

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO DE
REGENERACIÓN DE TIERRA INFUSORIA UTILIZADA
COMO MEDIO FILTRANTE EN UNA EMPRESA
CERVECERA**

Realizado:

Jessica José Rodríguez Figuera

**Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como
requisito parcial para optar al título de:**

INGENIERO QUÍMICO

Puerto La Cruz, agosto de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO DE
REGENERACIÓN DE TIERRA INFUSORIA UTILIZADA
COMO MEDIO FILTRANTE EN UNA EMPRESA
CERVECERA**

ASESORES

**Ing. Quím. Alexis Cova (M.Sc.)
Asesor académico**

**Lic. Quím. Luis Leal (M.Sc.)
Asesor industrial**

Puerto La Cruz, agosto de 2010

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO DE
REGENERACIÓN DE TIERRA INFUSORIA UTILIZADA
COMO MEDIO FILTRANTE EN UNA EMPRESA
CERVECERA**

JURADO

**Ing. Quím. Alexis Cova (M.Sc.)
Asesor académico**

**Ing. Quím. Osvaldo Ochoa (M.Sc.)
Jurado principal**

**Ing. Quím. Petra Martínez (M.Sc.)
Jurado principal**

Puerto La Cruz, agosto de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente en su artículo 41 establece “Los trabajos de grado son propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, el cual lo participará al consejo universitario”

DEDICATORIA

A ti, que fuiste la mujer que me dio la vida y todo lo que he necesitado siempre en el aspecto personal y profesional, a ti mamá (**Letimar Figuera**); espero te sientas orgullosa de tener una hija Ingeniero Químico.

A mis abuelos: **Ligia y Gonzalo Figuera**, por su presencia permanente, cariño, apoyo y ayuda incondicional en todo momento. En especial a ti abuelito, por ser una persona excepcional y el mejor abuelo del mundo, los quiero.

A mis hermanos: **Leticia, Juan Carlitos y María Victoria**. Espero ser su guía y que la vida los llene de muchas alegrías y éxitos. Tengan presente que cuentan conmigo siempre.

A mis tíos: **Pedro y Gonzalo**, por estar a mi lado en todo momento y llenar mi vida de alegría.

A mi sobrino terrible, **Erick**, por ser la luz que ilumina mi vida día a día, noche a noche. A mis primas: **Oriana y Patricia**, doy gracias por tenerlas en nuestras vidas. Que Dios los bendiga y los haga personas de bien, colmándolos de puros triunfos.

A una personita muy especial que me enseñó mucho en la vida y estoy segura que desde el cielo siempre me cuida y me guía en todos mis pasos. Siempre te llevaré en mi corazón **Judith (†)**.

A una persona que llegó al final de esta etapa pero que con su amor cambió todo en un momento, a ti **Angel**.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo a **Dios**, por darme fortaleza durante cada obstáculo y perseverancia para lograr esta meta.

A la **Universidad de Oriente** por ser el lugar donde cursé mis estudios y brindarme la oportunidad de ser un profesional.

A mi **madre** por ayudarme a cumplir esta meta, este logro también es tuyo mami.

Gracias a mis abuelos **Ligia y Gonzalo**; espero contar con su apoyo siempre y poder llenarlos de puras satisfacciones tanto profesionales como personales, que Dios los llene de felicidad y salud.

A mis hermanitos **Leticia, Juan y María** por llenar mi vida de alegría, y a todos mis demás familiares (en especial a mis tíos **Gonzalo, Pedro, María Alejandra y Angelica**) por formar parte de este logro que me llena de mucho orgullo y satisfacción.

A ti querido novio, **Angel**, gracias por estar a mi lado, entenderme, amarme, cuidarme, ayudarme y por esa frase que siempre me alivia en los momentos de desespero “no te estreses que tu eres joven”.

A mis tutor académico, **Alexis Cova** por lo momentos que dedicó para enseñarme y corregirme cuando era necesario, por su paciencia y apoyo durante la realización de este trabajo.

A los **profesores** del departamento de Ingeniería Química por transmitirme sus conocimientos durante el trayecto de mi carrera.

A la Empresa Cervecería Polar, C.A., Planta de Oriente y al personal que labora en la gerencia de elaboración comenzando con el Licenciado **Luis Leal** (asesor industrial) e Ingeniero **Ivan Bustillos**, gracias por su ayuda en todo momento, le deseo el mayor de los éxitos. Gracias a todas las personas que trabajan en esta área por contar con su ayuda en los momentos indicados.

A los supervisores y operadores de filtración, en especial al **Sr. Basile, Oscar Espinoza, Mervin, Daniel, Pedro Rodríguez, Vides y Carlitos**. A todos gracias por sus enseñanzas y sobre todo por su apoyo en los ensayos que contribuyeron en gran parte de la realización de este proyecto. Al

personal de la planta de tratamientos de aguas blancas, mecánicos, electricistas, instrumentistas. A los analistas del Laboratorio Central (**José Luis, Lea, Marines, Miguel Millan, Miguel Saetone, Carlos, Matheus y Simón**). A todos los que colaboraron conmigo.

A mis compañeras de pasantías **Miriangeles**, por brindarme su mano amiga y en especial a **Luisana Alfonzo**; gracias por tu auxilio en todas las oportunidades que lo necesité.

A todos mis compañeros de estudios y amigos durante mi carrera, en particular a **Laudimar Rengel, Amilcar León y Daniel Atay**. Gracias por esos semestres de compartir un mismo interés apoyándonos mutuamente para no caer ante las adversidades.

A mis eternas amigas: **Carla Fuentes y Argly Barrero**. Gracias por sus consejos. Para mí ha sido una suerte conocerlas, de todo corazón les deseo lo mejor del mundo.

Por último, GRACIAS a todas aquellas personas que estuvieron involucradas y que forman parte de mi vida, que aunque no los nombre aquí, su influencia en mi vida nunca podrá ser olvidada, sin ustedes este éxito no hubiera sido posible. Deseo que la vida los llene de mucha fuerza en los momentos difíciles.

Gracias

Jessica J. Rodríguez F.

RESUMEN

En Cervecería Polar C.A., Planta Oriente, se registraron en los últimos meses del año 2009 aumentos en el índice de consumo de tierra infusoria (medio filtrante utilizado en los filtros de cerveza) con base al estándar de

cervecerías con similar producción; por lo que se evaluó el consumo de tierra infusoria y propuso un proceso para su regeneración y reutilización. Se hizo un estudio detallado de los filtros de cerveza, sistema de dosificación y preparación de tierra infusoria, proponiendo mejoras para la reducción del consumo de dicha tierra. Posteriormente, se estableció un método de medición, a nivel experimental, para mantener la concentración de tierra infusoria según las especificaciones técnicas de proceso, en los tanques de preparación. El estudio se basó en experimentos de laboratorio para el diseño del proceso de regeneración de tierra lavada con agua caliente, soda cáustica, agua fresca y neutralización con ácido sulfúrico. Se efectuaron análisis fisicoquímicos (pH, DQO, sólidos totales, volátiles, fijos y suspendidos) en muestras de aguas de lavado y microbiológicos en tierra regenerada comparable con la tierra infusoria nueva (muestra control); se decidió dosificar la tierra regenerada a los filtros de cerveza obteniendo resultados factibles. Se propuso el diseño de dos tanques para el proceso de regeneración, cuyas funciones serán lavar y almacenar la tierra infusoria regenerada, y finalmente, se analizó la factibilidad económica del proceso para la regeneración de la tierra infusoria usada proveniente de dos corridas de filtración, obteniendo un ahorro de 3.307,57 Bs por cada regeneración de la tierra usada.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
RESUMEN	vii

CONTENIDO	viii
LISTA DE TABLAS	xvi
LISTA DE FIGURAS.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	23
1.1 Introducción	23
1.2 Planteamiento del Problema	24
1.3 Objetivos.....	26
1.3.1 Objetivo General	26
1.3.2 Objetivos específicos	26
MARCO TEÓRICO.....	27
2.1 ANTECEDENTES.....	27
2.2 FILTRACIÓN.....	28
2.2.1 Teoría de la filtración.....	30
2.2.2 Estudios experimentales en filtración	32
2.2.3 Efectos prácticos de las variables de filtración	33
2.2.3.1 Presión.....	33
2.2.3.2 Viscosidad y temperatura	33
2.2.3.3 Espesor de la torta.....	33
2.2.3.4 Tamaño de partículas y concentración	34
2.2.4 Características granulométricas del material filtrante.....	34
2.2.5 Criterios de selección de equipos de filtración	35
2.2.6 Medio filtrante.....	36
2.2.7 Materiales de precapa (ayudafiltros)	37
2.3 Elaboración de la cerveza.....	38
2.3.1 Cerveza	38
2.3.2 Materias primas.....	38
2.3.2.1 Cebada malteada	39
2.3.2.2 Hojuelas de maíz	40
2.3.2.3 Agua	40

2.3.2.4 Lúpulo	41
2.3.2.5 Levadura	41
2.3.3 Proceso cervecero	42
2.3.3.1 Elaboración I.....	43
2.3.3.1.1 Recepción de cebada malteada y adjuntos cerveceros	45
2.3.3.1.2 Molienda.....	45
2.3.3.1.3 Mezcla y maceración.....	46
2.3.3.1.4 Filtración.....	46
2.3.3.1.5 Hervida.....	47
2.3.3.2 Elaboración II.....	47
2.3.3.2.1 Fermentación y maduración.....	48
2.3.3.2.2 Filtración de la cerveza	48
2.3.3.2.3 Almacenamiento de la cerveza	49
2.4 Tierra infusoria	49
2.4.1 Variantes de la tierra infusoria.....	49
2.4.2 Usos de la tierra infusoria.....	51
2.5 Análisis Físicoquímicos	53
2.5.1 Conductividad.....	53
2.5.2 pH.....	54
2.5.3 Demanda química de oxígeno (DQO).....	54
2.5.4 Sólidos totales (ST)	55
2.5.5 Sólidos volátiles (SV)	55
2.5.6 Sólidos suspendidos totales (SST).....	55
2.5.7 Sólidos suspendidos volátiles (SSV).....	55
2.5.8 Turbidez	56
2.6 Análisis Microbiológicos	56
2.6.1 Mesófilos totales (TGEA).....	56
2.6.2 Mohos y levaduras (PDA).....	57

2.6.3 Bacterias anaerobias (NBB).....	57
2.7 Descripción del Proceso del Compostaje de los Desechos Orgánicos de Cervecería Polar C.A. - Planta Oriente.	57
2.7.1 Elaboración	58
2.7.2 Cernido y ensacado	60
2.7.3 Despacho	61
2.8 Sustancias y equipos para diseño del proceso de regeneración de tierra infusoria.....	61
2.8.1 Soda cáustica	61
2.8.2 Dióxido de carbono	62
2.8.3 Ácido sulfúrico	62
2.8.4 Agua grado plato	63
2.8.5 Bomba centrífuga	63
2.8.6 Bomba neumática	63
DESARROLLO DEL TRABAJO.....	65
3.1 Funcionamiento del Filtro de Velas, el Sistema de Dosificación de Tierra y la Situación Actual del Proceso de Filtración de Cerveza	65
3.1.1 Descripción del proceso de filtración de cerveza	65
3.1.1.1 Envío de la cerveza al tanque buffer 1 (TBP1)	65
3.1.1.2 Filtración de la cerveza usando tierra infusoria.....	66
3.1.1.3 Envío de la cerveza al tanque buffer 2 de cerveza (TBP2)	70
3.1.1.4 Corrección (<i>blending</i>) y carbonatación de la cerveza ...	71
3.1.2 Preparación de tierra infusoria	72
3.1.3 Dosificación de tierra infusoria	75
3.1.4 Situación actual del proceso de filtración	77
3.1.4.1 Consumo de tierra infusoria.....	77
3.1.4.2 Situación actual de las corridas de filtración	78

3.2 Formulación de Ensayos Experimentales que Permitan el Control de Manera Rápida, la Preparación y Correcta Dosificación de Tierra en el Proceso.....	79
3.2.1 Método 1. Dejando decantar la mezcla de tierra infusoria en cilindros de 1.000 ml.....	80
3.2.1.1 Cálculo de la concentración para el método 1, prueba 1 (tierra tipo Hyflo).....	82
3.2.1.2 Cálculo del promedio y desviación estándar para el método 1 (tierra tipo Hyflo).....	82
3.2.2 Método 2. Dejando decantar la mezcla de tierra infusoria en viales de 50 ml.....	83
3.2.3 Método 3. Centrifugando la mezcla de tierra infusoria en viales de 50 ml.....	84
3.2.4 Método 4. Centrifugando 50 ml de muestra de tierra infusoria	85
3.3 Mejoras al Sistema de Dosificación de Tierra Infusoria	87
3.3.1 Implantación de placa orificio	87
3.3.2 Disminución del tamaño de la rejilla de la entrada de la esclusa.....	87
3.3.3 Determinación de la concentración de tierra infusoria en los tanques KG.....	89
3.4 Experimentos de Laboratorio y Pruebas en Campo para el Proceso de Regeneración de Tierra Infusoria.....	89
3.4.1 Ensayos de laboratorio.....	89
3.4.2 Métodos de análisis de las aguas de lavado (sobrenadante) de la tierra infusoria	92
3.4.2.1 Determinación de pH	92
3.4.2.1.1 Procedimiento empleado para determinar pH.....	93

3.4.2.2 Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)	93
3.4.2.2.1 Procedimiento empleado para la determinación de la DQO	93
3.4.2.3 Determinación de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos	95
3.4.2.3.1 Procedimiento empleado para la determinación de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos	95
3.4.3 Métodos de análisis para la tierra nueva, usada y regenerada	96
3.4.3.1 Sólidos totales, fijos y volátiles	97
3.4.3.1.1 Procedimiento empleado para determinar sólidos totales, volátiles y fijos	97
3.4.4. Análisis microbiológicos para la tierra infusoria regenerada	98
3.4.4.1 Procedimiento empleado para sembrar los medios de cultivo	98
3.4.5 Pruebas en campo	99
3.4.5.1 Lavados de tierra usada en tanque piloto	99
3.4.5.2 Dosificaciones de tierra regenerada al filtro	111
3.5 Propuesta del Diseño Conceptual de un Proceso para la Regeneración de la Tierra Infusoria.	113
3.5.1 Proceso de regeneración para la reutilización de la tierra usada, proveniente de dos filtros.	113
3.5.2 Diseño de los tanques para la regeneración de tierra infusoria usada, proveniente de dos filtros	115
3.5.3 Cantidad obtenida y relación de dosificación de tierra infusoria regenerada al filtro.	122
3.6 Ahorro Económico del Diseño del Proceso de Regeneración de Tierra Infusoria.	122

3.6.1 Costo de preparación de un filtro	123
3.6.2 Costo de regeneración de la tierra infusoria usada	125
3.6.3 Costo de tierra regenerada.....	126
3.6.4 Costo de una dosificación propuesta	127
3.6.5 Ahorro de la propuesta.....	127
RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
4.1 Análisis de la Situación Actual del Proceso de Filtración	129
4.1.1 Consumo de tierra infusoria	129
4.1.2 Situación actual de las corridas de filtración.....	135
4.2 Ensayos Experimentales que Permitan Controlar de Manera Rápida la Preparación y Correcta Dosificación de Tierra en el Proceso .	143
4.2.1 Método de medición a nivel de laboratorio.....	144
4.3 Mejoras en el Sistema de Preparación de Tierra que Garanticen la Concentración Indicada en las Especificaciones Técnicas del Proceso (Concentración 20% Peso-Peso).	147
4.3.1 Implantación de placa orificio	148
4.3.2 Disminución del tamaño de la rejilla de la entrada de la esclusa.....	148
4.3.3 Determinación la concentración en los tanques KG.....	148
4.4 Proceso para la Regeneración de la Tierra Infusoria.....	149
4.4.1 Ensayos de laboratorio.....	149
4.4.1.1 pH	149
4.4.1.2 Demanda química de oxígeno (DQO).....	150
4.4.1.3 Sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos	151
4.4.1.4 Sólidos totales, volátiles y fijos	152
4.4.1.5 Análisis microbiológicos.....	153
4.4.2 Pruebas en campo	155
4.4.2.1 Lavados de tierra usada en tanque piloto	155
4.4.2.2 Dosificaciones de tierra regenerada al filtro.....	158

4.4.3 Propuesta para la regeneración de tierra infusoria usada proveniente de dos filtros.....	169
4.5 Ahorro Económico del Diseño Conceptual del Proceso de Regeneración de la Tierra Infusoria	170
4.6 Conclusiones	171
4.7 Recomendaciones	173
BIBLIOGRAFÍA	174
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	177

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Variantes de la tierra infusoria [10].	50
Tabla 3.1. Receta para la formación de precapas y dosificación continua (bodyfeed).....	76
Tabla 3.2 Relación de dosificación de tierra infusoria por volumen de cerveza (HL) filtrada.	76
Tabla 3.3. Consumo real y teórico de Hyflo y Standar en la filtración de los diferentes tipos de cervezas durante el año 2009.....	77
Tabla 3.4. Consumo real y teórico total promedio de Hyflo y Standar durante el año 2009.	78
Tabla 3.5. Corridas del filtro 1 durante diciembre 2009.	78
Tabla 3.6. Concentraciones de tierra infusoria en los KG durante una semana.	80
Tabla 3.7. Volúmenes de mezcla Hyflo y Standar obtenidos aplicando método 1.....	81
Tabla 3.8. Volúmenes de mezcla Hyflo y Standar aplicando método 2.	83
Tabla 3.9. Volúmenes de mezcla Hyflo y Standar aplicando método 3.	84
Tabla 3.10. Volúmenes de mezcla Hyflo y Standar aplicando método 4.	86
Tabla 3.11. Factor de dilución para la determinación de la DQO.....	94
Tabla 3.12. Tiempo de incubación de los empleados	99
Tabla 3.13. Volumen y concentración de tierra infusoria usada y regenerada durante los lavados.....	111
Tabla 3.14. Volumen y relación de tierra infusoria en el tanque Dosimat durante las dosificaciones.....	112
Tabla 3.15. Costos de tierra infusoria y sustancias para la regeneración... ..	123
Tabla 3.16. Costos de dosificación con tierra nueva y dosificación propuesta	127

Tabla 4.1. Comparación entre el consumo real y teórico de tierra infusoria.	134
Tabla 4.2. Relación de dosificación de tierra infusoria por hl filtrado.	143
Tabla 4.3. Concentración de tierra infusoria aplicando método 1.	144
Tabla 4.4. Concentración de tierra infusoria aplicando método 2.	145
Tabla 4.5. Concentración de tierra infusoria aplicando método 3.	145
Tabla 4.6. Concentración de tierra infusoria aplicando método 4.	146
Tabla 4.7. Promedio y desviación estándar según cada método de.....	147
Tabla 4.8. Valor de pH en las aguas de lavado con soda caústica 3 y 2% p/v.	150
Tabla 4.9. Volumen de ácido sulfúrico gastado en la tierra regenerada con soda caústica al 3 y 2% p/v.	150
Tabla 4.10. Sólidos suspendidos en aguas de lavado con soda caústica 3% p/v.	152
Tabla 4.11. Sólidos suspendidos en aguas de lavado con soda caústica 2% p/v.	152
Tabla 4.12. Sólidos totales (ST), volátiles (SV) y fijos (SF) en la tierra usada y tierra regenerada con soda caústica al 3 y 2% p/v.	153
Tabla 4.13. Resultados de microbiología empleando como medio TGEA. .	154
Tabla 4.14. Resultados de microbiología empleando como medio PDA. ...	154
Tabla 4.15. Resultados de microbiología empleando como medio NBB. ...	155
Tabla 4.16. Porcentaje de regeneración de tierra regenerada en los lavados en campo.	156
Tabla 4.17. Resultados microbiológicos de lavados en campo.	157
Tabla 4.18. Diferencial de presión por hora antes y después de dosificar la tierra regenerada al filtro.	167
Tabla 4.19. Totalización de kilogramos de tierra regenerada	168
Tabla 4.20. Comparación de degustación de cerveza filtrada con tierra nueva y cerveza filtrada con tierra regenerada.....	169

Tabla 4.21. Características de los tanques propuestos para la regeneración de la tierra infusoria provenientes de dos corridas de filtración	169
Tabla 4.22. Costos de las dosificaciones con tierra nueva, propuesta y del tratamiento para el lavado de tierra proveniente de dos filtros.	170
Tabla 4.23. Costo de tierra regenerada, tierra infusoria tipo Hyflo y Standar.	171
Tabla A.1 Corridas del filtro 2 durante diciembre 2009. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.2 Corridas del filtro 2 durante enero 2010. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.3. Corridas del filtro 1 durante febrero 2010. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.4. Corridas del filtro 2 durante febrero 2010. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.5. Corridas del filtro 1 durante marzo 2010. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.6. Corridas del filtro 2 durante marzo 2010. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.7. Corridas del filtro 1 durante abril 2010. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.8. Corridas del filtro 2 durante abril 2010. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.9. Volúmenes de tierra y aguas de lavado durante los ensayos de regeneración en el tanque piloto..... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.10. Descripción de pruebas de tierra regenerada a los filtros de cerveza. ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla A.11. Preparación del filtro en cada caso de pruebas de dosificación de tierra regenerada. ¡Error! Marcador no definido.	

Tabla B.1. Comportamiento de la DQO según avanza el lavado de la tierra infusoria can soda 20 minutos [5].	¡Error! Marcador no definido.
Tabla B.2. Comportamiento de la DQO según avanza el lavado de la tierra infusoria can soda 30 minutos [5].	¡Error! Marcador no definido.
Tabla C.1. Datos técnicos de filtro 1 de cerveza [6].	¡Error! Marcador no definido.
Tabla C.2. Datos técnicos de filtro 2 de cerveza [6].	¡Error! Marcador no definido.
Tabla C.3. Datos técnicos de los tanques KG [6].	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Elaboración de la cerveza [9].....	43
Figura 2.2. Modelos de lagunas de recepción del lodo aeróbico [9].	59
Figura 2.3. Ausencias de actividad metabólica en las pilas [9].	60
Figura 2.4. Proceso en CEPAREL [9].	61
Figura 3.1. Envío de cerveza al tanque buffer 1.	66
Figura 3.2. Filtración con tierra infusoria [7].	67
Figura 3.3. Filtración con tierra infusoria.	69
Figura 3.4. Filtración con tierra infusoria.	71
Figura 3.5. Corrección y carbonatación de la cerveza.	72
Figura 3.6. Pantalla filtro 1 cerveza.....	73
Figura 3.7. Pantalla de TQ KG.....	73
Figura 3.8. Selector de arranque en la esclusa de la estación de tierra/carbón.....	74
Figura 3.9. Vaciado manual de sacos de tierra infusoria en la estación.	75

Figura 3.10. Representación del método 1.....	81
Figura 3.11. Agitación de mezcla de tierra en método 4.....	85
Figura 3.12. Centrifugación en método 4.....	85
Figura 3.13. Concentraciones de tierra Standar y Hyflo en el método 4.....	86
Figura 3.14. Tamiz actual en la entrada de la esclusa.....	88
Figura 3.15. Tamiz propuesto en la entrada de la esclusa.	88
Figura 3.16. Reactor de DQO.	93
Figura 3.17. Tanque KG1 (tanque piloto).....	100
Figura 3.18. Sistema de extracción de tierra infusoria usada.	102
Figura 3.19. Traslado de tierra usada hacia cuarto de tanques KG.....	103
Figura 3.20. Dosificación de tierra infusoria usada al tanque KG1.	103
Figura 3.21. Extracción del sobrenadante después de cada lavado.....	105
Figura 3.22. Vial antes de centrifugar.	107
Figura 3.23. Dosificación de ácido sulfúrico en el KG1.....	110
Figura 3.24. Fondo y elevación de tanques de regeneración.	116
Figura 3.25. Dimensiones de los tanques de regeneración.....	118
Figura 3.26. Tuberías de desagüe en el tanque de regeneración.....	119
Figura 3.27. Ubicación del conductímetro en el tanque de regeneración. ...	120
Figura 3.29. Tanques de almacenamiento de tierra regenerada.	122
Figura 4.1. Consumo de Hyflo y Standar en la filtración de Solera.....	130
Figura 4.2. Consumo de Hyflo y Standar en la filtración de Light.	131
Figura 4.3. Consumo de Hyflo y Standar en la filtración de Ice.	131
Figura 4.4. Consumo de Hyflo y Standar en la filtración de Solera Light. ...	132
Figura 4.5. Consumo promedio de Hyflo en la filtración.	133
Figura 4.6. Consumo promedio de Standar en la filtración.....	133
Figura 4.7. Corridas del filtro 1 durante diciembre 2009.	136
Figura 4.8. Corridas del filtro 2 durante diciembre 2009.	137
Figura 4.9. Corridas del filtro 2 durante enero 2009.....	138
Figura 4.10. Corridas del filtro 1 durante febrero 2010.	139

Figura 4.11. Corridas del filtro 2 durante febrero 2010.	139
Figura 4.12. Corridas del filtro 1 durante marzo 2010.....	141
Figura 4.13. Corridas del filtro 2 durante marzo 2010.....	141
Figura 4.14. Corridas del filtro 1 durante abril 2010.	142
Figura 4.15. Corridas del filtro 2 durante abril 2010.	142
Figura 4.16. DQO en aguas de lavado con soda cáustica 3 y 2% peso- volumen.	151
Figura 4.17. Demanda química de oxígeno durante lavados en campo.	156
Figura 4.18. Primera prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro..	159
Figura 4.19. Segunda prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.	160
Figura 4.20. Tercera prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro..	161
Figura 4.21. Cuarta prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro. ..	162
Figura 4.22. Quinta prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro....	163
Figura 4.23. Sexta prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.	164
Figura 4.24. Séptima prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.	165
Figura 4.25. Octava prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro...	166
Figura 4.26. Novena prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro..	167
Figura C.1. Filtro 1 de cerveza [6]......	¡Error! Marcador no definido.
Figura C.2. Filtro 2 de cerveza [6]......	¡Error! Marcador no definido.
Figura C.3. Tanques KG [6].	¡Error! Marcador no definido.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Cervecería Polar C.A. planta de oriente, forma parte de la división cervecera del Grupo de Empresas Polar conjuntamente con otras tres plantas (Planta Modelo, Cortijos y Centro).

Planta Oriente, se constituyó legalmente el 15 de septiembre de 1948 y comenzó sus operaciones el 23 de noviembre del mismo año. Inició sus actividades de producción el 28 de marzo de 1950 con una capacidad instalada de seiscientos mil litros al mes, representada por un tren de botellas que podía llenar envases de dos tercios de litro (botellón) y de un tercio de litro (tercio). Su primera dotación de personal fue de 57 trabajadores.

Desde el inicio de sus operaciones, Cervecería Polar C. A. planta de oriente, ha tenido la responsabilidad del suministro de los productos cerveza y malta a toda la región del oriente y sur del país, y hasta 1972 fue responsable por el envasado y distribución de cerveza en latas para todo el país. Actualmente las distribuidoras reciben la denominación de red de agencias y sub-depósitos y son los clientes directos de la Planta.

Cervecería Polar de Oriente C.A., fue incrementando lentamente su capacidad de producción durante los primeros 20 años de operaciones, de tal forma que para el año 1970 la misma era de seis millones de litros mensuales. Durante el año 1973, se elaboró un proyecto de ampliación de la planta destinado a incrementar su producción.

En 1974 se inició la primera fase de esta ampliación y se concluyó en 1976, esto aumentó la capacidad de producción a doce millones de litros mensuales. La segunda fase se completó en 1979 tras un nuevo programa

de ampliación que aumentó la producción a dieciocho millones de litros mensuales.

Actualmente su capacidad instalada es de 46 millones de litros mensuales de producto y su producción promedio actual es de 30 millones de litros mensuales de líquido lo que equivale a 65,22% de la capacidad instalada.

Los productos elaborados por Cervecería Polar de Oriente CA, llegan a los estados Nueva Esparta, Sucre, Anzoátegui, Monagas, Bolívar, Amazonas, Delta Amacuro y parte de los estados Miranda y Guárico.

1.2 Planteamiento del Problema

En los diferentes procesos de producción de alimentos, se presenta la necesidad de separar los componentes de una mezcla en fracciones, para de esta manera describir los sólidos divididos y predecir sus características.

La filtración es la operación unitaria en la que el componente sólido insoluble de una suspensión sólido-líquido se separa del componente líquido haciendo pasar este último a través de una membrana porosa la cual retiene a los sólidos en su superficie (filtración de torta) o en su interior (clarificación), gracias a una diferencia de presión existente entre un lado y el otro de dicha membrana.

El departamento de elaboración de Cervecería Polar C.A., conforma diferentes procesos, ejecutados bajo estrictas medidas de control que permiten obtener una cerveza con los niveles de calidad requeridos. Las operaciones que constituyen la elaboración de cerveza son: cocimiento, fermentación, maduración y filtración.

Una vez terminado el período de maduración, el aspecto de la cerveza proveniente de los tanques de maduración no es transparente y brillante como en el producto final. Contiene partículas de levaduras en suspensión, partículas sólidas y sustancias orgánicas con tendencia a depositarse en

forma de precipitados coloidales. Con el objetivo de eliminar todas estas partículas en suspensión responsables de la turbidez en el producto, se realiza la filtración del mismo utilizando para ello tierra infusoria como medio filtrante. Adicionalmente se dosifican algunos aditivos que mejoran las propiedades y cualidades de la cerveza terminada, entre ellos: enzimas proteolíticas, carbón activado y agentes estabilizantes.

El proceso de filtración, tiene como principal finalidad darle la estabilidad fisicoquímica a la cerveza y/o maltín. El medio filtrante utilizado en este proceso está constituido por fósiles de diatomeas unicelulares de dióxido de silicio. Esta tierra se deposita en la superficie de las velas de los filtros, atrapando los sólidos no deseados en el producto final.

En Planta Oriente, se emplean actualmente dos tipos de tierras infusorias: *Hyflo* y *Standar*, que con su capacidad de clarificación y velocidad de filtración garantizan la estabilidad fisicoquímica del producto final. La dosificación de tierra a los filtros de cerveza y/o maltín se realiza por medio de un procedimiento ya establecido que es fundamental para una formación adecuada del medio filtrante, y por lo tanto para la operación eficaz del proceso. Sin embargo, en los últimos meses se han presentado problemas en cuanto al uso elevado de tierra infusoria, teniéndose una variación notable entre el consumo de tierra teórico y el real (utilizado en la preparación de los filtros); éste incremento se ha notado con mayor magnitud desde el mes de mayo del año 2009.

Con base a lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de realizar un diseño conceptual de un proceso para la regeneración y reutilización de tierra infusoria, de manera que disminuya el impacto ambiental asociado a su deposición, así como los costos de proceso asociados a importación.

Por tales circunstancias, Cervecería Polar C.A. tiene la necesidad de contar a corto plazo, con un proceso factible que permita la regeneración de tierra infusoria y además disminuir de manera rápida los elevados índices de

consumo de este medio filtrante y reducir costos sin afectar el medio ambiente. Para la realización del diseño conceptual se procederá con la recopilación de información de pruebas realizadas a la tierra infusoria usada, para definir un procedimiento de lavado considerando las principales características que pueden afectar directamente a la cerveza. Se formularán ensayos experimentales y de campo que permitan obtener mejores resultados para el diseño del proceso de regeneración de tierra infusoria. Por otro lado, se propondrán mejoras en el sistema de tierra infusoria una vez analizados los diferentes resultados, garantizando la concentración indicada en las especificaciones técnicas del proceso (20% p/p).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar conceptualmente el proceso de regeneración de la tierra infusoria utilizada como medio filtrante en una empresa cervecera.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Revisar detalladamente el funcionamiento del filtro de velas de cerveza, el sistema de dosificación de tierra y la situación actual del proceso de filtración.
2. Formular ensayos experimentales que permitan el control de manera rápida, la preparación y correcta dosificación de tierra en el proceso.
3. Proponer mejoras en el sistema de preparación de tierra que garanticen la concentración indicada en las especificaciones técnicas del proceso (concentración 20% p/p).
4. Proponer de manera conceptual el proceso para la regeneración de la tierra infusoria.
5. Analizar el ahorro económico del diseño conceptual del proceso de regeneración de la tierra infusoria.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En 1985, Balle [1] publicó un artículo sobre tierras diatomeas. El artículo se basó en una descripción de estas tierras como recurso mineral biogénico relativamente abundante en Chile. También resaltó la creciente importancia económica que este recurso ha adquirido, la complejidad del mineral y su amplio espectro de aplicaciones que abren interesantes posibilidades para el desarrollo de técnicas de análisis y geología especializadas.

