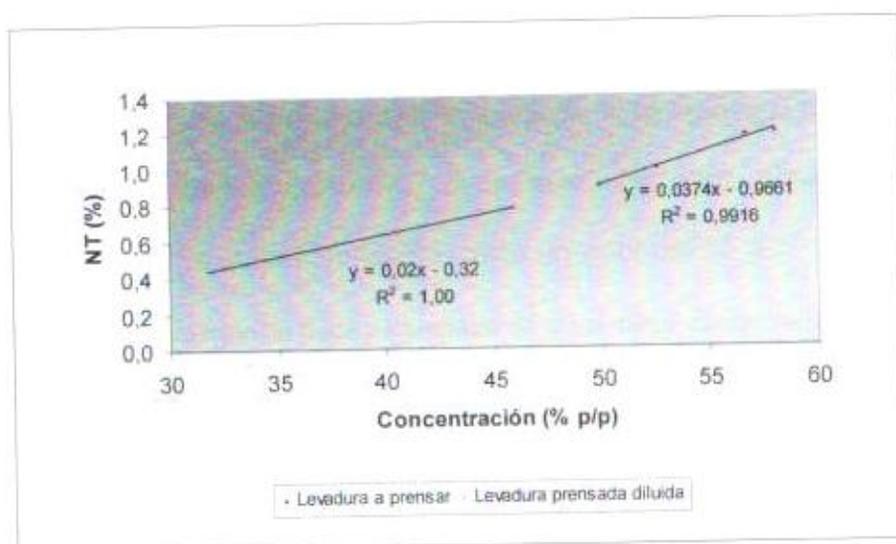
Los valores de las mediciones realizadas se encuentran en las tablas F10 y F12, donde se puede observar que existe una alta precisión con coeficientes de variación menores al 3%.

Tabla 21 - Sustancia Seca y Humedad de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida en rangos de concentración (%p/p)

Parámetro	Lev a prensar (50-60)%p/p	Lev prensada diluida (35-45)%p/p
% SS	(15,8-17,8)	(8,4-11,4)
% H	(84,2-82,2)	(91,6-88,6)

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se procedió a calcular el % NT en base seca, a partir del % NT en base húmeda (véase figura 24).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24 - NT (%) de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Para ambas levaduras (véase tabla 22) se observan valores por debajo del 1 % de NT en base húmeda, mientras que en base seca, se observan valores

entre el 5 y 7 % de NT en la levadura. Los datos de % NT en base húmeda se encuentran en las tablas F4 y F6, observándose que para este parámetro hay valores del coeficiente de variación hasta del 10%, indicando la presencia de precisión, pero no tan alta como en casos anteriores.

Tabla 22 - NT de la Levadura a prensar y Levadura prensada diluida, en base seca y húmeda

Parámetro	Lev a prensar (50-60)%p/p	Lev prensada diluida (35-45)%p/p
% NT Base Húmeda	(0,90-1,28)	(0,52-0,75)
% NT Base Seca	(5,7-7,2)	(6,1-6,6)

Fuente: Elaboración Propia

IV - 1.2.3 Balance de Masa en el Filtro Prensa

Primero se analizó la sustancia seca de la levadura prensada (torta), ya que con este valor se visualizaría el rendimiento del filtro prensa. En la tabla 23, se observa el resultado con un 27 % de sustancia seca, observando una buena eficiencia, ya que el fabricante indica un valor del 30 %.

Tabla 23 - Sustancia Seca y Humedad de la Levadura prensada (torta)

Parámetro	Lev prensada (torta)
% SS	27
% H	73

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los análisis para las corrientes de salida del filtro prensa se encuentran en la tabla 24; estos provienen del promedio de varias mediciones (véase tabla F17 y F18), en las que los coeficientes de variación, se encuentran por debajo del 10 %, el cual es el valor admitido.

Tabla 24 - Caracterización de la Levadura prensada (torta) y Cerveza recuperada

Parámetro	Lev prensada (torta) (mg/l)	Cerveza recuperada (mg/l)
DQO	357.670	143.167
NT	17.570	983
PT	1.852	430
ST	294.158	37.517
SST	268.587	1.317
SSV	240.111	1.270

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 25 se muestran los resultados que se obtendrían si se preparara una mezcla de levadura y cerveza al 50 %p/p, a partir de la levadura prensada (torta) y de la cerveza recuperada; se calcularon los aportes de los componentes dentro de la mezcla, y se sumaron para obtener el total.

Tabla 25 - Parámetros de Calidad de la Levadura prensada (torta) mezclada y Cerveza recuperada mezcladas al 50 %p/p

Parámetro	Lev mezclada 50 %p/p (mg/l)	Cerveza mezclada 50 %p/p (mg/l)	Lev obtenida 50 %p/p (mg/l)
DQO	178.835	71.583	250.419
NT	8.785	491	9.276
PT	926	215	1.141
ST	147.079	18.758	165.837
SST	134.294	658	134.952
SSV	120.055	48	120.690

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 26, se realizó una comparación entre la levadura a prensar al 50% p/p con la levadura obtenida al 50 %p/p, luego de realizar los cálculos como se indicó anteriormente. Estos resultados indican diferencias mayores en cuanto a los sólidos, posiblemente por errores cometidos durante los análisis

a la levadura prensada (torta), ya que esta es sólida y bastante concentrada y es probable que no se haya empleado el tiempo suficiente para evaporar toda la humedad; pero en general, se puede afirmar que el balance de masa tiene bastante precisión, exceptuando el caso de los sólidos, donde como se comentó anteriormente los valores difieren.

Tabla 26 - Parámetros de Calidad de la Levadura a prensar al 50 %p/p y Levadura obtenida al mezclar los componentes por separado al 50 %p/p

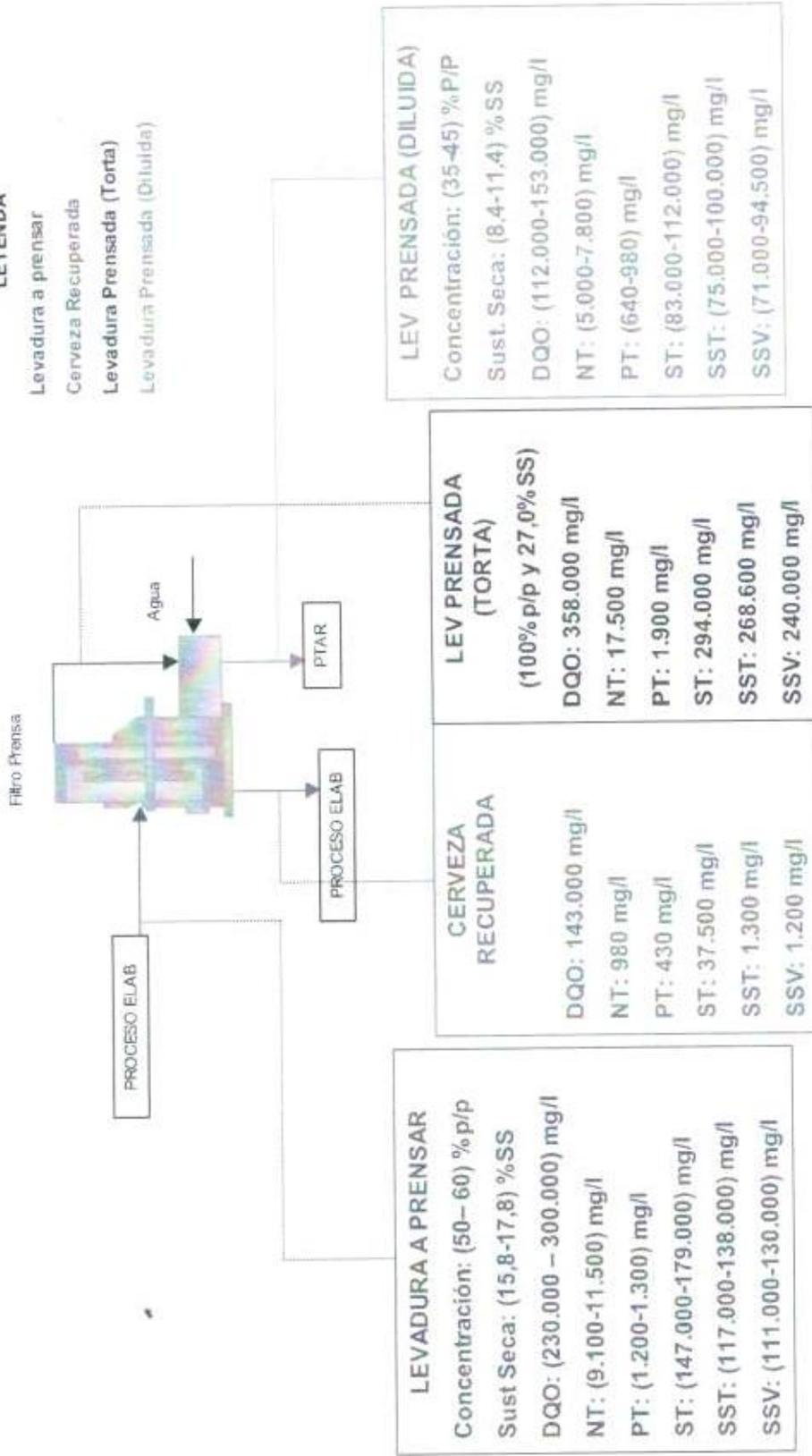
Parámetro	Lev a prensar 50 %p/p (mg/l)	Lev obtenida 50 %p/p (mg/l)
DQO	229.851	250.419
NT	9.086	9.276
PT	1.181	1.141
ST	146.735	165.837
SST	116.987	134.952
SSV	110.966	120.690

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan los valores redondeados para el cierre del balance de masa en el filtro prensa (véase figura 25).

LEYENDA

- Levadura a prensar
- Cerveza Recuperada
- Levadura Prensada (Torta)
- Levadura Prensada (Diluida)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25 - Balance de Masa en el Filtro Prensa

IV - 2 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA LEVADURA DESCARGADA SOBRE LA PTAR

IV - 2.1 Pruebas en Planta Piloto de la PTAR

IV - 2.1.1 Arranque y Puesta a punto de la Planta Piloto de la PTAR

Para poner en marcha y a punto la planta piloto, garantizando su buen funcionamiento, se emplearon aproximadamente dos semanas.

En la tabla 27 se observa que el A.G.V. en el reactor se encuentra por debajo de 3 meq/l, por otro lado la alcalinidad en el reactor se encuentra por encima de 12 meq/l, normas establecidas.

Tabla 27 - Acidez (AGV) y Alcalinidad (ALC), en el Tanque de Preacidificación (PA) y en la Salida del Reactor, en el Arranque de la Planta Piloto

	Valor	Norma
AGV Tanque PA (meq/l)	9,3	7-25
AGV Reactor (meq/l)	1,5	<3
ALC Tanque PA (meq/l)	12,3	5-40
ALC Reactor (meq/l)	20,7	12-40

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al D.Q.O._T también se cumple con la norma establecida que es un valor de 900 mg/l o menor en el efluente (véase tabla 28).

Tabla 28 - DQO_T (Total) y DQO_F (Filtrado), en el Afluente y Efluente, en el Arranque de la Planta Piloto

	Valor	Norma o Límite
DQO _T Afluente (mg/l)	2.292	<6.500
DQO _T Efluente (mg/l)	355	<900
DQO _F Afluente (mg/l)	1.612	<4.500
DQO _F Efluente (mg/l)	216	<450

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de los parámetros de operación se utilizaron los datos de la producción de biogás (véase tabla 29) y los caudales de las bombas establecidos originalmente.

Tabla 29 - Producción de Biogás en el Arranque de la Planta Piloto

	Valor
Lectura inicial (dm ³)	57.279,00
Lectura final (dm ³)	57.373,00
Horas exposición (h)	24
Caudal Biogás (l/h)	3,92

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 30 se muestran los valores de los parámetros de operación, observando que todos se encuentran dentro de los rangos establecidos o cercanos a estos.

Tabla 30 - Parámetros de Operación en el Arranque de la Planta Piloto

	Valor	Norma
Factor de Recirculación (n)	0,17	---
Carga Volumétrica (kgDQO/m ³ d.)	5,4	<8
Grado de Preacidificación (%)	34	20-30
Eficiencia de Remoción DQO _r (%)	87	>75
Prod. Espec. Biogás (m ³ /kgDQO _{rem})	0,31	≅0,42

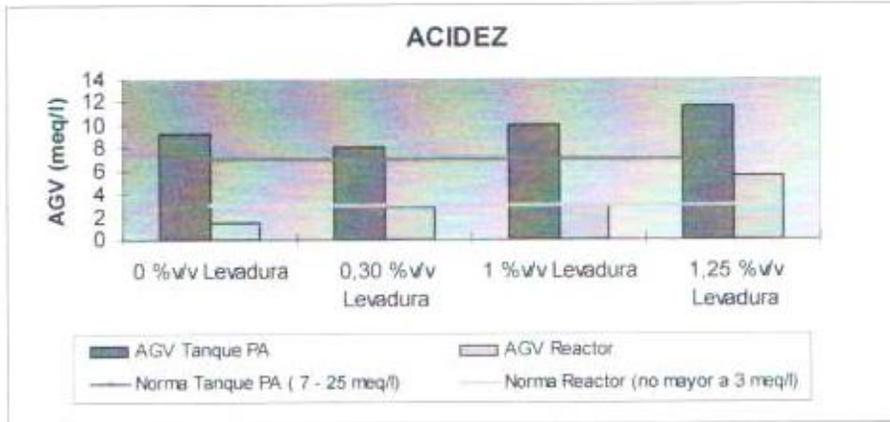
Fuente: Elaboración Propia

IV - 2.1.2 Pruebas con diferentes Cargas de Levadura

Para evaluar las variaciones entre las distintas cargas de levadura en el afluente, se mantuvieron constantes los parámetros de control.