En 1990, Sommer [2] inventó un procedimiento para la preparación de la diatomita usada principalmente en la industria cervecera. La diatomita usada se diluye con soda del 2 al 8% a una temperatura de reacción entre 60 y 90°C y se expone bajo agitación moderada a un tiempo de reacción de 30 a 120 minutos. La separación de la soda después del transcurso del tiempo de reacción y el enjuagado de la diatomita se consigue con ayuda de vacío. Para la separación de los restos de soda se añade al agua de enjuagado y en la última etapa de extracción ácido sulfúrico o ácido clorhídrico con una concentración aproximada de 0,1%.

En 2007, Ramos y colaboradores [3] publicaron un artículo donde presentan información sobre la caracterización de las muestras de diatomita del yacimiento denominado Sucre ubicado en el cantón Santa Elena, provincia del Guayas en Ecuador, para poder utilizarla en aplicaciones para filtros, pinturas y bloques alivianados. Para esta caracterización se realizaron análisis físicos y químicos.

En 2008, Leal [4] realizó un informe donde se concluyó que en el análisis de la demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas de lavado de

la tierra infusoria tratada se observó la efectividad del tratamiento ya que la DQO disminuyó en forma progresiva en el avance del mismo.

En 2009, Silvestre [5] hizo una propuesta para la regeneración de la tierra diatomea usada como coadyuvante de filtración en una planta cervecera. El procedimiento se basó en la verificación y factibilidad de regenerar tierra infusoria usada, sin causar daños a la cerveza partiendo de un experimento de laboratorio realizado por Empresas Polar Oriente; concluyendo que si es posible lavar la tierra pero que era necesario ampliar pruebas a nivel de campo.

En el presente trabajo se planteó el diseño conceptual de un proceso de regeneración de tierra infusoria usada como medio filtrante de una planta cervecera. Al igual que Ballet [1], se estudiaron las características y descripción de este material como recurso mineral de gran importancia económica y amplias aplicaciones como lo resaltaron Ramos y colaboradores [3]. A diferencia de Sommer [2], la tierra se expuso a un tiempo de agitación de 20 minutos con soda. Tal como lo hizo Leal [4], se realizó la determinación de la demanda química de oxígeno; sin embargo, se analizó el lavado de tierra infusoria en campo como Silvestre [5]; y además de esto, se dosificó la tierra regenerada en el filtro, se verificó su comportamiento estableciendo el diseño conceptual del proceso, proponiendo mejoras en el sistema de preparación de tierra infusoria.

2.2 FILTRACIÓN

La filtración es la operación unitaria en la que el componente sólido insoluble de una suspensión sólido-líquido se separa del componente líquido haciendo pasar este último a través de una membrana porosa la cual retiene a los sólidos en su superficie (filtración de torta) o en su interior (clarificación), gracias a una diferencia de presión existente entre un lado y el otro de dicha

membrana. A la suspensión de sólidos en líquidos se conoce como suspensión, al líquido que pasa a través de la membrana se conoce como filtrado, la membrana es conocida como medio filtrante y a los sólidos separados se conocen como torta de filtración. El fluido circula a través del medio filtrante en virtud de una diferencia de presión, existiendo los filtros que trabajan con sobrepresión aguas arriba, presión atmosférica aguas arriba y los que trabajan al vacío, aguas abajo.

La teoría de filtración es valiosa para interpretar análisis de laboratorios, buscar condiciones óptimas de filtración y predecir los efectos de los cambios en las condiciones operacionales. Al comparar la filtración a nivel industrial, ésta difiere de la del laboratorio en el volumen de material manejado y en la necesidad de manejarlo a bajo costo.

Para obtener un gasto razonable con un filtro de tamaño moderado, se puede incrementar la caída de presión del flujo o disminuir la resistencia del mismo. Para reducir la resistencia al flujo el área de filtrado se hace tan grande como sea posible, sin aumentar el tamaño total del equipo o aparato de filtración. La selección del equipo de filtrado depende en gran medida de la economía. Las aplicaciones de la filtración en la industria alimenticia se pueden considerar en tres categorías. La primera incluye todas las aplicaciones en las que la suspensión que contiene grandes cantidades de sólidos insolubles se separan en los sólidos y líquidos que la componen, formándose una torta en la parte anterior del medio conociéndose el proceso como filtración por torta o de torta. La segunda categoría se denomina clarificación y en ésta se eliminan pequeñas cantidades de un sólido insoluble a un líquido valioso donde el propósito es generalmente producir un líquido claro.

La tercera se denomina micro-filtración en la cual se separan partículas muy finas por lo general microorganismos de los alimentos.

2.2.1 Teoría de la filtración

La filtración ha evolucionado desde un arte práctico desde aplicaciones primitivas, como la tradicional filtración en lecho de arena empleado para la extracción de agua potable, recibiendo una mayor atención teórica durante el siglo XX a partir de los trabajos de P. Carman en 1937 y B. Ruth en 1946, estudios que fueron progresivamente ampliados en trabajos con medios porosos por Heertjes y colaboradores en 1949 y 1966 y Tiller entre 1953 y 1964. Anteriormente, varios autores han revisado el estado de los conocimientos en filtración tanto desde una perspectiva práctica en los trabajos de Cain en 1984 y Kiefer, en 1991 como en sus principios teóricos con las publicaciones de Bear, 1988 y Norden en 1994.

Aunque la teoría de la filtración no se emplea en exclusiva para el diseño de filtros en aplicaciones concretas, es frecuentemente empleada para la interpretación de resultados a escala de laboratorio, la optimización de aplicaciones o la predicción de cambios en las condiciones de trabajo. Su principal limitación reside en el hecho de que las características de la mezcla a tratar de partículas sólidas y fluido, a veces llamada lechada, por su complejidad e interacción pueden ser muy variables en los diferentes casos reales. El principio teórico de la filtración se fundamenta en la cuantificación de la relación básica de velocidad de un fluido o caudal:

$$velocidad = \frac{F}{R} \quad (\text{Ec-2.1})$$

donde la fuerza impulsora (F) que puede ser la fuerza de gravedad, el empuje de una bomba de presión o de succión, o la fuerza centrífuga, mientras que la resistencia (R) es la suma de resistencia ofrecida por el medio filtrante y la torta de sólido formada sobre el mismo.

La velocidad del fluido se ve condicionada por el hecho de que tiene que atravesar un medio irregular constituido por los canales pequeños formados en los intersticios de la torta y el medio filtrante, de manera que se

puede aplicar la fórmula adaptada de la fluidodinámica de la ley de Hagen-Poiseuille [6]:

$$\frac{dV}{Ad\theta} = \frac{P}{\mu \left[\alpha \frac{W}{A} + r \right]} \quad (\text{Ec-2.2})$$

donde la velocidad diferencial o instantánea, es decir, el volumen (V) filtrado por tiempo (θ) y por unidad de superficie (A), se relaciona con la fuerza impulsora o caída total de presión (P) sobre el producto de la viscosidad del filtrado (μ) por la suma de la resistencia de la torta y la del medio de filtración. La resistencia de la torta es expresada por la relación entre el peso de la torta filtrante (W) y el área en función de una constante (α) promedio característica de cada torta.

Por su parte, si se considera la aproximación de que la torta es incompresible o compactada de manera uniforme, el peso de la torta filtrante (W) se relaciona con el volumen de filtrado (V) mediante un sencillo balance de materia:

$$W = \omega V = \frac{\rho c}{1 - mc} V \quad (\text{Ec-2.3})$$

donde la masa de sólidos por unidad de volumen filtrado (ω) es función de la densidad del filtrado (ρ), la fracción de sólidos en la corriente de aporte o concentración (c) y la relación de masas entre la torta húmeda y la seca (m). La constante de resistencia específica de la torta (α) se relaciona con la presión por la ecuación:

$$\alpha = \alpha' P^s \quad (\text{Ec-2.4})$$

donde α' es otra constante que depende del tamaño de las partículas que conforman la torta y s, una constante de compresibilidad que varía de 0, para tortas incompresibles como diatomeas y arena fina, a 1, para las tortas muy compresibles.

2.2.2 Estudios experimentales en filtración

Los estudios de filtración en laboratorio o a escala pequeña, frecuentemente permiten obtener de manera experimental y con un sencillo montaje, medidas de la variación con el tiempo del volumen filtrado y la presión, en función de tres tipos de flujo:

- Presión constante.
- Velocidad constante.
- Presión y velocidad variables.

En los ensayos de filtración a presión constante el fluido es bombeado por una bomba que se mantiene a la misma presión. En estas condiciones, la ecuación adaptada de Hagen-Poiseuille se simplifica a la ecuación lineal:

$$\frac{\theta}{\left(\frac{V}{A}\right)} = K \frac{W}{A} + C = K'_p \left(\frac{V}{A}\right) + C \quad (\text{Ec-2.5})$$

donde K, K'_p y C son constantes para las condiciones dadas.

En los experimentos de filtración a volumen constante se emplean bombas de desplazamiento positivo para medir la diferencia de presión inicial y final a la que debe restarse la presión diferencial del medio filtrante, de manera que la ecuación de filtración resulta:

$$\frac{\theta}{\left(\frac{V}{A}\right)} = \frac{\mu\alpha}{P - P_1} \frac{W}{A} \quad (\text{Ec-2.6})$$

donde P es la caída total de presión y P₁ del medio filtrante:

$$P_1 = \mu r \left(\frac{V}{A\theta}\right) \quad (\text{Ec-2.7})$$

Partiendo de las ecuaciones 2.6 y 2.7, se obtiene la siguiente expresión simplificada para la velocidad de filtración:

$$P \frac{V}{A} = \frac{P}{K_r} + C' \quad (\text{Ec-2.8})$$

siendo K_r y C', constantes características para las condiciones dadas [6,7].

2.2.3 Efectos prácticos de las variables de filtración

El efecto de cada una de las variables de filtración se puede constatar en la mayoría de los casos prácticos y de las aplicaciones, siendo su conocimiento y control de importancia particular para los procesos industriales.

2.2.3.1 Presión

En la mayoría de los casos, la compresibilidad de la torta de filtración se encuentra entre valores de 0,1 y 0,8 de manera que la mayor parte del aumento de la pérdida de presión del fluido es consecuencia del medio filtrante. En general, si el aumento de presión conlleva a un aumento significativo del caudal o velocidad de filtración, es un indicio de la formación de una torta granulada. En cambio, para las tortas espesas o muy finas, un aumento de la presión de bombeo no resulta en un aumento significativo del caudal de filtrado. En otros casos, la torta se caracteriza por una presión crítica por encima de la cual, la velocidad de filtración incluso disminuye. En la práctica, se prefiere operar a una velocidad constante, empezando a baja presión, aunque por el empleo generalizado de sistemas de bombeo centrífugos, las condiciones habituales son de presión y caudal variables.

2.2.3.2 Viscosidad y temperatura

La velocidad de flujo de filtrado en cualquier instante es inversamente proporcional a viscosidad de filtrado. A mayor temperatura, menor es la viscosidad y por lo tanto, mayor será la velocidad.

2.2.3.3 Espesor de la torta

La teoría de filtración señala que, considerando aparte las características del medio filtrante, el caudal promedio es inversamente proporcional a la cantidad de la torta y directamente proporcional al cuadrado del área filtrante. Como resultado de estas dos variables conjuntas, para una misma cantidad

de fluido a filtrar, se observará que su caudal es inversamente proporcional al cuadrado del espesor de la torta al final del proceso. Esta observación conlleva a que la máxima productividad se alcance teóricamente con aquellas tortas de espesor muy fino cuya resistencia supera a la del medio mismo filtrante. Sin embargo, otros factores como el tiempo para regenerar la torta, su dificultad de descarga y el costo de una superficie filtrante más amplia explica que en la práctica se prefiera trabajar en condiciones de tortas espesas.

En una planta con filtros de dos o más capas de medio filtrante, es relativamente difícil fijar un espesor para el cual los filtros funcionen constantemente en condiciones ideales, porque la calidad del afluente varía considerablemente durante el año.

2.2.3.4 Tamaño de partículas y concentración

El efecto del tamaño de las partículas sobre la resistencia de la torta y medio filtrante, es muy notable. Afectan al coeficiente α en la ecuación para la resistencia de la torta (ecuación 2.4), y los cambios de concentración afectan la compresibilidad (s).

2.2.4 Características granulométricas del material filtrante

Los materiales filtrantes deben ser claramente especificados, de manera que no quede duda alguna sobre su granulometría. Los parámetros que se deben emplear para este fin son los siguientes:

- **Tamaño efectivo:** en relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el tamaño efectivo se refiere al tamaño de granos correspondiente al porcentaje de 10%.
- **Coefficiente de uniformidad (CU):** en relación con el porcentaje (en peso acumulado) que pasa por las mallas de una serie granulométrica, el coeficiente de uniformidad es igual a la relación entre el tamaño de los

granos correspondientes a 60% y el tamaño de los granos correspondiente a 10%.

- **Forma:** la forma de los granos normalmente se evalúa en función del coeficiente de esfericidad (C_e). El coeficiente de esfericidad de una partícula se define como el resultado de la división del área superficial de la esfera de igual volumen a la del grano, por el área superficial de la partícula considerada.

2.2.5 Criterios de selección de equipos de filtración

La selección de un equipo de filtración en general requiere un estudio de las especificaciones y objetivos del proceso junto con una evaluación de la capacidad y características del equipo de filtración en las que las consideraciones sobre el medio filtrante son importantes. Los factores a considerar relativos del proceso que suelen citarse son:

- Características fluidomecánicas y fisicoquímicas de la corriente de fluido a tratar o lechada.
- Capacidad de producción.
- Condiciones del proceso.
- Parámetros de funcionamiento.
- Materiales de construcción.
- Por su parte, los criterios del equipo de filtración a estudiar suelen ser:
- Tipo de ciclo: continuo o por lotes.
- Fuerza de impulsión.
- Caudales admisibles.
- Calidad de la separación.
- Fiabilidad y mantenimiento.
- Materiales de construcción y dimensiones.
- En la estimación de costos, con frecuencia se consideran:

- Adquisición del equipo, instalación y puesta en marcha incluyendo acondicionamiento del fluido o tratamientos previos requeridos.
- Operación: mano de obra, electricidad, consumo de fluidos auxiliares.
- Mantenimiento: mano de obra de sustitución de medios filtrantes consumibles, piezas de recambio, tiempos de parada.
- Vida del equipo.
- Medio filtrante consumible.

Habitualmente, las características del fluido a tratar tales como caudal y presión, contenido de sólidos y naturaleza, en especial granulométrica, propiedades químicas y temperatura son determinantes en la selección de un filtro de torta o un filtro de clarificación, frecuentemente de cartuchos.

La complejidad de factores a considerar y la contradicción que pueden causar algunos de ellos, han llevado a autores como Tiller o Purchas a proponer tablas de ayuda a la decisión con base en el parámetro fundamental de la velocidad de formación de la torta y el resultado de pruebas de campo adicionales sencillas.

En cuanto al régimen de funcionamiento, en general, los filtros continuos son recomendados en aplicaciones de procesos en régimen permanente, aunque pueden resultar más convenientes los intermitentes en aquellos casos que requieran flexibilidad o una presión más elevada. El material a utilizar en el diseño de un filtro puede variar desde un simple recipiente de plástico hasta lo más tecnológico, lo importante es poder apreciar la manera como ocurre este fenómeno sorprendente.

2.2.6 Medio filtrante

El medio filtrante es el elemento fundamental para la práctica de la filtración y su elección es habitualmente la consideración más importante para

garantizar el funcionamiento del proceso. En general, entre los principales criterios de selección del material de medio filtrante se pueden destacar:

- Compatibilidad y resistencia química con la mezcla.
- Permeabilidad al fluido y resistencia a las presiones de filtración.
- Capacidad en la retención de sólidos.
- Adaptación al equipo de filtración y mantenimiento.
- Relación vida útil y coste.

La variedad de tipos de medios porosos utilizados como medios filtrantes es muy diversa, en forma de telas y fibras tejidas, fieltros y fibras no tejidas, sólidos porosos o perforados, membranas poliméricas o sólidos particulados, a lo que se suma la gran variedad de materiales: fibras naturales, fibras sintéticas, materiales metálicos, materiales cerámicos y polímeros.

2.2.7 Materiales de precapa (ayudafiltros)

Adicionalmente, algunas aplicaciones de especial dificultad por la baja velocidad del fluido, complejidad de la mezcla o calidad no satisfactoria de clarificación, requieren el empleo de ayudafiltros, materiales de prefiltración o materiales de pre capa. Estas son sustancias granuladas o fibrosas que permiten la formación sobre el medio filtrante de una torta prefiltrante adicional de mayor permeabilidad y mayor profundidad, donde quedan retenidas las fases heterogéneas en forma de flóculos deformables o pastas de mayor viscosidad y contenido en sólidos finos.

Ejemplos de sustancias frecuentemente empleadas para la ayuda de filtración son:

- Tierras de diatomeas, diatomita o tierra infusoria (sílice de alta pureza).
- Perlita o lava expandida (silicato alcalino de aluminio).
- Fibras de celulosa o pulpa de madera molida.

- Yeso.
- Carbón.

En general, estas sustancias se caracterizan por su baja densidad, su facilidad para recubrir la superficie del medio filtrante, su compresibilidad, su baja tendencia a sedimentarse y su inercia química con el fluido.

En el caso del yeso y del carbón, solo se emplean en casos muy específicos debido a su baja eficacia, aunque en el caso de éste último, es frecuente emplearlo bajo forma de carbón activo, en combinación con las diatomeas para añadir una función de adsorción [7,8].

2.3 Elaboración de la cerveza

2.3.1 Cerveza

Es una bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo que se fabrica con granos de cebada u otros cereales cuyo almidón, una vez modificado, es fermentado en agua y frecuentemente aromatizado con lúpulo. El componente más abundante de la cerveza es el agua, que se acompaña de otros compuestos como el etanol, ácidos, compuestos nitrogenados, carbohidratos, sales minerales, vitaminas, sustancias espumantes, sustancias aromáticas y compuestos fenólicos.

2.3.2 Materias primas

Según la Ley de Pureza Alemana de 1516, la cerveza se elabora únicamente con malta, lúpulo, agua y levadura. Con la industrialización, una serie de países incorporaron las hojuelas de cereales, como el maíz y obtuvieron una bebida más refrescante y suave capaz de adaptarse a las exigencias climáticas de cada región. En sus inicios Polar fabricó cerveza muy similar a las europeas, específicamente a la Alemana; es decir, 100% cebada

malteada, pero el consumidor sentía la sensación de llenura que no le provocaba seguir tomando cerveza. En 1942, se decidió reemplazar entre un 15 y un 25 % el uso de malta por las hojuelas de maíz. Cada uno de los ingredientes que se utilizan en la fabricación de la cerveza contribuye de manera particular a la obtención de un producto con cualidades muy estimadas.

Las materias primas se describen en las secciones siguientes:

2.3.2.1 Cebada malteada

La cebada malteada, es la materia prima por excelencia utilizada para la elaboración de la cerveza. La cebada tal y como se cosecha, no es apta para la producción cervecera, debe someterse a un proceso de transformación conocido como malteo, el cual se realiza en tres etapas:

- **Remojo:** La cebada ya limpia y clasificada es sumergida en agua hasta alcanzar un nivel de humedad apropiado para poder germinar, proceso que se cumple en dos días.
- **Germinación:** Este es considerado el proceso más importante del malteo, pues la cebada comienza a germinar, desarrollando y activando así las enzimas necesarias para el proceso de elaboración bajo condiciones controladas durante 5 a 9 días.
- **Tostado:** Se realiza con aire caliente que detiene la actividad enzimática. En esta etapa se genera el color y el aroma.

Dos son los tipos de cebada de malteo que se utilizan mayormente: hexística de seis hileras (filas de granos) y dística de dos hileras. En general, entre el 75% y el 80% del total de cebada malteada usada por cervecerías es dística.

La cebada se produce en países fríos. Existen vastos cultivos en Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Alemania, España, Francia, Checoslovaquia y Bélgica.

Previo al despacho de la malta adquirida en el exterior, Cervecería Polar inicia el control de calidad de la materia prima. Una muestra preliminar es recibida en el laboratorio de calidad de la facultad de la Universidad Técnica de Berlín y por el laboratorio corporativo del Centro Tecnológico Polar, que realiza un detenido análisis de la pureza, de la variedad, extractos, aminoácidos y poder enzimático. De acuerdo con los resultados de laboratorio se determina su aceptación en el despacho, luego de comprobada que la malta presenta las excelentes condiciones con la que fue comprada.

2.3.2.2 Hojuelas de maíz

La cebada malteada no es la única fuente de almidones que se utiliza en el proceso productivo. De 15 a 25% es sustituida por hojuelas de maíz pregelatinizadas. Mediante su uso se logra impartirle a la cerveza un toque de frescura y cuerpo balanceado. Se utiliza maíz selecto que se somete a un complejo proceso de refinación, eliminando la concha y el germen a objeto de descartar la grasa. En el endospermo, se encuentra la fécula necesaria para la elaboración de la bebida. Con la incorporación de las hojuelas de maíz, se logra una cerveza de sabor menos saciador, más vigorizante, de un color más claro, con mayor luminosidad, mejor estabilidad física, organolépticas y superiores cualidades de aceptación de enfriamiento.

2.3.2.3 Agua

La pureza biológica del agua y su composición química garantizan la calidad de la cerveza. En cada cervecería los laboratorios de control de calidad, analizan permanentemente las características del líquido que se utilizará en la elaboración.

El agua para elaborar cerveza debe cumplir con requerimientos muy especiales que van más allá de los que normalmente se exigen del agua

potable normal. Debe ser totalmente inodora, insípida e incolora. No debe contener cloro, ni iones metálicos como por ejemplo el hierro y el magnesio. Estar en condiciones biológicas óptimas, es decir, libre de bacterias, y de sustancias tóxicas como plomo y pesticidas. A fin de alcanzar estas condiciones se hace necesario tomar considerables medidas técnicas. Para purificar el agua se realizan filtraciones a través de filtros de arena, carbón activo e intercambio iónico. Para eliminar el hierro y el magnesio se realiza una oxidación y las partículas restantes se eliminan por filtración.

2.3.2.4 Lúpulo

Es una planta trepadora responsable de ese sabor que caracteriza a la cerveza. Es interesante saber que sólo se siembra el lúpulo hembra del cual nace un cono de flor sin semilla, considerada como el "Oro verde del cultivador y el cervecero". Se cultiva en Alemania, Estados Unidos, China, la República Checa e Inglaterra. Al igual que con la cebada, las condiciones climáticas tropicales no han permitido hasta los momentos, obtener cultivos productivos de una planta tan delicada como la del lúpulo.

El cono de la flor contiene una sustancia amarga, la lupulina y los aceites volátiles aromáticos que le dan aroma y amargor a la bebida. El lúpulo le proporciona al mosto cervecero y a la cerveza propiedades bacteriostáticas. Esta materia prima es procesada en forma de pellets (pequeños taquitos compactos en forma de cilindro) y de extracto. En Polar se usa en forma de extracto que permite contar con un producto limpio, sin oxidaciones, homogéneo y de fácil dosificación.

2.3.2.5 Levadura

Etimológicamente, la palabra levadura es una derivación de la palabra levar que significa levantar. Hacia el año 1830, se declaró a la levadura un ser vivo, responsable de la fermentación y gracias al microscopio se determinó

que es un ser vivo, un microorganismo perteneciente al reino vegetal y de estructura unicelular. Un científico alemán describió la morfología de la levadura y la nombró Zuckerpilz u hongo del azúcar, de donde se deriva su nombre en latín Saccharomyces. Existen más de 500 tipos de levadura, agrupadas en 50 géneros. La más importante se denomina Saccharomyces, donde se incluye el Saccharomyces Cerevisiae o Levadura de Cerveza, con numerosas variedades.

En los laboratorios de las cervecerías se realiza el cultivo y propagación de la cepa, la cual es traída exclusivamente de un banco de levadura desde Alemania. La propagación es asexual, lo cual garantiza la calidad uniforme y continuada de la levadura y por ende la cerveza. Durante el proceso de fermentación, esta materia prima convierte los azúcares producidos en la maceración en alcohol etílico, gas carbónico y compuestos aromáticos adicionales.

La selección de una buena levadura se lleva a cabo considerando sus buenas cualidades, tanto de sabor como de reproductividad, pues debe ser genéticamente estable, reutilizable en dos o cinco procesos y permitir una fermentación considerablemente rápida que facilite la obtención del grado alcohólico y perfil de aromas deseado. Su buen cuidado y manejo, por parte de los maestros cerveceros, es esencial para la calidad de la cerveza [9].

2.3.3 Proceso cervecero

El área de elaboración está conformada por dos secciones, identificadas como elaboración I y elaboración II (figura 2.1).

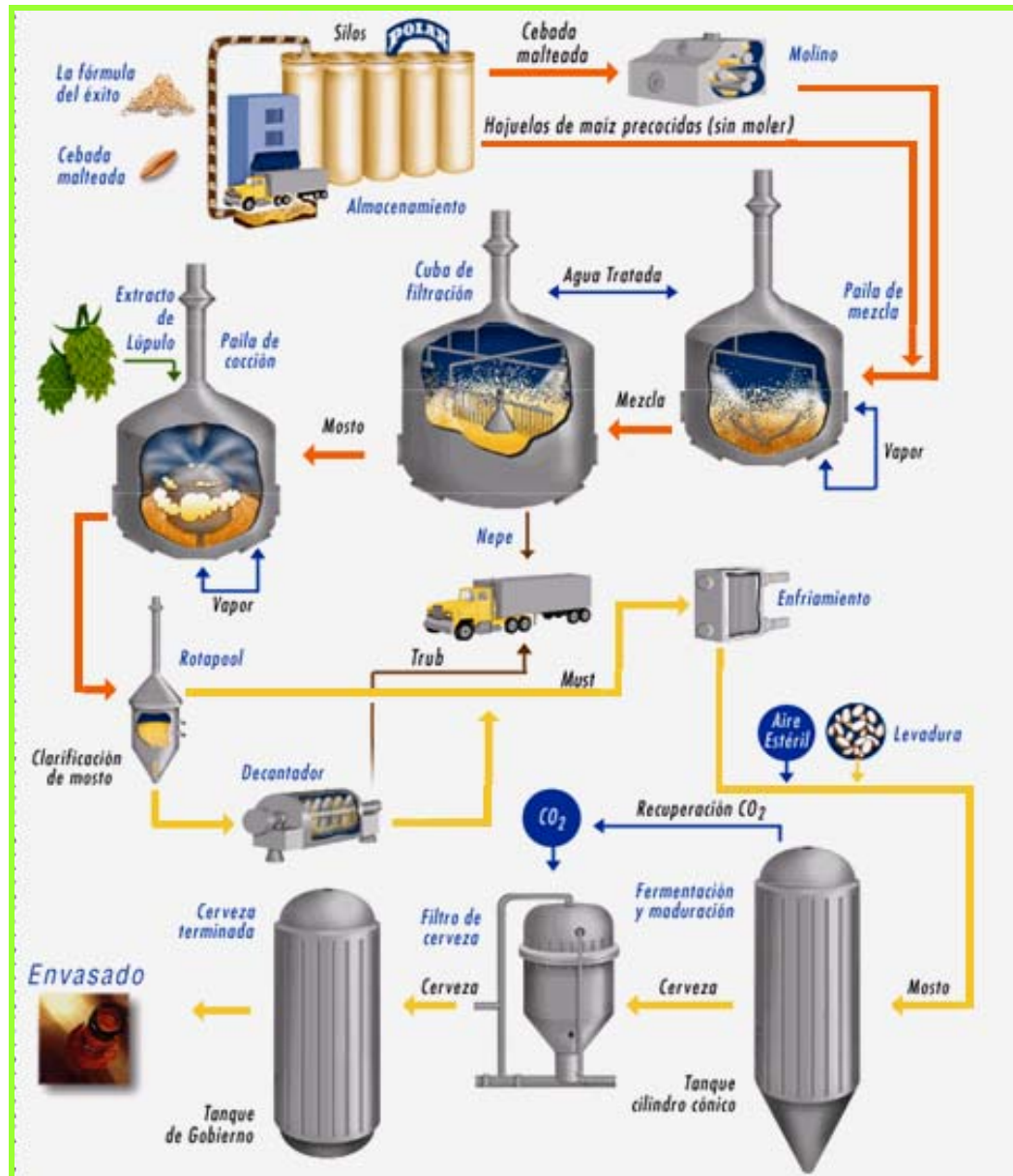


Figura 2.1. Elaboración de la cerveza [9].

2.3.3.1 Elaboración I

La principal labor del área de elaboración I es la producción eficiente del mosto, de formulación y calidad adecuada. La composición del mosto

(producto de la maceración de la cebada malteada) determina las propiedades de la cerveza lista para el consumo.

La elaboración de la cerveza, comienza con la trituración de la cebada malteada. Seguidamente se mezcla la malta molida, con agua especialmente tratada, en la paila de maceración, formando una suspensión espesa. Bajo constante agitación y a temperatura entre 50 y 78°C, las proteínas de la cebada malteada son convertidas en aminoácidos, el almidón, es transformado en azúcares fermentables y además, se extraen las vitaminas y minerales provenientes de la cebada malteada. Seguidamente se bombea la mezcla hacia la cuba de filtración a fin de separar el líquido denominado mosto de la fracción insoluble conocida como afrecho, siendo el afrecho un subproducto rico en proteínas y fibras con aplicación industrial como valioso aditivo para la fabricación de alimentos para animales.

El mosto obtenido es transferido a una paila donde es hervido durante hora y media aproximadamente. La cocción del mosto tiene las siguientes finalidades:

- Inactivar las enzimas de la malta una vez cumplidas sus funciones en la maceración.
- Evaporar una parte del agua para llevar el mosto a la concentración requerida.
- Esterilizar el mosto.

Después de la cocción del mosto, éste es bombeado a tanques clarificadores, llamados rotapools con la finalidad de separar los sedimentos formados durante la cocción (Trub). Luego de 40 minutos de reposo se extrae el mosto. Posteriormente, se procede a enfriar el mosto a una temperatura entre 11 y 12°C por medio de enfriadores especiales.

2.3.3.1.1 Recepción de cebada malteada y adjuntos cerveceros

La cebada malteada, proviene de países como Estados Unidos, Alemania, Inglaterra y Francia, entre otros. Es transportada hasta Venezuela en barcos que arriban al puerto de Guanta para abastecer a Cervecería Polar C.A. (Barcelona) luego a Puerto Cabello para surtir a Cervecería Polar C.A. (San Joaquín) y Cervecería Polar, C.A. (Los Cortijos en Caracas) y por último, al Puerto de Maracaibo, para abastecer a Cervecería Polar, C.A. (Modelo) ubicada en esa ciudad.

Las hojuelas de maíz, son materias primas nacionales suministradas por las plantas de la Unidad Estratégica de Negocios de Alimentos. La cebada malteada y las hojuelas de maíz, antes de ser descargadas en la tolva de recepción, son analizadas en el laboratorio de aseguramiento de la calidad para verificar las características cualitativas de cada una de ellas. Cumplido el proceso de verificación de calidad, las materias primas, son descargadas y enviadas a los silos mediante sistemas de transporte mecánicos que incluyen equipos de pesado y limpieza que permiten eliminar las partículas extrañas que puedan contener. Estos equipos deben garantizar una transferencia razonablemente suave de la cebada malteada, para evitar la rotura de la cáscara.

2.3.3.1.2 Molienda

Para asegurar la formulación apropiada, debe pesarse la cebada malteada y las hojuelas de maíz. La cebada malteada pasa por un molino donde los granos son triturados para facilitar la extracción de sus componentes solubles, lo que permite el trabajo de las enzimas sobre los almidones y proteínas para dar origen al mosto.

El molino está compuesto por una serie de rodillos que trituran los granos de cebada malteada transformándola en harina y sémola. Adicionalmente posee un sistema de cedazos que apartan la cáscara, la cual

se utilizará como material filtrante en el proceso de cocimiento, actualmente se utiliza el sistema de molienda húmeda que permite triturar el grano sin llegar a romperlo.

2.3.3.1.3 Mezcla y maceración

Una vez triturada la cebada malteada se envía a la paila de pre mezcla donde se va a unir con las hojuelas de maíz y el agua previamente tratada. En esta etapa, los ingredientes permanecen el tiempo necesario para formar una mezcla totalmente homogénea antes de pasar a la maceración.

En la paila de maceración, la mezcla obtenida anteriormente permanece aproximadamente una hora y media en constante agitación a temperaturas que oscilan entre 55 y 78°C.

La maceración permite que las enzimas de la cebada malteada actúen sobre el almidón contenido en ella y en el de las hojuelas de maíz para generar los azúcares fermentables que se requerirán posteriormente, obteniéndose además, vitaminas y minerales provenientes de la cebada malteada.

2.3.3.1.4 Filtración

Finalizada la maceración, se bombea la mezcla hacia la cuba de filtración, a fin de separar el líquido llamado mosto, de la parte sólida e insoluble, conocida como afrecho o nepe.

La cuba de filtración posee un falso fondo con rejillas que permiten retener toda la parte sólida, la cual se mueve con unos brazos giratorios para que el líquido pase a través de él. Este proceso tiene una duración aproximada de 3 horas. El nepe que se extrae es un subproducto rico en proteínas y fibras que tiene aplicación industrial, como valioso aditivo en la fabricación de alimentos para animales.

2.3.3.1.5 Hervida

El mosto cervecero obtenido en la filtración, rico en azúcares, aminoácidos, vitaminas y minerales, es transferido a la paila de cocción donde es llevado a punto de ebullición para luego adicionarle el extracto de lúpulo, que impartirá el sabor amargo y aroma característico a la cerveza.

Durante este proceso, que dura aproximadamente una hora y media, se logra inactivar las enzimas de la cebada malteada una vez cumplidas sus funciones, y evaporar el exceso de agua para lograr un mosto con la concentración requerida. Además, durante la ebullición, a través de reacciones entre azúcares y proteínas, se obtiene el color típico de la cerveza y se esteriliza el mosto para obtener un líquido puro y biológicamente estable.

2.3.3.2 Elaboración II

En esta área se efectúa la fermentación, maduración, filtración, carbonatación, clarificación, corrección o normalización del extracto de la cerveza, y su almacenamiento en los “tanques de gobierno”.

La maduración de la cerveza se lleva a cabo en tanques cilindros cónicos (TCC) a temperatura de 0°C durante 4 a 8 días. Durante este período se sedimentan sólidos insolubles que son removidos antes de la filtración. Durante la fermentación, la levadura convierte los azúcares producidos en la maceración, en alcohol etílico y gas carbónico.

El buen cuidado y manejo de la levadura es esencial para la uniformidad y altísima calidad de la cerveza. En los filtros se clarifica la cerveza y la malta por medio de tierra infusoria, como lecho filtrante, eliminando partículas remanentes de proteínas, dando al producto su brillantez y estabilidad fisicoquímica.

Durante la filtración se agrega el volumen necesario de gas carbónico. El gas carbónico da frescura a la bebida, la hace apetecible y promueve la

formación de la espuma. La normalización es un proceso mediante el cual se mezcla la cerveza hasta límites precisos de alcohol u otros valores característicos.

La elaboración de cerveza de alto extracto original, requiere para mantener su consistencia, la mezcla con agua desaireada para la debida normalización. La calidad de agua que se usa es básica y debe estar libre de sabores objetables.

2.3.3.2.1 Fermentación y maduración

El mosto proveniente del cocimiento, al cual se le ha añadido levadura y aire, se bombea a los tanques cilindro cónicos (TCC), donde ocurre la fermentación y maduración de la cerveza. La fermentación, tarda siete días y en ella ocurre que la levadura actúa sobre los azúcares fermentables, transformándolos en alcohol etílico, dióxido de carbono y un gran número de compuestos aromáticos. Luego de la fermentación, al producto almacenado en los TCC, se le denomina cerveza joven o verde. Se retira la levadura por la parte cónica del tanque y posteriormente se enfría el producto a $-1,5^{\circ}\text{C}$ para madurarlo durante 2 semanas.

2.3.3.2.2 Filtración de la cerveza

La cerveza que resulta de la maduración debe ser filtrada para lograr la brillantez característica del producto. Para esto se utilizan filtros de vela que emplean como medio filtrante tierra infusoria.

Dentro del filtro, se concluye la separación de las últimas células de levadura y de las proteínas precipitadas, logrando en el producto filtrado estabilidad fisicoquímica y brillantez característica de un producto terminado.

2.3.3.2.3 Almacenamiento de la cerveza

Finalizada la filtración y corrección de la cerveza, la misma es enviada a los tanques de gobierno, recipientes de 160.000 L o 480.000 L de capacidad; que reciben este nombre porque el medidor de flujo ubicado a la entrada (IDM de Hacienda) le permite al SENIAT fiscalizar el monto de impuestos a pagar por cerveza producida. Es en estos tanques donde permanece el producto hasta ser envasado, controlando que la temperatura y el CO₂ permanezca en los parámetros establecidos [6].

2.4 Tierra infusoria

Son medios auxiliares de filtración constituidos por los fósiles de diatomeas unicelulares de dióxido de silicio, de los cuales hay más de 15.000 especies en el mar. Aparecieron hace millones de años en diferentes mares, en cantidades tales que sus fósiles cubrieron el fondo del mar con capas muy gruesas en el transcurso del tiempo. Debido a los desplazamientos ocurridos en la tierra se formaron grandes depósitos de cientos de metros de espesor. Actualmente se encuentran depósitos activos en Lampoc (California), Jalisco (México), Murat (Francia) y Alicante (España).

2.4.1 Variantes de la tierra infusoria

Existen tres variantes diferentes de tratamiento de la tierra infusoria:

- **Tierra infusoria secada:** la materia prima se rota y es secada en el horno de tambores a 400°C. En ese estado se mantiene la forma natural de las diatomeas y su porosidad, de esta forma se obtiene una tierra infusoria más fina y selectiva.
- **Tierra infusoria calcinada:** la tierra infusoria secada se calienta hasta 800°C, logrando sintetizar las superficies de las partículas de tierra infusoria

entre sí, formando partículas de mayor tamaño. Se mantiene la superficie porosa interna y su actividad de filtración.

- **Tierra infusoria calcinada con fundente:** para la preparación de tierra infusoria que filtre más rápido se agrega cloruro de sodio o carbonato de sodio como fundente a la tierra en el horno de tambor. De esta manera desciende el punto de fusión del dióxido de silicio y se calcina a 800-900°C. en este proceso se forman conglomerados aún más grandes por sinterizado; sustancias inorgánicas secundarias como óxidos de hierro y aluminio son transformados en silicatos mixtos difícilmente solubles, que otorgan un aspecto casi blanquecino a la tierra infusoria [10,11].

La gran porosidad es la propiedad más importante de la tierra infusoria. Como resultado de esta porosidad y de la forma particular de los caparazones de diatomeas, una torta filtrante hecha de tierra forma una capa de porosidad muy fina, que puede retener partículas causantes de turbidez de hasta 0,1 mm de tamaño. La velocidad de filtración depende del grado de finura de la tierra infusoria. Cuanto más fino sea el grano de la tierra, mejor clarifica, pero su velocidad es menor. De acuerdo con esto, el caudal y el factor de clarificación se encuentran relacionados entre sí, como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Variantes de la tierra infusoria [10].

Variedad de tierra infusoria	Caudal relativo	Factor de clarificación relativo	Para filtración de cerveza
Filter Cel	100	100	Fina
Celite 577 y 505	115	98	
Stándar Super Cel	213	85	Mediana
Hyflo Super Cel	534	58	Grande
Celite 503	910	42	
Celite 535	1269	35	
Celite 560	2670	29	

2.4.2 Usos de la tierra infusoria

Las diatomeas matan a los patógenos por acción estrictamente física, es decir se adhieren al cuerpo de los insectos produciendo deshidratación. Entre ellos podemos mencionar a los famosos ácaros y otras plagas tales como: pulgones, cochinillas, chinches, orugas, arañuelas y otros insectos en cultivos frutihortícolas. Se menciona además su uso en la eliminación de gorgojos y gusanos en los granos almacenados, evitando el deterioro y la pérdida del valor comercial de éstos.

Las cualidades de la tierra de diatomeas son a la vez extrañas y variadas incluyendo: agente de purificación, filtrado, abrasivo, material aislante y a prueba de sonido. En los acuarios es posible utilizarla en recipientes de filtración especiales, para retener bacterias, protozoarios, y otros microorganismos e impurezas de cualquier tipo.

La tierra de diatomeas es en sí misma un insecticida natural. Estas minúsculas algas (huecas y con carga eléctrica negativa) perforan los cuerpos queratinizados de los insectos, los cuales mueren por deshidratación. Algunos estudios revelan que para aumentar su eficiencia y lograr buenos resultados, se debe utilizar la diatomita diluida en agua al 1 %, es decir 1 parte de diatomeas y 99 de agua.

En los vegetales, la tierra de diatomeas cumple un doble propósito: curar y nutrir. Además de su efecto insecticida, las diatomeas aportan una gran riqueza en minerales y oligoelementos. Otra interesante aplicación de las diatomeas es para proteger granos y semillas, de hongos, virus y bacterias. En este caso se aplica en polvo sobre los granos a conservar, notándose en las semillas una mejor germinación posterior al momento de la siembra.

Las diatomeas son el medio más eficaz, inocuo y económico para combatir parásitos externos en animales domésticos. Se aplica directamente en polvo sobre el pelo del animal. También puede aplicarse en pisos,

guardarropas, despensas y cualquier otro lugar que se desee proteger de insectos. A los piojos, los elimina eficazmente aplicando unos pocos gramos de diatomeas en el champú o en agua. Se mezcla bien y se aplica sobre el cabello, dejando actuar entre 5 y 10 minutos.

Es importante mencionar que la única precaución en el uso de la tierra de diatomeas, es cuando se la maneja en seco o sea en polvo. En estos casos conviene evitar su inhalación para prevenir posibles efectos alérgicos que puede causar el ingreso de estas microscópicas partículas a través del aparato respiratorio.

En el campo de la nutrición animal, la tierra de diatomeas está encontrando una rápida aceptación. Sus beneficios han sido notables en alimentos para vacas lecheras, pollos, cerdos, caballos, novillos, ovejas y otros pequeños animales.

Dentro del uso agronómico, la tierra de diatomeas trabaja también con los desechos animales. Espolvoreada sobre los montones de estiércol semanalmente, ayudan al control de moscas. Los ganaderos también pueden espolvorear el ganado en todo el cuerpo para detener la mosca pero evitando aplicar en la cara de los animales. La Organización Mundial de la Salud, ha advertido que en los últimos sesenta años, más de cuatrocientas especies de insectos se han inmunizado a los venenos químicos, que se fabrican cada vez más potentes. La tierra de diatomeas no contiene venenos para el hombre ni animales domésticos, elimina los insectos sin generar auto inmunidad y puede utilizarse sin límite de tiempo.

En la cría de aves de corral, tanto en el cuidado sanitario de las aves, como en el mejoramiento de su hábitat, el uso de la tierra de diatomeas resulta ser un gran beneficio económico para los criadores. Mezclada con el alimento endurece la cáscara del huevo, también ayuda a la eliminación de parásitos internos y externos proporcionando a las aves de una mejor calidad de vida, lo que aumenta su producción. Elimina piojos y piojillos, elimina

insectos transmisores de enfermedades, aporta minerales a su alimentación, reduce mortandad de la población animal, erradica moscas, eliminando los ejemplares vivos y por impedimento ovación, elimina vapores amoniacales, lo que reduce malos olores, mejora el manejo del grano.

El uso de diatomea para eliminar insectos no es nuevo ni moderno. El principio fue redescubierto en tiempos modernos por Francis S. Leise y Neil Clark en Arizona, USA. Hay varios tipos de tierra de diatomea. Posiblemente la diferencia básica radica entre la marina, y la originada en depósitos en agua dulce. Tiene una gran demanda en la industria de la bebida (como filtro) en la elaboración de cerveza, vinos, sidra, jugos de frutas en general, jarabes, tratamiento de agua, separación de sólidos ultramicroscópicos etc., brindando mayor claridad en el líquido filtrado [12].

2.5 Análisis Fisicoquímicos

Son análisis que se hacen para determinar el sabor, olor, temperatura, turbidez y color de una muestra dada, además miden las cantidades de metales (cobre, plomo, zinc, hierro), dureza, acidez o alcalinidad, nitrógeno, cloruros, entre otros. En un análisis cualitativo se pretende identificar las sustancias de una muestra, mientras que en el análisis cuantitativo lo que se busca es determinar la cantidad o concentración en que se encuentra una sustancia específica en una muestra.

2.5.1 Conductividad

Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.

Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases y sales presentan coeficientes de conductividad relativamente adecuados. A la inversa, las

moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tienen una conductividad muy escasa o nula. La unidad de la conductividad es microsiemens/centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) [13].

2.5.2 pH

La escala de pH indica si una solución es alcalina, neutra o ácida. La escala varía de 0 a 14. Donde 7 es el punto medio e indica que una solución es neutra. Los valores de pH entre 7 y 14 denotan alcalinidad, mientras que los valores menores indican acidez, aumentando diez veces la intensidad por cada variación de una unidad de pH. El pH se define como el logaritmo del número recíproco de la concentración ion hidrógeno. La acidez o alcalinidad de una solución dependerá de si hay más iones H^+ o más OH^- [14].

$$pH = \log\left(\frac{1}{[\text{H}^+]}\right) \quad (\text{Ec-2.9})$$

2.5.3 Demanda química de oxígeno (DQO)

Representa una medida de la cantidad de materia orgánica e inorgánica presente en el agua, y está basada en el hecho de que todos los compuestos orgánicos pueden ser oxidados a dióxido de carbono y agua, mediante la acción, en medio ácido, de agentes oxidantes. La reacción es completa en más de 95% de los casos y tiene la ventaja de que los resultados se obtienen rápidamente (cerca de tres horas). El método DQO se usa a menudo para medir contaminantes en las aguas naturales y residuales y para evaluar la fuerza de desechos tales como aguas municipales residuales e industriales. El método DQO se usa también en aplicaciones en centrales eléctricas, industria química, industria papelera, lavanderías y estudios medioambientales [15].

2.5.4 Sólidos totales (ST)

Es la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C. Esta materia sólida mide la concentración y el estado físico de los constituyentes del líquido y es de interés para determinar la presencia de aquellos sólidos que por su naturaleza le comunican propiedades indeseables al agua. Su concentración permite predecir en base a la eficiencia de las distintas etapas que estimen como necesaria para obtener el mayor grado de purificación esperado.

2.5.5 Sólidos volátiles (SV)

Son aquellos que se volatilizan a una temperatura de 600°C, durante un tiempo determinado, transformando la materia orgánica a CO₂ y H₂O. Esta pérdida de peso se interpreta en términos de materia orgánica o volátil. Los sólidos que no se volatilizan se denominan sólidos fijos.

2.5.6 Sólidos suspendidos totales (SST)

Son aquellas partículas no solubles que no son lo suficientemente pesadas para sedimentarse en el cuerpo de agua en que están presentes.

Los principales sólidos son pequeñas partículas de materia orgánica e inorgánica, microorganismos y plancton.

2.5.7 Sólidos suspendidos volátiles (SSV)

Corresponden a los compuestos perdidos durante la calcinación a 550 ± 50°C, se determinan por diferencia de peso. Mientras los residuos sólidos remanentes del muflado a la misma temperatura durante 1 hora, se les denomina sólidos suspendidos fijos [14,16].

2.5.8 Turbidez

Es la propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida de diseminar un haz luminoso. Se manifiesta en la reducción de claridad, transparencia y brillantez del agua. Ésta puede ser de naturaleza inorgánica (causada por arena, arcilla, carbonato de calcio, hidróxido férrico, azufre y rocas pulverizadas) o puede ser de naturaleza orgánica (causada por materia vegetal o animal, aceites, grasas y microorganismos).

Los métodos analíticos de interferencia luminosa se clasifican como nefelométricos, y un sistema de medición de la turbidez utiliza las unidades de turbidez nefelométricas (UTN o como se denomina comúnmente, según sus siglas en inglés, NTU). Para el caso de la cerveza se utilizan distintas unidades; por ejemplo la EBC (Convención Europea de Cervecería) [9].

2.6 Análisis Microbiológicos

La microbiología es la ciencia que estudia todos los microorganismos en todos sus aspectos en los que se encuentran su distribución, sus características y efectos.

En general se citan seis tipos de microorganismos: bacterias, hongos, virus, algas, protozoos y rickettsias. Entre todos estos grupos los que cobran más interés dentro de la industria cervecera son las levaduras, mohos y las bacterias anaerobias.

2.6.1 Mesófilos totales (TGEA)

Los microorganismos aerobios mesófilos son la flora total compuesta por bacterias, hongos filamentosos y levaduras, aerobios estrictos o facultativos que presentan unas características térmicas intermedias.

Con este análisis se refleja la calidad sanitaria e higiénica de la elaboración de alimentos y bebidas. Altos recuentos no son aconsejables salvo en el caso de los productos fermentados. Este medio se emplea para la

determinación del número total de gérmenes aerobios en agua, leche, productos lácteos y otros materiales.

2.6.2 Mohos y levaduras (PDA)

El agar papa-dextrosa permite el cultivo, aislamiento y determinación de mohos y levaduras. Los hidratos de carbono y la infusión de papa favorecen el crecimiento de los hongos, (tanto mohos como levaduras), en tanto que debido al bajo valor de pH, la flora bacteriana acompañante queda parcialmente inhibida en su desarrollo. Los mohos constituyen contaminantes directos de la cerveza, de la cebada, cereales aditivos y la malta.

2.6.3 Bacterias anaerobias (NBB)

El medio NBB se emplea para el cultivo y aislamiento de bacterias nocivas a la cerveza y bebidas relacionadas (maltín, vinos). La formulación del medio está orientada al crecimiento de lactobacilos, pediococos, *Megasphaera* y *Pectinatus*. En el caso de los dos últimos, se necesitan condiciones anaeróbicas estrictas para lograr su desarrollo. Cuando ocurre crecimiento, se observa un cambio de color del medio de rojo a amarillo debido a la acidificación. En el medio pueden crecer otros microorganismos que no son dañinos a la cerveza como bacterias ácido-lácticas, bacterias ácido-acéticas y micrococcos, pero generalmente estos tipos no ocasionan un cambio de color en el medio. Debe cuidarse que el medio de cultivo no sea sobrecalentado [9,17].

2.7 Descripción del Proceso del Compostaje de los Desechos Orgánicos de Cervecería Polar C.A. - Planta Oriente.

El centro de reciclaje de lodos residuales de cervecería (CEPAREL) tiene como objetivo transformar todo los desechos sólidos originados en las diferentes actividades llevadas a cabo en Cervecería Polar C.A - Planta

Oriente, en un material que pueda ser aprovechado sin tener efectos negativos sobre el ambiente.

Dichos residuos son tratados a través de un proceso biológico conocido como compostaje, el cual consiste básicamente en mezclar desperdicios para que los microorganismos presentes en ellos los conviertan por medio de una transformación biológica aerobia en un compuesto estable que pueda ser mezclado con el suelo con la finalidad de aportar nutrientes que ayuden al desarrollo de las plantas.

Hay diferentes técnicas para llevar a cabo un proceso de compostaje y una amplia gama de materiales que pueden ser compostados que van desde residuos domésticos hasta industriales. Las técnicas utilizadas en CEPAREL son de sistemas abiertos.

El proceso de elaboración de compost llevado a cabo en CEPAREL se efectúa según la metodología desarrollada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, la cual se fundamenta en la técnica de pila estática aireada, para la descomposición de la materia orgánica y transformación en otras formas orgánicas, favoreciendo los metabolismos respiratorios de tipo aerobio y procurando minimizar los procesos fermentativos anaerobios ya que los productos finales de este metabolismo no son adecuados para aplicaciones agrícolas y conducen a la pérdida de nutrientes (figura 2.4).

2.7.1 Elaboración

El proceso de compostaje comienza con la recepción de los desechos generados en Cervecería Polar C.A – planta oriente, el lodo aeróbico es colocado en lagunas de recepción (figura 2.2), cuyas paredes son hechas de lodo seco entre 80 a 90 cm de profundidad y de superficie 10 m de largo y 5 m de ancho respectivamente presentando un 12% de sólidos suspendidos aproximadamente.

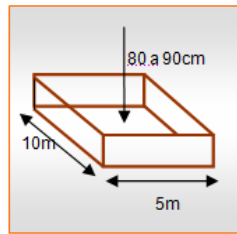


Figura 2.2. Modelos de lagunas de recepción del lodo aeróbico [9].

Previamente se le agrega en el fondo de las lagunas de recepción un lecho de madera molida y restos de jardín con la finalidad de absorber parte de la humedad del lodo aeróbico. Luego este lodo húmedo es mezclado con lodo seco para bajar su humedad de 52% aproximadamente.

La tierra infusoria es recibida en otras lagunas de recepción presentando un 90% de humedad aproximadamente, esta tierra es mezclada con lodo seco para bajar su humedad formando las “pilas A”. Paralelamente, las “pilas A” se llevan a la laguna de recepción del lodo aeróbico, después de una semana el material es extendido para ser rastreado, en un patio denominado filtro biológico, acelerando su secado en un periodo de dos días, (en Ceparel cuando se recibe producto no apto se incorpora por medio de aspersores), después de estar en el filtro biológico se forman una nueva pila para compostar, “pilas B” con una relación de 4:2:1:1 (lodo aeróbico, madera en trozos pequeños, restos de jardín, y tierra infusoria), las “pilas B” se llevan a un sistema abierto denominado pilas estáticas aireadas, cuando el compost excede de 345 m³ es trasladado a pilas de volteo, que no es más que una aireación forzada ya que se hace por medio de un cargador frontal (payloader), transcurridos 90 días, el compost grueso es retirado de las pilas estáticas y volteo de aireación haciendo uso de un payloader, se extiende en el piso y se hace pasar la rastra para eliminar los terrones y un poco de material grueso, dejándose secar por 2 días para luego pasar por la cernidora.

En la figura 2.3 se muestra el proceso de la actividad metabólica ya que es la finalización del proceso de compostaje. Las poblaciones microbianas se presentan en fase de muerte por agotamiento de nutrientes. La biomasa puede permanecer constante por un cierto período aún cuando la gran mayoría de la población se haya hecho no viable. Las características descritas, corresponden a un compost en condición de estabilidad. Esta condición se diagnostica a través de diversos parámetros. Algunos de ellos, se pueden determinar en campo (temperatura, color, olor), otras determinaciones se deben realizar en laboratorio.

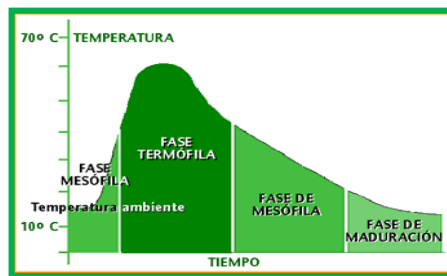


Figura 2.3. Ausencias de actividad metabólica en las pilas [9].

2.7.2 Cernido y ensacado

El compost seco es vertido en una tolva y se transporta a través de una banda hacia la cernidora, la cual consiste en un tambor rotatorio cubierto por tres tamices, ubicados del interior al exterior desde el más fino hasta el más grueso, permitiendo separar el material grueso (trozos de madera, piedras, entre otros) del fino (partículas menores a 1cm), el cual puede ser almacenado en una pila para ser vendido a granel o puede ser llevado a una tolva por medio de una banda transportadora para ser ensacado, el equipo de ensacado opera de forma manual.

2.7.3 Despacho

El compost o abono orgánico puede ser despachado a granel o en sacos [9].

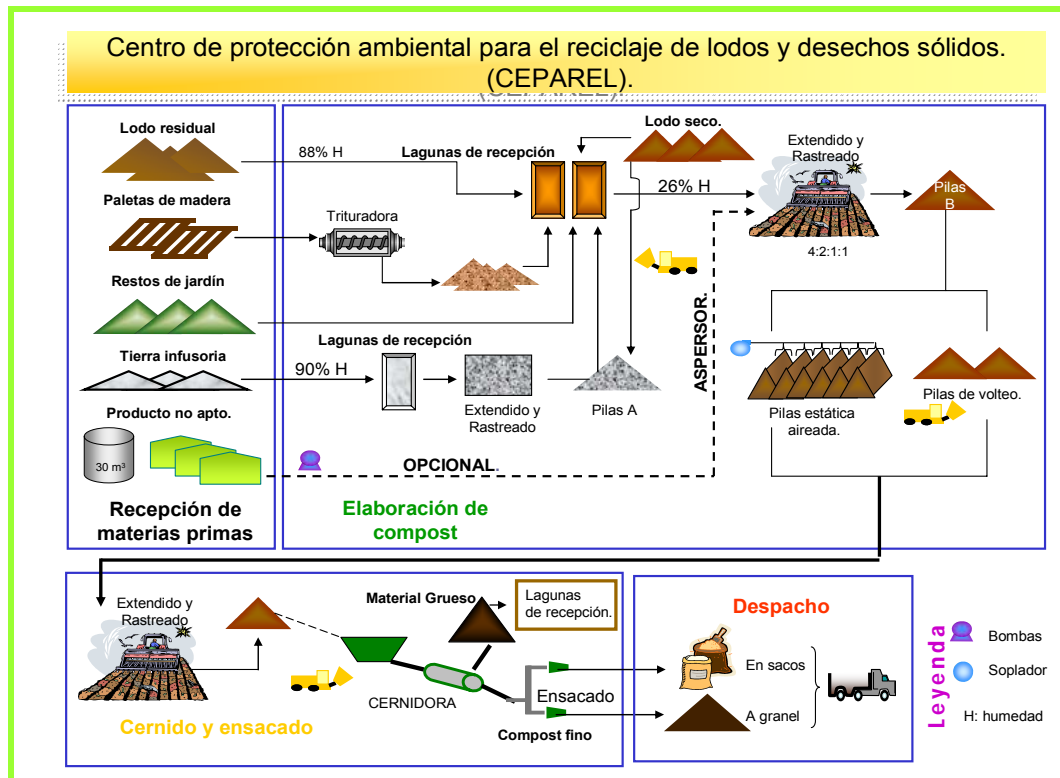


Figura 2.4. Proceso en CEPAREL [9].

2.8 Sustancias y equipos para diseño del proceso de regeneración de tierra infusoria

Para la realización del diseño conceptual del proceso de regeneración de tierra, es necesario utilizar diferentes sustancias y equipos (bombas).

2.8.1 Soda cáustica

El hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido sódico, también conocido como sosa cáustica o soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes. Además, es usado en la Industria Petrolera en la elaboración de

lodos de perforación base agua. A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire (higroscópico). Es una sustancia manufacturada. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. Se usa para fabricar jabones, crayón, papel, explosivos, pinturas y productos de petróleo.

La soda caústica en la industria cervecera, se utiliza como detergente para limpieza de tuberías, tanques y botellas. En el diseño del proceso de regeneración de tierra infusoria la soda caústica se utiliza como removedor principal de la materia orgánica.

2.8.2 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2) es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm. (partes por millón). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno. Este gas en la industria cerveza, se produce durante la fermentación y se introduce en la filtración de la etapa de cocimiento de cerveza, para llevarla a los parámetros de calidad establecidos. En el proceso de regeneración el CO_2 es utilizado como agente inhibidor de oxígeno (principal enemigo del producto).

2.8.3 Ácido sulfurico

Es un compuesto químico muy corrosivo cuya fórmula es H_2SO_4 . Es el compuesto químico que más se produce en el mundo, por eso se utiliza como uno de los tantos medidores de la capacidad industrial de los países. Una gran parte, se emplea en la obtención de fertilizantes. También se usa para la síntesis de otros ácidos y sulfatos y en la industria petroquímica [9]. El

ácido sulfúrico en la industria cervecera, se utiliza para la regulación de pH en cocimiento del mosto y para la regeneración de tierra infusoria (neutralización de la mezcla hasta llevar al pH establecido, según especificaciones técnicas de proceso).

2.8.4 Agua grado plato

Es aquella que se obtiene a través de un proceso por el cual el agua es desaireada con CO₂; es decir se le retira la mayor cantidad de oxígeno posible, para ello el agua es bombeada hacia enfriadores que tienen como función bajar la temperatura del agua hasta 2°C.

Posteriormente, el agua se hace pasar por un refrigerador (donde la temperatura deseada es menor que la del medio ambiente). Finalmente, se hace pasar por un desareador donde se le extrae el oxígeno. Este tipo de agua se utiliza para el complemento de la cerveza, la cual está constituida en aproximadamente 90% de agua [10].

2.8.5 Bomba centrífuga

Es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete, en energía cinética y potencial requeridas.

El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia el siguiente rodete (siguiente etapa).

2.8.6 Bomba neumática

Las bombas neumáticas son conocidas para los altos caudales, la elevada potencia y resistencia que las hace idóneas al bombeo de fluidos con

viscosidad aparentes muy elevadas, de hasta 50.000 cp (a 20°C) incluso en presencia de partículas sólidas en suspensión.

La capacidad de aspiración en seco desde notables alturas de aspiración, junto a la posibilidad de efectuar una regulación fina de la velocidad sin pérdidas de presión del caudal y de la altura de elevación, así como a la posibilidad de funcionar en vacío sin sufrir daños, han proporcionado a estas bombas una versatilidad de empleo. Su principio constructivo las hace especialmente indicadas para aplicaciones con elevada humedad o en ambiente potencialmente explosivo [18].

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 Funcionamiento del Filtro de Velas, el Sistema de Dosificación de Tierra y la Situación Actual del Proceso de Filtración de Cerveza

Se revisó el funcionamiento específico de los filtros de velas usados en la filtración de cerveza, así como el sistema de dosificación y preparación de tierra infusoria. Adicionalmente, se realizó la recolección de datos sobre el consumo de tierra infusoria y situación actual de las corridas de filtración, permitiendo toda esta información, la determinación de la importancia de la reutilización de esta tierra.

3.1.1 Descripción del proceso de filtración de cerveza

La cerveza madurada, antes de ser filtrada, debe cumplir con ciertos parámetros de calidad, entre los cuales se encuentran: extracto, concentración de alcohol, pH, y principalmente turbidez, parámetro que debe ser menor o igual a 20 EBC.