En la figura 26, se muestra la medición de A.G.V. observándose que en las dos primeras pruebas se cumple con la norma, mientras que en el último

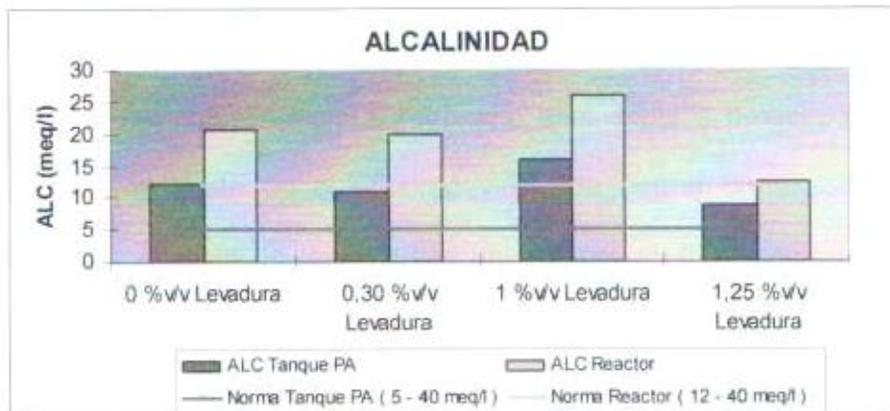
caso se obtuvo un valor de 5,5 meq/l en el reactor, el cual está por encima del valor requerido, trayendo una acidificación del reactor.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26 - Acidez (AGV) del Tanque de Precacidificación (PA) y de la Salida del Reactor, en las Pruebas en Planta Piloto

Para el caso de la alcalinidad (véase figura 27) se alcanzaron los valores recomendados, básicamente debido a la adición de soda cáustica al inicio.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27 - Alcalinidad (ALC) del Tanque de Precacidificación (PA) y de la Salida del Reactor, en las Pruebas en Planta Piloto

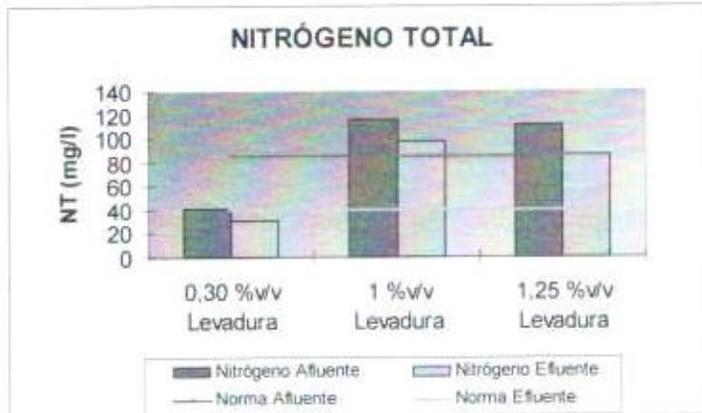
Analizando la figura 28, en relación con el D.Q.O._T, se observa que en las primeras dos pruebas se cumplió con la norma en el efluente y el límite en el afluente, mientras que en la tercera prueba no; atribuible a una alta carga orgánica en el afluente, y a la falta de preacidificación, lo que provocó la acidificación del reactor, por lo tanto la carga no pudo ser digerida.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 28 - DQO_T (Total) del Afluente y Efluente, en las Pruebas en Planta Piloto

En la figura 29, con respecto al nitrógeno total, para la primera prueba se cumplió con el límite en el afluente y con la norma en el efluente; en contraste, en el resto de las pruebas los valores se mantuvieron fuera, es decir, que con un %v/v de levadura a pensar en el afluente de 0,30 %v/v, se cumple con el límite en el afluente, y no así con porcentajes superiores a 1 %v/v. Se observa que el nitrógeno es el parámetro limitante para la descarga de la levadura hacia la planta.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 29 - NT del Afluente y Efluente, en las Pruebas en Planta Piloto

Se debe tener en cuenta, que en las pruebas en planta piloto se obtuvieron porcentajes de remoción de nitrógeno alrededor del 20 % (véase tabla G4), mientras que para la P.T.A.R. se tienen valores cerca del 55 %; esto se debe a que la planta piloto representa solo una parte de la P.T.A.R., que es el reactor anaeróbico (tratamiento secundario), mientras que la P.T.A.R. posee equipos adicionales como el C.A.F. (tratamiento terciario), en el cual también se puede dar reducción de nitrógeno, debido a la remoción de sólidos.

En relación con los parámetros operacionales (véase tabla 31) se observa que el grado de preacidificación se encuentra por debajo del valor establecido, lo que puede indicar que el agua residual dispuso de poco tiempo de residencia antes de entrar al reactor. Cuando la carga de levadura aumenta se debe incrementar el tiempo de preacidificación, ya que de lo contrario se produce una acidificación indeseada en el reactor.

La producción específica de biogás en las tres pruebas se encuentra por debajo del valor satisfactorio; sin embargo esto no indica un mal comportamiento de parte de los lodos anaeróbicos.

Una manera rápida de verificar que se alimenta la cantidad adecuada de afluente, es a través del monitoreo de la cantidad de biogás producido, altas cargas se reflejan con altas producciones de biogás y viceversa, así como una baja producción del mismo puede indicar problemas en el reactor.

Tabla 31 - Parámetros de Operación de las Pruebas en Planta Piloto

	0,30%v/v lev	1,00%v/v lev	1,25%v/v lev	Valor recomendado
Factor de Recirculación (n)	0,19	0,19	0,19	---
Carga Volumétrica (kgDQO/m³d.)	3,0	4,8	5,4	<8
Grado de Preacidificación (%)	18	14	17	20-30
Eficiencia de Remoción DQO_F (%)	88	90	73	>75
Prod. Espec. Biogás (m³/kgDQO_{rem})	0,17	0,27	0,29	≥0,42

Fuente: Elaboración propia

IV - 2.2 Identificación del Parámetro Limitante para la Carga de Levadura en el Afluente a la PTAR

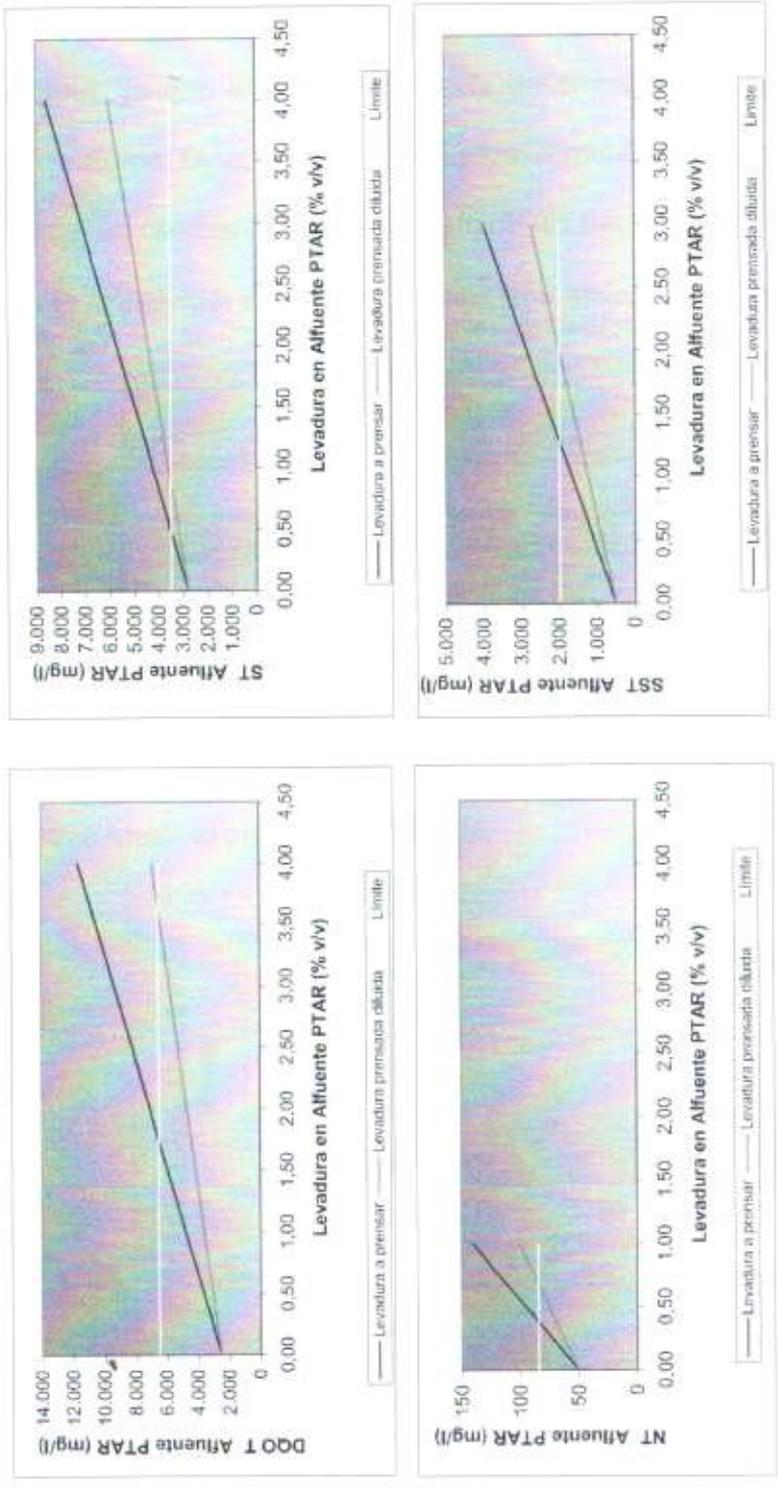
Se calcularon los límites en el afluente a la P.T.A.R. con respecto a los parámetros a evaluar (véase *tabla 32*). Se observa que para el caso del D.Q.O., el valor calculado es mayor al recomendado por el fabricante de la P.T.A.R. (6.500 mg/l), por lo que se tomó este valor como límite.

Tabla 32 - Límites para Parámetros de Calidad en el Afluente a la PTAR

Parámetro	Límite (mg/l)
DQO	9.000
NT	85
ST	3.550
SST	2.000

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan las gráficas de los diferentes parámetros de calidad (D.Q.O., NT, ST y SST) en un afluente a la P.T.A.R. con diferentes cargas de levadura (véase figura 30).



Fuente: Elaboración Propia

Figura 30 - Representación de los Parámetros de Calidad en el Afluente a la PTAR con diferentes %v/v de Levadura

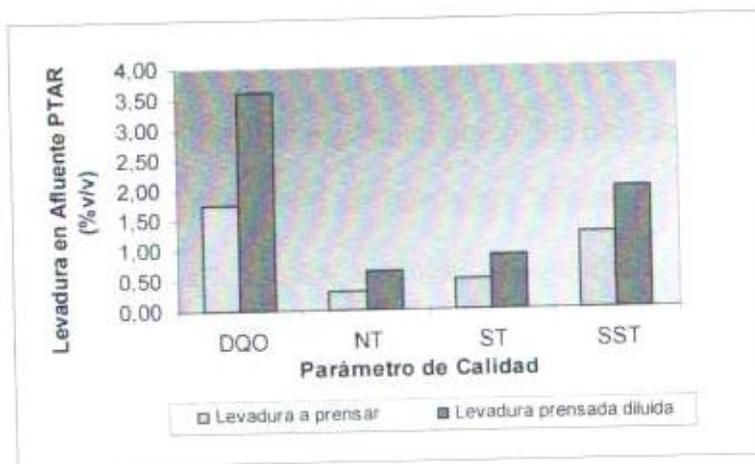
Se observa que el parámetro limitante para ambos casos, se refleja en el nitrógeno, ya que el corte de la recta de ambas levaduras con la recta del límite máximo en el afluente se realiza a menores %v/v de levadura en el afluente, en comparación con el resto de los parámetros (véase tabla 33).

Tabla 33 - Porcentaje Máximo de Levadura en el Afluente a la PTAR con respecto a los Parámetros de Calidad

	(%v/v) MÁXIMO DE LEVADURA	
	Levadura a prensar 50 %p/p	Levadura prensada diluida 35 %p/p
DQO	1,75	3,60
NT	0,40	0,65
ST	0,50	0,90
SST	1,25	2,00

Fuente: Elaboración Propia

Graficando los valores de la tabla 33, se obtiene la figura 31, donde se visualiza mejor el parámetro limitante.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 31 - Porcentaje Máximo (%v/v) de Levadura en el Afluente a la PTAR con respecto a los Parámetros de Calidad

Como resultado del análisis realizado anteriormente se obtuvo que el %v/v máximo de levadura en el afluente corresponde a un valor de 0,40 %v/v para la levadura a prensar al 50%p/p y 0,65 %v/v para la levadura prensada diluida al 35%p/p. Considerando que se tienen rangos de concentración %p/p para cada levadura, se obtuvieron rangos para el %v/v máximo de levadura en el afluente (véase tabla 34).

Se observa que para el caso de la levadura a prensar el rango límite se encuentra por debajo del de la levadura prensada diluida, debido a la presencia de la cerveza y a su mayor concentración en %p/p de levadura.

Tabla 34 - Rangos para el %v/v Máximo de Levadura en el Afluente de la PTAR

	%v/v Máximo Levadura
Lev prensada diluida (35-45) %p/p	0,45-0,65
Levadura a prensar (50-60) %p/p	0,30-0,40

Fuente: Elaboración Propia

IV - 2.3 Estimación de Producción de Levadura a desechar

En la tabla 35, se presentan los resultados obtenidos para esta sección.

El factor de aumento de volumen se encuentra alrededor de 1,88; es decir que se tiene un aumento de casi el doble del volumen, de la levadura a prensar a la levadura prensada diluida.

Luego, a partir de una producción semanal de 70.000 HI de cerveza y malta, se tiene que el volumen promedio de levadura prensada diluida generada es de 38 m³/d. con el cual se calculó el %v/v de levadura prensada diluida en el

afluente a P.T.A.R., 1,05 %v/v, el cual excede al teóricamente calculado, fijado en un valor de 0,65 %v/v máximo para este tipo de levadura.

Tabla 35 - Resultados Generales para la Estimación de Producción de Levadura

Lev a prensar (m ³ /TCC)	17.836
Factor de aumento de volumen (n)	1,88
Lev prensada diluida (m ³ /TCC)	33.549
l levadura prensada diluida / HI Cerveza envasada	3,47
Levadura prensada diluida (m ³ /d.)	38
Agua Residual (sin levadura) (m ³ /d.)	3.589
Afluente a PTAR (con levadura) (m ³ /d.)	3.627
%v/v levadura prensada diluida en afluente PTAR	1,05

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 36, se observan los valores de algunos parámetros de calidad que se tendrían en el afluente y efluente de la P.T.A.R., observando que el único parámetro que no se encuentra dentro de norma, es el nitrógeno, lo cual era previsible, una vez que se comprobó que se sobrepasaba el %v/v máximo de levadura en el afluente de la P.T.A.R.

Tabla 36 - Parámetros de Calidad en el Afluente y Efluente a la PTAR (con levadura)

	Afluente (mg/l)	Límite (mg/l)	Efluente (mg/l)	Norma (mg/l)
DQO	3.647	6.500	365	900
SST	1.281	2.000	256	400
NT	102	85	45	40

Fuente: Elaboración Propia

IV - 2.4 Volumen Máximo de Levadura a descargar a la PTAR

En la tabla 37 se muestra que el volumen máximo permitido de descarga de levadura hacia la P.T.A.R., es de 26 m³/d. para la producción de 70.000 HI de

C y M. Este volumen representa alrededor de un 67 % del volumen de levadura prensada diluida disponible; a partir de esto se puede decir que el 33 % restante no debe ser enviado hacia la P.T.A.R.

Tabla 37 - Volumen Permitido de Descarga a PTAR de Levadura prensada diluida

	m ³ /d.	%
Volumen lev prens diluida DISPONIBLE	38	100
Volumen lev prens diluida PERMITIDO	26	67
Volumen lev prens diluida SOBRANTE	12	33

Fuente: Elaboración Propia

IV - 2.5 Capacidad Máxima de Recepción de Nitrógeno de la PTAR

Continuando la secuencia de resultados de la sección anterior, se puede apreciar que para una producción de 70.000 HI de C y M, la máxima carga de NT permitida en el afluente es de 307 kgNT/d.; lo cual se puede representar más general con el índice de 24,12 g NT/HI C y M (véase tabla 38).

Tabla 38 - Capacidad Máxima de Recepción de NT diaria hacia la PTAR e Índice de NT

Kg NT / d.	307
g NT / HI CyM	24.12

Fuente: Elaboración Propia

Al realizar los cálculos para el volumen de levadura disponible para la descarga y para el agua residual sin carga de levadura por separado, se obtuvo que la mezcla daba un resultado mayor a la capacidad máxima (véase tabla 39), con el valor de 370 KgN/d., sucediendo lo mismo para el índice de NT obtenido.

Este resultado era esperado, ya que luego de los resultados de secciones anteriores era obvio que éste tampoco se cumpliría, ya que todos están relacionados.

Tabla 39 - Estimación Diaria de la Carga de NT hacia la PTAR

	Agua residual	Lev prens diluida	Afluente total
Kg NT / d.	180	190	370
g NT / HI	14,14	14,93	29,07

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos anteriores se realizaron de igual manera para parámetros como el D.Q.O. y SST, resumiéndose en la figura 32 a partir de los índices con respecto a la producción de la cervecera, donde se observa que para estos parámetros no se presenta problema alguno, ya que los valores se encuentran por debajo de las capacidades establecidas. Cabe destacar que estos valores se obtuvieron a partir de una producción de 70.000 HI C y M por semana, sin embargo estos valores son similares cuando se trabaja con otro volumen de producción.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32 - Composición del Afluente a la PTAR al producir 1 litro de C y M

Los datos presentados en las últimas tres secciones se procesaron en una hoja de cálculo, donde los únicos datos de entrada son la producción semanal de cerveza y de malta. Los resultados pueden variar cuando se tienen descargas de levadura a prensar, ya que existen casos en que la levadura no se prensa y puede dirigirse hacia la P.T.A.R; estas consideraciones fueron incluidas en la hoja de cálculo, la cual podría ser utilizada en la cervecería para estimar cuánto volumen diario de levadura puede ser descargado hacia la P.T.A.R. y cuánto volumen debe recibir un manejo diferente, al menos el procedimiento tradicional de secado.

IV - 3 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DIRECTO DE LA LEVADURA

IV - 3.1 Alternativas para el Manejo directo de la Levadura

IV - 3.1.1 Mezclar Levadura Lisada con Nepe Húmedo

Para agregar la levadura al nepe húmedo, ésta debe encontrarse muerta o lisada, esto se debe a que ciertos tipos de ganado, como el bovino no son capaces de expulsar los gases posiblemente generados por la fermentación. Estudios realizados con respecto a la mezcla de nepe húmedo y levadura lisada, evidencian las siguientes ventajas, desventajas y limitaciones:

IV - 3.1.1.1 Ventajas

- Aumento en la producción lechera del 8 %, basado en la producción antes de suministrar la mezcla al ganado

- Aumento del valor nutritivo del alimento, debido al alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales que presenta la levadura lisada.

IV - 3.1.1.2 Desventajas

- La mezcla obtiene una consistencia más húmeda que cuando se tiene el nepe húmedo sólo.

IV - 3.1.1.3 Limitaciones

- La concentración de la mezcla no debe ser mayor al 8% en levadura ya que de lo contrario ésta sedimenta y el alimento pierde parte de sus propiedades nutritivas por la falta de homogenización
- El alimento tiene un tiempo de duración no mayor a 8 días en estado aún digerible, por lo cual debe ser consumido rápidamente
- La mezcla debe ser almacenada tapada, para garantizar una mejor conservación y una mayor duración de la misma.

IV - 3.1.2 Mezclar Levadura con lodo del C.A.F. y Tierra Infusoria

En Planta Los Cortijos se cuenta con dos equipos para la separación de sólidos del agua residual cervecera; el C.A.F., el cual trabaja en la remoción de los sólidos suspendidos del agua, reduce el contenido de sulfuros y el contenido de fósforo a muy bajos niveles; y el filtro prensa por placas, de marca LAROX, que deshidrata los lodos que se forman en el C.A.F. durante la remoción de los sólidos, junto con la tierra infusoria que se recibe como desecho de la cervecería. De esta manera, se aprovecha el líquido filtrado

para uso interno de la P.T.A.R. y se permite el transporte de sólidos secos hacia el exterior del recinto.

La levadura podría ser incluida en la alimentación del filtro prensa, de esta manera se podría evacuar de la cervecera de forma sólida.

IV - 3.1.3 Levadura para Compost

IV - 3.1.3.1 Compost

El compostaje es el proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura (Aubert, 1998).

El compost es un nutriente para el suelo, y ayuda a la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas.

IV - 3.1.3.2 Propiedades del Compost

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- Mejora las propiedades químicas. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, y es fuente de nutrientes para los cultivos.

- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.

La levadura contiene una gran cantidad de propiedades nutritivas, por lo que constituiría una excelente materia prima para elaborar abonos orgánicos.

En 1.987, Cervecería Polar C.A. creó el Centro de Protección Ambiental para el Reciclaje de Lodos Residuales de Cervecería (CEPAREL), éste se encarga de producir compost a partir de lodos residuales de las P.T.A.R. del tipo aeróbico. La P.T.A.R. de Planta Los Cortijos al ser del tipo anaeróbico, no cuenta con una alta producción de lodos, por lo que habría que estudiar el traslado de esta levadura hacia este centro localizado en Planta Oriente de Cervecería Polar (Edo. Anzoátegui), o ubicar algún centro de compostaje cercano a la Planta Los Cortijos.

IV - 3.1.4 Otras alternativas no viables

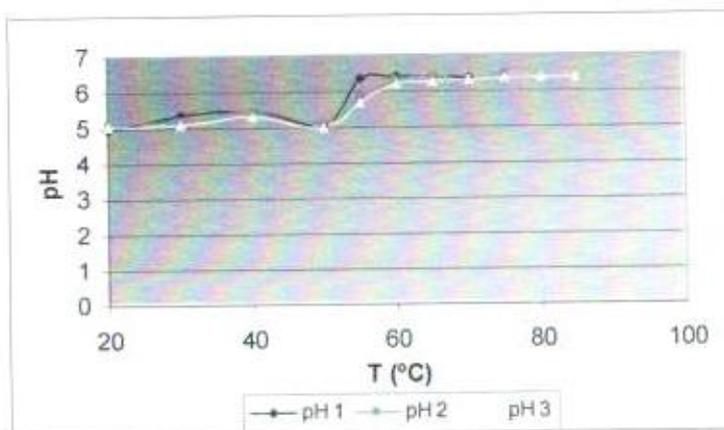
- Vender la levadura a prensar (con cerveza) a destilerías para recuperar alcohol; ésta opción no es viable, ya que la cervecería perdería la renta que le da la recuperación de la cerveza de las cosechas de levadura.
- Vender la levadura a empresas farmacéuticas que fabriquen pastillas o medicamentos a base de levadura; esta opción no es viable, ya que en la localidad no hay empresas que se dediquen a este oficio.

IV - 3.2 Estudio de las Variables que influyen en la Lisis

En cuanto al estudio de las variables para llevar a cabo el proceso de lisis en el tanque de autólisis se obtuvieron los siguientes resultados:

IV - 3.2.1. pH vs. Temperatura

En la figura 33, las tres pruebas realizadas producen curvas similares, se observa un pico notable a 55°C, donde el pH aumenta bruscamente cuando las células comienzan a lisarse, dejando salir el líquido intracelular (pH 6,5); además puede que la mezcla se esté desgasificando, escapando así el posible dióxido de carbono contenido en la misma. Adicionalmente, se observó que a esta temperatura, la levadura comienza a oscurecer, de un color crema a uno marrón, y además emite un olor desagradable; manifestando así su muerte.



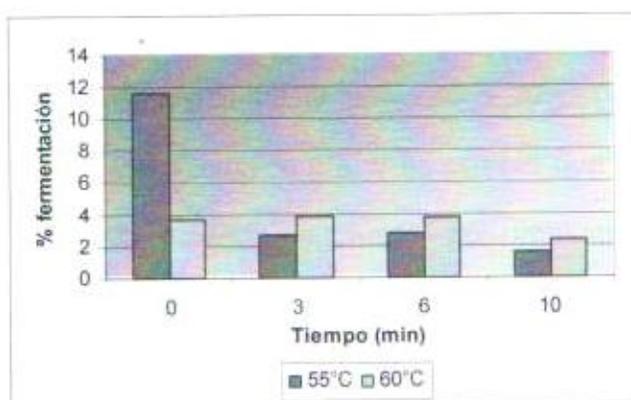
Fuente: Elaboración Propia

Figura 33 - pH en función de la Temperatura

IV - 3.2.2 Grado de Fermentación y Concentración %p/p vs. Tiempo a una Temperatura constante

En la figura 34, se observa que a los 3 minutos en ambas temperaturas, el grado de fermentación se comporta de igual manera, con un valor entre 3 y 4%.

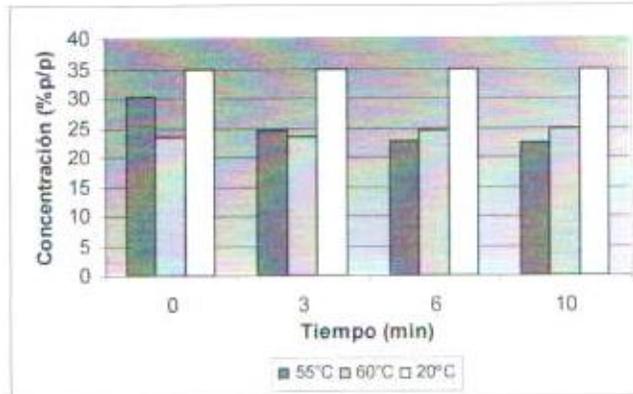
A los 10 minutos ambas se encuentran alrededor del 2% de fermentación, lo cual podría indicar que las células ya se encuentran muertas casi en su totalidad. El valor habitual de la levadura que no recibe tratamiento térmico se encuentra alrededor del 80 % de fermentación.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34 - % de Fermentación en función del Tiempo a Temperatura constante

En cuanto a la concentración %p/p (véase figura 35) se visualiza que ésta disminuye de 35 %p/p, hasta un rango alrededor de 20-25 %p/p; motivado por el hecho de que las células de levadura se comienzan a lisar dejando escapar el líquido intracelular, de esta manera, al centrifugar la levadura, ésta pesa menos.