3.1.1.1 Envío de la cerveza al tanque buffer 1 (TBP1)

La cerveza madurada proveniente de los tanques cilindro cónicos (TCCs), es enviada al tanque buffer 1 (TBP1), el cual permite asegurar un suministro constante del líquido a los filtros, controlando cualquier variación de presión en el suministro de cerveza desde TCC.

El TBP1, queda listo para la producción luego de haber controlado la presión interna del tanque entre 0,85 y 1,10 bar con suministro de CO₂. La recuperación de CO₂ se inicia si se alcanza una presión mayor a 1,10 bar en el tanque y se detiene cuando la presión disminuye a un valor de 1,05 bar. Para iniciar el proceso, se deben realizar las siguientes actividades: conexión

del TCC a vaciar, verificación de disponibilidad de los aditivos (carbón activado, metabisulfito y lúpulo), se solicita la cerveza al TCC y se coloca el punto de ajuste (setpoint) de la cantidad de cerveza madurada a filtrar. Se desplaza el agua grado plato presente en la tubería con cerveza madurada desde el TCC hacia el drenaje ubicado en la entrada del buffer 1, hasta alcanzar valores de conductividad mayores a 80 mS en la cerveza.

Finalmente, se activa la apertura de la válvula de doble asiento de entrada al buffer 1 y desactivan las válvulas hacia el drenaje como se muestra en la figura 3.2; se llena hasta alcanzar un nivel de 2,5 m para luego de comenzar el vaciado hacia el filtro, manteniendo el nivel del TBP1 mayor a 1 m.

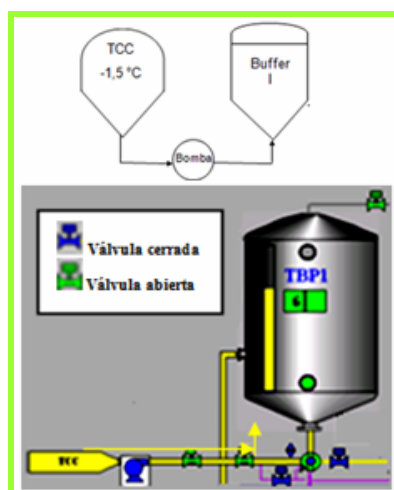


Figura 3.1. Envío de cerveza al tanque buffer 1.

3.1.1.2 Filtración de la cerveza usando tierra infusoria

La filtración es el proceso de separación a través del cual las levaduras y otros materiales causantes de la turbidez presentes en la cerveza, son removidos. El propósito de este proceso es hacer la cerveza tan estable que no ocurran cambios visibles por mucho tiempo. La filtración se lleva a cabo en un filtro de velas, en el cual es imprescindible la utilización del medio

filtrante; la tierra infusoria, la cual es completamente inerte. La tierra infusoria llega hasta el filtro y forma una torta filtrante, porosa, que tamiza las partículas que hay en la cerveza, a medida que ésta atraviesa el filtro. La formación de la torta viene dada por la preparación de dos precapas y la dosificación continua. El principio es ilustrado en la figura 3.2. La cerveza a filtrar (flechas verdes) junto con partículas extrañas se ven forzadas, mediante un diferencial de presión, a pasar a través de una capa de tierra infusoria. Esta capa porosa es formada con tierras de diferentes diámetros (gruesa, media y fina), obteniendo un filtro eficiente que permite retener los sólidos, dando paso únicamente al líquido (flechas amarillas).

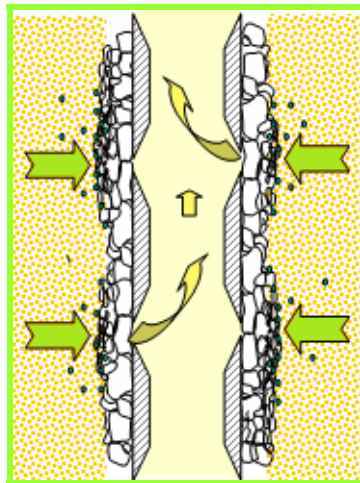


Figura 3.2. Filtración con tierra infusoria [7].

La filtración de cerveza se inicia con la preparación del filtro utilizando un procedimiento establecido, fundamental para una formación adecuada del medio filtrante. Luego de agregar una cantidad de sacos de tierra infusoria a los tanques de preparación y almacenamiento respectivos (tanques KG), se da inicio a la preparación del filtro (figura 3.3), siguiendo los siguientes pasos:

1. Se llena el filtro con agua grado plato hasta su máxima capacidad. En el caso del filtro 1 el volumen máximo es de 110 HL (11 m^3), mientras que el filtro 2 es de 80 HL (8 m^3).

2. Debido a que la cerveza no puede estar en contacto con oxígeno, se debe desairear el filtro. Para este procedimiento, se mantiene un flujo mínimo de 200 HL/h de agua grado plato, el cual eliminará cualquier burbuja de aire presente dentro de la cámara. Este procedimiento se realiza abriendo las válvulas de descarga y tiene una duración de diez minutos.

3. Se transfiere al tanque dosimat (preparación de mezcla entre los diferentes tipos de tierra: Hyflo y Standar para formar cada precapa) del filtro la cantidad de tierra infusoria necesaria para la preparación de la primera precapa.

4. Una vez desaireado el filtro, se inicia la dosificación de la primera precapa de tierra infusoria, desde el tanque dosimat hacia el filtro, haciéndola recircular a un flujo de 1.100 HL/h ($110 \text{ m}^3/\text{h}$). Es importante que durante este paso se mantenga una presión constante dentro del filtro, para asegurar la formación de un área uniforme de tierra infusoria a lo largo de las superficies de las velas.

5. Luego de la dosificación de la primera precapa, se recircula el filtro a una presión entre 4,5 y 5 bar, con un suministro constante de agua grado plato. Simultáneamente se transfiere la segunda precapa desde los tanques KG hasta el tanque dosimat.

6. Se dosifica al filtro la segunda precapa, constituida por una mezcla de tierras infusorias pero bajo las mismas condiciones de operación que la dosificación de la primera precapa. Luego se realiza el mismo procedimiento de recirculación con los mismos parámetros de tiempo y presión.

7. Después de estar lista la segunda precapa, se vuelve a dosificar tierra infusoria al dosimat, la cual será utilizada durante el proceso de filtración para el mantenimiento del lecho filtrante.

8. Finalizada la preparación del filtro, se desplaza el oxígeno presente con agua grado plato, hasta conseguir una concentración de oxígeno menor a las 25 ppb.

9. Una vez que el filtro está libre de oxígeno se desplaza el agua grado plato contenida con una cantidad de cerveza madurada proveniente del tanque buffer 1, el agua desplazada se envía a drenaje.

10. Se inicia el proceso de filtración, trabajando con un flujo volumétrico aproximado para el filtro 1 de 800 HL/h (80 m³/h), y para el filtro 2 de 600 HL/h (60m³/h).

El filtro recircula automáticamente en caso de producirse alguna de las siguientes alarmas:

- Falla dosificación KG al dosimat.
- Dosimat vacío.
- Turbidez alta.
- Tanque buffer 1 o buffer 2 no listo para producción.
- No hay tanque de gobierno disponible.
- Accionando el botón de recirculación.

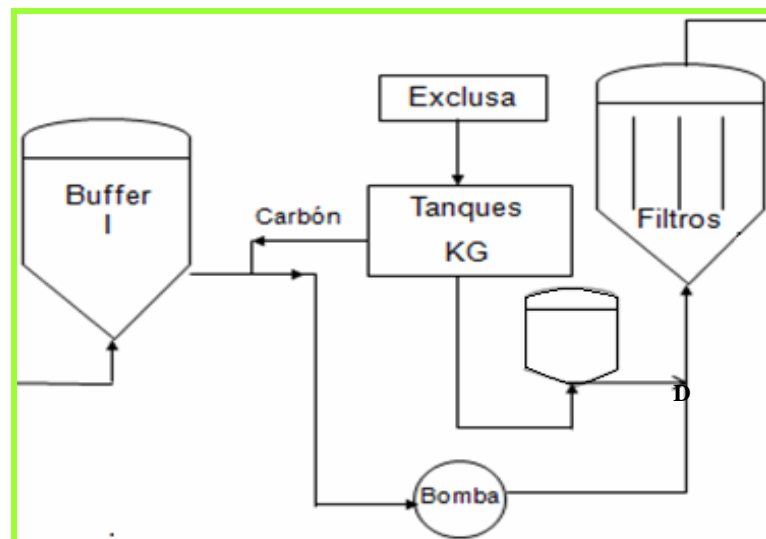


Figura 3.3. Filtración con tierra infusoria.

3.1.1.3 Envío de la cerveza al tanque buffer 2 de cerveza (TBP2)

Al iniciar la filtración se cierran las válvulas de drenaje y se abren aquellas que envían la cerveza concentrada al tanque buffer 2 (TBP2), el cual tiene como objetivo almacenar el producto filtrado para que el filtro opere a un flujo constante y simultáneamente, proteger el mismo de variaciones de presión entre el filtro y los tanques de gobierno. Posee un sistema de recirculación interna para homogenizar la cerveza antes de la corrección (blending) al porcentaje de grado alcohólico requerido (figura 3.4).

El TBP2 está listo para producción luego de que se controle la presión interna del tanque, entre 1,15 y 1,25 bar con suministro de CO₂. La recuperación de CO₂ se inicia si se alcanza una presión mayor a 1,35 bar en el tanque y se detiene cuando la presión disminuye a un valor de 1,30 bar.

Para iniciar el llenado del buffer 2, se activan las aperturas de las válvulas de entrada al mismo, entrando la cerveza filtrada por la parte inferior hasta alcanzar 4 m; seguidamente manteniendo abiertas las válvulas de suministro, se inicia la mezcla del buffer hasta alcanzar 6 m de altura, una vez alcanzada esta condición, se continúa la mezcla por 5 min adicionales. Se verifica si hay tanque de gobierno disponible y se conecta el codo en posición de llenado del tanque y se activa la dosificación de estabilizante proteolítico, estabilizante de espuma, corrección, carbonatación y enfriamiento del producto.

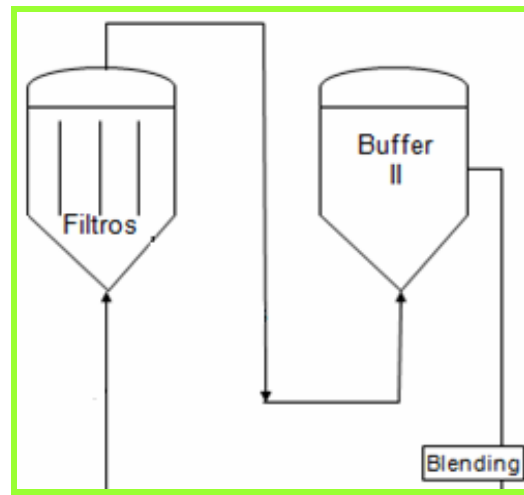


Figura 3.4. Filtración con tierra infusoria.

3.1.1.4 Corrección (*blending*) y carbonatación de la cerveza

La cerveza proveniente del TBP2 hacia los tanques de gobierno pasa primero por una etapa de corrección, en donde se obtiene un porcentaje de alcohol determinado mediante la adición de agua grado plato. Luego de este paso, la cerveza pasa al proceso de carbonatación, donde se le inyecta dióxido de carbono empleando un difusor que crea burbujas muy finas, que ingresan fácilmente en el producto, brindándole cuerpo.

Finalmente, la cerveza pasa a través de un enfriador, que opera con amoníaco, que permite que la misma alcance una temperatura de -1°C (figura 3.5).

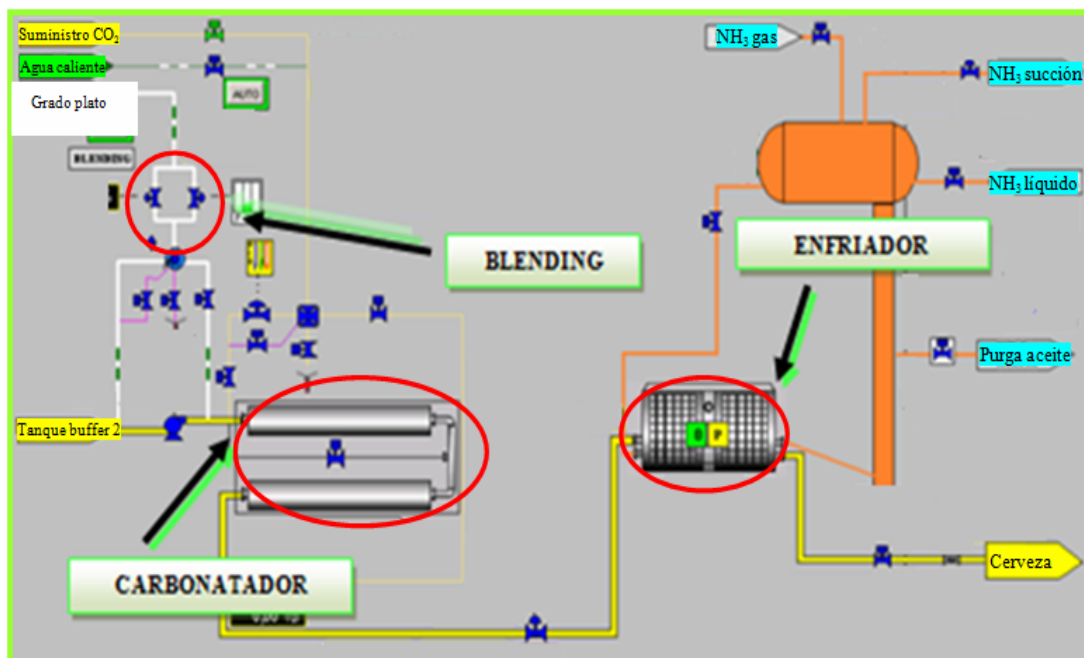


Figura 3.5. Corrección y carbonatación de la cerveza.

3.1.2 Preparación de tierra infusoria

Las partículas de tierra infusoria de infinitas configuraciones forman una torta de medio filtrante rígida pero porosa a lo largo de la vela de los filtros.

La mezcla de tierra se prepara al 20% p/p según las especificaciones técnicas del proceso; por cada saco de tierra (22,7 kg), se mezcla con 115 L de agua grado plato.

El proceso de preparación de tierra infusoria se describe de la siguiente manera:

1. Se selecciona en los monitores de la sala de filtración el menú principal, eligiéndose la opción [PPAL.FILTRACION] y luego la etiqueta de TANQUES KG para ir a la pantalla de los tanques de tierra (figura 3.6).

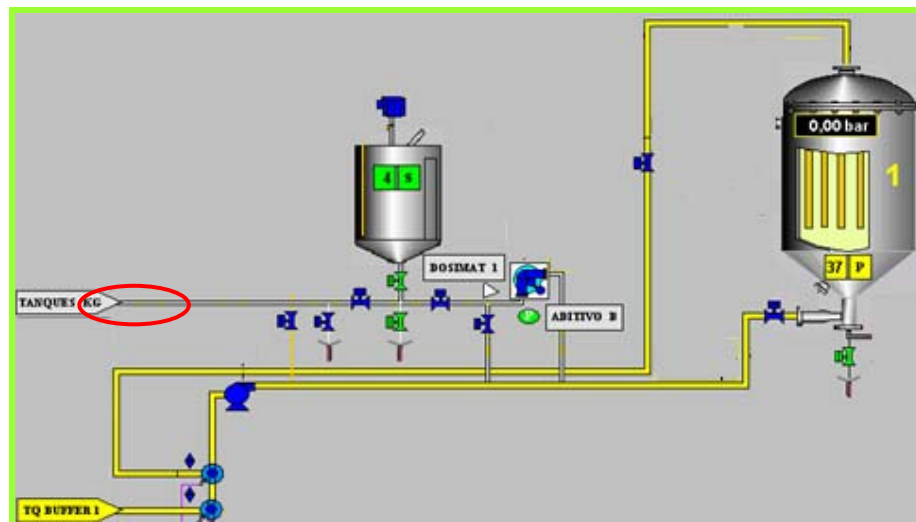


Figura 3.6. Pantalla filtro 1 cerveza.

2. En la pantalla de los tanques KG (figura 3.7), se selecciona el botón de “Rellenado de tanque KG”.

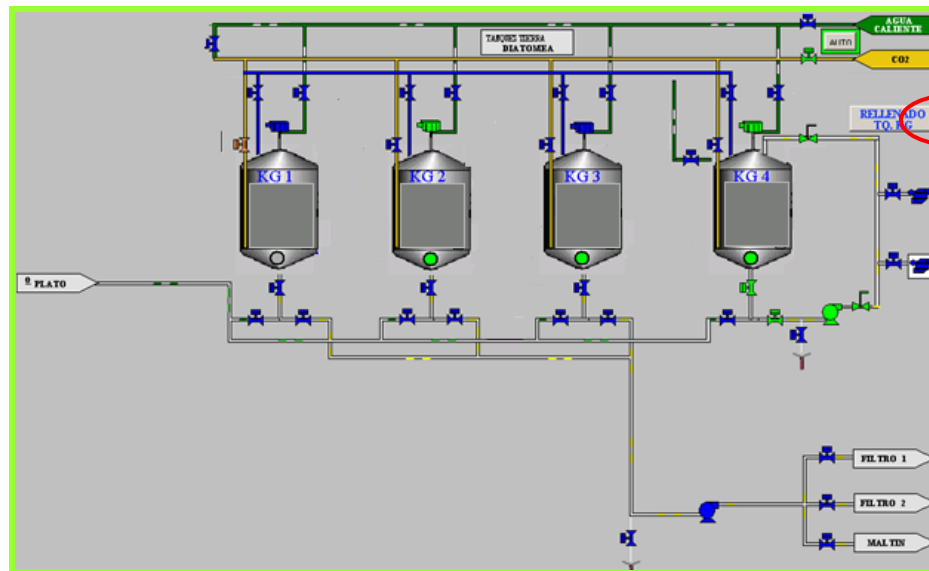


Figura 3.7. Pantalla de TQ KG.

3. Se elige el tanque a preparar y se inserta en la etiqueta en pantalla, la cantidad de sacos a preparar, tomando en cuenta los mínimos y máximos

indicados en la misma. Estos valores varían dependiendo del nivel actual del tanque.

4. Se acepta la indicación en pantalla (al aceptar la información en pantalla se inicia el suministro de CO₂ hacia el KG a preparar).

5. Se verifica en la pantalla tierra infusoria el arranque del suministro de CO₂ y la apertura de la válvula hacia el KG correspondiente. El resto de los tanques deberán permanecer con la válvula de entrada cerrada.

6. Se vacía el tambor de polvo ubicado en la parte inferior del filtro de mangas, en el cuarto de tanques KG y se oprime el botón selector de arranque de la estación (figura 3.8).



Figura 3.8. Selector de arranque en la esclusa de la estación de tierra/carbón.

7. Se verifica en la estación el arranque del suministro de aire hacia de esclusa y se agregan manualmente la cantidad de sacos (figura 3.9) indicados previamente por el operador en pantalla (paso 6).



Figura 3.9. Vaciado manual de sacos de tierra infusoria en la estación.

8. Una vez vaciado los primeros tres sacos, el operador realiza una inspección de la vía desde la esclusa hacia los tanques KG para descartar posibles fugas de tierra y se espera a que el nivel del sólido descienda por la esclusa.

9. Para finalizar, se desactiva el botón selector de arranque del equipo al terminar de agregar la totalidad de los sacos, se verifica en el monitor (pantalla de tanques KG), la finalización de la preparación, lo cual estará evidenciado una vez que la cadena automática se encuentre en el último paso de preparación.

3.1.3 Dosificación de tierra infusoria

Las precapas 1 y 2 son transferidas desde los tanques KG, al tanque dosimat. En cada tanque KG se mezcla o prepara un solo tipo de tierra infusoria (*Hyflo* y *Standar*), cuya mezcla será transferida al tanque dosimat según una receta (tabla 3.1). Tan pronto sea preparada la receta (varía según el grado de turbidez de la cerveza) de la precapa en el tanque dosimat, se transfiere al filtro.

Tabla 3.1. Receta para la formación de precapas y dosificación continua (bodyfeed).

Tierra infusoria	Precapa 1 (%)	Precapa 2 (%)	Bodyfeed (%)
Standar	0	30	30
Hyflo	100	70	70

La preparación de ambas precapas es una etapa fundamental y determinante en la filtración. Se debe asegurar un recubrimiento completo a todo lo largo de las velas distribuido lo más uniformemente posible.

Durante la filtración se dosifica continuamente tierra infusoria en lo que se denomina bodyfeed (dosificación continua). Este debe ser dosificado desde el mismo inicio de la filtración, dando como resultado que las partículas a filtrar se mezclen con partículas sueltas de tierra infusoria antes de alcanzar la precapa. Una vez que esta mezcla de partículas llegan a la precapa, la tierra infusoria suelta evita que se obstruyan los microcanales manteniendo al líquido fluyendo. La finalidad es retardar la obstrucción del filtro, aumentando el espesor del medio filtrante. La cantidad a dosificar depende del volumen filtrado (tabla 3.2).

Tabla 3.2 Relación de dosificación de tierra infusoria por volumen de cerveza (HL) filtrada.

Cerveza filtrada (HL)	Dosificación (g/HL)
800	140
1.600	120
2.400	100
3.200	80
4.000	60
8.500	40

15.000	20
17.500	15
20.000	10
25.000	5

3.1.4 Situación actual del proceso de filtración

En esta etapa se determinó el consumo de tierra infusoria y la situación actual de las corridas de filtración.

3.1.4.1 Consumo de tierra infusoria

El consumo de tierra infusoria tipo Hyflo y Standar se determinó mediante los gramos de tierra por hectolitros de cerveza (HL) filtrados por cada tipo de cerveza (Solera, Light, Ice y Solera Light) durante el mes de mayo 2009 hasta el mes de octubre del mismo año. Comparando éstos con los gramos de tierra teóricos por hectolitros filtrados (HL) (tabla 3.3), se obtuvo un promedio del consumo de tierra real y teórico para la filtración mensual sin tomar en cuenta el tipo de cerveza como se observa en la tabla 3.4.

Tabla 3.3. Consumo real y teórico de Hyflo y Standar en la filtración de los diferentes tipos de cervezas durante el año 2009.

Tipo de cerveza	Tipo de tierra infusoria	Consumo (g/HL)	Mes (2009)					
			Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Solera	HYFLO	Real	58,80	58,03	47,69	58,60	58,80	53,14
		Teórico	46,99	46,65	46,76	47,23	46,99	46,99
	STANDAR	Real	26,89	36,91	33,89	27,82	26,89	31,44
		Teórico	33,39	33,15	33,23	33,56	33,39	33,39
Light	HYFLO	Real	67,58	58,31	57,27	55,28	67,58	64,65
		Teórico	48,82	47,18	47,06	49,04	48,82	46,76
	STANDAR	Real	29,85	28,04	29,32	27,63	29,85	26,12
		Teórico	34,69	33,62	34,48	34,97	34,69	33,23
Ice	HYFLO	Real	80,85	62,42	61,15	54,93	80,85	70,86
		Teórico	47,23	56,11	60,04	47,38	47,23	49,57

	STANDAR	Real	25,97	33,21	28,31	25,11	25,97	31,08
		Teórico	33,56	39,87	42,67	33,67	33,56	35,51
Solera Light	HYFLO	Real	89,95	58,03	74,76	61,35	89,95	82,84
		Teórico	46,58	46,99	46,99	46,99	46,58	46,99
	STANDAR	Real	21,99	36,91	26,08	18,53	21,99	33,89
		Teórico	33,10	33,39	33,64	33,39	33,10	32,90

Tabla 3.4. Consumo real y teórico total promedio de Hyflo y Standar durante el año 2009.

Tipo de tierra infusoria	Consumo (g/HL)	Mes (2009)					
		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
HYFLO	Real	72,50	56,90	68,46	57,94	72,50	71,78
	Teórico	47,37	48,79	49,71	47,53	47,37	47,55
STANDAR	Real	26,19	32,10	27,18	25,69	26,19	28,95
	Teórico	33,66	34,69	35,58	33,80	33,66	33,64

3.1.4.2 Situación actual de las corridas de filtración

En esta etapa se realizó un seguimiento de las corridas de filtración para los filtros de cerveza (filtro 1 y 2), tomando en cuenta la duración de cada corrida de filtración y el volumen filtrado en cada una de ellas, como se muestra en la tabla 3.5, para el filtro 1 durante diciembre 2009. Se verificó el funcionamiento del filtro desde diciembre 2009 hasta abril 2010, teniendo como referencia que la capacidad de diseño de los filtros es 10.000 HL de cerveza filtrados.

Tabla 3.5. Corridas del filtro 1 durante diciembre 2009.

Corridas	Inicio		Fin		Volumen (HL)	Duración aproximada de la corrida (h)
	Hora	día	hora	día		
1	02:58	01	16:02	01	5.564	13
2	02:56	02	14:04	02	2.779	11
3	18:23	02	01:16	03	4.346	08
4	23:31	03	13:06	04	4.077	14

5	20:11	04	13:41	05	4.715	17
6	17:52	05	02:42	06	2.693	09
7	21:34	07	06:20	08	3.145	09
8	14:27	08	11:34	09	2.685	21
9	13:32	09	22:37	09	3.588	09
10	01:37	10	09:10	10	2.016	07
11	11:53	10	00:52	11	4.041	14
12	3:56	11	10:33	11	2.301	07
13	14:44	11	23:02	11	2.467	09
14	23:28	15	4:30	16	1.988	05
15	10:53	16	14:21	16	1.799	04
16	13:26	17	01:56	18	7.628	12
17	05:09	18	17:03	18	4.783	12
18	20:34	18	02:40	20	6.135	07
19	04:52	20	05:45	21	6.149	25
20	21:19	22	15:15	23	7.551	18
21	22:11	29	09:50	30	4.627	11

Las corridas de filtración entre el mes de diciembre 2009 y abril 2010 para los filtros de cerveza (filtro 1 y 2), se reportan en el anexo A (tabla A.1 a A.6).

3.2 Formulación de Ensayos Experimentales que Permitan el Control de Manera Rápida, la Preparación y Correcta Dosificación de Tierra en el Proceso.

Esta etapa inició con un seguimiento a la concentración de los tanques de preparación de tierra infusoria (tanques KG) (tabla 3.6). Se tomaron muestras durante una semana para verificar si la concentración se encontraba en el rango que establece las especificaciones técnicas del proceso; es decir, 50% v/v para la mezcla de Hyflo y Standar en los tanques KG.

Tabla 3.6. Concentraciones de tierra infusoria en los KG durante una semana.

	Lunes (30/11/09)	Martes (01/12/09)	Miércoles (02/12/09)	Miércoles (02/12/09)	Jueves (03/12/09)	Viernes (04/12/09)
KG2 (Standar)	50,00%	55,00%	34,30%	50,00%	50,00%	55,00%
KG3 (Hyflo)	51,00%	49,00%	45,00%	57,89%	52,30%	51,30%

Debido a las variaciones de la concentración que se observaron, se calculó la cantidad de agua grado plato que se tiene que agregar por cada saco de 22,7 kg de tierra infusoria para obtener una mezcla 20% peso-peso. La cantidad de agua grado plato se determinó con la siguiente ecuación:

$$\frac{Kg\ tierra}{Kg\ tierra + Kg\ H_2O} \times 100 = \%p/p \quad (\text{Ec-3.1})$$

Sustituyendo los valores:

$$\frac{22,7\ Kg}{22,7\ Kg + X} = \frac{20\% p/p}{100}$$

Despejando, se obtiene:

$$X = 90,8\ L\ H_2O$$

Luego se realizaron varias pruebas para determinar como primer punto, la referencia teórica de la concentración de la tierra en los tanques KG mediante un método de medición en laboratorio, debido a que los valores reales no coincidían con las especificaciones del proceso:

3.2.1 Método 1. Dejando decantar la mezcla de tierra infusoria en cilindros de 1.000 ml

Para ejecutar este método, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se pesaron 200 g de tierra infusoria en un beacker de 2.000 ml.
2. Se agregaron 800 g de agua a la tierra infusoria.
3. Se mezcló y agitó durante 15 minutos utilizando un agitador magnético.
4. Se trasvasó la mezcla en un cilindro de 1.000 ml.

5. Se dejó decantar por un tiempo aproximado de 24 horas.
6. Luego de observar que decantado toda la tierra infusoria, se tomó el volumen de tierra en la suspensión y se llevó esta medición en base a 100%.



Figura 3.10. Representación del método 1.

Se realizaron dos pruebas mediante este método por cuestiones de tiempo, debido a que la decantación ocurre en mínimo 24 horas.

Las concentraciones se calcularon de la siguiente manera:

- a. Se observó el volumen alcanzado por la mezcla (tierra infusoria + agua).
- b. Se tomó el volumen alcanzado por cada tipo de tierra infusoria después de decantar.
- c. Se calculó la concentración, mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Concentración (v/v)} = \frac{\text{volumen tierra infusoria (L)}}{\text{volumen mezcla (L)}} * 100 \quad (\text{Ec-3.2})$$

Tabla 3.7. Volúmenes de mezcla Hyflo y Standar obtenidos aplicando método 1.

Prueba	Tipo de tierra			
	Hyflo		Standar	
	Volumen mezcla (L)	Volumen tierra (L)	Volumen mezcla (L)	Volumen tierra (L)
1	900	590	900	480
2	900	620	900	520

3.2.1.1 Cálculo de la concentración para el método 1, prueba 1 (tierra tipo Hyflo)

Utilizando los datos de la tabla 3.7 y con el volumen alcanzado por la mezcla y el alcanzado por la tierra infusoria se cálculo de la concentración (% v/v) utilizando la ecuación 3.2:

$$\% \text{ Concentración (v/v)} = \frac{590 \text{ L}}{900 \text{ L}} * 100$$

Se obtiene:

$$\% \text{ Concentración (v/v)} = 65,55 \%$$

Esto corresponde a la concentración de tierra infusoria tipo Hyflo en la primera prueba. Los demás valores se reportan en la tabla 4.3. Es necesario, para la comparación de resultados, obtener el promedio y desviación estándar entre las pruebas. El promedio o media aritmética fue calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Promedio} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \text{Concentración } i \quad (\text{Ec-3.3})$$

El cálculo de la desviación estándar se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Desviación estandar} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\text{Concentración } i - \text{Promedio})^2} \quad (\text{Ec-3.4})$$

3.2.1.2 Cálculo del promedio y desviación estándar para el método 1 (tierra tipo Hyflo)

Utilizando los datos de la tabla 4.3 y con la concentración volumen-volumen de la prueba 1 y 2, se calculó el promedio utilizando la ecuación 3.3:

$$\bar{X} = \frac{65,55 + 69,00}{2}$$

Se obtiene el promedio:

$$\bar{X} = 67,28 \% \text{ v/v}$$

Una vez calculado el promedio y sustituyendo los datos de la tabla 4.7, en la ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2-1} [(65,55 - 67,28)^2 + (69,00 - 67,28)^2]}$$

La desviación estándar es igual a:

$$\sigma = 2,44 \% \text{ v/v}$$

3.2.2 Método 2. Dejando decantar la mezcla de tierra infusoria en viales de 50 ml

Para ejecutar este método, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se pesaron 10 g de tierra infusoria en un vial de 50 ml.
2. Se agregaron 40 g de agua a la tierra infusoria.
3. Se homogenizó la mezcla por 10 minutos aproximadamente.
4. Se dejó en reposo por 12 horas hasta que decantó la tierra infusoria.
5. Se tomó la medición del volumen de tierra en la suspensión.

Se realizaron dos pruebas al igual que con el método 1, debido que ocurría el mismo inconveniente, pero en este caso el tiempo de decantación era 12 horas aproximadamente y se necesitaba un método más eficiente. Se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 3.8. Volúmenes de mezcla Hyflo y Standar aplicando método 2.