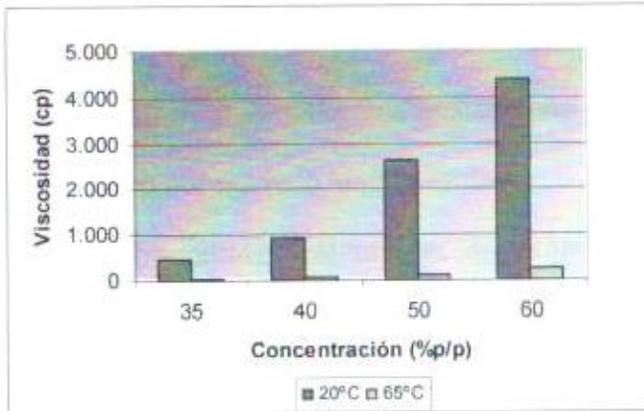
Fuente: Elaboración Propia

Figura 35 - Concentración (%p/p) en función del Tiempo a Temperatura constante

IV - 3.2.3 Viscosidad vs. Concentración %p/p (a 20°C y 65°C)

Para el caso de la viscosidad de la levadura a 20°C (véase figura 36), aumenta según la concentración % p/p, y es posible que a cierto valor de concentración %p/p la mezcla no pueda ser bombeable. Según los resultados, se considera que a una concentración de 50 %p/p, la levadura posee una viscosidad de 2.500 cp. Basándose en que la levadura a prensar es bombeable a esta concentración, y que las bombas tienen esta capacidad para efectuarlo, se puede ratificar que estas características se aplican también para la levadura prensada diluida.

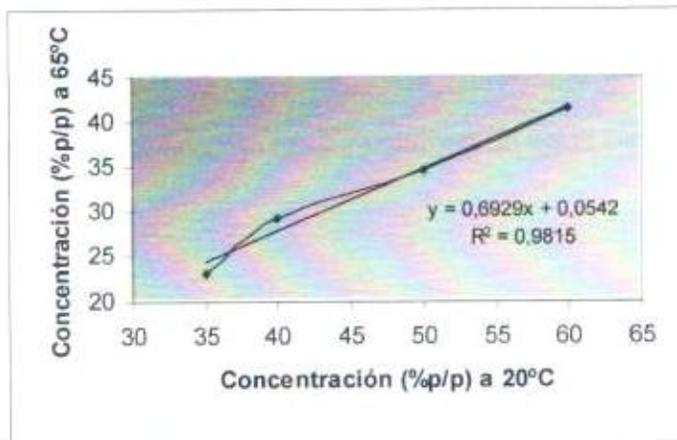
Independientemente de la concentración %p/p inicial a 20°C, al final a 65°C, la viscosidad se mantiene casi constante cerca de un rango de valores, entre 0-300 cp. De ello se desprende que si la levadura se lisara en el tanque de autólisis, no se debería añadir un gran volumen de agua, ya que ésta al alcanzar mayores temperaturas, disminuye su viscosidad.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 36 - Viscosidad en función de la Concentración (%p/p) a 20°C y 65°C

Estudiando la variación de la concentración %p/p (véase figura 37), se observó que independientemente de la concentración inicial a 20°C la concentración disminuye proporcionalmente luego de alcanzar 65°C. La correlación presente en la ecuación de tendencia es cercana a 1, obteniendo un buen ajuste y una buena aproximación.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 37 - Concentración (%p/p) a 20°C en función de la Concentración (%p/p) a 65°C

IV - 3.2.4 Limitaciones Técnicas

Durante el estudio se observaron diferentes limitaciones en el filtro prensa y tanque de autólisis, como por ejemplo las siguientes:

- La cantidad de agua añadida al tanque de autólisis, no puede ser reducida, puesto que el volumen depende de un sensor de nivel ubicado en el mismo, el cual no puede ser descendido debido a que se desea que los mezcladores internos del tanque sean recubiertos por el agua, evitando así que se tranquen al momento de la descarga de la levadura prensada (torta) sobre los mismos.
- A partir de pruebas realizadas a escala industrial, se ha estudiado el hecho de alcanzar temperaturas de lisis dentro del tanque de autólisis. Se ha probado adicionando agua caliente a la levadura, obteniendo que ésta no alcanza una temperatura de lisis, sino que llega a una temperatura óptima de fermentación, teniendo así la gasificación de la misma y el rebose en el tanque de autólisis. Para lograr una temperatura de lisis sería necesario adicionar un mayor volumen de agua caliente.

CAPITULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V - 1 CONCLUSIONES

V - 1.1 Caracterización de la Levadura en las diferentes fases en las que se encuentra en la Cervecería

- La levadura es una sustancia trifásica, por consiguiente tiene un difícil manejo. Las técnicas más precisas para analizar la levadura son la dilución en peso para D.Q.O. y PT; y en peso para NT, ST, SST y SSV.
- La densidad de la levadura a prensar y levadura prensada diluida se encuentra alrededor de un valor de 1,0 g/ml para ambas.
- La concentración de los parámetros de calidad en ambas levaduras son directamente proporcionales a la concentración %p/p; presentando ecuaciones lineales con correlaciones cercanas a 1, lo que indica un buen ajuste.
- La levadura a prensar posee una concentración promedio de 50 %p/p y la levadura prensada diluida de 35 %p/p.
- A una misma concentración %p/p, la levadura a prensar y levadura prensada diluida poseen similares concentraciones de los parámetros de calidad; exceptuando en el caso del D.Q.O. el cual tiene una mayor concentración en la levadura a prensar, debido al aporte de la cerveza.
- A la concentración %p/p promedio de ambas levaduras, la levadura a prensar tiene un 0,9 % de nitrógeno total en base húmeda; mientras que la levadura prensada diluida posee un 0,52 %.
- La caracterización en general, y el balance de masa en el Filtro prensa se encuentran en la figura 25.

V - 1.2 Evaluación del Impacto de la Levadura descargada sobre la P.T.A.R.

- A porcentajes menores al 1 %v/v de levadura a prensar en el afluente a la planta piloto, no se presentan problemas de operación, y el lodo anaeróbico presenta un comportamiento normal, exceptuando el caso del nitrógeno, el cual se encuentra fuera de norma.
- Con 1,25 %v/v de levadura a prensar en el afluente, la planta piloto no presenta una operación satisfactoria; esto se ve reflejado en los parámetros de operación, de control manual y de calidad, como el A.G.V., alcalinidad, D.Q.O., entre otros.
- Con un porcentaje de 0,30 %v/v de levadura a prensar en el afluente, además de presentar una operación satisfactoria, se cumple con la norma del nitrógeno en el efluente.
- La producción de biogás aumenta al incrementar el porcentaje de levadura en el afluente a la P.T.A.R.
- En el reactor anaeróbico hay una remoción promedio de nitrógeno total cercano al 20%, mientras que en la P.T.A.R. (Reactor + C.A.F.) se presenta un valor de 55%.
- Los valores límites recomendados en el afluente a la P.T.A.R. son:

Parámetro	Límite (mg/l)
DQO	6.500
NT	85
ST	3.550
SST	2.000

- La concentración de nitrógeno total de la levadura, es el parámetro limitante para la descarga de ésta hacia la P.T.A.R. Según esto, a la

concentración %p/p promedio de ambas levaduras, el porcentaje máximo de levadura a prensar en el afluente a la P.T.A.R debe ser menor al 0,40 %v/v, mientras que para la levadura prensada diluida se presenta un valor máximo de 0,65 %v/v.

- La capacidad máxima de recepción de nitrógeno total de la P.T.A.R., puede representarse por un índice máximo de 24,12 kg NT en el afluente a la P.T.A.R. por HI de C y M envasada.
- Se tiene que por cada HI de C y M envasada, se producen 3,47 l de levadura prensada diluida al 35 %p/p.
- Sólo un 67% del volumen total de levadura prensada diluida, puede ser descargado hacia la P.T.A.R. Si se deseara tratar toda la levadura en la P.T.A.R., se debería disminuir la producción de la cervecería, para que el volumen de levadura fuera acorde con el volumen de descarga permitido; lo cual no es rentable para la cervecería.

V - 1.3 Identificación de Alternativas para el Manejo directo de la Levadura

- Las alternativas identificadas como viables para el manejo directo de la levadura, con el uso de equipos existentes en la cervecería son:
 - Mezcla de Levadura con lodo del C.A.F. y Tierra Infusoria.
 - Mezcla de Levadura Lisada con Nepe Húmedo.
- La alternativa más recomendada y estudiada fue la mezcla de levadura lisada con nepe húmedo, principalmente debido a que en la actualidad se cuenta con despacho de nepe húmedo a diario hacia el exterior de la planta y con la tecnología necesaria para una fácil

implementación; esto no implica restarle importancia a las demás alternativas presentadas.

V - 1.3.1 Estudio de las Variables que influyen en la lisis

- La levadura comienza a lisarse a partir de una temperatura de 55 °C, afirmación que se manifiesta con un pH aproximado de 6, un color marrón y un olor desagradable; siendo el pH función de la lisis.
- Considerando una lisis aceptable con un % de fermentación por debajo de 4%, se tiene que la lisis se puede dar a 55°C en tres minutos o a 60°C en el tiempo cero. Sin embargo, si se desea un % de fermentación por debajo del 2%, implica un tiempo de 10 minutos para ambas temperaturas.
- Para garantizar la muerte de todo el volumen de levadura, es necesario llevar la levadura a una temperatura de 70-80°C.
- La levadura lisada disminuye su concentración a 20-25 %p/p y su viscosidad a 0-300 cp, en comparación con la que no recibe tratamiento térmico a 35 %p/p y 450 cp; debido a la presencia del líquido intracelular. Para el caso de lisar levadura, no es necesaria la adición de un gran volumen de agua para que ésta sea bombeable.
- La viscosidad de la levadura disminuye a medida que disminuye la concentración %p/p; siendo la más recomendable 2.500 cp, la cual se da a 50 %p/p, garantizando así un menor consumo de agua en el filtro prensa.

V - 2 RECOMENDACIONES

V - 2.1 Identificación de Alternativas para el Manejo directo de la Levadura

A pesar de recomendar la mezcla de levadura lisada con nepe húmedo, se hacen recomendaciones para el estudio del resto de las alternativas y para la misma.

V - 2.1.1 Mezclar Levadura con lodo del C.A.F. y Tierra Infusoria

- Estudiar las variables que puedan influir en la filtración de la torta, como por ejemplo la porosidad de la torta, resistencia a la filtración, grado de deshidratación de la levadura; así como la proporción diaria entre levadura, tierra infusoria y lodos del C.A.F.
- Estudiar el traslado de la levadura hacia la P.T.A.R.

V - 2.1.2 Mezclar Levadura Lisada con Nepe Húmedo

- Estudiar la ecuación de transferencia de calor correspondiente para evaluar si el tanque de autólisis posee la capacidad para que la levadura alcance la temperatura de lisis a través de la adición de un volumen de agua caliente.
- Probar a nivel industrial la chaqueta del tanque de autólisis.
- Conocer la relación actual de producción de nepe húmedo y levadura prensada diluida, para observar si cumple con la proporción indicada, de lo contrario estudiar diferentes relaciones.
- Explicar los beneficios de la mezcla a los clientes.

V - 2.2 Recomendaciones Generales

- Considerar el hecho de que parte del volumen de la levadura puede ser descargado hacia la P.T.A.R. y estimarlo a través de la hoja de cálculo proporcionada, quedando así un volumen de levadura sobrante el cual debería recibir otro manejo, al menos el secado tradicional.
- Realizar un estudio de costos/beneficios, ventajas/desventajas para el secado de la levadura y las alternativas presentadas para el manejo directo de la levadura, para así seleccionar la mejor desde el punto de vista económico; el cual es el criterio de selección primordial para la empresa.
- Medir el nitrógeno total en todos los puntos de muestreo en la P.T.A.R. al menos una vez por semana, es decir, en el afluente a la P.T.A.R., en la entrada a los reactores, a la salida de los reactores y a la salida del C.A.F.
- Contabilizar los volúmenes de levadura a prensar y prensada diluida generadas en la cervecería.
- Poner en uso las tinas de despacho para cualquiera de las alternativas, ya que se puede almacenar la levadura fresca evitando malos olores y descomposición.
- Cambiar los límites en el afluente a la P.T.A.R. para los parámetros de calidad en SAP, según los obtenidos en el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA-AWWA-WPCF (1.992). *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
2. Aubert, C. . *El Huerto Biológico*. Barcelona: Ed. Integral Barcelona.
3. Broderick, H. (1.977). *The Practical Brewer* (2^{da} edición). Madison: Master Brewer Association of the Americas.
4. Brower, A. (1.996). *Estudio de la Tratabilidad de Efluentes de Fábrica de Helados en base a Pruebas en Planta Piloto de Lodo Anaeróbico*. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad Simón Bolívar, Sartenejas.
5. Brower, A. a). *Evaluación de Tratamiento Anaeróbico para la segunda etapa de P.T.A.R.- Productos EFE*. Caracas: Cervecería Polar, C.A.
6. Brower, A. b). *Fundamentos Teóricos sobre el Tratamiento Anaeróbico de Efluentes*. Caracas: Cervecería Polar, C.A.
7. Bustillos, I., Gil, J., Peña, M. . *Evaluación de diferentes Sistemas de Recuperación de Cerveza de las Cosechas de Levadura*. Caracas: Cervecería Polar, C.A.
8. Cervecería Polar, C.A. . *Manual de Aseguramiento de la Calidad*. Caracas: Autor.
9. Convenio Universidad Central de Venezuela – Fundación Polar (1.986). *Alternativas de uso de los Lodos Residuales de Cervecería (LRC) en la Alimentación Animal*. Instituto de Producción Animal de la Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
10. Editorial PERFIL (mayo). ¡Arriba la Levadura!. *Revista Semanario* [en línea], Edición N° 1245.

11. Empresas Polar Caracas-Venezuela . *Portal de Información Empresarial*. [Intranet]. Disponible en: <http://portal-empresas-polar/portal01/>
12. European Brewery Convention . *Manual of Good Practice Brewery Wastewater*.
13. Gerencia Nacional de Tratamiento de Aguas de Cervecería Polar C.A. (2.000-2.004). *Guía de Operaciones de Tratamiento de Aguas*. [Intranet]. Disponible en: [http://portal-empresas-polar/portal01/Portal/Áplicasiones/Cerveza %20y%20Malta/Gotas/](http://portal-empresas-polar/portal01/Portal/Áplicasiones/Cerveza%20y%20Malta/Gotas/)
14. Godoy, O. (1.987). *Manual Tecnológico para la Operación de la Planta Anaeróbica de Cervecería Polar - Los Cortijos*. PAQUES B.V.
15. Mesones, B. . *Manual Práctico del Cervecerero*. [en línea]. Madrid: Cervecería.info. Disponible en: <http://www.cerveceria.info/> [2.004, 16 de Marzo].
16. Metcalf & Eddy (1.991). *Wastewater Engineering. Treatment, Disposal, Reuse* (3ra edición).
17. Metcalf & Eddy (1.985). *Ingeniería Sanitaria. Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales* (2da edición.). Barcelona: Editorial Labor, S.A.
18. Miranda, S. . *Optimización de los parámetros Operacionales en los Reactores Anaeróbicos de la Planta de Tratamientos de Aguas Residuales de Cervecería Polar Los Cortijos*. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad Metropolitana, Caracas.
19. Morales, C. . *Impacto de Productos Químicos sobre el Comportamiento del Lodo Anaeróbico Empleado en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de una Cervecería*. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad Metropolitana, Caracas.

20. PAQUES BV (1.994). *Manual Operativo de la Planta Piloto*. Holanda: Autor.
21. Paredes, A. . *Alimento Enriquecido para Animales*. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad de Los Andes, Mérida.
22. Rivas, G. (1.978). *Tratamiento de Aguas Residuales* (2da edición). Madrid: Ediciones Vega.
23. Sanoja, N. . *Optimización de los procesos de Clarificación del Agua Residual tratada en una Planta de Aguas Residuales Cerveceras*. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad Metropolitana, Caracas.
24. Santana, L. . *Estudio de las Alternativas para la Disminución de Fósforo en los Efluentes Industriales de Cervecería Polar Los Cortijos*. Trabajo de Grado, Ingeniería Química, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
25. Stone, C. . *Yeast Products in the Feed Industry*. [en línea]. Cedar Rapids: Diamond V Mills. Inc. Disponible en: <http://www.diamondv.com/articles/booklet/booklet.html> [2.004, 20de Marzo].
26. Tejero F. *La Levadura en la Panadería*. [en línea]. Madrid: Montagud. Disponible en: <http://www.molineriaypanaderia.com/tecnica/fermenta/levadur1.html>
27. Tejero F. *La Levadura. Manipulación y Consejos Prácticos*. [en línea]. Madrid: Montagud. Disponible en: <http://www.molineriaypanaderia.com/tecnica/fermenta/levadur2.html>
28. Vereijken & Yspeert (1.993). *Anaerobic Wastewater Treatment. Technology Process Description and Anaerobic Process Technology*. PAQUES B.V.

APÉNDICE A

MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA AGUAS RESIDUALES

Fuente: Cervecería Polar C.A., Manual de Aseguramiento de la Calidad.

A - 1 Demanda Química de Oxígeno

A - 1.1 Equipos y Materiales

- Licuadora.
- Plancha de agitación y agitador magnético.
- Balón aforado 100 ml.
- Viales HACH y gradilla para viales HACH.
- Reactor HACH.
- Espectrofotómetro HACH DR/2010.

A - 1.2 Reactivos

- Solución de digestión de dicromato de potasio, 0,25 N.
- Agregar 12,26 g $K_2Cr_2O_7$, previamente secado a $103^\circ C$ durante 3 horas, 167 ml H_2SO_4 conc. y 33,3 g $HgSO_4$ a unos 500 ml de agua destilada en un balón aforado de 1000 ml. Disolver, enfriar a temperatura ambiente y llevar hasta la marca de aforo con agua destilada.
- Solución de ácido sulfúrico.
- Agregar 10,2 g Ag_2SO_4 a 1 litro de H_2SO_4 conc. Dejar reposar 1 día.

A - 1.3 Procedimiento

1. Encender el reactor y precalentarlo a $150^\circ C$.
2. Homogeneizar aproximadamente 300-400 ml de la muestra por 30 segundos en una licuadora. Si la muestra contiene grandes cantidades de sólidos, aumentar el tiempo de homogeneización a dos minutos.
3. Verter la muestra homogeneizada en el paso 2 en un recipiente y agitar con un agitador magnético.
4. Tomar el volumen o el peso de la muestra del paso 3 y diluirla según la tabla siguiente:

Muestra	Factor de dilución
Agua Residual	10
Cerveza	250
Levadura a prensar	500
Levadura prensada diluida	500
Levadura prensada (torta)	1.000

- Pipetear 2 ml de la solución preparada previamente en el paso 4 en un vial de digestión para D.Q.O. de HACH.
- Adicionar al vial con muestra, 1,5 ml de reactivo de digestión de dicromato de potasio 0,25 N.
- Adicionar al vial 3 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- Tapar bien el vial y agitar invirtiéndolo varias veces.
- Preparar un blanco repitiendo los pasos 9-12, sustituyendo la muestra por 2 ml de agua destilada.
- Calentar los viales por dos horas en el reactor.
- Apagar el reactor y colocar los viales en la gradilla para viales de digestión de HACH. Esperar hasta que los viales se enfrien a temperatura ambiente.
- Introducir el número del programa para medir D.Q.O.: **950 ENTER**.
- Limpiar el blanco por fuera y colocarlo en el espectofotómetro con el logo de HACH hacia el frente. Colocar la cubierta.
- Presionar **ZERO**. El display mostrará puesta a cero 0 mg/l.
- Limpiar los viales de muestra. Colocar un vial de muestra en el espectofotómetro con el logo de HACH hacia el frente. Colocar la cubierta.
- Presionar **READ**. El display mostrará **Leyendo...** Luego el resultado en **mg/l**.

Para D.Q.O. filtrado se debe filtrar la muestra con papel Whatman N° 40, y realizar el mismo procedimiento.

A - 2 Nitrógeno Total

A - 2.1 Equipos y Materiales

- ❑ Sistema de digestión Kjelttec.
- ❑ Balanza analítica, precisión 0,01 g.
- ❑ Navecilla de papel, libre de nitrógeno (Schleicher & Schüll No. 313032 ó similar), en el caso de tener una muestra sólida.
- ❑ Tubos de digestión.
- ❑ Unidad de destilación y titulación Kjelttec.

A - 2.2 Reactivos

- ❑ Ácido sulfúrico concentrado (Merck No. 748 ó similar).
- ❑ Pastillas Kjeltabs S/3,5 (0,1 g de selenio y 3,5 g de sulfato de potasio; ó similar).
- ❑ Soda cáustica al 33% (Merck No. 6495 ó similar): 660 g de NaOH en 1340 ml de agua destilada.
- ❑ Ácido sulfúrico 0,1 N.
- ❑ Ácido bórico al 2,0 % (Merck No. 165 ó similar).
- ❑ Peróxido de hidrógeno al 30 % (Merck No. 7209 ó similar).

A - 2.3 Procedimiento

A - 2.3.1 Preparación del equipo y Selección de la muestra

1. Prender el sistema de digestión.
2. Determinar el tamaño de la muestra a partir de la siguiente tabulación:

Muestra	Tamaño muestra
Agua Residual	25 ml
Cerveza	10 ml
Levadura a prensar	0,5 ± 0,05 g
Levadura prensada diluida	0,5 ± 0,05 g
Levadura prensada (torta)	0,5 ± 0,05 g

A - 2.3.2 Digestión

3. Hacer prueba en blanco cada vez que se use un nuevo envase de reactivo o un nuevo pedido de navecillas.
4. Tomar la alícuota de la muestra o pesar $0,5 \pm 0,05$ g de la muestra con 0,01 g de precisión sobre una navecilla, y colocar en tubo de digestión.
5. Agregar seguidamente, sin meter los tubos en el equipo de digestión, los reactivos en el orden, que se indica a continuación:
2 pastillas Kjeltabs S/3,5.
10 ml de ácido sulfúrico concentrado.
10 ml de peróxido de hidrógeno al 30 %, agregándolos lentamente después de haber cedido la formación de espuma.
6. Colocar los tubos en el sistema de digestión.
7. Conectar los tubos con el extractor, tapando los terminales de succión, que no están en uso, con tapas de goma para aprovechar al máximo la extracción de los vapores ácidos.
8. Dejar digerir por una hora.
9. Enfriar los tubos con las muestras, sacándolos del sistema de digestión.

A - 2.3.3 Destilación y Titulación

10. Prender la unidad de destilación y titulación.
11. Programar la unidad según el tipo de medida seleccionada para la muestra, ya sea un volumen o un peso.

En este equipo se realiza automáticamente una destilación. Se añaden 50 ml de agua destilada y 40 ml de soda cáustica al 33%. El destilado cae en un recipiente el cual contiene ácido bórico al 2%. Luego el contenido del beaker es titulado con la solución de ácido sulfúrico 0,1 N hasta un pH de 4,80. Finalmente se registra el volumen (ml) gastado en la titulación.

A - 2.3.4 Cálculo

$$NT(\text{mg/l}) = \frac{(VA - VB) * 1,4 * 1000}{VM} \quad (\text{A1})$$

$$NT(\text{g/100g}) = \frac{(VA - VB) * 1,4 * 100}{PM * 1000} \quad (\text{A2})$$

donde:

- NT: Contenido de nitrógeno total en la muestra (mg/l) ó (g/100g)
VA: Volumen de H₂SO₄ 0,1 N gastado en la titulación de la muestra (ml)
VB: Volumen de H₂SO₄ 0,1 N gastado en la titulación del blanco (ml)
1,4: Factor de conversión: 1,4 mg de N / ml de H₂SO₄ 0,1 N
1.000: Factor de conversión, 1.000 ml/l ó 1.000mg/g
VM: Volumen de la muestra utilizado (ml)
PM: Peso de la muestra (g)
100: Factor de conversión a porcentaje

A - 3 Fósforo Total

A - 3.1 Equipos y Materiales

- ❑ Beaker, 150 ml.
- ❑ Cuchara de vidrio.
- ❑ Placa caliente, 30 cm * 50 cm.
- ❑ Balón aforado, 50 ml.
- ❑ Pera para centrifuga.
- ❑ Centrifuga a 2.500 r.p.m.
- ❑ Espectrofotómetro, 420 nm absorbancia.
- ❑ Celda de cuarzo 1 cm.

A - 3.2 Reactivos

- ❑ Solución acuosa de fenolftaleína (indicador).
- ❑ Solución de ácido sulfúrico: Añadir con cuidado 300 ml de H₂SO₄ conc. a aproximadamente 60 ml de agua destilada, agregar al enfriar 4,0 ml HNO₃ conc. y llevar a 1 l con agua destilada.

- Persulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, sólido.
- Solución de hidróxido de sodio, 6 N.
- Reactivo vanadato- molibdato:
- Solución A: Disolver 25 g de molibdato amónico, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, en 300 ml de agua destilada.
- Solución B: Calentar hasta ebullición 300 ml de agua destilada y disolver 1,25 g de metavanadato de amonio, NH_4VO_3 . Enfriar y añadir 330 ml de HCl concentrado. Enfriar la solución B a una temperatura ambiente.
- Mezclar la solución A con la B y aforar a 1 l.

A - 3.3 Procedimiento

1. Homogeneizar aproximadamente 300-400 ml de la muestra por 30 segundos en una licuadora. Si la muestra contiene grandes cantidades de sólidos, aumentar el tiempo de homogeneización a dos minutos.
2. Verter la muestra homogeneizada en el paso 1 en un recipiente y agitar con un agitador magnético.
3. Tomar el volumen o el peso de la muestra del paso 2 y diluirla según la tabla siguiente:

Muestra	Factor de dilución
Agua Residual	10
Cerveza	250
Levadura a prensar	500
Levadura prensada diluida	500
Levadura prensada (torta)	1.000

4. Pipetear 50 ml de la solución preparada y colocarla en el beaker.
5. Agregar una gota de solución indicadora de fenolftaleína; si aparece un color rosado, añadir gota a gota solución de ácido sulfúrico hasta empezar a decolorarse.
6. Agregar 1 ml de solución de ácido sulfúrico.
7. Añadir con la cuchara de vidrio 0,4 g de persulfato de amonio sólido.