Prueba	Tipo de tierra			
	Hyflo		Standar	
	Volumen mezcla (mL)	Volumen tierra (mL)	Volumen mezcla (mL)	Volumen tierra (mL)
1	45	30	45	25
2	45	32,5	45	27,5

Las concentraciones, promedio y desviación estándar; se calcularon de la misma manera que en el método 1. Los resultados se reportan en las tablas 4.4 y 4.7.

3.2.3 Método 3. Centrifugando la mezcla de tierra infusoria en viales de 50 ml

Para ejecutar este método, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se pesaron 10 g de tierra infusoria en un vial de 50 ml.
2. Se agregaron 40 g de agua a la tierra infusoria.
3. Se homogeneizó la mezcla por 10 minutos aproximadamente.
4. Se centrifugaron las muestras durante 10 minutos.
5. Se tomó la medición del volumen de tierra en la suspensión.

Se realizaron doce pruebas mediante este método. Se descartó debido a que no es similar al procedimiento de preparación de tierra infusoria.

Tabla 3.9. Volúmenes de mezcla Hyflo y Standar aplicando método 3.

Prueba	Tipo de tierra			
	Hyflo		Standar	
	Volumen mezcla (mL)	Volumen tierra (mL)	Volumen mezcla (mL)	Volumen tierra (mL)
1	45	30	47,5	27,5
2	45	30	40	22,5
3	45	30	45	27,5
4	50	35	45	25
5	42,5	30	47,5	30
6	45	30	42,5	25
7	45	30	42,5	25
8	47,5	32,5	42,5	25
9	47,5	32,5	50	30
10	45	32,5	47,5	27,5
11	50	30	50	30
12	45	30	50	30

Se calcularon las concentraciones de la misma manera que en el método 1. Los resultados se encuentran en las tablas 4.5 y 4.7.

3.2.4 Método 4. Centrifugando 50 ml de muestra de tierra infusoria

Para ejecutar este método, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se pesaron 100 g de tierra infusoria en un beacker de 500 ml.
2. Se agregó 400 g de agua a la tierra infusoria.
3. Se homogeneizó la mezcla por 10 minutos aproximadamente con el uso de un agitador magnético (figura 3.11).



Figura 3.11. Agitación de mezcla de tierra en método 4.

4. Se tomaron cuatro porciones en viales de 50 ml y centrifugaron durante 10 min (figura 3.12 y 3.13).



Figura 3.12. Centrifugación en método 4.

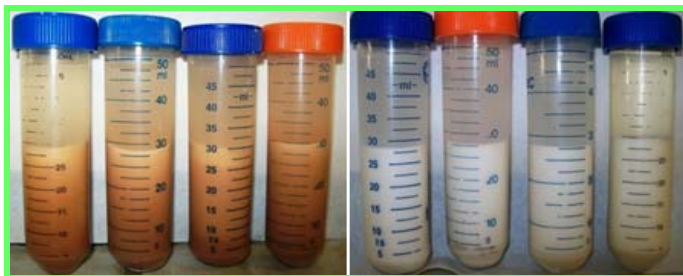


Figura 3.13. Concentraciones de tierra Standar y Hyflo en el método 4.

Se realizaron doce pruebas mediante este método. Los datos que se obtuvieron son los siguientes:

Tabla 3.10. Volúmenes de mezcla Hyflo y Standar aplicando método 4.

Prueba	Tipo de tierra			
	Hyflo		Standar	
	Volumen mezcla (mL)	Volumen tierra (mL)	Volumen mezcla (mL)	Volumen tierra (mL)
1	45	30	47,5	27,5
2	45	30	50	30
3	45	30	45	27,5
4	50	35	45	25
5	45	32,5	47,5	30
6	50	35	47,5	27,5
7	50	35	47,5	27,5
8	50	30	47,5	27,5
9	50	30	50	30
10	40	25	47,5	27,5
11	40	25	42,5	25
12	40	25	42,5	25

Las concentraciones, promedio y desviación estándar; se calcularon de la misma manera que en el método 1. Los resultados se reportan en las tablas 4.6 y 4.7.

3.3 Mejoras al Sistema de Dosificación de Tierra Infusoria

El sistema de preparación de la mezcla de tierra infusoria actual se evaluó encontrándose varios puntos de mejoras sencillos de aplicar, que no representan costos importantes que dificulten su aplicación y que ofrecen grandes beneficios para el proceso.

3.3.1 Implantación de placa orificio

La preparación de tierra en los tanques KG, requiere la dosificación de agua grado plato, que es adicionada por una tubería de 2 pulgadas de diámetro, el flujo de agua grado plato es alto con respecto al tiempo de reacción del nivel automático de los tanques KG, debido a que el agua grado plato pasa el nivel requerido y el sistema no registra a tiempo, para accionar la válvula de entrada, por lo tanto se presentan desviaciones entre el volumen total de mezcla preparada y el volumen teórico. El volumen teórico es calculado por el sistema, a partir de la cantidad de sacos de tierra infusoria a preparar. Para reducir el flujo de agua grado plato, se propone implantar una placa orificio en la entrada de agua de cada tanque KG.

3.3.2 Disminución del tamaño de la rejilla de la entrada de la esclusa

Para la preparación de tierra infusoria en los tanques KG, los sacos de tierra son agregados de forma manual en la esclusa, como se puede observar en la figura 3.14. Ésta permite transportar la tierra por medio de aire a los tanques KG, consta de un tamiz en su entrada para evitar la introducción de cualquier sólido que pueda obstruir la tubería, como guantes, lentes, papeles

provenientes de sacos vacíos de tierra, etc, como se puede observar en la figura 3.14.



Figura 3.14. Tamiz actual en la entrada de la esclusa.

El tamaño del tamiz actual no es el adecuado para evitar la entrada de los sólidos mencionados, por lo tanto se propone la implantación de un tamiz de menor tamaño, aproximadamente 10 mm de luz y un diámetro de alambre de 3,15 mm de acero inoxidable para mantener condiciones asépticas como se observa en la figura 3.15.



Figura 3.15. Tamiz propuesto en la entrada de la esclusa.

3.3.3 Determinación de la concentración de tierra infusoria en los tanques KG

Es necesario conocer la concentración de la mezcla de tierra infusoria en los tanques KG, debido a que una vez preparada la mezcla, debe tener una concentración de 50% volumen-volumen, requeridos para el óptimo funcionamiento del filtro. Por diversas circunstancias se puede preparar la tierra de una manera incorrecta ya sea por atascamiento de papel en la exclusiva, transferencia de mayor cantidad de agua grado plato, por error humano en la adición de los sacos de tierra, etc. Por la razón expuesta se debe medir la concentración de la mezcla de tierra en los tanques, cada vez que se prepare tierra infusoria, para garantizar una buena concentración al momento de dosificarse a los filtros.

3.4 Experimentos de Laboratorio y Pruebas en Campo para el Proceso de Regeneración de Tierra Infusoria

Para llevar a cabo el diseño conceptual de un proceso de regeneración de tierra infusoria, fue necesaria la realización de ensayos de laboratorio y pruebas de campo.

3.4.1 Ensayos de laboratorio

Para establecer un proceso de lavado que permita la reutilización de la tierra infusoria, se tomó como punto de referencia un ensayo realizado en Cervecería Polar C.A, planta oriente, donde se evaluó la tierra infusoria ya utilizada en las corridas de los filtros, luego se lavó con agua a 85 °C, se decantó y se sometió la tierra a dos lavados con soda cáustica al 3% p/v, luego se le dosificó agua fresca y se neutralizó usando dos procedimientos; neutralización ácida empleando ácido sulfúrico y otra empleando dióxido de carbono.

Se iniciaron las pruebas tomando la muestra de tierra infusoria utilizada en las corridas de los filtros (tierra destinada a los tanques de almacenamiento de tierra usada); como se mencionó en el párrafo anterior, se partió de la metodología empleada en Cervecería Polar C.A, planta oriente para el desarrollo de las pruebas aunque en este caso se lavó la tierra con soda al 2 y 3% para comparar resultados y verificó si existe la posibilidad de utilizar menos cantidad de soda con la concentración de 2% peso-volumen. La neutralización que se realizó fue empleando ácido sulfúrico, ya que con el análisis de la prueba realizada anteriormente, se demostró que ésta es la más eficiente [5]. La toma de la muestra se realizó al momento de descargar la tierra a los tanques de almacenamiento de tierra usada, después la muestra se llevó al laboratorio y se procedió a darle el tratamiento para su regeneración.

Para la prueba se tomaron dos muestras de tierra infusoria usada, cada una de 200 g en un beaker de 500 ml, se llevó este peso a 400 g con agua previamente calentada hasta 85 °C, se colocó la mezcla en la plancha de calentamiento y agitación por un lapso de 10 minutos, durante este período se mantuvo la temperatura, para luego decantar por 20 minutos y extraer el agua caliente por succión con el uso de una pipeta volumétrica de 50 ml, tratando de no arrastrar los sólidos. Este método se aplicó para la extracción del sobrenadante durante todo el ensayo.

Seguidamente, se le adicionó a una de las muestras soda cáustica al 3% p/v y a la muestra restante soda cáustica al 2% p/v, a una temperatura de 60 °C y se colocó en una plancha de calentamiento y agitación.

La temperatura se mantuvo en un rango de 60 y 75 °C. Se determinó la concentración de soda usando la conductividad de la misma; por ejemplo en el caso de la soda cáustica al 3% p/v la conductividad de ésta se encuentra en un rango de 110 y 115 milisiemens (mS).

Con respecto al tiempo de agitación con soda, el tiempo que se empleó fue de 20 minutos ya que mediante las pruebas anteriores [5] se determinó que con este tiempo de agitación, se obtenían mejores resultados, como se observa en el anexo B (tabla B.1 y B.2). La soda cáustica se usa con la finalidad de limpiar la tierra infusoria, ya que ésta elimina las levaduras y materia orgánica presentes en ella. De igual forma se decantó por un lapso de 15 minutos para extraer la soda.

Luego del primer lavado con soda, se le adicionaron 200 g de agua fresca (agua filtrada) a 20 °C aproximadamente, a cada muestra. Se colocaron nuevamente en la plancha de agitación sin calentamiento por un tiempo de 5 minutos; el objetivo del agua fresca luego del lavado con soda, es arrastrar cualquier remanente de soda que contenga la tierra infusoria. Posteriormente, se dejó decantar por 20 minutos para luego extraer el sobrenadante.

Con el propósito de garantizar mayor limpieza y eliminación de materia orgánica, se agregan nuevamente 200 g de soda a cada muestra al 3 y 2% p/v, respectivamente; manteniendo las mismas condiciones que en el primer lavado. De igual manera se agregaron 200 g de agua a 20°C a cada muestra, se agitó por un período de 5 minutos, se dejó decantar por 20 minutos y se extrajo el agua.

Luego de lavar la tierra infusoria con agua caliente, dos veces con soda cáustica y agua fresca, se procedió a la neutralización de las muestras de tierra infusoria regenerada. Cada muestra se llevó a un pH entre 4,5 y 6 por ser un pH que no afecta las características de la cerveza durante su filtración, además por ser el rango de pH de la mezcla de tierra infusoria nueva.

Para la neutralización, primero se le adicionó 200 g de agua grado plato a cada muestra de tierra infusoria. Se neutralizó con ácido sulfúrico (H_2SO_4 1N). En cada prueba se registró el volumen de ácido gastado y el pH

alcanzado para cada neutralización. En esta fase ya la tierra infusoria esta regenerada.

Las muestras de agua caliente, agua del primer y segundo lavado con soda al 3 y 2% p/v, agua del primer y segundo lavado con agua fresca y neutralización ácida fueron almacenadas en envases de plástico cerrados conservados en frío, para luego realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Todas las pruebas llevadas a cabo se realizaron siguiendo la misma metodología, lo único que se varió fue la concentración de soda cáustica como se especificó anteriormente.

Al finalizar cada prueba se observó una disminución de volumen de sólidos de aproximadamente 30%; que corresponde a levaduras, materia orgánica, carbón y tierra infusoria que se pierde durante las agua de lavado.

3.4.2 Métodos de análisis de las aguas de lavado (sobrenadante) de la tierra infusoria

Para determinar la efectividad del tratamiento de regeneración de tierra infusoria, fue necesario realizar análisis a las aguas de lavado: análisis de la demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos.

3.4.2.1 Determinación de pH

El pH se determinó a todas las aguas de lavado (agua caliente, primer lavado con soda, después del primer lavado con soda, segundo lavado con soda y después del segundo lavado con soda) y también al momento de neutralizar la muestra de tierra infusoria regenerada. Anteriormente a todos estos análisis, se le determinó pH a una serie de muestras de los tanques KG (tierra nueva) para establecer un rango de pH permitido según las especificaciones del proceso.

3.4.2.1.1 Procedimiento empleado para determinar pH

1. Se retiró el electrodo y el compensador de temperatura de la solución de almacenamiento y se enjuagó con agua destilada.
2. Se insertó el electrodo y el compensador de temperatura en el recipiente que contenía la muestra.
3. Se oprimió el botón para la medición del pH.
4. Se esperó hasta un valor estable (dejó de parpadear la flecha del pH).
5. Se registró el valor de pH indicado en la pantalla.
6. Se secaron los electrodos, se enjuagaron de nuevo con agua destilada y se introdujeron en la solución de almacenamiento.

3.4.2.2 Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)

Este análisis se le realizó a cada una de las aguas de lavado de tierra infusoria y una muestra de tierra nueva proveniente de los tanques KG.

3.4.2.2.1 Procedimiento empleado para la determinación de la DQO

1. Se encendió el reactor (Figura 3.16) y precalentó a 150 °C.



Figura 3.16. Reactor de DQO.

2. Se tomó el volumen de la muestra y se diluyó en un balón aforado. Para la determinación del factor de dilución, se efectuaron varias diluciones pruebas de la muestra para poder hacer la lectura del punto final práctico (tabla 3.11),

resultando la preparación de soluciones madres de 5 mL de muestra enrasando a 100 mL con agua destilada y de 20 mL de muestra enrasando a 100 mL con agua destilada.

Tabla 3.11. Factor de dilución para la determinación de la DQO.

Lavados	Factor de Dilución
Agua Caliente	20
1 ^{er} lavado con soda	20
Después del primer lavado con soda	20
2 ^{do} lavado con soda	5
Después del segundo lavado con soda	5
Neutralización H ₂ SO ₄ 1N	5
Tierra infusoria nueva	5

3. Se seleccionó el vial de reacción adecuado, según la concentración de DQO estimada en la muestra a analizar; los viales de reacción vienen en dos rangos de concentración (0-150 y de 0-1500 mg/L). En el caso de las primeras cuatro muestras (agua caliente, primer lavado con soda, después del primer lavado con soda, segundo lavado con soda y después del segundo lavado con soda), se utilizaron los viales de alto rango (0-1500 mg/L) y para el resto de las muestras (después del segundo lavado con soda, neutralización ácida y tierra infusoria nueva), los viales de bajo rango (0-150 mg/L).

4. Se destapó el vial de reacción y se adicionaron 2 mL de muestra.

5. Se preparó el blanco de la misma forma como se hizo para la muestra, pero adicionando 2 mL de agua destilada.

6. Se tapó nuevamente el vial de reacción y se agitó para homogenizar.

7. Se introdujeron los viales preparados en las cavidades del equipo digestor el cual fue precalentado previamente.

8. Se inició el programa de digestión, cuenta regresiva desde 120 minutos hasta 0. Al finalizar la digestión tanto para el blanco como para la muestra (120 minutos), se retiraron los tubos del digestor y se colocaron en una gradilla para alcanzar la temperatura ambiente.

10. Se realizó la medición de la concentración de DQO (mg/L) en el colorímetro.

11. Se introdujo el tubo de reacción del Blanco de digestión en la cámara de medición.

12. Se presionó la tecla ZERO, para corregir la señal del equipo.

13. Se retiró el tubo del Blanco e introdujo el tubo de reacción correspondiente a la muestra, se oprimió la tecla READ y tomó la concentración en mg/L de DQO.

14. Se realizaron los ensayos para cada agua de lavado por duplicado y se calculó un promedio.

3.4.2.3 Determinación de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos

Este análisis se le realizó a cada una de las aguas de lavado de tierra infusoria usada proveniente de los filtros.

3.4.2.3.1 Procedimiento empleado para la determinación de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos

1. SE PREPARÓ EL DISCO DE FILTRADO.

1.1. Se insertó el disco con la cara rugosa hacia arriba en el aparato de filtrado.

1.2. Se hizo vacío y lavó el disco con tres volúmenes sucesivos de 20 mL de agua destilada.

1.3. Se continuó la succión hasta eliminar todo vestigio de agua y se desechó el agua de lavado.

1.4. Se trasladó el filtro a una plancheta de aluminio o de acero inoxidable.

- 1.5. Se secó en el horno a (103–105) °C, durante una hora.
- 1.6. Se incineró a (550 ± 50) °C en el horno de mufla para medir sólidos volátiles.
- 1.7. Se enfrió en el desecador para equilibrar la temperatura durante 20 minutos.
- 1.8. Se pesó el filtro en la balanza analítica con 0,0001 g de precisión.
- 1.9. Se repitió el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor de 0,0005 g.
2. SE SELECCIONÓ EL FILTRO Y TAMAÑOS DE LA MUESTRA.
3. SE ELIGIÓ UN VOLUMEN DE MUESTRA QUE PROPORCIONE ENTRE 2,5 Y 200 MG DE RESIDUO SECO.
4. SE LLEVÓ LA MUESTRA A PESO CONSTANTE.
 - 4.1. Se filtró el volumen medido de muestra (bien mezclada), mediante un filtro de vidrio.
 - 4.2. Se lavó con tres volúmenes sucesivos de 10 mL de agua destilada, permitiendo el drenaje completo del filtro entre los lavados.
 - 4.3 Se succionó durante tres minutos, después de terminar el filtrado.
 - 4.4. Se transfirió el filtro a una plancheta de aluminio o acero inoxidable.
 - 4.5. Se secó durante una hora en el horno a (103 – 105) °C.
 - 4.6. Se enfrió en el desecador para equilibrar la temperatura, durante 20 minutos.
 - 4.7. Se pesó en la balanza analítica con 0,0001 g de precisión.

3.4.3 Métodos de análisis para la tierra nueva, usada y regenerada

Los métodos se enfocaron en los análisis de sólidos totales, fijos, volátiles y pruebas microbiológicas.

3.4.3.1 Sólidos totales, fijos y volátiles

Los ensayos de sólidos totales, fijos y volátiles se aplicó a la tierra infusoria nueva (preparada en tanques KG), a la tierra usada (tanques morochos) y por último a una muestra de tierra regenerada; tanto a la tierra lavada con soda cáustica al 3% p/v como a tierra regenerada con soda al 2% p/v.

3.4.3.1.1 Procedimiento empleado para determinar sólidos totales, volátiles y fijos

1. Se pesó una cápsula de porcelana en una balanza analítica.
2. Se transfirieron 5 g de una muestra (bien homogenizada), a la cápsula de porcelana previamente pasada.
3. Se secó la muestra durante dos horas en la estufa a 103–105°C.
4. Se dejó enfriar la cápsula a temperatura ambiente durante aproximadamente 2 minutos.
5. Se pesó en la balanza analítica (la diferencia de peso representó los sólidos totales).
6. Se incineró el residuo producido en el paso 4, en la mufla durante 15 a 20 min a (550±50°C).
7. Se enfrió la cápsula al aire hasta que disminuyó su calor y transfirió a un desecador durante 20 minutos hasta alcanzar la temperatura ambiente.
8. Se pesó en la balanza analítica.
9. Se calcularon los sólidos volátiles y fijos, mediante las siguientes ecuaciones:

$$S_v = \frac{(A-B) \cdot 1000 \cdot 1000}{V_m} \quad (\text{Ec.-3.5})$$

$$S_f = \frac{(B - C) \cdot 1000 \cdot 1000}{V_m} \quad (\text{Ec.-3.6})$$

Donde:

Sv: Sólidos volátiles, en mg/L.

A: peso del residuo seco + peso de la cápsula antes de incineración, en g.

B: peso del residuo seco + peso de la cápsula después de incineración, en g.

1000: factor, 1000 mg/g.

1000: factor, 1000 mL/L.

Vm: volumen empleado de la muestra, en mL.

Sf: sólidos fijos, en mg/L.

C: peso de la placa, en g.

3.4.4. Análisis microbiológicos para la tierra infusoria regenerada

Las pruebas microbiológicas se realizaron a los últimos ensayos, la razón está fundamentada en que al inicio de los ensayos no se sabía con exactitud qué tan eficaz era el tratamiento. El propósito de estos análisis es el de verificar si en la tierra infusoria regenerada quedan restos de levaduras y si existe crecimiento de bacterias que pueden ser nocivas a la cerveza.

Para llevar a cabo estos análisis fue necesario estandarizar los métodos microbiológicos adaptados a la tierra infusoria. En cada análisis se tomó una muestra control y los ensayos realizados fueron:

1. Recuento total de mesófilos (TGEA).
2. Mohos y levaduras (PDA).
3. Bacterias anaerobias: lactobacilos y pediococos (NBB).

3.4.4.1 Procedimiento empleado para sembrar los medios de cultivo

1. Se homogenizó la muestra de tierra infusoria regenerada antes de sembrarla.
2. Se sembró en superficie 0,5 mL de muestra y esparció empleando una espátula de Drigalski.
3. Se permitió que la muestra fuera absorbida por el agar, colocando la placa abierta en la campana durante 15 a 20 minutos, cuidadosamente para evitar que no ocurra contaminación secundaria por manipulación.

4. Se volteó la placa hacia abajo e incubó según el tiempo para cada análisis (tabla 3.12).
5. Se cuantificó el número de unidades formadoras de colonias (ufc) y reportó los resultados como ufc/0,5 mL.

Tabla 3.12. Tiempo de incubación de los empleados

Medio	Tiempo (días)	Temperatura (°C)
TGEA	2	37
PDA	5	28
NBB	5	28

Cabe destacar que el procedimiento fue el mismo para sembrar cada uno de los medios, dada la naturaleza de la muestra el procedimiento para sembrar se realizó de tres maneras, debido a que no se sabe si la muestra está sobrecargada de microorganismos.

1. Se diluyó un mililitro de la muestra en cien mililitros de agua destilada.
2. Se diluyó un mililitro de la muestra en cincuenta mililitros de agua destilada.
3. Se sembró muestra pura.

3.4.5 Pruebas en campo

Las pruebas de campo se dividieron en dos fases: primero se realizaron los lavados de tierra usada en un tanque piloto y segundo se dosificó la tierra regenerada al proceso de filtración utilizándose en las corridas.

3.4.5.1 Lavados de tierra usada en tanque piloto

Los lavados se llevaron a cabo en el área de preparación de tierra infusoria (tanques KG), específicamente en el tanque KG1, cuya capacidad volumétrica es 2.000 L, altura 1,60 m y diámetro 1,26 m. Debido a esto, se

tomaron aproximadamente 1.000 L de tierra usada para regenerar. El tanque KG1 consta de tuberías para suministros de agua filtrada, agua caliente, soda caústica al 50% peso-peso, CO₂, agua grado plato y descarga de mezcla de tierra infusoria hacia los filtros. También consta de un agitador de cuatro aspas, toma muestras, medidor de nivel automático, sistema de recirculación compuesto por una bomba centrífuga ubicada la succión a 1,40 m del interior del tanque y una tubería de desagüe a 0,40 m del interior del tanque (figura 3.17).

El proceso de regeneración en campo (tanque piloto), cumplió con una serie de etapas de vital importancia (se tomó como base el lavado de tierra en laboratorio). Este proceso se inició con la extracción de la tierra usada del filtro, seguido por el traslado de tierra al tanque KG1, luego se llevó a cabo una serie de lavados (agua caliente, soda caústica y agua fresca), para luego pasar a la etapa de neutralización. Todas estas etapas se realizaron manteniendo las condiciones necesarias para obtener una tierra con la calidad que se requiere en el proceso de filtración.



Figura 3.17. Tanque KG1 (tanque piloto).

Se realizaron en total diez pruebas de lavados de tierra usada durante las corridas de filtración, en los cuales se llevó a cabo el procedimiento de traslado de tierra usada, lavado y preparación de tierra regenerada:

1. Extracción de tierra usada: luego de cada corrida de filtración, se envía la tierra infusoria usada a los tanques de almacenamiento de tierra usada para posterior envío a CEPAREL. En esta fase una parte de la tierra (aproximadamente 1.000 L) que se envía a dicho tanques, fue extraída por una tubería alterna instalada en el filtro 2 de cerveza. La extracción de la tierra se realizó con alta precaución, ya que el sistema se manejó en manual y con alta presión; se aseguró de que el filtro este en el paso antes de envío a los tanques de almacenamiento (paso 21, anexo E), luego se cerró en manual la válvula A, mostrada en la figura 3.18 (cierra el paso de tierra usada hacia su destino), posteriormente, se activó por pantalla el cambio de paso del filtro y se fue abriendo poco a poco la válvula B, la cual abre el paso hacia el recipiente de almacenamiento de tierra llamado tótem, donde se trasladó al tanque piloto (KG1). La tierra infusoria se transportó por bombeo neumático de 6 bar hacia los tanques de almacenamiento, pero para efectos de la extracción, para pruebas de lavado, se despresurizó el filtro hasta 3 bar aproximadamente. Una vez finalizada la extracción de los 1.000 L de sólidos a lavar, se cerró la válvula B y se continuó el envío de tierra a los tanques de almacenamiento (se abrió válvula A) y siguió con la cadena de filtración en automático.

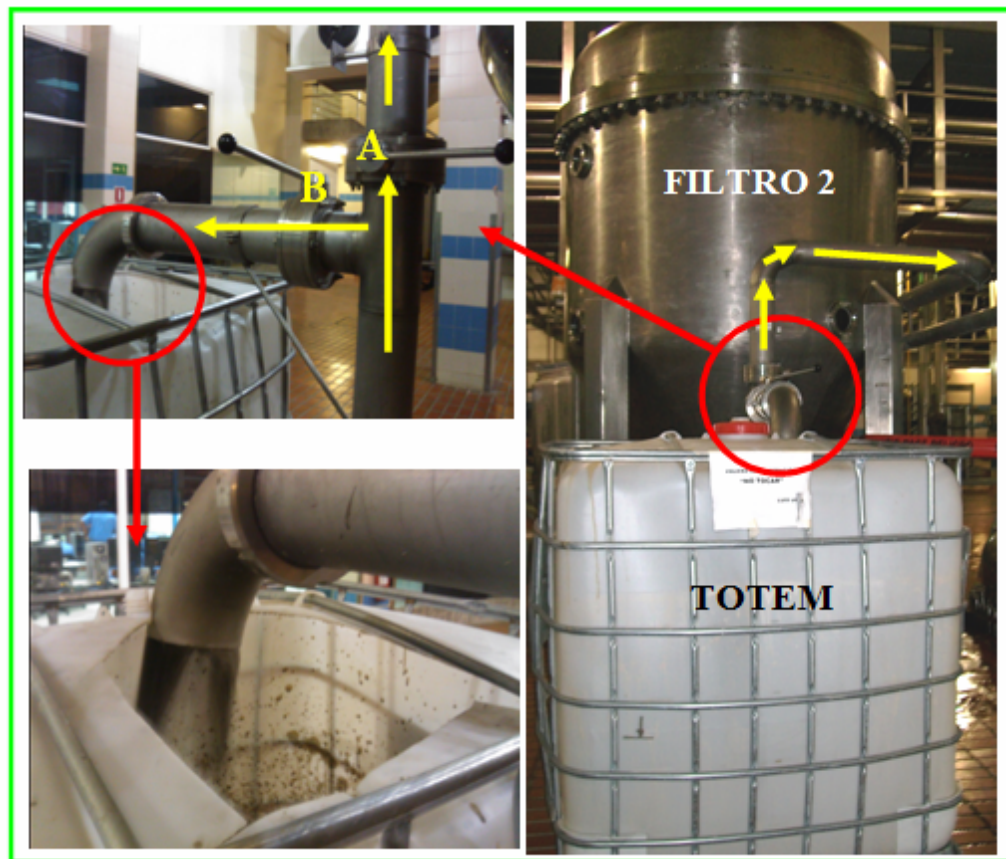


Figura 3.18. Sistema de extracción de tierra infusoria usada.

2. Traslado de la tierra usada al tanque piloto: en esta fase se trasladó la tierra infusoria usada al tanque KG1. El tótem se arrastró con la ayuda de un montacargas manual (figura 3.19), pero como la dimensión de éste recipiente, es mayor que la puerta de entrada al cuarto de preparación de tierra (lugar donde se encuentra el tanque KG1), se transportó el tótem hasta la puerta y se envió la tierra infusoria por medio de una bomba neumática al tanque (figura 3.20).



Figura 3.19. Traslado de tierra usada hacia cuarto de tanques KG.

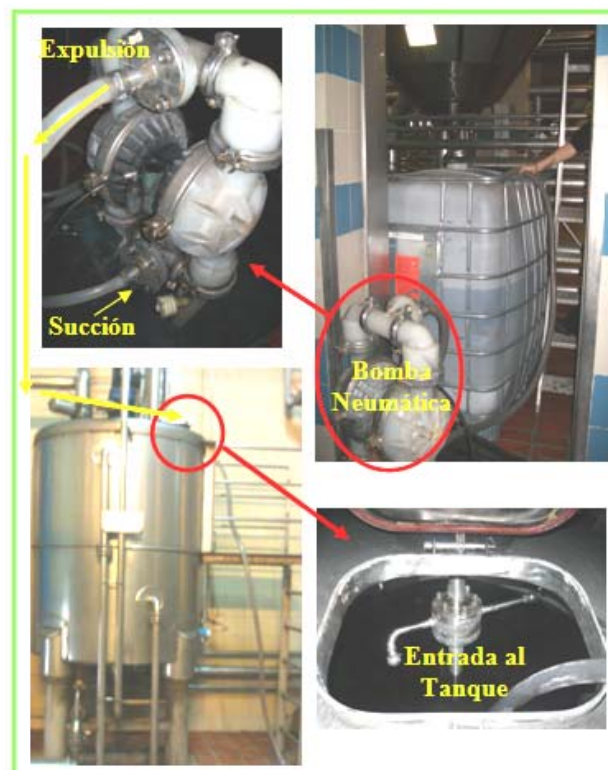


Figura 3.20. Dosificación de tierra infusoria usada al tanque KG1.

3. Lavado con agua caliente: Previo al lavado con agua caliente, fue necesario tomar muestras de tierra usada para posteriores análisis, medir concentración y sacar el sobrenadante de la tierra usada (sólidos). Una vez que se tiene la tierra en el tanque y se ha extraído el sobrenadante se agregaron 1.000 L de agua caliente por la parte superior del tanque, para un volumen total de aproximadamente 1.600 L (ya que cuando se extrae el sobrenadante, los 1.000 L de sólidos están a una concentración y por ello no son 1.000 L de tierra sólida). El agua caliente se recircula (seguimiento de flechas rojas en figura 3.17) durante diez minutos, usando una bomba centrífuga (figura 3.21). Antes de iniciar la recirculación se cerró la válvula que evita el paso de líquido a la bomba de dosificación de tierra; se abrió la válvula de entrada de la succión de la bomba, se encendió la bomba de recirculación por 10 minutos y al terminar se apagó y cerró la válvula de succión. Luego se agitó por 15 minutos, para posteriormente dejar en reposo durante 4 horas con la finalidad de que la tierra por decantación, se deposite en el fondo del tanque, y sea posible extraer el agua por la parte superior con el uso de la misma bomba neumática que se utilizó, para el envío de la tierra usada al tanque (las mangueras de la bomba se intercambian, es decir, la de succión pasa a ser de expulsión y viceversa). La razón por la cual no se extrae el sobrenadante por el desagüe que se encuentra en uno de los laterales del KG1, es porque no estaba ubicado a la altura indicada, por ello se realizó de forma manual. Este procedimiento se repitió para la extracción del sobrenadante durante todos los lavados.