8. Hervir suavemente sobre una placa precalentada durante 30 a 40 minutos o hasta alcanzar un volumen final de 10 ml.
9. Dejar enfriar.
10. Añadir una gota de solución indicadora de fenolftaleína y neutralizar hasta color rosa pálido con la solución de hidróxido de sodio 6 N.
11. Pipetear 10 ml de vanadato molibdato amónico.
12. Llevar a 50 ml con agua destilada.
13. Colocar el contenido en una pera para centrifuga.
14. Centrifugar a 2.500 rpm para separar las partículas en suspensión.
15. Realizar un blanco realizando el procedimiento anterior, pero con 50 ml de agua destilada.
16. Llenar la celda de vidrio
17. Medir la absorbancia en el espectrofotómetro a 420 nm.
18. Leer la concentración en mg/l.

A - 4 Sólidos Totales

A - 4.1 Equipos y Materiales

- Placas de evaporación, 100 ml capacidad, fabricadas con uno de los materiales siguientes:
- Porcelana, 90 mm diámetro.
- Platino.
- Vaso alto de sílice.
- Balanza analítica, precisión $\pm 0,0001$ g.
- Horno de secado, operado a 103 - 105 °C.
- Desecador.

A - 4.2 Procedimiento

A - 4.2.1 Preparación de la placa de evaporación y Selección de la muestra

1. Pesarse una placa inmediatamente antes de usar, en la balanza analítica con 0,0001 g de precisión.
2. Elegir un volumen o un peso de muestra que proporcione un residuo entre 2,5 y 200 mg, según la tabla siguiente:

Muestra	Tamaño muestra
Agua Residual	10 ml
Cerveza	10 ml
Levadura a prensar	1,00 ± 0,05 g
Levadura prensada diluida	1,00 ± 0,05 g
Levadura prensada (torta) o centrifugada	0,5 ± 0,05 g

A - 4.2.2 Análisis

3. Transferir el volumen de muestra bien mezclada a la placa pesada previamente, o pesar la muestra en la misma.
4. Secar la muestra durante dos horas en horno a 103 - 105 °C.
5. Enfriar la placa en el desecador para equilibrar la temperatura durante 20 min.
6. Pesarse en la balanza analítica con 0,0001 g de precisión.
7. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 % del peso previo ó menor de 0,0005 g (escoger la menor de ambas).

A - 4.2.3 Cálculo

$$ST(\text{mg/l}) = \frac{(A - B) * 1000 * 1000}{VM} \quad (\text{A3})$$

$$ST(\text{g/100g}) = \frac{(A - B) * 100}{PM} \quad (\text{A4})$$

donde;

ST:	Sólidos totales (mg/l) ó (g/100g)
A:	Peso del residuo seco + placa (g)
B:	Peso de la placa (g)
1.000:	Factor de conversión, 1.000 ml/l ó 1.000mg/g
VM:	Volumen de la muestra (ml)
PM:	Peso de la muestra (g)
100:	Factor de conversión a porcentaje

A - 5 Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Suspendidos Volátiles

A - 5.1 Equipos y Materiales

- ❑ Plancheta, acero inoxidable o aluminio, 65 mm de diámetro.
- ❑ Balanza analítica, precisión $\pm 0,0001$ g.
- ❑ Disco de filtrado de fibra de vidrio, Whatman N° 1822 047 GF/C.
- ❑ Embudo de filtración al vacío.
- ❑ Horno de secado, operado a 103 - 105 °C
- ❑ Horno de mufla, operado a 550 ± 50 °C.
- ❑ Desecador.

A - 5.2 Procedimiento

A - 5.2.1 Preparación del filtro y selección de la muestra

1. Pesar el disco de filtrado en la balanza analítica con 0,0001 g de precisión.
2. Elegir un volumen o peso de muestra que proporcione entre 2,5 y 200 mg de residuo seco, según la tabla siguiente:

Muestra	Tamaño muestra
Agua Residual	10 ml
Cerveza	10 ml
Levadura a prensar	1,00 ± 0,05 g
Levadura prensada diluida	1,00 ± 0,05 g
Levadura prensada (torta) o centrifugada	0,5 ± 0,05 g

A - 5.2.2 Análisis para Sólidos Suspendidos Totales

3. Filtrar el volumen medido o el peso de muestra bien mediante un embudo de filtración.
4. Continuar succionando durante tres 2 min después de terminar el filtrado.
5. Transferir el filtro a una plancheta de aluminio o acero inoxidable.
6. Secar durante dos hora en horno a 103 - 105 °C.
7. Enfriar en el desecador para equilibrar la temperatura durante 20 min.
8. Pesar en la balanza analítica con 0,0001 g de precisión.
9. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 % del peso previo ó menor de 0,0005 g (escoger la menor de ambas).

A - 5.2.3 Cálculo para SST

$$SST(mg/l) = \frac{(A - B) * 1000 * 1000}{VM} \quad (A5)$$

$$SST(g/100g) = \frac{(A - B) * 100}{PM} \quad (A6)$$

donde;

- SST: Sólidos suspendidos totales (mg/l)
- A: Peso del residuo seco + disco (g)
- B: Peso del disco (g)
- 1.000: Factor de conversión, 1000 ml/l ó 1000mg/g
- VM: Volumen de la muestra (ml)



- PM: Peso de la muestra (g)
100: Factor de conversión a porcentaje

A - 5.2.4 Análisis para Sólidos Suspendidos Volátiles

10. Incinerar el residuo producido por los métodos Sólidos Suspendidos Totales, a peso constante, en el horno de mufla durante 15 a 20 min a 550 ± 50 °C.
11. Enfriar el disco de filtro al aire hasta que se haya disminuido el calor y transferir a un desecador para equilibrar la temperatura durante 20 min.
12. Pesar el disco en la balanza analítica con 0,0001 g de precisión.
13. Repetir el ciclo de incineración, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 % del peso previo.

A - 5.2.5 Cálculo para SSV

$$SSV(mg/l) = \frac{(A - B) * 1000 * 1000}{VM} \quad (A7)$$

$$SSV(g/100g) = \frac{(A - B) * 100}{PM} \quad (A8)$$

donde;

- SSV: Sólidos suspendidos volátiles (mg/l)
A: Peso del residuo seco + disco antes de incineración (g)
B: Peso del residuo seco + disco después de incineración (g)
1.000: Factor de conversión, 1.000 ml/l ó 1.000mg/g
VM: Volumen de la muestra (ml)
PM: Peso de la muestra (g)
100: Factor de conversión a porcentaje

APÉNDICE B

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA LEVADURA

Fuente: Elaboración Propia

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN % P/P DE LA LEVADURA

Fuente: Cervecería Polar C.A., Manual de Aseguramiento de la Calidad.

B - 1 Densidad

B- 1.1 Equipos y Materiales

- Pera para centrifuga.
- Centrifuga a 2.500 r.p.m.
- Balanza analítica de 0,01 de precisión.

B - 1.2 Procedimiento

1. Pesar una pera para centrifuga vacía, en la balanza analítica de 0,01 de precisión.
2. Añadir a la pera un volumen de muestra de levadura.
3. Centrifugar por 8-10 minutos a 2.500 r.p.m. en la centrifuga. (Ocurrirá la separación de la levadura y el líquido, bien sea agua o cerveza).
4. Leer y anotar el volumen de la muestra centrifugada que marca en el cono volumétrico (Incluyendo la parte sólida y el sobrenadante).
5. Pesar la pera junto con la muestra centrifugada, en la balanza analítica de 0,01 de precisión.

$$D(g/ml) = \frac{(A - B)}{V} \quad (B1)$$

donde;

- A: Peso de la pera con la muestra centrifugada (g)
- B: Peso de la pera vacía (g)
- V: Volumen de la muestra centrifugada (ml)

B - 2 Concentración % p/p

La concentración de la levadura se determina mediante centrifugación por 10 minutos a 2.000-2.500 r.p.m. expresándola en g/100g.

B - 2.1 Equipos y Materiales

- Varilla de vidrio.
- Beaker.

- ❑ Cápsula para centrifuga, preferiblemente con tapa.
- ❑ Centrifuga a 2.000-2.500 r.p.m.
- ❑ Balanza analítica de 0,01 de precisión.

B - 2.2 Procedimiento

1. Pesar una cápsula para centrifuga vacía y con su tapa, en forma vertical con la ayuda del beaker, en la balanza analítica.
2. Homogeneizar la muestra de levadura con la varilla de vidrio.
3. Verter al recipiente previamente pesado un volumen de muestra de levadura y tapar.
4. Centrifugar por 8-10 minutos a 2.000-2.500 r.p.m. en la centrifuga. (Separación de la levadura y el líquido, bien sea agua o cerveza).
5. Pesar el recipiente tapado junto con la muestra centrifugada, en la balanza analítica de 0,01 de precisión.
6. Decantar el líquido sobrenadante.
7. Pesar el recipiente tapado junto con la levadura y sin el líquido sobrenadante, en la balanza analítica de 0,01 de precisión.

$$C(\% p/p) = \frac{(C - B) * 100}{(A - B)} \quad (\text{B2})$$

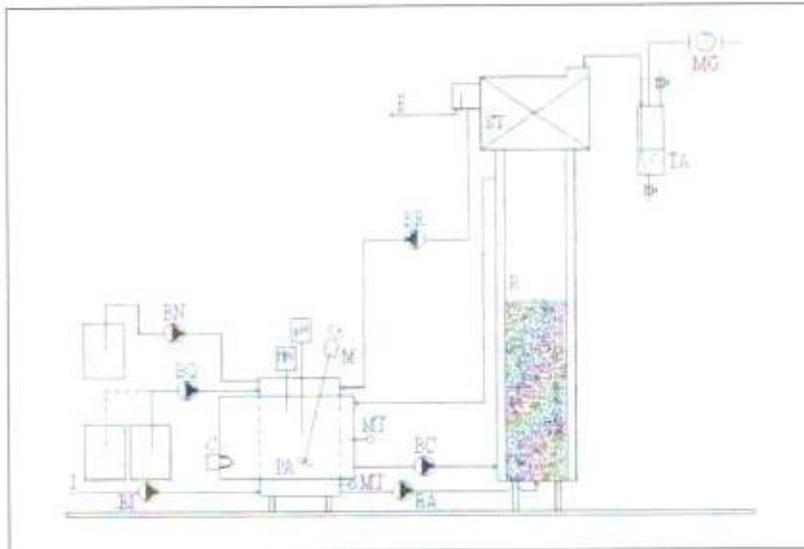
donde;

- A: Peso del recipiente con la muestra centrifugada (g)
- B: Peso del recipiente vacío (g)
- C: Peso del recipiente con la levadura, sin el sobrenadante (g)
- 100: Factor de conversión a porcentaje

APÉNDICE C

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PILOTO DE P.T.A.R.

Fuente: PAQUES BV, Manual Operativo de la Planta Piloto. (1.994).



Fuente: PAQUES BV, Manual Operativo de la Planta Piloto

Figura C1 - Diagrama de la Planta Piloto de la P.T.A.R.

LEYENDA

- Tanque de preacidificación, volumen 37,5 L (PA).
- Reactor UASB, volumen 42,5 L (R).
- Medidor de temperatura (MT).
- Calentador (C).
- Sensor de nivel en el tanque de preacidificación (MN).
- Sensor de pH en el tanque de preacidificación (pH).
- Mezclador del tanque de preacidificación (M).
- Bomba peristáltica de dosificación de base (BC).
- Bomba para la dosificación de ácido (BN).
- Bomba peristáltica de alimentación al reactor (BA).
- Bomba peristáltica de recirculación (BR).
- Bomba peristáltica de alimentación del afluente (BI).
- Bomba de recirculación del sistema de calentamiento (BC).
- Medidor de gas (MG).
- Separador trifásico (ST).
- Trampa de agua (TA).
- Entrada del afluente (I).
- Salida del efluente (E).
- Centro de control del motor y cableado.
- Controlador PLC.
- Tuberías y mangueras de conexión.
- Registrador.

APÉNDICE D

MODELO DE CÁLCULO PARA LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN

Fuente: Gerencia Nacional de Tratamiento de Aguas. Cervecería Polar C.A.