Figura 3.21. Extracción del sobrenadante después de cada lavado.

4. Primer lavado con soda cáustica: una vez realizado el lavado con agua caliente, se agregaron 1.000 L de agua caliente y fue añadiendo soda cáustica al 50 % peso-volumen, recirculando hasta alcanzar una concentración de soda de 3% peso-volumen; ésto se logró tomando una muestra en un beaker y llevándola a medir la conductividad al laboratorio, deteniéndose la recirculación hasta alcanzar una conductividad de $115 \mu\text{S}$ a una temperatura de 60°C (no se utiliza soda al 3 % peso-volumen directamente ya que la tubería que se encuentra en el tanque piloto es de suministro de soda de concentración 50 % peso-volumen). Aunque según los siguientes cálculos, se tiene la cantidad de soda a dosificar, partiendo de los ensayos de laboratorio, no se debe confiar en dicho valor, ya que no es la misma muestra de tierra infusoria usada y también el medidor de nivel del tanque es lento en reaccionar:

A partir de la siguiente ecuación:

$$C1 * V1 = C2 * V2 \quad (\text{Ec.-3.7})$$

Despejando el V1 de la ecuación 3.7:

$$V1 = \frac{C2 * V2}{C1 * \rho} \quad (\text{Ec.-3.8})$$

Donde:

C1: concentración de soda disponible; 50 p/p

C2: concentración de soda que se quiere obtener; 3 p/v

V1: volumen de soda que se desconoce (L)

V2: volumen de agua caliente; 1000 L

ρ : densidad de la soda cáustica; 1,4742 g/mL

Sustituyendo:

$$V1 = \frac{3 \frac{\text{p}}{\text{v}} * 1.000\text{L}}{50 \frac{\text{p}}{\text{p}} * 1,4742\text{g/mL}}$$

Resultando:

$$V1 = 40,70 \text{ L soda cáustica al } 3\% \text{ p/v}$$

Alcanzada la concentración requerida, se agitó durante veinte minutos de manera uniforme, se dejó sedimentar durante 3 horas para separar la tierra infusoria del sobrenadante, realizándose mediante el mismo procedimiento expuesto en el proceso de regeneración de tierra (lavado de agua caliente). Se tomaron muestras del sobrenadante para realizar análisis de DQO.

5. Primer lavado con agua fresca (después del primer lavado con soda cáustica): luego de extraer toda la soda, se procedió a llenar el tanque con agua filtrada (1.000 L). La mezcla de tierra con agua filtrada, se agitó por un período de diez minutos; luego se dejó decantar por 4 horas, seguidamente se extrajo el agua con la bomba neumática. La función del

agua filtrada es arrastrar cualquier remanente de soda que pueda estar en la tierra. Al finalizar se tomaron muestras para análisis de DQO.

6. Segundo lavado con soda caústica: el procedimiento para esta actividad se realizó de la misma manera que en el primer lavado de soda caústica.

7. Segundo lavado con agua fresca (después del segundo lavado con soda caústica): este paso se realizó de la misma manera que el primer lavado con agua fresca.

8. Preparación de la tierra según especificaciones de proceso: una vez culminado el proceso de lavado de tierra infusoria, se tomó una muestra de tierra regenerada y se llevó al laboratorio para medir concentración y de acuerdo a dicho valor, se dosificó agua grado plato hasta llegar a la concentración según las especificaciones de proceso (concentración 50% volumen-volumen). La forma de medir la concentración volumen-volumen, se realizó centrifugando la muestra de tierra infusoria por medio de viales de 50 ml (figura 3.22).



Figura 3.22. Vial antes de centrifugar.

9. Neutralización con ácido sulfúrico: en esta fase se dosificó ácido sulfúrico grado alimenticio al 98% hasta alcanzar un pH entre 5,40 y 6, que es el pH de la mezcla de tierra infusoria nueva.

La cantidad de ácido sulfúrico se determinó mediante el siguiente procedimiento:

1. Se tomó una muestra de 250 mL del tanque piloto (KG1) en un beaker de 500 mL.
2. Se introdujo un agitador magnético y se colocó en la plancha de agitación.
3. Después de homogenizar, se midió el pH inicial.
4. Se llevó el pH entre 5,40 y 6,00 con ácido sulfúrico al 10 N.
5. Se tomó el volumen usado de ácido y se realizaron los siguientes cálculos tomando como referencia la prueba de lavado 3.

Datos:

Volumen de ácido sulfúrico (10N) usado= 2,4 mL

Volumen de tierra regenerada (muestra)= 250 mL

Volumen de tierra regenerada contenida en el tanque piloto (KG1)=524L

Donde:

$$\frac{524L}{0,25 L} * 0,0024 L H_2SO_4(10N) = 5,03 L$$

Sabiendo que:

$$Equivalentes = N * Litros de H_2SO_4 \quad (Ec.-3.9)$$

Sustituyendo:

$$Equivalentes = 10N * 5,03 L$$

Se obtiene:

$$Equivalentes = 50,3 equivalentes$$

El peso equivalente para el ácido sulfúrico (H₂SO₄), se obtiene por:

$$Pe = \frac{PM}{2} \quad (\text{Ec.-3.10})$$

Sustituyendo el peso molecular:

$$Pe = \frac{98,08 \text{ g/mol}}{2}$$

$$Pe = 49,04 \text{ g/equivalente}$$

Como:

$$\text{Equivalentes} = \frac{\text{g soluto}}{Pe} \quad (\text{Ec.-3.11})$$

Despejando los gramos de soluto:

$$\text{g soluto} = \text{Equivalentes} * Pe \quad (\text{Ec.-3.12})$$

Sustituyendo:

$$\text{g soluto} = 50,3 \text{ equivalentes} * 49,04 \text{ g/equivalentes}$$

Se obtiene:

$$\text{g soluto} = 2.466,71 \text{ g}$$

Sabiendo que el porcentaje peso-peso viene dado por la ecuación:

$$\% \frac{p}{p} = \frac{m_{\text{sto}}}{m_{\text{sol}}} * 100 \quad (\text{Ec.-3.13})$$

Despejando la masa de la solución:

$$m_{\text{sol}} = \frac{m_{\text{sto}}}{\% \frac{p}{p}} \quad (\text{Ec.-3.14})$$

Sustituyendo la masa del soluto:

$$m_{\text{sol}} = \frac{2.466,71 \text{ g}}{98} * 100$$

$$m_{\text{sol}} = 2.517,05 \text{ g}$$

La densidad viene dada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec.-3.15})$$

Despejando el volumen:

$$v = \frac{m}{\rho} \quad (\text{Ec.-3.16})$$

Sustituyendo la masa de ácido gastado y su densidad:

$$v = \frac{2.517,05 \text{ g}}{1,84 \text{ g/mL}} * \frac{1 \text{ L}}{1.000 \text{ mL}}$$

El volumen de ácido a utilizar es:

$$v = 1,37 \text{ L de } H_2SO_4 \text{ al } 98\%$$

Luego de obtener el volumen a utilizar, se agregó en un recipiente de 20 L que contenía un asiento de 10 L de agua filtrada. Posteriormente, se adicionó el ácido en el tanque KG1 como se muestra en la figura 3.23.



Figura 3.23. Dosificación de ácido sulfúrico en el KG1.

La tierra regenerada fue sujeta a análisis de laboratorio, tanto fisicoquímicos (DQO) como microbiológicos. En cuanto a microbiología, se sembraron muestras de tierra usada y regenerada con la finalidad de observar el comportamiento de la tierra regenerada y decidir si era posible dosificar la tierra al proceso de filtración; los medios utilizados para estos análisis fueron: mesófilos totales (TGEA), mohos y levaduras (PDA) y bacterias anaerobias (NBB). Los resultados de los diferentes análisis se reportan la tabla 4.17 y figura 4.17.

El porcentaje de tierra regenerada se calculó en base a los datos de la tabla 3.13 (no se presentan los lavados 1, 2 y 3 porque fueron lavados de prueba).

Tabla 3.13. Volumen y concentración de tierra infusoria usada y regenerada durante los lavados.

Pruebas en campo	LAVADOS						
	4	5	6	7	8	9	10
Tierra usada en el tótem (L)	1.120	1.534	1.117	1.180	1.381	1.693	1.510
Concentración de tierra usada en el tótem (% v/v)	40	30	40	40	32	38	38,42
Tierra usada (L)	448	460,20	446,80	472	441,92	643,34	580
Tierra regenerada + agua (L)	296	336	394	413	361	586	500
Concentración de tierra regenerada (% v/v)	75	65,80	65	70	74,35	67,55	71,11
Tierra regenerada (L)	222	221,09	256,10	289,10	268,40	395,84	355,55

3.4.5.2 Dosificaciones de tierra regenerada al filtro

Se realizaron nueve dosificaciones de tierra al filtro, de las cuales, en las primeras cuatro se dosificó al tanque dosimat, 100% tierra regenerada y se realizaron las pruebas en diferentes corridas de filtración; tomando en cuenta que los resultados no fueron los más óptimos (figura 4.18 a 4.21), se dosificó en las cinco pruebas restantes la tierra regenerada en relación 50% tierra

regenerada y 50% Hyflo. Cabe destacar que las dos últimas dosificaciones se efectuaron en una misma corrida de filtración.

Considerando que cada dosificación en el filtro son 500 L y por diferentes causas en algunas de las pruebas se dosificó un poco más de 500 L, la cantidad total de tierra regenerada durante todos los ensayos de lavado de tierra, fue calculada con base a la concentración 20% peso-peso de mezcla de tierra infusoria, al peso de cada saco de tierra (22,7 kg) los datos se reportan en la tabla 3.14:

Tabla 3.14. Volumen y relación de tierra infusoria en el tanque Dosimat durante las dosificaciones.

Dosificación	Litros tierra Dosimat	Relación
1	597	100% Tierra regenerada
2	697	100% Tierra regenerada
3	620	100% Tierra regenerada
4	546	100% Tierra regenerada
5	518	50% Tierra regenerada /50% Hyflo
6	643	50% Tierra regenerada /50% Hyflo
7	823	50% Tierra regenerada /50% Hyflo
8	800	50% Tierra regenerada /50% Hyflo
9	500	50% Tierra regenerada /50% Hyflo

Una vez filtrado el producto con la tierra regenerada, se realizó una prueba de degustación, donde se comparó la cerveza filtrada con tierra nueva y la filtrada con la tierra regenerada. Los resultados se muestran en la tabla 4.20.

3.5 Propuesta del Diseño Conceptual de un Proceso para la Regeneración de la Tierra Infusoria.

Luego de verificar la factibilidad del uso de tierra infusoria regenerada mediante las pruebas de campo, se planteó el diseño conceptual del proceso de regeneración; cuyo objetivo fundamental fue utilizar tierra regenerada en la filtración, disminuyendo la utilización de tierra nueva y con ello, costos de operación.

3.5.1 Proceso de regeneración para la reutilización de la tierra usada, proveniente de dos filtros.

El proceso de regeneración de la tierra infusoria, debe cumplir con varias etapas que inician con el envío de la tierra usada al tanque de regeneración, luego una serie de lavados con agua caliente, soda cáustica al 3% peso-volumen y agua filtrada, para finalmente, pasar a la etapa de neutralización con ácido sulfúrico grado alimenticio. En todas estas etapas se deben cumplir todas las condiciones establecidas a fin de obtener una tierra con la calidad óptima que se requiere en el proceso de filtración. El detalle del proceso se describe a continuación:

1. Envío de la tierra infusoria usada: en esta fase, la tierra usada que se envía actualmente a los tanques de almacenamiento, será enviada al tanque de regeneración a través de bombeo neumático con 6 bar de presión; se trasladará un volumen de 11 m³ para el caso del filtro 1 y 8 m³ para el filtro 2. La mezcla está constituida por agua, tierra infusoria usada, carbón (ya que el proceso de filtración requiere carbón) y partículas causantes de la turbidez contenidas en la cerveza antes de filtrar. La cantidad de sólidos será aproximadamente 2.850 L (volumen máximo de sólidos que puede contener el filtro). Previo al lavado con agua caliente es necesario sacar el sobrenadante que tiene la tierra y luego enviar al siguiente filtro siguiendo el

mismo procedimiento, obteniendo finalmente un aproximado de 5.700 L de sólidos.

2. Lavado con agua caliente: aquí, una vez que se tiene la tierra en el tanque y se ha extraído el sobrenadante, se agregarán 5.700 L de agua caliente por la parte superior del tanque, para un volumen total de 11.400 L (debido a que en el tanque ya se encontrarán 5.700 L de sólidos). La tierra recircula durante 10 min., luego se agitará por 15 min, para posteriormente dejar en reposo durante cuatro horas, con la finalidad de que la tierra por decantación se deposite en el fondo del tanque, y sea posible sacar el agua por la tubería de desagüe que se encontrará a la altura de 5.700 L.

3. Primer lavado con soda cáustica: una vez realizado el lavado anterior (agua caliente), se agregarán 5.700 L de agua caliente nuevamente, para luego ir añadiendo soda cáustica al 50 % peso-peso y recircular, hasta alcanzar una concentración de soda de 3% peso-volumen; esto se logrará con la ayuda del conductímetro, que estará ubicado en la mitad del tanque y se detendrá hasta alcanzar una conductividad de 115 μ S a una temperatura de 60°C (no se utiliza soda al 3% peso-volumen directamente ya que la tubería más cercana, es la de suministro de soda que tiene una concentración de 50% peso-peso). Alcanzada la concentración requerida, se agitará durante veinte minutos de manera uniforme, se dejará sedimentar durante tres horas para separar la tierra infusoria de la materia orgánica flotante. Se vaciará la soda por el desagüe ubicado a 5700 L del tanque.

4. Primer lavado con agua fresca: luego extraer toda la soda, se procederá a llenar el tanque con agua filtrada (5.700 L). La mezcla de tierra con agua filtrada, se agitará por un período de diez minutos, luego se dejará decantar por cuatro horas y seguidamente se extraerá el agua.

5. Segundo lavado con soda cáustica: el procedimiento para esta actividad se hará de la misma manera que en el primer lavado de soda cáustica, con la diferencia de que se extraerá la soda por un desagüe que se

instalará a 3.000 L de volumen, en el tanque (a 0,71 m) ya que según la pruebas realizadas en el tanque piloto, el promedio del porcentaje de regeneración de tierra regenerada fue 60% (tabla 4.16), obtenido en base al volumen inicial de tierra usada y al volumen final de tierra regenerada (tabla 3.13); (ésto es porque se tiene que eliminar toda la materia orgánica y parte del carbón contenido en la mezcla).

6. Segundo lavado con agua fresca: este paso se realizará de la misma manera que el primer lavado con agua fresca. En este caso se retirará el agua filtrada por el desague ubicado a 3.000 L.

7. Preparación de la tierra según especificaciones de proceso: una vez culminado el proceso de lavado de tierra infusoria, se deberá preparar la mezcla en una concentración de 50% volumen-volumen con agua grado plato. Según las pruebas en campo (tanque piloto), la cantidad de agua grado plato a agregar es de 1.500 L; aunque esto debe ser ajustado una vez probado el proceso de lavado, midiendo la concentración por medio de viales de 50 ml y centrifugando para certificar esta concentración.

8. Neutralización con ácido sulfúrico: en esta fase se debe dosificar ácido sulfúrico grado alimenticio al 98%, hasta alcanzar un pH entre 5,40 y 6, que es el pH de la mezcla de tierra. El ácido debe suministrarse por la parte superior del tanque y se dosificará cuidadosamente mientras el tanque está en agitación, hasta alcanzar una conductividad entre 10,50 y 11,00 μS .

Una vez alcanzado el pH establecido, la tierra infusoria se trasladará al tanque de almacenamiento por medio de una bomba centrifuga y estará lista para ser utilizada de nuevo en el proceso de filtración.

3.5.2 Diseño de los tanques para la regeneración de tierra infusoria usada, proveniente de dos filtros

Una vez obtenido los resultados en los ensayos de laboratorio y pruebas piloto, el diseño se plantea de la siguiente manera:

Se propone la implantación de dos tanques de acero inoxidable, cuyas funciones serán lavar y almacenar la tierra regenerada. Los tanques deben tener fondo cóncavo apoyados como se muestra en la figura 3.24; ya que estos fondos son los mejores desde el punto de vista de la resistencia a la corrosión y fatiga; los diseños cóncavos pueden soportar mejor cargas de fatiga que los fondos planos [19]. La elevación de los tanques que se sugiere es 1 m según las condiciones de diseño de la empresa.

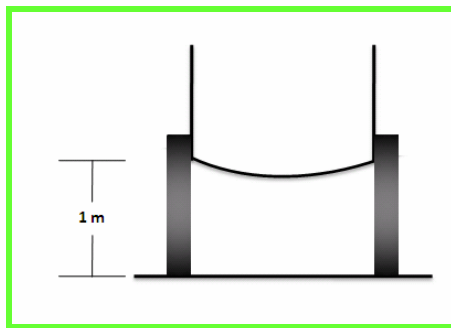


Figura 3.24. Fondo y elevación de tanques de regeneración.

Los tanques deben de ser de una capacidad volumétrica adecuada para un máximo volumen de un filtro, que equivale a 11 m^3 y a que se enviarán dos filtros (tierra usada proveniente de dos corridas de filtración) de acuerdo a un procedimiento similar al trabajo de los actuales tanques de almacenamiento:

- 1.- Se enviará la tierra usada del primer filtro de 11 m^3 .
- 2.- Se dejará decantar por un período de tres horas.
- 3.- Se extraerá el sobrenadante.
- 4.- Luego se enviará la tierra del siguiente filtro y se repetirán los pasos 1, 2 y 3.

El volumen del tanque se determinó de la siguiente manera:

$$V_{2\text{do filtro}} + V_{\text{sólidos}_{1\text{er filtro}}} + 0,25 * V_{\text{total}} = V_{\text{tanque regeneración}} \quad (\text{Ec.-3.17})$$

Donde:

$$V_{\text{sólidos}_{1er\ filtro}} \cong V_{\text{tierra infusoria}} + V_{\text{sólidos}_{(\text{Carbón+partículas causantes de turbidez})}} \quad (\text{Ec.-3.18})$$

$$V_{\text{tierra infusoria}} = 10 \text{ dosificaciones (incluye precapas)} \times 500 \text{ L (volumen de una dosificación)} \times 50\% \frac{V}{V}$$

(Ec.-3.19)

$$V_{\text{sólidos}_{(\text{Carbón+partículas causantes de turbidez})}} = 7\% \times V_{\text{tierra infusoria}} \quad (\text{Ec.-3.20})$$

Sustituyendo los datos de la ecuación 3.19 y 3.20:

$$V_{\text{sólidos}_{1er\ filtro}} \cong (10 \times 500 \text{ L} \times 0,50) + 0,07 \times (10 \times 500 \text{ L} \times 0,50) = 2850 \text{ L} = 2,85 \text{ m}^3$$

Sabiendo que:

$$0,25 \times V_{\text{total}} = \text{seguridad del tanque} \quad (\text{Ec.-3.21})$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} V_{\text{tanque regeneración}} &= 11 \text{ m}^3 + 2,85 \text{ m}^3 + 0,25 \times (11 + 2,85) \text{ m}^3 \\ &= 17,15 \text{ m}^3 \cong 17 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

El diámetro y la altura del tanque, se determinaron tomando como punto de partida la dimensión del tanque KG1 (tanque piloto). Para el diseño se propone una altura de 4 m y 2,33 m de diámetro según los cálculos que se muestran a continuación:

Suponiendo una altura de 4 m, que el volumen de los tanques para el proceso de regeneración es de 17 m³ y utilizando la ecuación del volumen de un cilindro:

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \times r^2 \times H \quad (\text{Ec.-3.22})$$

Como:

$$r^2 = \frac{D}{2} \quad (\text{Ec.-3.23})$$

Sustituyendo la ecuación 3.20 en la 3.19; nos queda:

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times H \quad (\text{Ec.-3.24})$$

Introduciendo el volumen y la altura del tanque:

$$17 \text{ m}^3 = \pi * \frac{D^2}{4} * 4 \text{ m}$$

Despejando el diámetro, se obtiene:

$$D = 2,33 \text{ m}$$

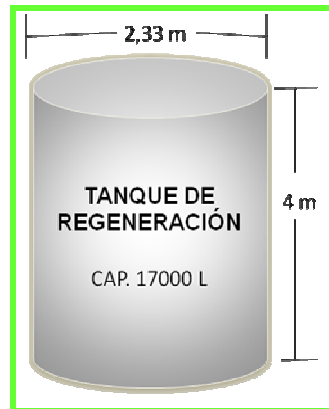


Figura 3.25. Dimensiones de los tanques de regeneración.

Una vez obtenida la dimensión del tanque de regeneración (figura 3.25), se procedió a calcular la altura donde debe estar el primer desague (luego de enviar el primer filtro). Como en un filtro, se tiene un volumen de sólidos de aproximadamente 2.850 L (2,85 m³); se colocará el desague a 0,67 m según el siguiente cálculo y utilizando la ecuación 3.22:

$$2,85 \text{ m}^3 = \pi * \frac{(2,33 \text{ m})^2}{4 \text{ m}} * H$$

Despejando la altura del primer desague:

$$H = 0,67 \text{ m (primer desague)}$$

De la misma manera, se calcula la altura para el segundo desague (después de enviar el segundo filtro). Pero en este caso se haría en base a un volumen de sólidos de 5.700L, como se muestra en la figura 3.26.

Se obtiene:

$$H = 1,34 \text{ m (segundo desague)}$$

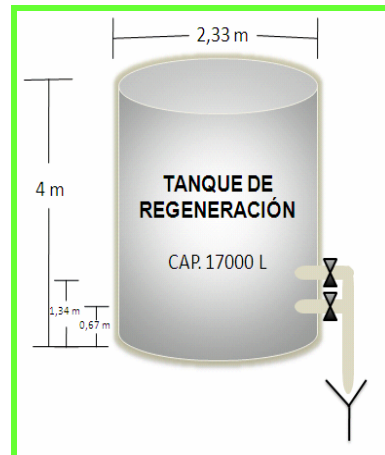


Figura 3.26. Tuberías de desague en el tanque de regeneración.

Además de los tanques, se requiere de tuberías de alimentación (suministros de tierra infusoria usada, agua caliente, soda cáustica 50%, agua filtrada, CO_2 , agua grado plato, ácido sulfúrico al 98% grado alimenticio), descarga (para el sobrenadante), agitación que evite la sedimentación de la tierra durante el lavado y un conductímetro, para medir la conductividad en el momento de dosificar soda y neutralizar la tierra. También, es necesario un sistema de recirculación con el fin de optimizar el proceso de lavado. Adicionalmente debe contar con un sensor de nivel que permita visualizar el nivel del tanque en todo momento y un toma muestras para control.

El material requerido, considerando el tipo de industria, es acero inoxidable por condiciones de higiene; por lo tanto, es el más adecuado para conducir el agua caliente, agua grado plato, tierra infusoria, agua fresca y CO_2 . Para el empleo de ácido sulfúrico el material requerido es el fluoruro de polivinilideno (PVDF). El PVDF, es un termoplástico altamente cristalino, resistente al cloro húmedo o seco, al bromo y otros halógenos (casi todos los ácidos fuertes, alifáticos, aromáticos, alcoholes y disolventes clorados). Para este caso su propiedad más importante es la elevada resistencia química que

posee. En el transporte de soda cáustica se empleará una tubería de acero al carbono, por sus propiedades, que son las adecuadas para esta sustancia.

Se recomienda un agitador con una cantidad de aspas necesarias para mantener la mezcla homogénea; con el fin de obtener mayor contacto entre tierra-agua caliente-soda cáustica-agua filtrada, este agitador puede ser de 10 aspas tomando como referencia el tanque piloto. El conductímetro debe estar a una altura de 1,18 m, es decir; a 5 m³ ya que a esta altura la mezcla estará homogénea una vez recirculado o agitado (figura 3.27).

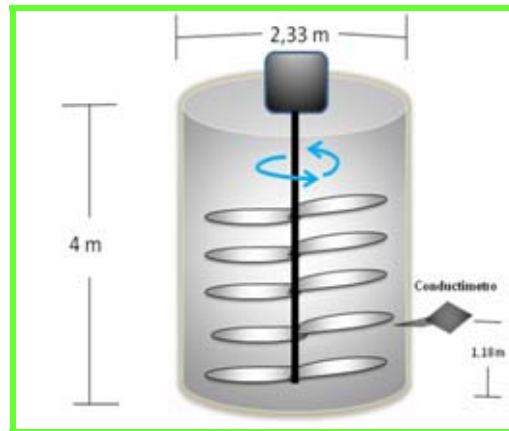


Figura 3.27. Ubicación del conductímetro en el tanque de regeneración.

La recirculación del tanque debe estar ubicada a menos de 11,40 m³, ya que en cada lavado se llevarán las cantidades de agua caliente, soda cáustica y agua fresca a este volumen. Se calculó la altura máxima que alcanza la mezcla de tierra durante los lavados:

Utilizando la ecuación 3.21:

$$11,40 \text{ m}^3 = \pi * \frac{(2,33 \text{ m})^2}{4 \text{ m}} * H$$

Despejando, se obtiene la altura:

$$H = 2,67 \text{ m}$$

Para un funcionamiento correcto de la instalación de la tubería de succión de la bomba, se debe calcular el NPSH (altura total de carga a la entrada de la bomba), verificando siempre que el NPSH disponible sea mayor o igual al NPSH requerido, para evitar la cavitación. La bomba para la recirculación debe ser una bomba centrífuga, tomando como referencia la utilizada en el sistema de recirculación del tanque piloto (figura 3.28).

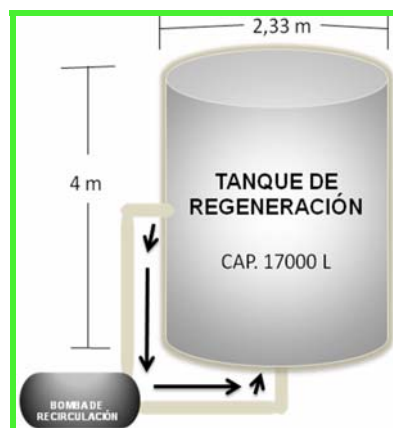


Figura 3.28. Ubicación de sistema de recirculación en el tanque de regeneración.

El segundo tanque, sólo será destinado para almacenar la tierra regenerada antes de dosificarla a los filtros. Este tanque debe poseer suministro de CO_2 , agitador para mantener la mezcla homogénea y una tubería de entrada y salida de CIP (para limpieza del tanque) (figura 3.30). La tierra regenerada se transportará a este tanque mediante una bomba centrífuga desde el tanque de regeneración. El tanque tendrá la capacidad para recibir tres veces tierra desde el tanque de regeneración; es decir la tierra lavada que corresponde a seis corridas de filtración.

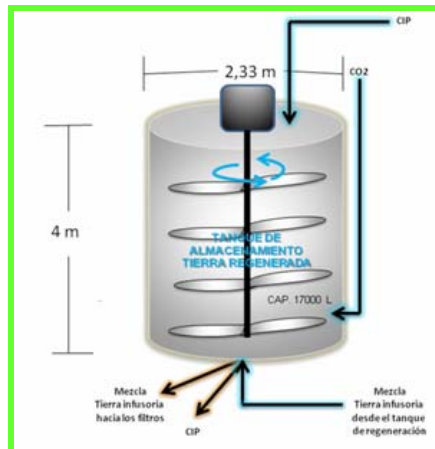


Figura 3.29. Tanques de almacenamiento de tierra regenerada.

3.5.3 Cantidad obtenida y relación de dosificación de tierra infusoria regenerada al filtro.

La cantidad obtenida de tierra regenerada en el tanque será aproximadamente 3.000 L y el volumen de mezcla de tierra preparada con agua grado plato es 4.500 L, debido a que es necesario dosificarle 50% del volumen obtenido de tierra según pruebas en campo (tanque piloto) para lograr la concentración requerida según especificaciones técnicas del proceso. Luego de la realización de los ensayos, se propone la siguiente dosificación: por cada corrida de filtración, se dosificará dos veces en la relación; 50% tierra regenerada, 50% Hyflo. Por lo tanto la tierra lavada de dos filtros rendirá para nueve corridas de filtración (dosificándose dos veces por corrida, donde cada dosificación correspondería a 250 litros de tierra regenerada).

3.6 Ahorro Económico del Diseño del Proceso de Regeneración de Tierra Infusoria.

Para el cálculo del ahorro económico de la propuesta fue necesario conocer como punto de partida el costo de un filtro preparado con tierra infusoria

nueva y el costo de la regeneración de la tierra usada. La tabla 3.15, reúne información de costos unitarios usados para los cálculos.

Tabla 3.15. Costos de tierra infusoria y sustancias para la regeneración.

		Costo
Tierra infusoria	Hyflo	5,65 Bs/kg
	Standar	2,36 Bs/kg
Agua caliente		0,58 Bs/m ³
Agua filtrada		1,03 Bs/m ³
Soda cáustica 50% p/v		1,93 Bs/kg
Ácido sulfúrico grado alimenticio al 98%		5,50 Bs/kg
Costo de transporte a CEPAREL		200 Bs/viaje

*tomado de la base de datos de la empresa (SAP)

3.6.1 Costo de preparación de un filtro

El costo de la preparación de un filtro se calculó de acuerdo a la cantidad de tierra infusoria empleada en cada capa, dosificación y transporte de tierra usada a CEPAREL:

a. Primera precapa; 100% Hyflo (100 kg)

Se multiplica la cantidad de tierra infusoria a utilizar (kg) por el precio de la tierra Hyflo (Bs/kg).

Sustituyendo:

$$\text{Costo primera precapa} = 100 \text{ kg} * 5,65 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}}$$

Se obtiene:

$$\text{Costo primera precapa} = 565 \text{ Bs}$$

b. Segunda precapa; 70% Hyflo (70 kg) /30% Standar (30 kg)

Se multiplica la cantidad de tierra infusoria a utilizar (kg) por el precio de la tierra Hyflo y Standar (Bs/kg).

Sustituyendo:

$$\text{Costo segunda precapa} = \left(70 \text{ kg} * 5,65 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}}\right) + \left(30 \text{ kg} * 2,36 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}}\right)$$

Se obtiene:

$$\text{Costo segunda precapa} = 466,3 \text{ Bs}$$

c. Dosificaciones; 70% Hyflo y 30% Standar (en base a 8 dosificaciones, 800 kg)

Se multiplica la cantidad de tierra infusoria a utilizar (kg) por el precio de la tierra Hyflo y Standar (Bs/kg).

Sustituyendo:

$$\text{Costo dosificaciones} = \left(0,70 * 800 \text{ kg} * 5,65 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}}\right) + \left(0,30 * 800 \text{ kg} * 2,36 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}}\right)$$

Se obtiene:

$$\text{Costo dosificaciones} = 3.730,4 \text{ Bs}$$

d. Transporte a CEPAREL

Por cada viaje se transportan la cantidad de tierra usada proveniente a dos filtros, así, se debe calcular el costo por un solo filtro enviado.

Sustituyendo:

$$\text{Costo traslado a CEPAREL} = 200 \frac{\text{Bs}}{\text{viaje}} * \frac{1 \text{ viaje}}{2 \text{ filtros}}$$

Se obtiene:

$$\text{Costo traslado a CEPAREL} = 100 \text{ Bs por 1 filtro}$$

El costo total de la preparación de un filtro, se calculó mediante la siguiente ecuación:

Costo total =

primera precapa + segunda precapa + dosificaciones + traslado ceparel (Ec.-3.25)

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\mathbf{Costo\ total = 4.861,7\ Bs\ por\ filtro\ preparado}$$

3.6.2 Costo de regeneración de la tierra infusoria usada

a. Agua caliente

Se multiplica el costo del agua caliente (Bs/m³) por el volumen a utilizar (m³) y por las veces que se va a dosificar.