D - 1 Velocidad Ascendente

$$V_A = \frac{Q_R}{1000 * A} \quad (D1)$$

donde;

- V_A : Velocidad ascendente del líquido, (m/h)
 Q_R : Caudal de alimentación al reactor, (l/h)
 1.000: Factor de conversión de litros a m^3
 A : Área seccional del reactor: $0,028 \text{ m}^2$

D - 2 Factor de Recirculación

$$fr = \frac{Q_{REC}}{Q_{PA}} \quad (D2)$$

donde;

- fr : Factor de recirculación
 Q_{REC} : Caudal de recirculación del reactor al tanque PA, (l/h)
 Q_{PA} : Caudal de alimentación al tanque PA, (l/h)

D - 3 Carga Volumétrica del Reactor

$$C_v = \frac{[DQO_{Taf} * (1 - fr) + DQO_{Tef} * fr] * Q_R * t}{1000 * V_R} \quad (D3)$$

donde;

- C_v : Carga Volumétrica, (kgDQO/m³d.)
 DQO_{Taf} : Demanda Química de Oxígeno Total en el afluente, (mg/l)
 DQO_{Tef} : Demanda Química de Oxígeno Total en el efluente, (mg/l)
 fr : Factor de recirculación
 Q_R : Caudal de alimentación al reactor, (m³/h)
 t : Tiempo de exposición, (h/día)
 1.000: Factor de conversión de g a kg
 V_R : Volumen del reactor: $0,0425 \text{ m}^3$

D - 4 Grado de Preacidificación

$$G_p = \frac{AGV_{PA} * 65 * 100}{DQO_{Infl} - DQO_{Efl}} \quad (D4)$$

donde;

G_p :	Grado de Preacidificación (%)
AGV_{PA} :	Ácidos Grasos Volátiles en el Tanque PA (meq/l)
65:	Factor de conversión de 1 meq/l de A.G.V. a 1 mg D.Q.O., si el agua residual contiene ácido acético (90%) y ácido propiónico (10%)
100:	Factor de conversión a porcentaje
DQO_{Infl} :	Demanda Química de Oxígeno Total en el afluente (mg/l)
DQO_{Efl} :	Demanda Química de Oxígeno Total en el efluente (mg/l)

D - 5 Eficiencia de Remoción del D.Q.O.F

$$E_r = \frac{(DQO_{FInfl} - DQO_{FEfl})}{DQO_{FInfl}} * 100 \quad (D5)$$

donde;

E_r :	Eficiencia de Remoción de DQO filtrado (%)
100:	Factor de conversión a porcentaje
DQO_{FInfl} :	Demanda Química de Oxígeno Filtrado en el afluente (mg/l)
DQO_{FEfl} :	Demanda Química de Oxígeno Filtrado en el efluente (mg/l)

D - 6 Producción Específica de Biogás

$$P_{exp} = \frac{Q_{biogás} * 1000}{(DQO_{Infl} - DQO_{Efl}) * Q_R * t} \quad (D6)$$

$$Q_{biogás} = \frac{(L_{final} - L_{inicial}) * 24}{1000 * h} \quad (D7)$$

donde;

P_{esp} :	Producción Específica de Biogás ($m^3/kg DQO_{REW}$)
$Q_{biogás}$:	Caudal de producción de biogás, (m^3/d)
1.000:	Factor de conversión de litros a m^3
DQO_{Fati} :	Demanda Química de Oxígeno Filtrado en el afluente (mg/l)
DQO_{Fefi} :	Demanda Química de Oxígeno Filtrado en el efluente (mg/l)
Q_e :	Caudal de alimentación al reactor, (m^3/d)
t:	Tiempo de exposición al día, (h/día)
$L_{inicial}$:	Lectura inicial del medidor de gas (dm^3)
L_{final} :	Lectura final del medidor de gas (dm^3)
24:	Factor de conversión de horas a día
1.000:	Factor de conversión de dm^3 a m^3
h:	Horas de exposición, (h)

APÉNDICE E

DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES Y ALCALINIDAD

Fuente: Gerencia Nacional de Tratamiento de Aguas. Cervecería Polar C.A.

E.1 Procedimiento

1. Filtrar una muestra instantánea empleando papel Whatman N° 40.
2. De la muestra centrifugada o filtrada, tomar V ml que contengan no más de 3 meq. de AGV. Eventualmente la muestra deberá ser diluida hasta 100 ml con agua desmineralizada.
3. Titular la muestra con HCl 0,1 N hasta alcanzar un pH de 3 (A ml).
4. Transferir la muestra a un erlenmeyer y hervir la muestra utilizando un enfriador a reflujo. Dejar hirviendo la muestra durante 3 min para remover el CO₂.
5. Retirar la fuente de calor y dejar enfriar la muestra por 2 min con el enfriador a reflujo. Lavar el enfriador con agua destilada.
6. Luego de 2 min de enfriamiento, titular la muestra con NaOH 0,1 N hasta alcanzar un pH 6,5 (B ml).

E.2 Cálculos

Los AGV y la alcalinidad del bicarbonato pueden ser calculados de la siguiente manera:

$$AGV(\text{meq/l}) = \frac{(B * 101) - (A + 100) * 100}{99,23 * V} \quad (\text{E1})$$

$$AGV(\text{meq/l}) = \frac{(A - B) * 100}{V} \quad (\text{E2})$$

APÉNDICE F

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN

Fuente: Elaboración Propia

F - 1 Demanda Química de Oxígeno

Tabla F1 - DQO (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	47,40	52,54	54,45	54,54	59,00
DQO (mg/l)	219.000	243.331	257.881	274.114	289.500
DQO (mg/l)	199.000	256.331	266.138	271.029	288.000
DQO (mg/l)	200.000	255.997	253.011	275.665	288.000
DQO Promedio (mg/l)	206.000	251.886	259.010	273.603	288.500
Desv Estándar (mg/l)	11.289	7.411	6.636	2360	866
Coef Variación (%)	5	3	3	0,9	0,3

Tabla F2 - DQO (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	32,61	35,63	37,96	45,65
DQO (mg/l)	101.723	111.714	129.200	152.138
DQO (mg/l)	104.940	107.829	128.900	152.138
DQO (mg/l)	102.713	105.886	130.100	158.312
DQO Promedio (mg/l)	103.125	108.476	129.400	154.196
Desv Estándar (mg/l)	1.648	2.967	624	3.565
Coef Variación (%)	2	3	0,5	2

F - 2 Nitrógeno Total

Tabla F3 - NT (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	49,88	51,00	56,70	58,02
NT (mg/l)	9.025	9.218	10.868	10.997
NT (mg/l)	9.040	9.274	10.819	10.974
NT (mg/l)	9.010	9.565	12.642*	13.700*
NT Promedio (mg/l)	9.025	9.352	10.844	10.986
Desv Estándar (mg/l)	15	186	35	16
Coef Variación (%)	0,2	2	0,3	0,1

* Dato Descartado

Concentración (%p/p)	31,73	34,34	45,65	46,00
NT (g/100g)	0,48	0,50	0,77	0,92
NT (g/100g)	0,43	0,50	0,79	0,80
NT (g/100g)	0,51*	0,50	0,75	0,61*
NT Promedio (g/100g)	0,44	0,50	0,77	0,86
Desv Estándar (g/100g)	0,02	0	0,02	0,08
Coef Variación (%)	5	0	3	10

Tabla F6 - NT (g/100g) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (d)p/p)

Concentración (%p/p)	31,73	34,34	45,65	46,00
NT (mg/l)	4,626	4,750	7,603	9,844
NT (mg/l)	4,369	4,731	7,851	8,560
NT (mg/l)	5,131*	4,693	7,435	6,572*
NT Promedio (mg/l)	4,497	4,725	7,630	8,202
Desv Estándar (mg/l)	182	29	209	908
Coef Variación (%)	4	0,6	3	10

Tabla F5 - NT (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (d)p/p)

Concentración (%p/p)	49,88	52,54	56,70	58,02
NT (g/100g)	0,90	0,99	1,10	1,10
NT (g/100g)	0,90	0,98	1,10	1,10
NT (g/100g)	0,90	1,00	1,29*	1,37*
NT Promedio (g/100g)	0,90	0,99	1,10	1,10
Desv Estándar (g/100g)	0	0,01	0	0
Coef Variación (%)	0	1	0	0

Tabla F4 - NT (g/100g) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Tabla F4 - NT (g/100g) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	49.88	52.54	56.70	58.02
NT (g/100g)	0.90	0.99	1.10	1.10
NT (g/100g)	0.90	0.98	1.10	1.10
NT (g/100g)	0.90	1.00	1.29*	1.37*
NT Promedio (g/100g)	0.90	0.99	1.10	1.10
Desv Estándar (g/100g)	0	0.01	0	0
Coef Variación (%)	0	1	0	0

Tabla F5 - NT (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	31.73	34.34	45.65	46.00
NT (mg/l)	4.626	4.750	7.603	9.844
NT (mg/l)	4.369	4.731	7.851	8.560
NT (mg/l)	5.131*	4.693	7.435	6.572*
NT Promedio (mg/l)	4.497	4.725	7.630	9.202
Desv Estándar (mg/l)	182	29	209	908
Coef Variación (%)	4	0,6	3	10

Tabla F6 - NT (g/100g) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	31.73	34.34	45.65	46.00
NT (g/100g)	0.46	0.50	0.77	0.92
NT (g/100g)	0.43	0.50	0.79	0.80
NT (g/100g)	0.51*	0.50	0.75	0.61*
NT Promedio (g/100g)	0.44	0.50	0.77	0.86
Desv Estándar (g/100g)	0.02	0	0.02	0.08
Coef Variación (%)	5	0	3	10

* Dato descartado

F - 3 Fósforo Total
Tabla F7 - PT (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	45,91	52,46	54,45	58,02	58,56
PT (mg/l)	1.311	1.178	1.190	1.279	1.407
PT (mg/l)	1.138	1.025	1.272	1.242	1.301
PT (mg/l)	1.867*	1.543*	1.682*	1.543*	847*
PT Promedio (mg/l)	1.127	1.102	1.231	1.261	1.354
Desv Estándar (mg/l)	16	109	58	26	297
Coef Variación (%)	1	10	5	2	6

Tabla F8 - PT (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	32,61	35,63	37,96	35,65
PT (mg/l)	602	656	754	1.000
PT (mg/l)	536	588	802	1.001
PT (mg/l)	1.703*	283*	562*	847*
PT Promedio (mg/l)	569	622	778	1.001
Desv Estándar (mg/l)	47	48	34	0,7
Coef Variación (%)	8	8	4	0,07

F - 4 Sólidos Totales
Tabla F9 - ST (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (% p/p)	45,91	52,46	57,11	61,79
ST (mg/l)	127.324	162.413	177.197	179.221
ST (mg/l)	127.318	166.322	170.338	177.989
ST (mg/l)	102.726*	163.214	169.254	178.195
ST Promedio (mg/l)	127.321	163.983	172.263	178.468
Desv Estándar (mg/l)	4	2.065	4.307	660
Coef Variación (%)	0.003	1	3	0,4

* Dato descartado

Tabla F10 - ST (g/100g) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (g/100g)	50,00	51,00	52,46	57,11
ST (g/100g)	15,9	16,1	16,2	17,7
ST (g/100g)	15,7	16,1	16,6	17,0
ST (g/100g)	16,9*	15,9	16,3	16,9
ST Promedio (g/100g)	15,8	16,0	16,4	17,2
Desv Estándar (g/100g)	0,1	0,1	0,2	0,4
Coef Variación (%)	0,9	0,7	1	3

Tabla F11 - ST (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	31,54	32,62	34,34	42,61	45,65
ST (mg/l)	77,094	72,268	80,853	108,295	111,744
ST (mg/l)	73,088	77,040	76,923	110,227	111,557
ST (mg/l)	75,809	76,055	76,281	108,801	110,978
ST Promedio (mg/l)	75,330	75,121	78,019	109,108	111,426
Desv Estándar (mg/l)	2,045	2,519	2,475	1,002	399
Coef Variación (%)	3	3	3	0,9	0,4

Tabla F12 - ST (g/100g) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (g/100g)	31,54	32,62	34,34	42,61	45,65
ST (g/100g)	7,8	8,5	7,2	10,9	11,3
ST (g/100g)	7,4	8,1	7,7	11,1	11,3
ST (g/100g)	7,7	8,0	7,6	11,0	11,2
ST Promedio (g/100g)	7,6	7,5	8,2	11,0	11,3
Desv Estándar (g/100g)	0,2	0,3	0,3	0,1	0,06
Coef Variación (%)	3	3	3	0,5	0,9

* Dato descartado

F - 5 Sólidos Suspendidos Totales

Tabla F13 - SST (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	47,28	51,20	59,87	60,13
SST (mg/l)	112.975	114.932	133.501	140.904
SST (mg/l)	112.571	116.313	135.951	142.366
SST (mg/l)	113.530	119.720	137.394	121.641 *
SST Promedio (mg/l)	113.025	116.988	135.615	141.635
Desv Estándar (mg/l)	481	2464	1968	1034
Coef Variación (%)	0.4	2	1	0.7

Tabla F14 - SST (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	17,47	27,54	32,62	36,00
SST (mg/l)	32.427	51.176	69.057	80.859
SST (mg/l)	32.746	55.327	66.462	79.812
SST (mg/l)	32.424	52.353	67.695	78.462
SST Promedio (mg/l)	32.532	52.952	67.738	79.711
Desv Estándar (mg/l)	184	2.139	1.298	1.202
Coef Variación (%)	0.6	4	2	2

F - 6 Sólidos Suspendidos Volátiles

Tabla F15 - SSV (mg/l) para la Levadura a prensar a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	47,28	51,20	59,87	60,13
SSV (mg/l)	107.278	109.556	125.675	133.185
SSV (mg/l)	107.052	110.138	127.087	134.868
SSV (mg/l)	107.806	112.243	131.630	112.750
SSV Promedio (mg/l)	107.379	110.646	128.130	126.934
Desv Estándar (mg/l)	387	1.414	3.111	12.312
Coef Variación (%)	0.4	1	2	10

* Dato descartado

Tabla F16 - SSV (mg/l) para la Levadura prensada diluida a diferentes concentraciones (%p/p)

Concentración (%p/p)	17.47	27.54	37.16	45.13
SSV (mg/l)	31.262	48.922	71.102	87.339
SSV (mg/l)	31.863	52.710	72.286	88.857
SSV (mg/l)	31.515	50.098	73.717	89.508
SSV Promedio (mg/l)	31.547	50.577	72.368	88.568
Desv Estándar (mg/l)	302	1.939	1.310	1.113
Coef Variación (%)	1	4	2	1

F - 7 Levadura prensada (torta) y Cerveza Recuperada
Tabla F17 - Parámetros de Calidad para la Levadura prensada (torta)

	DQO	NT	PT	ST	SST	SSV
1 (mg/l)	348.655	18.690	1.784	295147	278.642	263.180
2 (mg/l)	369.940	16.450	1.920	296014	269.431	244.647
3 (mg/l)	354.416	25.461*	986*	291314	257.689	235.574
Promedio (mg/l)	357.670	17.570	1.852	294.158	268.587	1.270
Desv Estándar (mg/l)	11.009	1.584	96	2.501	10.502	240.111
Coef Variación (%)	3	9	5	1	4	3

Tabla F18 - Parámetros de Calidad para la Cerveza recuperada

	DQO	NT	PT	ST	SST	SSV
1 (mg/l)	146.700	986	439	37.160	1.220	1.180
2 (mg/l)	135.700	940	401	36.250	1.390	1.290
3 (mg/l)	147.100	1.023	449	39.140	1.340	1.250
Promedio (mg/l)	6.469	41	25	1.478	87	1.270
Desv Estándar (mg/l)	143.167	983	430	37.517	1.317	28
Coef Variación (%)	5	4	6	4	7	2

* Dato descartado

APÉNDICE G

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN PLANTA PILOTO

Fuente: Elaboración Propia

Tabla G1 – Acidez (AGV) y Alcalinidad (ALC) del Tanque de Preacidificación (PA) y de la Salida del Reactor, en las Pruebas en Planta Piloto

	0,30 %v/v lev	1,00 %v/v lev	1,25 %v/v lev	Norma
AGV PA (meq/l)	8	10	11,6	7-25
AGV Reactor (meq/l)	2,8	3	5,5	<3
ALC PA (meq/l)	10,8	18	8,8	5-40
ALC Reactor (meq/l)	19,8	26	12,4	12-40

Tabla G2 - DQO_T (Total) y DQO_F (Filtrado) del Afluente y Efluente, en las Pruebas en Planta Piloto

	0,30 %v/v lev	1,00 %v/v lev	1,25 %v/v lev	Norma o límite
DQO T Afluente (mg/l)	3.188	5.105	5.528	<6.500
DQO T Efluente (mg/l)	239	514	1.176	<900
DQO F Afluente (mg/l)	1.432	3.001	3.956	<4.500
DQO F Efluente (mg/l)	169	297	1.080	<450

Tabla G3 - Producción de Biogás en las Pruebas en Planta Piloto

	0,30 %v/v lev	1,00 %v/v lev	1,25 %v/v lev
Lectura inicial (dm ³)	57.641,04	58.389,33	58.680,00
Lectura final (dm ³)	57.662,90	58.451,57	58.762,00
Horas exposición (h)	8	8	8
Caudal Biogás (l/h)	2,73	7,78	10,25

Tabla G4 - NT del Afluente y Efluente, en las Pruebas en Planta Piloto

	0,30 %v/v lev	1,00 %v/v lev	1,25 %v/v lev	Norma o límite
NT Afluente (mg/l)	41	116,3	111,3	<85
NT Efluente (mg/l)	31	97,48	86,6	<40
Reducción Nitrógeno (%)	24	16	22	—

APÉNDICE H

DATOS DE PRODUCCIÓN DE LEVADURA POR T.C.C.

Fuente: Gerencia Nacional de Tecnología Cervecera y Gerencia de Elaboración Planta

Los Cortijos

Tabla H1 - Levadura a dosificar por cocimiento y por TCC

Cocimientos por TCC completado	14	n
Levadura a dosificar por cocimiento	476	l
Levadura a dosificar por TCC completado	6.664	l

Fuente: Gerencia Nacional de Tecnología Cervecera

Tabla H2 - Levadura cosechada por TCC

Precosecha por TCC	1.000	l	Lepre
Cosecha por TCC	13.000	l	Ledo
Poscosecha por TCC (aprox)	6.000	l	Lepre
Cosecha después de completar TCC (aprox)	4.500	l	Lepre
Total Cosecha por TCC completado	24.500	l	—

Fuente: Gerencia de Elaboración Planta Los Cortijos

Tabla H3 - Purgas de Levadura por TCC

Cubas Fermentación	250	l
Tanques de Maduración	2.000	l

Fuente: Gerencia de Elaboración de Planta Los Cortijos

Para calcular el volumen de levadura a prensar, se toma el total de la cosecha y se le resta el volumen de levadura correspondiente para dosificar a un nuevo T.C.C. completado (véase *tabla H1*).

Tabla H4 - Levadura a prensar por TCC y Factor de Reproducción

Levadura a prensar por TCC completado	17.836	l
Factor Reproducción de la levadura	3,68	n

Fuente: Gerencia Nacional de Tecnología Cervecera

APÉNDICE I

GRADO DE FERMENTACIÓN DEL MOSTO

Fuente: Cervecería Polar C.A., Manual de Aseguramiento de la Calidad.

El grado de fermentación es la medida para determinar el contenido total de carbohidratos fermentables en el mosto, o la capacidad de fermentación de la levadura. Para su determinación, se deja fermentar el mosto con levadura por 24 horas a una temperatura de 20 °C, y se calcula la relación entre el extracto fermentado y el extracto antes de fermentar.

I.1 Equipos y materiales

- Tubo de fermentación con tapón de goma.
- Papel de filtro plegado.
- Densímetro, sacarómetro o picnómetro.
- Baño de agua, 20 °C ± 0,1 °C.
- Placa Petri.

I.2 Reactivos

- Levadura centrifugada
- Mosto concentrado

I.3 Procedimiento

1.3.1 Análisis

1. Medir el extracto del mosto en el equipo seleccionado.
2. Diluir a un extracto de 8,6 % con Agua Destilada.
3. Medir el nuevo extracto del mosto con el equipo seleccionado y anotar el valor (E_{MD}).
4. Disolver 10 g de levadura centrifugada en 200 ml de mosto diluido.
5. Cerrar el tubo de fermentación por la parte inferior con el tapón de goma.
6. Verter la mezcla de mosto y levadura en el tubo de fermentación.
7. Tapar el tubo de fermentación con la placa petri.
8. Colocar el tubo de fermentación con su contenido en el baño de agua.

9. Dejar fermentar por 24 horas.
10. Filtrar el mosto fermentado 2 veces a través de papel de filtro plegado.
11. Determinar el extracto final del mosto fermentado y filtrado, y anotar su valor (E_F).

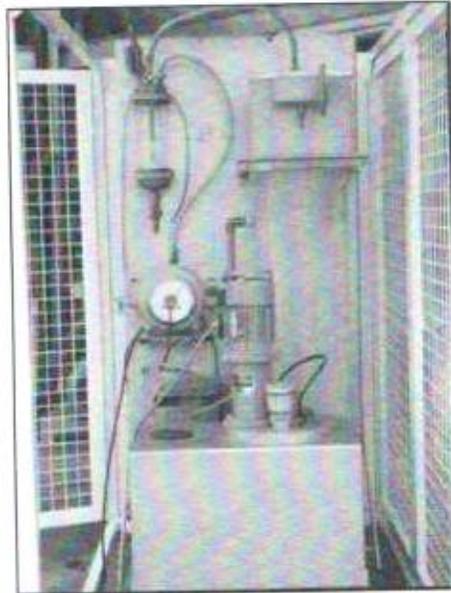
1.3.2 Cálculo

$$G_F(\%) = \frac{(E_{MD} - E_F) * 100}{E_{MD}} \quad (11)$$

donde;

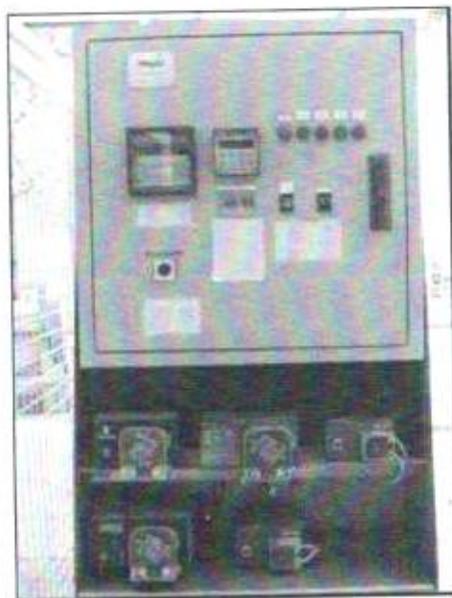
G_F :	Grado de Fermentación (%)
E_{MD} :	Extracto mosto diluido (%)
E_F :	Extracto final (%)

ANEXOS



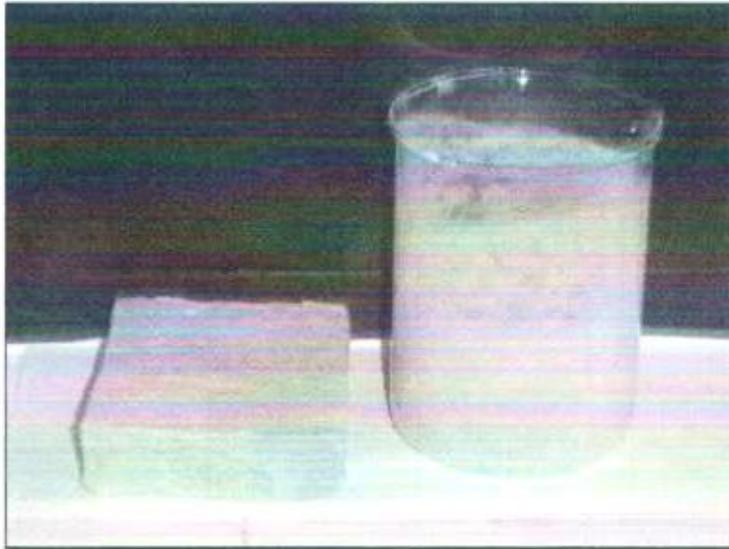
Fuente: Fotografía Propia

Figura AN1 - Fotografía Delantera de la Planta Piloto



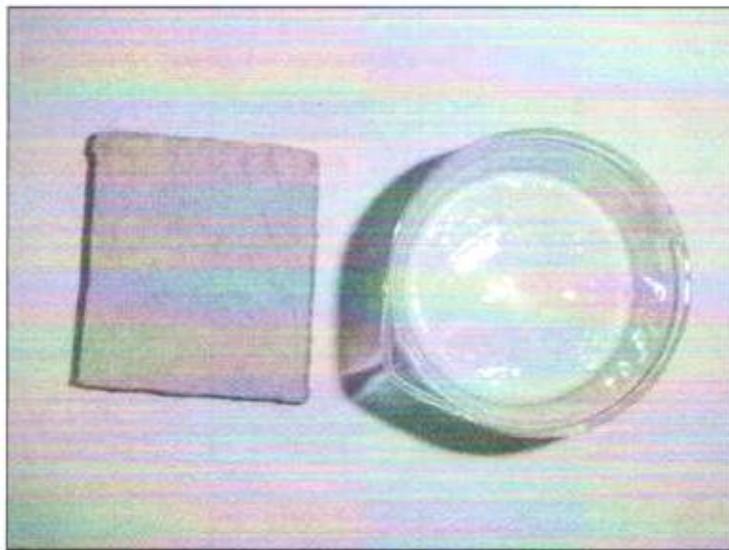
Fuente: Fotografía Propia

Figura AN2 - Fotografía Posterior de la Planta Piloto



Fuente: Fotografía Propia

Figura AN3 - Fotografía de Frente de Levadura prensada (torta) y Levadura a prensar



Fuente: Fotografía Propia

Figura AN4 - Fotografía Superior de Levadura prensada (torta) y Levadura a prensar

DATOS DE PRODUCCIÓN

Producción C y M	70.000	HI / semana
Producción Maltin	10.000	HI / mes
Producción Cerveza ICE	60.000	HI ICE / semana
ÍNDICE Agua Residual	2,82	I Agua residual / I C y M

Datos de entrada

DATOS DE PARÁMETROS DE CALIDAD

	Límite Afluente	Norma Efluente	% Remoción
DQO (mg/l)	6.500	900	90
SST (mg/l)	2.000	400	80
NT (mg/l)	85	40	55

SITUACIÓN DESCARGA TOTAL DE LEVADURA

	Agua Residual sin levadura	Lev prens dil (35%p/p)	Afluente Real	Efluente Real
DQO (mg/l)	2.500	112.000	3.647	365
SST (mg/l)	500	75.000	1.281	256
NT (mg/l)	50	5.000	102	45
kg DQO/d.	8.973	4.256	13.229	1.323
kg SST/d.	1.795	2.850	4.645	929
kg NT/d.	179	190	370	167
g DQO/Hi CyM	705	334	1.039	104
g SST/Hi CyM	141	224	365	73
g NT/HL CyM	14	15	29	13
Volumen (m3/d.)	3.589	38	3.627	3.627
%	98,95%	1,05%	100%	100%

SITUACIÓN DEACARGA IDEAL DE LEVADURA

	Agua Residual sin levadura	Lev prens dil (35%p/p)	Afluente Ideal	Efluente Ideal
DQO (mg/l)	2.500	112.000	3.274	327
SST (mg/l)	500	75.000	1.027	205
NT (mg/l)	50	5.000	85	38
kg DQO/d.	8.973	2.863	11.835	1.184
kg SST/d.	1.795	1.917	3.711	742
kg NT/d.	179	128	307	138
g DQO/Hi CyM	705	225	930	93
g SST/Hi CyM	141	151	292	58
g NT/HL CyM	14	10	24	11
Volumen (m3/d.)	3.589	26	3.615	3.615

DATOS PARA LEVADURA

Levadura	m3/d.	%
Permitida	26	67%
Sobrante	12	33%
Total	38	100%

Fuente: Elaboración Propia

Figura AN5 - Extracto de Hoja de cálculo para Levadura