Sustituyendo:

$$\mathbf{Costo\ agua\ caliente = 0,58 \frac{Bs}{m^3} * 5\ m^3 * 3}$$

Se obtiene:

$$\mathbf{Costo\ agua\ caliente = 8,7\ Bs}$$

b. Agua filtrada

Se multiplica el costo del agua filtrada (Bs/m³) por el volumen a utilizar (m³) y por las veces que se va a dosificar.

Sustituyendo:

$$\mathbf{Costo\ agua\ filtrada = 1,03 \frac{Bs}{m^3} * 5\ m^3 * 3}$$

Se obtiene:

$$\mathbf{Costo\ agua\ filtrada = 15,45\ Bs}$$

c. Soda cáustica 50% peso-volumen

Se multiplica el costo de la soda cáustica (Bs/kg) por su densidad (kg/L), el volumen a utilizar (m³) y por las veces que se va a dosificar.

Sustituyendo:

$$\mathbf{Costo\ soda\ cáustica = 1,93 \frac{Bs}{Kg} * 1,4742 \frac{Kg}{L} * 200\ L * 2}$$

Se obtiene:

$$\text{Costo soda caústica} = 1.138,08 \text{ Bs}$$

d. Ácido sulfúrico

Se multiplica el costo de la ácido sulfúrico (Bs/kg) por su densidad (kg/L) y por el volumen a utilizar (m^3).

Sustituyendo:

$$\text{Costo ácido sulfúrico} = 5,5 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}} * 1,8 \frac{\text{kg}}{\text{L}} * 50 \text{ L}$$

Se obtiene:

$$\text{Costo ácido sulfúrico} = 495 \text{ Bs}$$

El costo total para la regeneración de la tierra usada proveniente de dos filtros, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Costo total} = \text{agua caliente} + \text{agua filtrada} + \text{soda caústica} + \text{ácido sulfúrico} \quad (\text{Ec.-3.26})$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\text{Costo total} = 1.657,23 \text{ Bs por la regeneración de tierra de 2 filtros}$$

3.6.3 Costo de tierra regenerada

Como anteriormente se mencionó la cantidad total de mezcla de tierra infusoria regenerada aproximadamente es 4.500 L; es decir 900 kg, debido a que cada dosificación de 500 L, contiene 100 kg de tierra infusoria (concentración 20% peso-peso) y se obtendrían 9 dosificaciones (18 dosificaciones de 250 L) tomando en cuenta este valor, el costo de tierra regenerada será determinado de la siguiente manera:

$$\text{Costo de tierra regenerada} = \frac{\text{Costo total tratamiento regeneración}}{\text{Kg de tierra regenerada}} \quad (\text{Ec.-3.27})$$

Sustituyendo los valores, se obtiene:

$$\text{Costo de tierra regenerada} = \frac{1.657,23 \text{ Bs}}{900 \text{ Kg}} = 1,84 \frac{\text{Bs}}{\text{Kg}}$$

3.6.4 Costo de una dosificación propuesta

El costo de una dosificación propuesta, se calculó en base a la relación: 50% tierra regenerada (50 kg), 50% Hyflo (50 kg):

$$\text{Costo dosificación propuesta} = \left(50 \text{ kg} \times 1,84 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}}\right) + \left(50 \text{ kg} \times 5,65 \frac{\text{Bs}}{\text{kg}}\right)$$

Resultando:

$$\text{Costo dosificación propuesta} = 374,5 \text{ Bs}$$

3.6.5 Ahorro de la propuesta

Comparando los costos entre una dosificación con tierra nueva (70% Hyflo/30% Standar) y una dosificación con la relación que se propone (50% tierra regenerada/50% Hyflo); como se reporta en la tabla 3.16:

Tabla 3.16. Costos de dosificación con tierra nueva y dosificación propuesta

Dosificación	Costo (Bs)
Tierra nueva (70% Hyflo/30% Standar)	466,3
Propuesta (50% Tierra regenerada/50% Hyflo)	374,5

El ahorro será:

$$\text{Ahorro propuesta} = [18 \text{ dosificaciones} (\text{Costo}_{\text{dosif. tierra nueva}} - \text{Costo}_{\text{dosif. propuesta}})] + \text{Costo de tierra}_{\text{que se deja de usar}} - \text{Costo del tratamiento} \quad (\text{Ec.-3.28})$$

Donde:

$$\text{Costo de tierra}_{\text{que se deja de usar}} = 18 * (20\% \text{ de Hyflo} + 30\% \text{ de Standar})$$

(Ec.-3.29)

Sustituyendo:

$$\text{Costo de tierra}_{\text{que se deja de usar}}$$

$$= 18 * (0,20 * 100Kg * 5,65 \frac{Bs}{Kg} + 0,30 * 100Kg * 2,36 Bs/Kg) \text{ de Standar}$$

Se obtiene:

$$\text{Costo de tierra}_{\text{que se deja de usar}} = 3.308,4 Bs$$

Calculando el ahorro de la propuesta:

Ahorro propuesta

$$= [18 (466,3 Bs - 374,5 Bs)] + 3.308,4 Bs - 1.657,23 Bs$$

Resulta:

Ahorro propuesta = 3.303,57 Bs por la tierra regenerada de 2 filtros

El ahorro neto es 3.303,57 Bs, por cada 18 dosificaciones (50% tierra regenerada/50% Hyflo) que representan la tierra regenerada de dos filtros.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Análisis de la Situación Actual del Proceso de Filtración

La filtración de cerveza se realiza utilizando tierra infusoria como medio filtrante, actualmente se ha registrado un consumo elevado con respecto al volumen de cerveza filtrados.

4.1.1 Consumo de tierra infusoria

En Planta Oriente, se emplean dos tipos de tierra infusoria (*Hyflo* y *Standar*); que con su capacidad de clarificación y velocidad de filtración garantizan la estabilidad fisicoquímica del producto final. La preparación y dosificación de tierra a los filtros de cerveza se realiza por medio de un procedimiento ya establecido que es fundamental para una formación adecuada del lecho filtrante.

La relación de dosificación de tierra infusoria según las especificaciones de técnicas de proceso (primera precapa 100% Hyflo, segunda precapa y dosificaciones 50% Hyflo y 50% Standar), puede variar dependiendo de varias circunstancias entre las que se encontraron: disponibilidad del tipo de tierra, turbidez del producto a filtrar que viene de los TCCs y dificultad en la preparación de la mezcla en los tanques de preparación (tanques KG) por inconvenientes en la exclusiva. Entre mayo y octubre de 2009, se han presentado problemas por el uso elevado de tierra infusoria, teniéndose una variación notable entre el consumo teórico de tierra y el real (utilizado en la preparación de los filtros).

Por lo explicado, se hizo necesario estudiar los principales factores que afectan el índice de consumo de la tierra infusoria y, más aun, tratar de regenerarla debido a varios factores; entre los más relevantes se encuentran:

disminución del impacto ambiental y costos de proceso asociado a importación y deposición del material utilizado. En las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4, se reporta el índice de consumo de tierra infusoria (*Hyflo* y *Standar*) por cada producto (Solera, Light, Ice y Solera Light) durante los meses donde se presenta la variación entre la cantidad de tierra por volumen de cerveza teórico y los consumidos realmente (entre mayo y octubre de 2009).

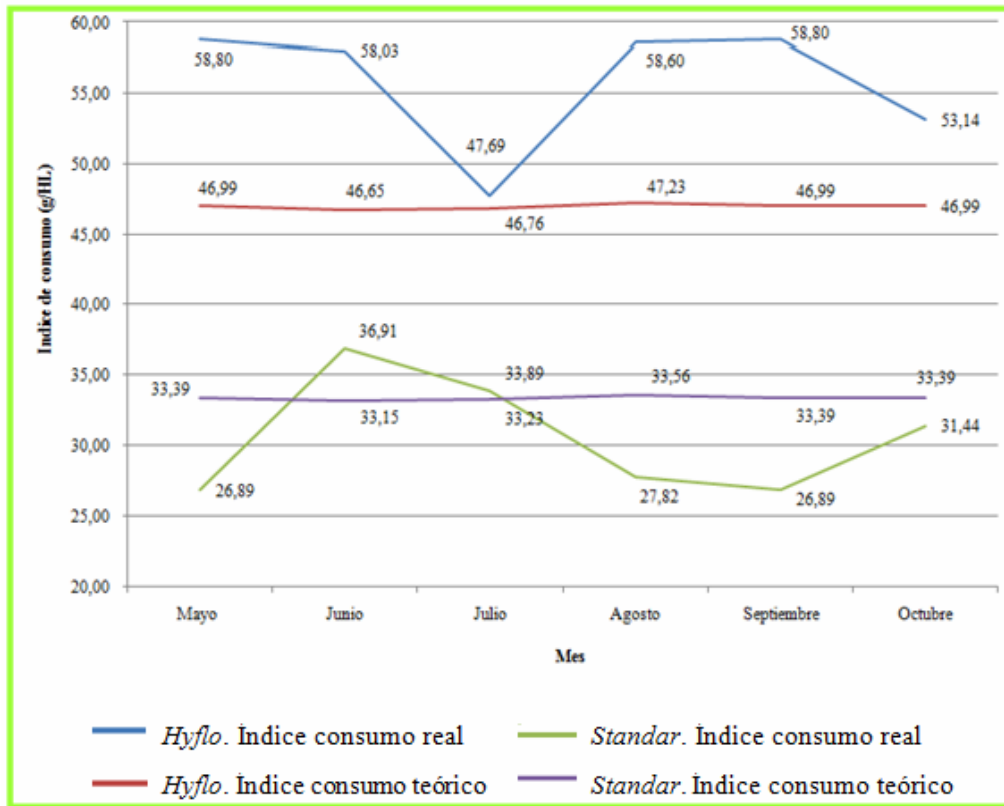


Figura 4.1. Consumo de Hyflo y Standar en la filtración de Solera.

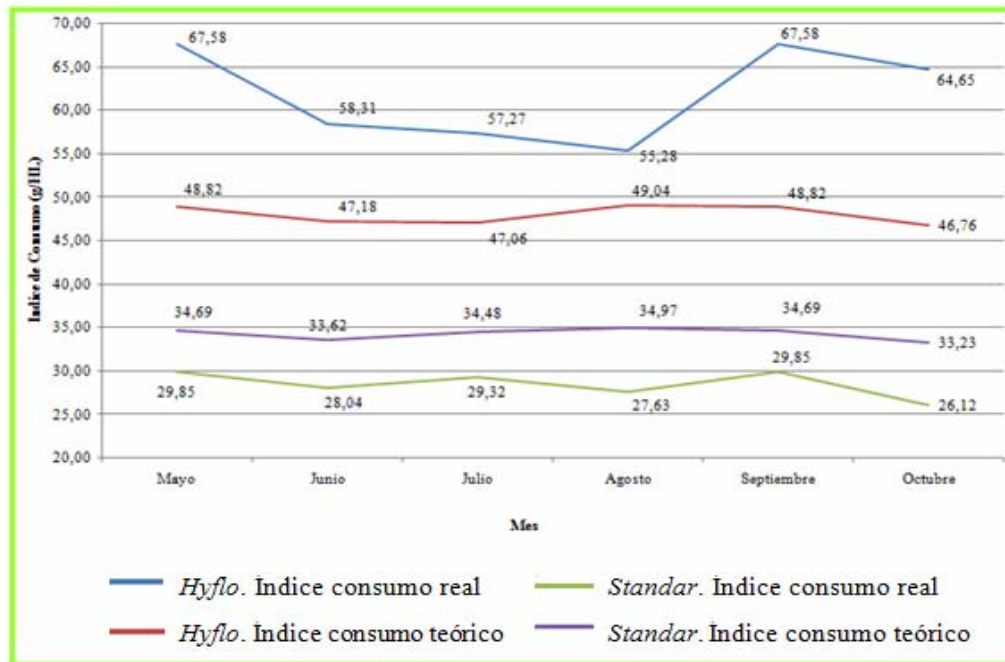


Figura 4.2. Consumo de Hyflo y Standar en la filtración de Light.

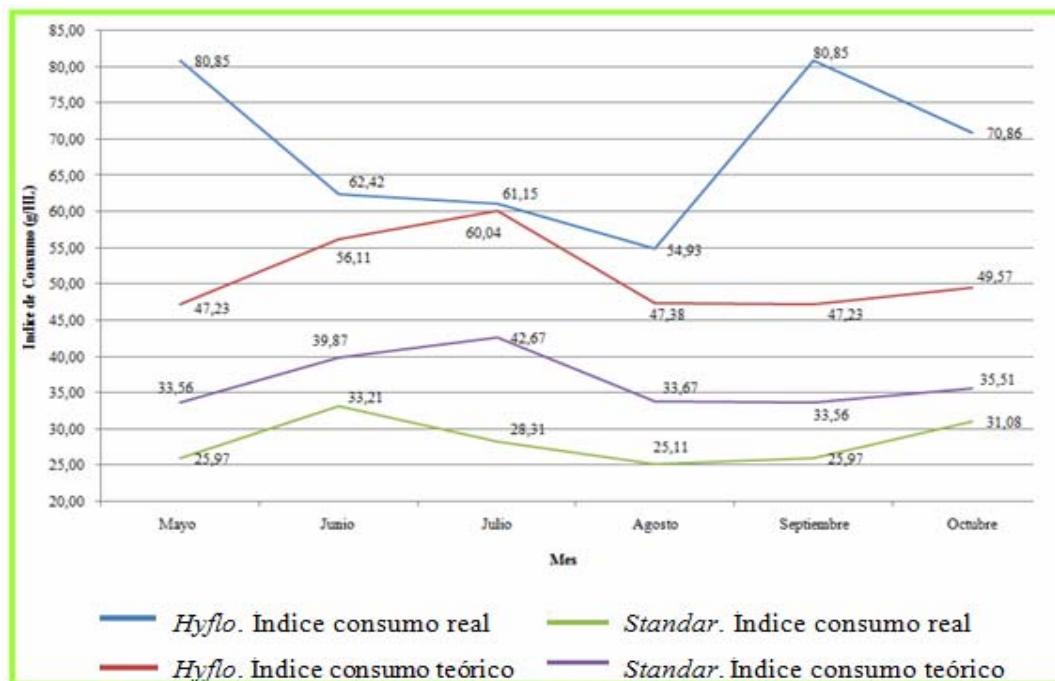


Figura 4.3. Consumo de Hyflo y Standar en la filtración de Ice.

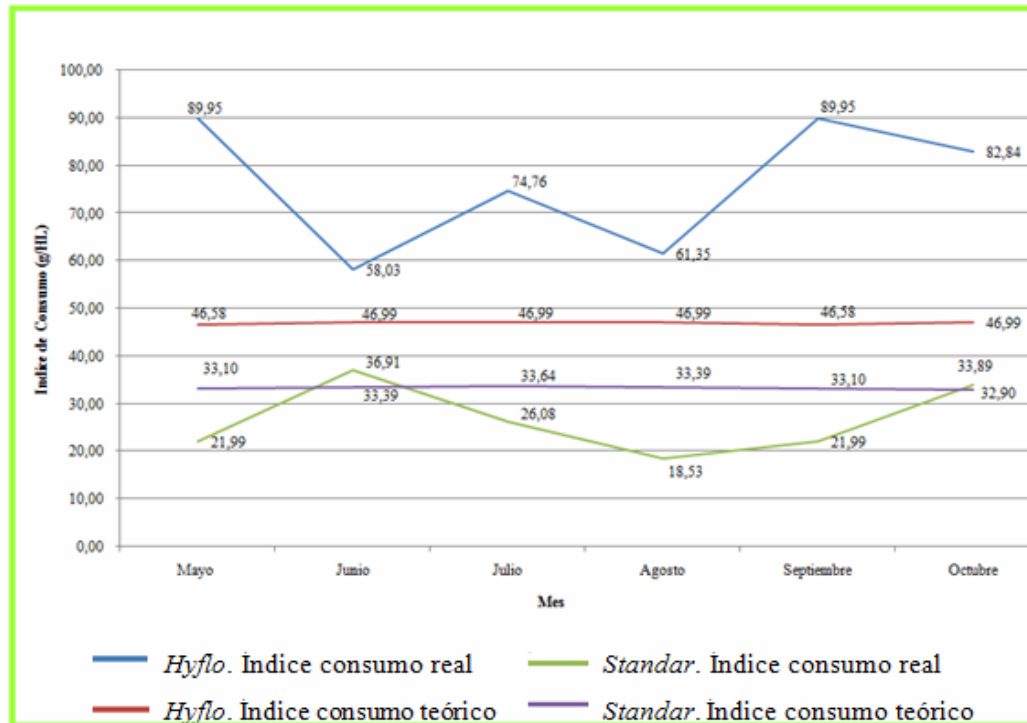


Figura 4.4. Consumo de Hyflo y Standar en la filtración de Solera Light.

Finalmente, se obtuvo un promedio del consumo de tierra real y teórico por filtración mensual sin tomar en cuenta el tipo de cerveza como se muestra en las figuras 4.5 y 4.6.

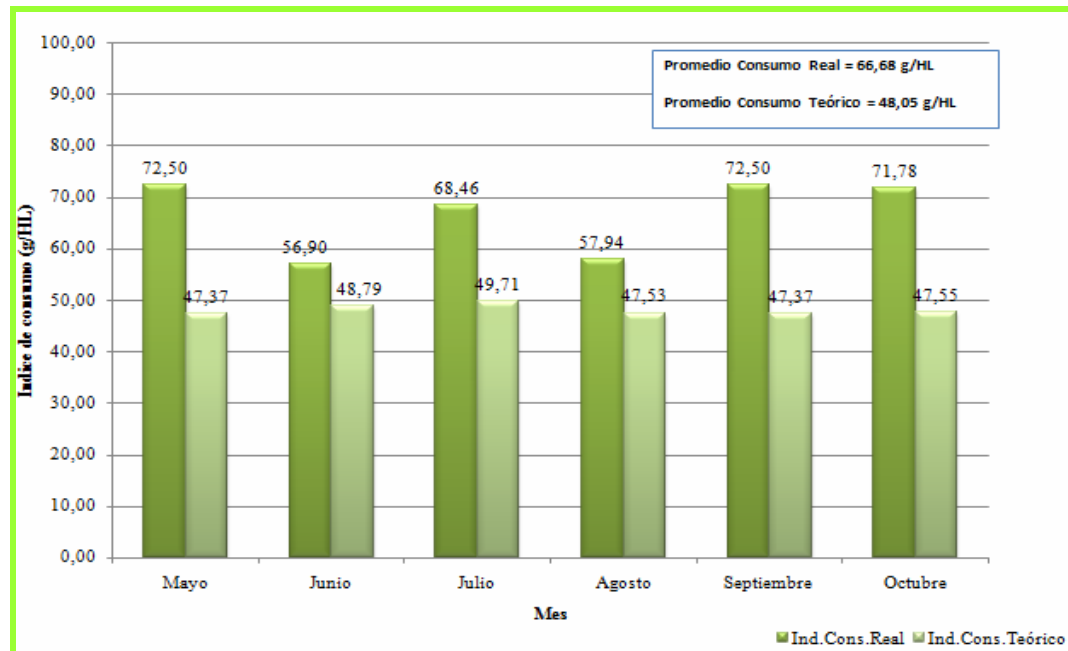


Figura 4.5. Consumo promedio de Hyflo en la filtración.

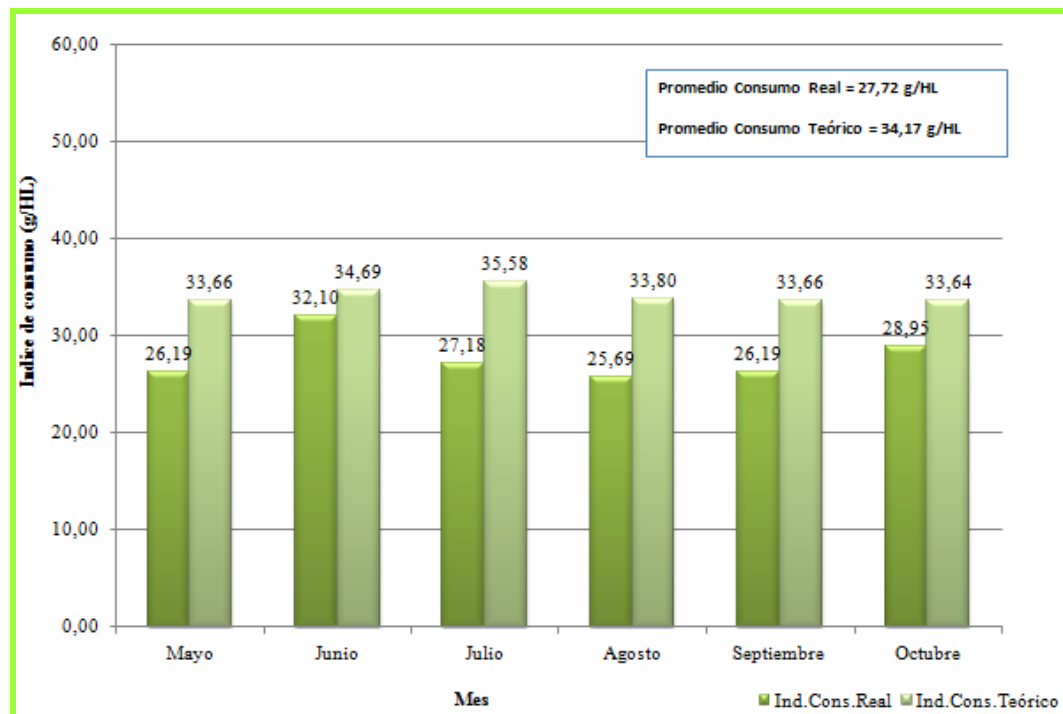


Figura 4.6. Consumo promedio de Standar en la filtración.

Como se observa en las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 (filtración de Solera, Light, Ice y Solera Light), respectivamente; el comportamiento es similar. Para el consumo de tierra infusoria tipo Hyflo, se nota la desviación en todos los meses entre los gramos por hectolitros reales y los teóricos; el consumo real es mayor que el teórico en 18,63 g/HL de diferencia como se indica en el promedio de consumo desde el mes de mayo hasta octubre 2009 (figura 4.5); debido a que las especificaciones técnicas de proceso indican una preparación de tierra infusoria con una relación de 50% Hyflo y 50% Standar, donde en estos meses se prepararon los filtros con 70% Hyflo y 30% Standar, por esta razón, el consumo real de Hyflo es mayor que el teórico.

Para la tierra tipo Standar, sucede lo contrario como se aprecia en las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4, el consumo teórico (g/HL) es mayor que el real en 6,45 g/HL (figura 4.6), debido a que en Planta Oriente durante los meses expuestos se utilizó la siguiente relación de dosificación de tierra infusoria al filtro: primera precapa 100% Hyflo, segunda precapa y dosificaciones 70% Hyflo y 30% Standar, esto es por la alta turbidez que tenía la cerveza antes de filtrar (producto proveniente de los TCCs) y con esta relación el filtro tiene corridas más largas.

Para efectos de comparación se sumó el consumo general de tierra infusoria (Hyflo+Standar), obteniéndose que el consumo teórico es de 82,22 g/HL y el real 94,40 g/HL con una diferencia de 12,18 g/HL como se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Comparación entre el consumo real y teórico de tierra infusoria.

Consumo real de Hyflo + Standar (g/HL)	94,40
Consumo teórico de Hyflo + Standar (g/HL)	82,22
Diferencia (g/HL)	12,18

4.1.2 Situación actual de las corridas de filtración

Una vez observadas las corridas para los filtros de cerveza (filtro 1 y 2), tomando en cuenta la duración de cada corrida de filtración y los volúmenes filtrados en cada una de ellas (figura 4.7 a 4.15), se puede describir lo siguiente, tomando en cuenta desde el mes de diciembre 2009 hasta abril 2010:

En el mes de diciembre 2009 (figuras 4.7 y 4.8), para los filtros 1 y 2, se observa una disminución del volumen de cerveza a partir de la corrida 2 debido a que el filtro se venía preparando en la relación: primera precapa 100% Hyflo, segunda precapa y dosificaciones 70% Hyflo y 30% Standar y por déficit de tierra infusoria tipo Hyflo, se comenzó a preparar el filtro sustituyendo la segunda precapa y dosificaciones por la relación: 70% Standar y 30% Hyflo, por lo explicado, se tienen corridas con menos duración (menos hectolitros filtrados), ya que la tierra Standar es fina y tiende a tapar rápido los filtros. Sin embargo, en la corrida 10 del filtro 2 (figura 4.8) se tiene una filtración mayor de 6000 HL, demostrando que el filtro si puede trabajar con esta relación de tierra infusoria, si se controla la turbidez de los TCCs.

En las corridas 14 y 15 del filtro 1 (figura 4.7), ocurrieron problemas, en la corrida 14 el sistema no dosificó la segunda precapa (error en el proceso) y en la corrida 15, el filtro tuvo un mal funcionamiento (turbidez muy elevada en la cerveza filtrada). La razón por la cual ocurrió esto, fue la caída de una de las velas y concentración de tierra infusoria menor a la requerida en el proceso en el tanque dosimat.

En la corrida 16 del filtro 1, como se observa en la figura 4.7, se filtraron más de 7000 HL; el filtro en esta ocasión se preparó sustituyendo la segunda precapa por 100% Hyflo y dosificación 100% Standar, por efectos de prueba de funcionamiento del filtro, con el objetivo de determinar cualquier problemas en las velas, se filtró dicha cantidad debido a que la tierra infusoria

tipo Hyflo es más gruesa que la Standar por lo tanto los microcanales de filtración son mayores.

El aumento que se observa a partir de la corrida 18 del filtro 1 (figura 4.7) y 24 del filtro 2 (figura 4.8), es consecuencia de la adición de una enzima llamada Ultraflo Max, en el proceso de filtración en la etapa de cocimiento; esta enzima reduce la viscosidad del mosto y los niveles de arabinosilanos (carbohidratos polisacáridos) y de betaglucanos, su actividad enzimática degrada los restos de paredes celulares del grano que quedan en el mosto para reducir la viscosidad; lo que asegura corridas de filtración prolongadas.

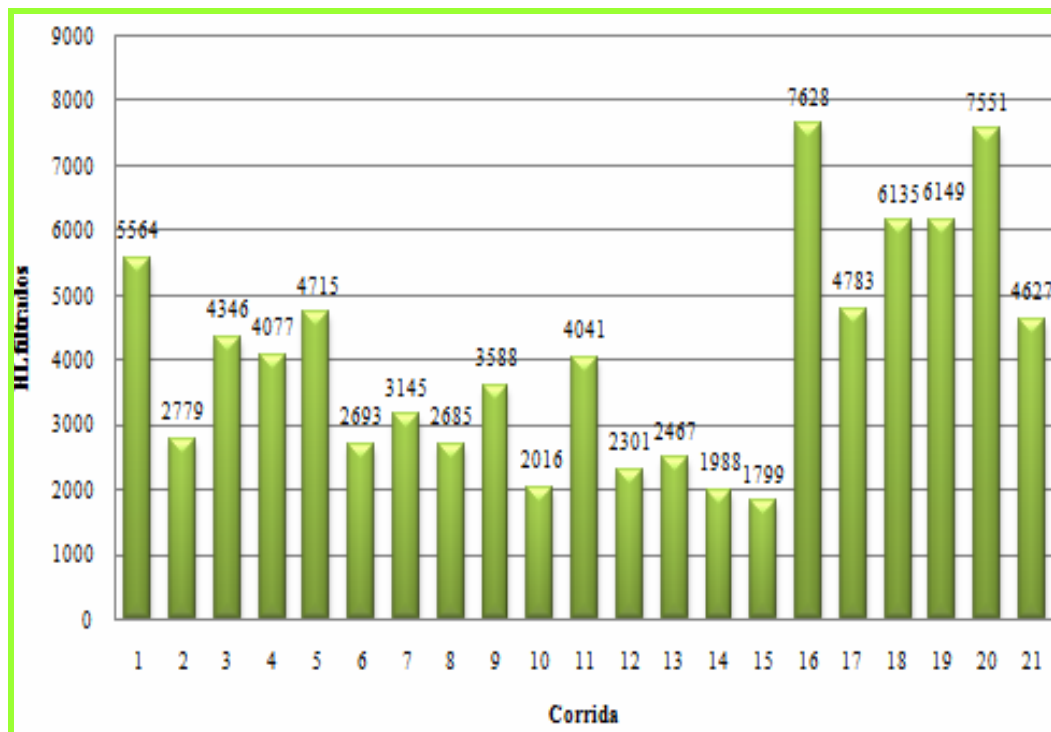


Figura 4.7. Corridas del filtro 1 durante diciembre 2009.

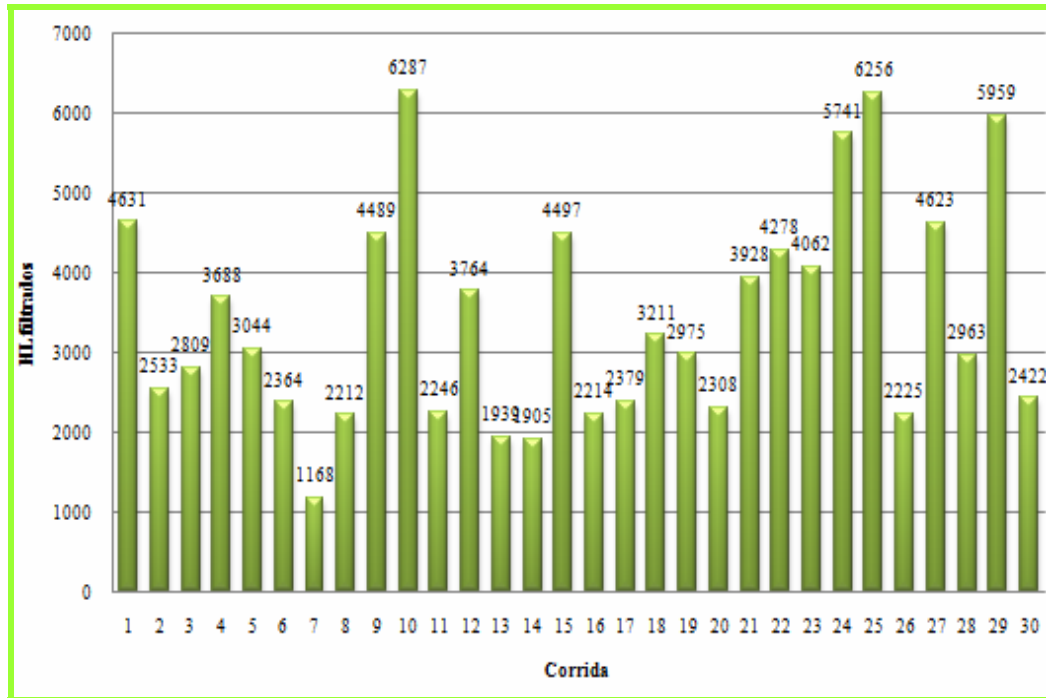


Figura 4.8. Corridas del filtro 2 durante diciembre 2009.

En el mes de enero 2010 (figura 4.9) para el filtro 2; el filtro 1 en este mes se encontraba en mantenimiento por tal razón no se reportan datos de este filtro en el mes. Al principio de este mes se comienza nuevamente a usar la relación de tierra infusoria: primera precapa 100% Hyflo, segunda precapa y dosificaciones 70% Hyflo y 30% Standar hasta la corrida 24, en donde se prepara el filtro según las especificaciones técnicas (primera precapa 100% Hyflo, segunda precapa y dosificaciones 50% Hyflo y 50% Standar).

El filtro 2, como se observa en la figura 4.9, tuvo un comportamiento variable pero las corridas fueron mayores que en el mes de diciembre (figuras 4.7 y 4.8), obteniéndose volúmenes elevados hasta más de 10.000 HL de cerveza; aunque también se encontraron corridas cortas debido a taponamiento del filtro, lo cual trae como consecuencia aumento de la

presión diferencial en el filtro haciendo que la corrida llegue a su fin (filtro agotado).

Respecto al mes de febrero 2010 (figuras 4.10 y 4.11) para los filtros 1 y 2 respectivamente, el filtro trabajó durante todo el mes con la relación de dosificación: primera precapa 100% Hyflo, segunda precapa y dosificaciones 50% Hyflo y 50% Standar, observándose corridas variables desde un poco mas de 1500 a 10.000 HL.

Como lo indica la figura 4.10, el filtro 1 empieza con una corrida de casi 7000 HL y luego pasa a una corrida corta; esto debido a que el filtro en el momento de la corrida se le dosifica solo tierra tipo Standar ya que el tanque KG3 (Hyflo) se le estaba haciendo limpieza. Las demás corridas cortas del filtro 1 fueron por consecuencia de aumento de la presión diferencial en el filtro. De acuerdo al filtro 2 (figura 4.11), en la corrida 3, ocurrió un problema con el suministro de aire y en la corrida 6, una caída de tensión por ello se observa pocos volúmenes filtrados.

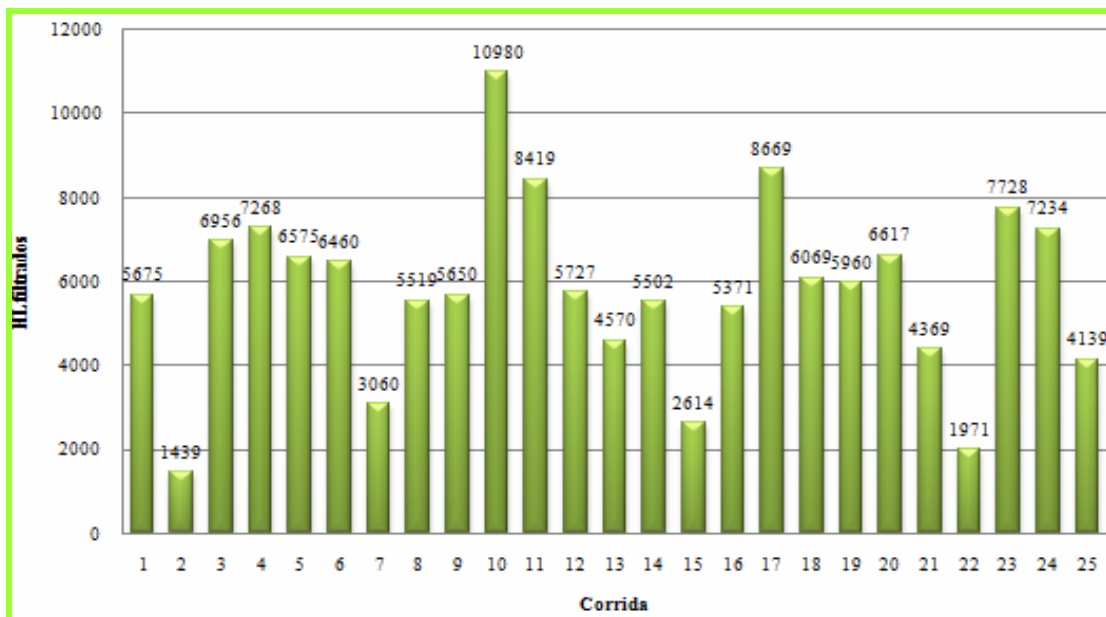


Figura 4.9. Corridas del filtro 2 durante enero 2009.

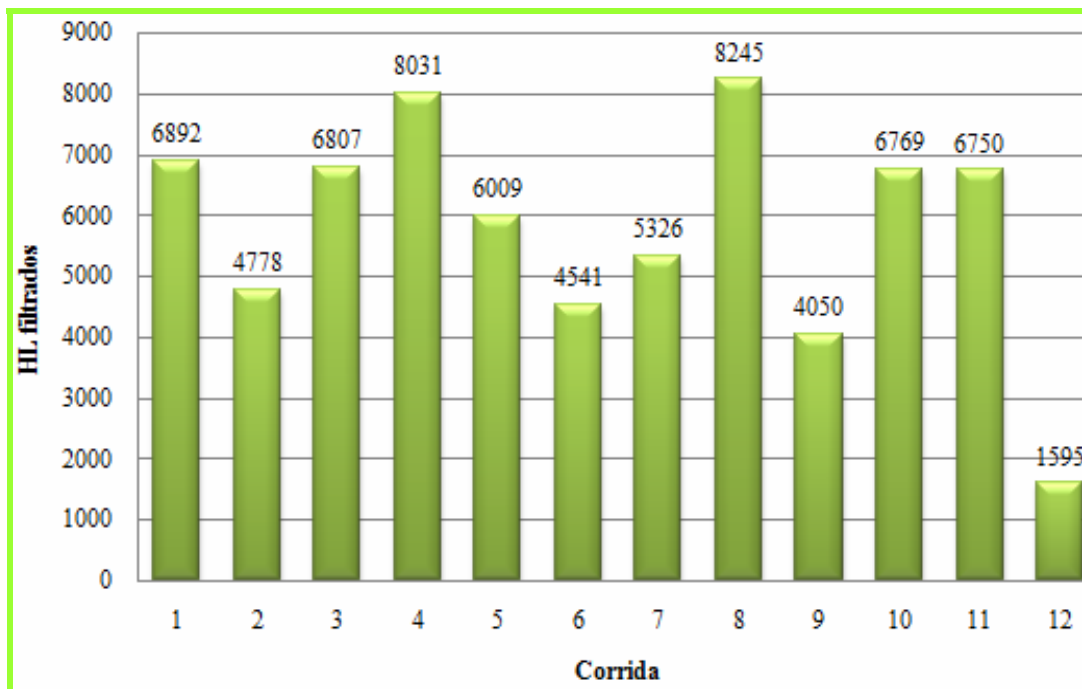


Figura 4.10. Corridas del filtro 1 durante febrero 2010.

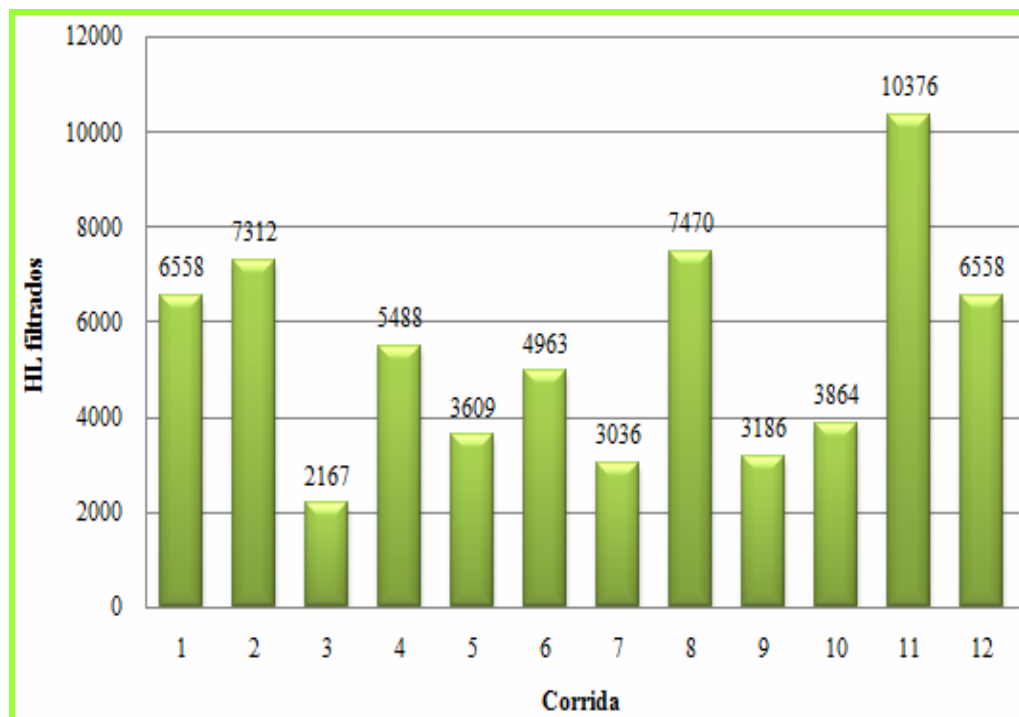


Figura 4.11. Corridas del filtro 2 durante febrero 2010.

En el mes de marzo 2010 (figura 4.12 y 4.13) para el filtro 1 y 2. Durante este mes, los filtros se prepararon con la relación de dosificación: primera precapa 100% Hyflo, segunda precapa y dosificaciones 70% Hyflo y 30% Standar hasta la corrida 3 para el filtro 1 (figura 4.12) y la corrida 7 para el filtro 2 (figura 4.13).

Luego de un amplio estudio que se le realizó al proceso de filtración, deciden cambiar la relación de dosificación de tierra infusoria incorporando un nuevo tipo de tierra llamada Perlite, cuya tierra es aún más gruesa que Hyflo, quedando la relación de dosificación: primera precapa 100% Hyflo más medio saco de Perlite (10%), segunda precapa 100% Standar y dosificación 70% Hyflo y 30% Standar.

El cambio de dosificación trajo aumento de las corridas de filtración aunque seguía el problema de la turbidez en los TCCs.

Para finalizar el análisis de las corridas de filtración, es necesario mencionar el comportamiento de los filtros de cerveza durante el mes de abril del presente año 2010 (figuras 4.14 y 4.15). En este mes se cambió dosificación de gramos por hectolitros de cerveza como se observa en la tabla 4.2, para disminuir el consumo de tierra infusoria y agotamiento del filtro por volumen máximo de sólidos.

Como se muestra en las figuras 4.14 para el filtro 1 y 4.15 para el filtro 2, los filtros tuvieron un mejor comportamiento.

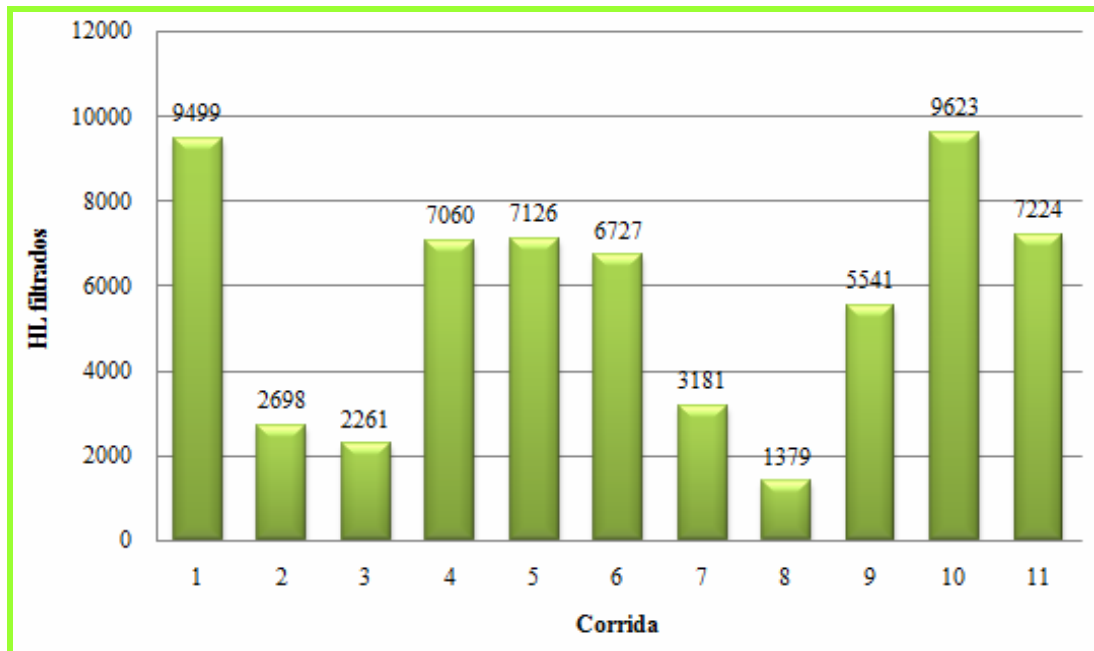


Figura 4.12. Corridas del filtro 1 durante marzo 2010.

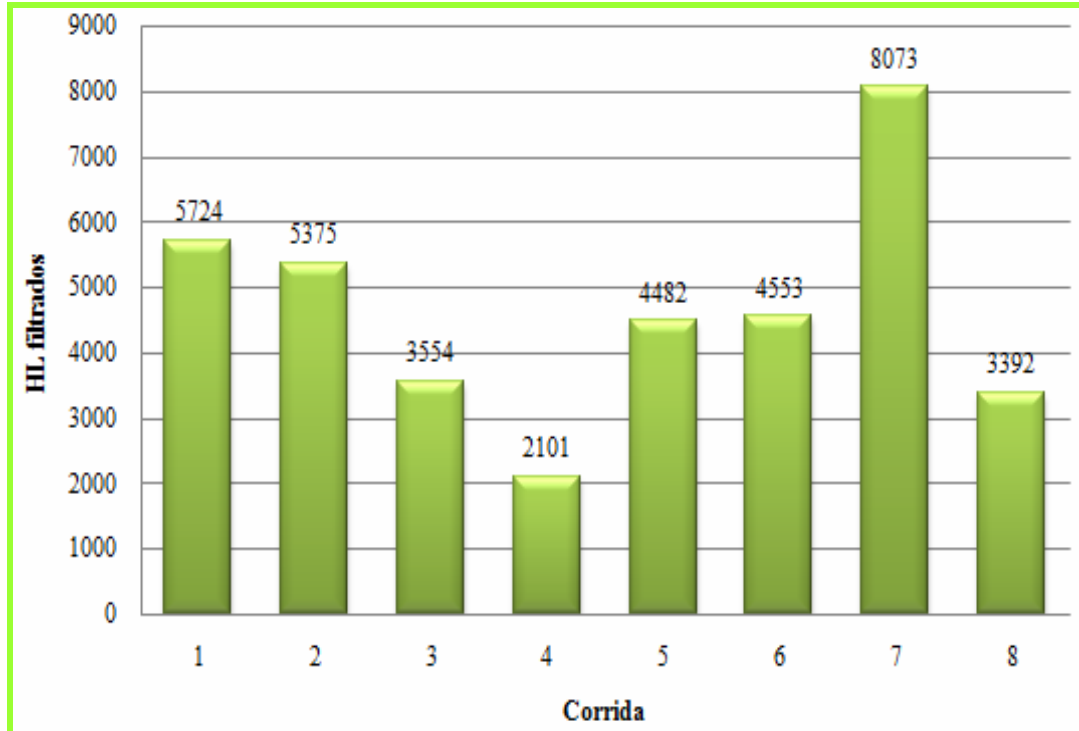


Figura 4.13. Corridas del filtro 2 durante marzo 2010.

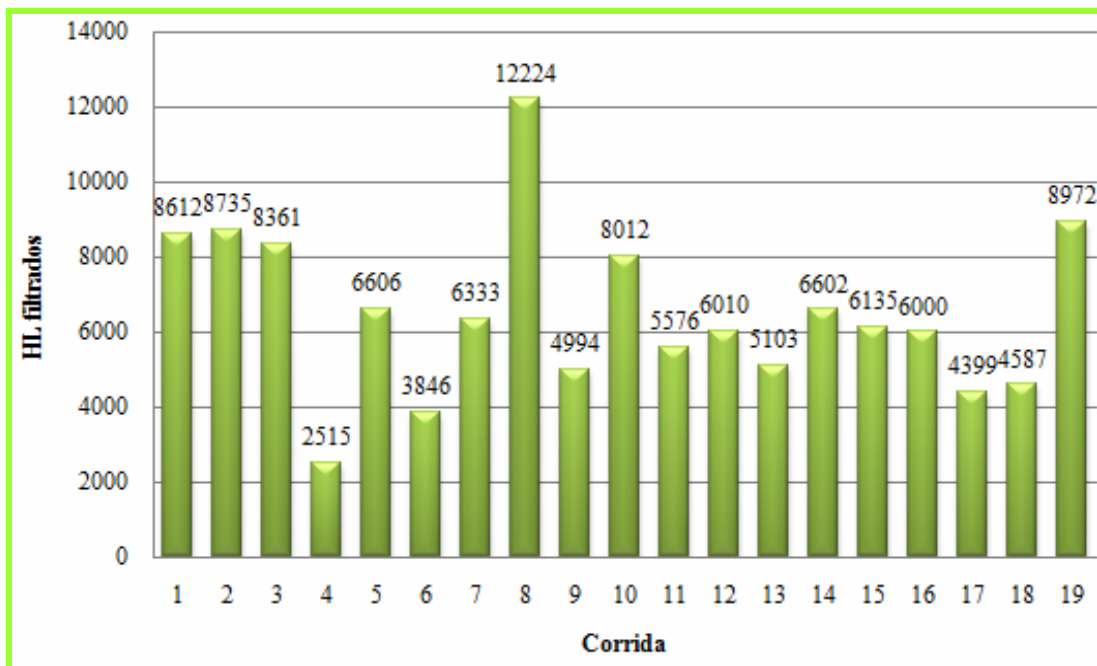


Figura 4.14. Corridas del filtro 1 durante abril 2010.

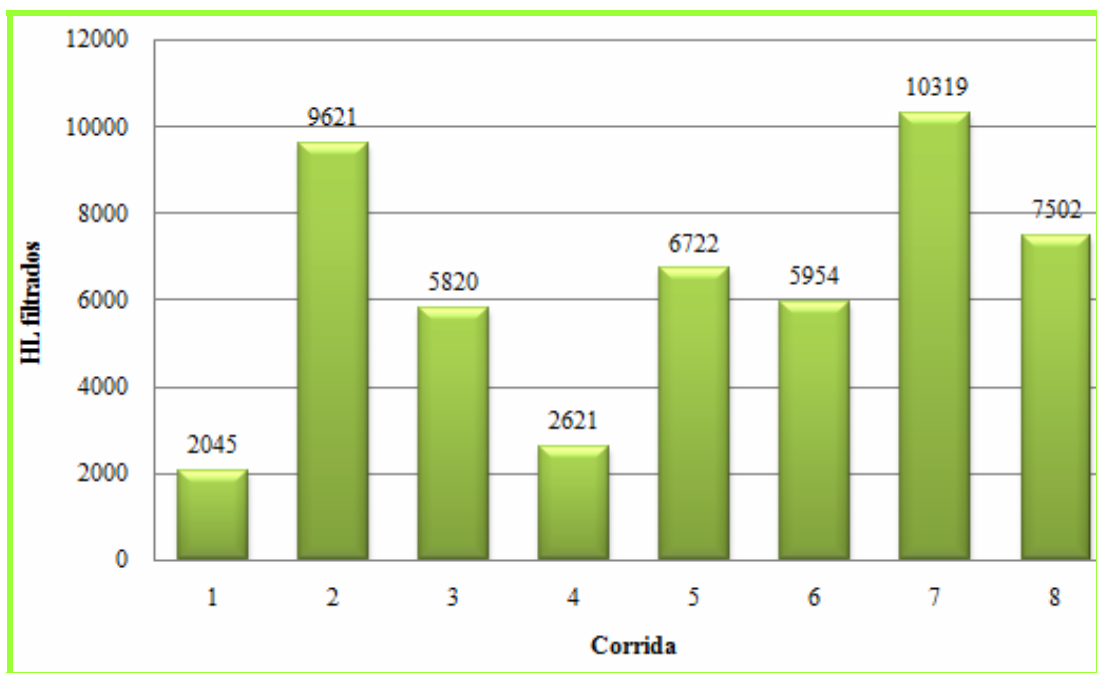


Figura 4.15. Corridas del filtro 2 durante abril 2010.

Tabla 4.2. Relación de dosificación de tierra infusoria por hl filtrado.

Cerveza filtrada (hl)	Dosificación (g/hl)
400	135
800	120
1.600	75
2.400	60
3.200	55
4.000	50
4.800	45
5.600	40
6.400	35
7.200	30

4.2 Ensayos Experimentales que Permitan Controlar de Manera Rápida la Preparación y Correcta Dosificación de Tierra en el Proceso

Luego del seguimiento de la concentración de tierra infusoria en los tanques de preparación de tierra (tanques KG) por medio de ensayos en laboratorio durante una semana, se determinó que la concentración (porcentaje peso-peso), no se encuentra en el rango que establece la empresa (20% peso-peso, sin importar tipo de tierra). Se observaron variaciones considerables en este parámetro como se demostró en la tabla 3.17. Debido a las desviaciones se calculó la cantidad de agua grado plato que se tiene que agregar por cada saco de tierra infusoria y este valor resultó 90,8 L y actualmente se dosifica por cada saco 115 L de agua grado plato; es decir se está dosificando una mayor cantidad de agua a la mezcla de tierra infusoria, ocasionando menor duración en las corridas de filtración por malformación de las velas del filtro.

4.2.1 Método de medición a nivel de laboratorio

El objetivo fundamental por el cual se indagó en la búsqueda de un método de medición de concentración (porcentaje volumen-volumen) a nivel de laboratorio, fue hallar como primer punto la referencia teórica de la concentración de la tierra en los tanques KG, debido a que los valores reales no coincidían con las especificaciones del proceso.

El primer método fue dejando decantar la mezcla de tierra infusoria en cilindro de 1000 ml; como se observa en la tabla 4.3, se realizaron dos pruebas con resultados muy variantes y según los valores de la desviación estándar (tabla 4.7, método 1), la concentración de tierra infusoria tipo Hyflo según este método, está entre un valor de 64,84 y 69,72% volumen-volumen y la de Standar, entre un valor de 52,37 y 58,97% volumen-volumen.

El método se descarta debido a que el tiempo para obtener resultados no es óptimo, ya que se tenía que esperar por lo mínimo 24 horas para que la tierra infusoria decantara.

Tabla 4.3. Concentración de tierra infusoria aplicando método 1.

Tipo de tierra	Concentración (% v/v)	
	Prueba 1	Prueba 2
Hyflo	65,55	69,00
Standar	53,33	58,00

Según el método 2 (dejando decantar la mezcla de tierra infusoria en viales de 50 ml), se puede decir que al igual que en el método 1, se realizaron dos pruebas obteniendo resultados con diferencias apreciables como se observa en la tabla 4.4.

La concentración de tierra infusoria tipo Hyflo según este método está entre un valor de 65,59 y 67,41% volumen-volumen y la de Standar entre un valor de 55,17 y 60,83% volumen-volumen, según la desviación estándar y

promedio (tabla 4.7, método 2). El método también se descartó por la misma razón que el método anterior, el tiempo para obtener resultados no es óptimo; en este caso el tiempo mínimo era de 12 horas.

Tabla 4.4. Concentración de tierra infusoria aplicando método 2.

Tipo de tierra	Concentración (% v/v)	
	Prueba 1	Prueba 2
Hyflo	65,00	69,00
Standar	56,00	60,00

El método 3 (centrifugando la mezcla de tierra infusoria en viales de 50 ml), como se indica la tabla 4.5, se realizaron doce pruebas según el procedimiento de este ensayo, obteniéndose resultados variables para el caso de tierra infusoria tipo Standar y sin diferencias significativas para Hyflo.

La concentración de tierra infusoria tipo Hyflo según este método, está entre un valor de 62,63 y 69,21% volumen-volumen y la de Standar, entre un valor de 58,19 y 59,31% volumen-volumen.

Cabe destacar que para el cálculo del promedio y desviación estándar no se tomaron los valores que se encuentran encerrados en los círculos, debido a que no son datos repetitivos. El método se descarta ya que no es semejante al proceso.

Tabla 4.5. Concentración de tierra infusoria aplicando método 3.

Prueba	Concentración (% v/v)	
	Hyflo	Standar
1	66,67	58,30
2	66,67	59,00
3	66,67	60,00
4	70,09	55,55
5	72,22	62,50

6	69,00	58,30
7	69,00	58,30
8	60,00	58,30
9	60,00	59,00
10	65,67	58,30
11	65,67	59,00
12	65,67	59,00

Tabla 4.6. Concentración de tierra infusoria aplicando método 4.

Prueba	Concentración (% v/v)	
	Hyflo	Standar
1	60,00	57,89
2	60,00	57,89
3	63,16	60,00
4	60,00	55,00
5	60,00	60,00
6	57,89	55,00
7	55,00	57,89
8	60,00	55,00
9	60,00	55,00
10	63,16	60,00
11	60,00	57,89
12	63,16	57,89

Para hallar el método óptimo, se tomaron en cuenta las ventajas y consideraciones de los métodos anteriores; como tiempo, desviación de resultados y semejanza al proceso. Como consecuencia, se desarrollo el método 4, centrifugando 50 ml de muestra de tierra infusoria. El método dio resultados más precisos como se observa en la tabla 4.6, después de la realización de doce pruebas para verificar su eficiencia. La concentración de tierra infusoria tipo Hyflo según este método, está entre un valor de 59,42 y

62,48% volumen-volumen y la de Standar, entre un valor de 55,44 y 59,46% volumen-volumen. Es importante mencionar que al igual que en el método 3, el valor encerrado en el círculo se descartó para el cálculo de la desviación estándar y promedio (tabla 4.7, método 4). En conclusión se selecciona este método ya que presentó menor error, es semejante al proceso y el tiempo para su realización es un poco más de 10 minutos.

Tabla 4.7. Promedio y desviación estándar según cada método de medición.

Tipo de tierra	HYFLO		STANDAR	
Método	Promedio (%)	Desviación estándar	Promedio (%)	Desviación estándar
1	67,28	2,44	55,67	3,30
2	67,00	2,83	58,00	2,83
3	65,92	3,29	58,75	0,56
4	60,95	1,53	57,45	2,01

4.3 Mejoras en el Sistema de Preparación de Tierra que Garanticen la Concentración Indicada en las Especificaciones Técnicas del Proceso (Concentración 20% Peso-Peso).

Una vez analizado el sistema de dosificación de tierra infusoria, se observaron diferentes aspectos que afectaban la correcta preparación de tierra en el proceso; por tales circunstancias se propone la implantación de la placa orificio en las tuberías de entrada de agua grado plato en cada tanque KG, la disminución del tamaño de la rejilla de la entrada de la exclusiva y la medición de la concentración de tierra infusoria en los tanques de preparación de tierra.

4.3.1 Implantación de placa orificio

El objetivo de la implantación de la placa orificio en la entrada de la tubería de suministro de agua grado plato en los tanques KG, fue reducir el flujo por la razón mencionada en la sección 3.3.1. Las placas orificios en cada entrada de agua grado plato en los KG, se implantaron el día 22 de febrero y se notó la mejora entre la desviación que existía entre el volumen total de mezcla preparada en el tanque y el volumen teórico; reduciéndose a valores no apreciables.

4.3.2 Disminución del tamaño de la rejilla de la entrada de la esclusa

Actualmente, se han presentado problemas en el proceso de preparación de tierra infusoria y esto es consecuencia de inconvenientes en la esclusa (permite transportar la tierra por medio de aire a los tanques KG). Principalmente, las causas de los problemas, son por atascamiento de papel proveniente de los sacos vacíos de tierra infusoria. Por la razón expuesta se propone la disminución de la rejilla que actualmente se encuentra, por un tamiz de menor tamaño, aproximadamente 10 mm de luz y un diámetro de alambre de 3,15 mm, de acero inoxidable para mantener condiciones asépticas; debido a que el tamiz que posee actualmente no es el adecuado para evitar la introducción de cualquier sólido que pueda obstruir y causar cualquier complicación.

4.3.3 Determinación la concentración en los tanques KG

Se propone la medición de la concentración (porcentaje volumen-volumen) cada vez que se prepare tierra en los tanques de preparación (tanques KG), debido a la importancia que tiene la mezcla de tierra infusoria en la filtración de cerveza. De la concentración de tierra puede depender el buen funcionamiento de los filtros, ya que si se prepara de mala manera (concentración menor), las velas de los filtros pueden quedar descubiertas en

algunas partes (mala formación de microcanales de filtración) y por allí pueden pasar partículas causantes de la turbidez y el filtro tiende a agotarse de una manera más rápida.

La medición de la concentración se sugiere que sea a partir del método de medición establecido (tomando una muestra directamente del tanque en un vial de 50 mL y centrifugar).

4.4 Proceso para la Regeneración de la Tierra Infusoria

Para llevar a cabo la propuesta de un diseño conceptual de reutilización de tierra infusoria, fue necesaria la realización de ensayos de laboratorio, entre los que se encuentran los fisicoquímicos (pH, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos y totales) y microbiológicos (TGEA, PDA y NBB).

4.4.1 Ensayos de laboratorio

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de lavado de una muestra de tierra infusoria usada, ejecutados a nivel de laboratorio, utilizando agua caliente, agua fresca y soda caústica al 3 y 2 % peso-volumen, usando el procedimiento detallado en la sección 3.4.1.

Debe señalarse que las pruebas se realizaron con la misma muestra para evaluar la efectividad del tratamiento y comparar los resultados obtenidos empleando diferentes concentraciones de soda.

4.4.1.1 pH

En la tabla 4.8 se muestra el pH en las diferentes etapas del lavado de tierra infusoria con soda caústica al 3 y 2% peso-volumen.

El volumen de ácido sulfúrico gastado para la neutralización de la mezcla de tierra infusoria (tierra regenerada + agua grado plato) para los ensayos, se muestra en la tabla 4.9, observándose que el volumen gastado para neutralizar la tierra regenerada con soda al 2% peso-volumen es mayor

(18 mL) en comparación con el gastado con la neutralización de la tierra regenerada con soda cáustica al 3% peso-volumen.

Tabla 4.8. Valor de pH en las aguas de lavado con soda cáustica 3 y 2% p/v.

Lavados	Valor de pH	
	NaOH 3% p/v	NaOH 2% p/v
Agua Caliente	5,55	4,95
1 ^{er} lavado NaOH	13,28	13,05
Después del 1-NaOH	13,19	12,85
2 ^{do} lavado NaOH	13,47	13,19
Después del 2-NaOH	13,06	12,86
Neutralización H ₂ SO ₄ 1N	5,17	5,20

Tabla 4.9. Volumen de ácido sulfúrico gastado en la tierra regenerada con soda cáustica al 3 y 2% p/v.

Volumen gastado de H ₂ SO ₄	NaOH 3%	15 ml
	NaOH 2%	18 ml

4.4.1.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

En la figura 4.16, se muestran los resultados de la DQO, obtenidos en las aguas de lavado utilizando soda cáustica al 3 y 2% peso-volumen. En la gráfica, se aprecia claramente la disminución de la DQO según avanza el lavado de la tierra infusoria.

Comparando los resultados obtenidos empleando distintas concentraciones de soda cáustica, 3 y 2% peso-volumen, se observó que existe una diferencia significativa en cuanto a la DQO debido a que las aguas de lavado con soda cáustica al 3% peso-volumen, tienen menor cantidad de

materia orgánica que las aguas lavado con soda cáustica al 2%, con una diferencia del doble aproximadamente.

La disminución de la DQO indica que la carga orgánica que se encontraba en la muestra, fue decreciendo en la medida que avanzó el lavado.

El valor de DQO aceptable está entre 100 y 200 mg/L que es el valor de la mezcla de tierra infusoria nueva, comparando estos valores con los obtenidos, es evidente que el tratamiento funciona, por lo que la tierra regenerada puede usarse nuevamente en la filtración.

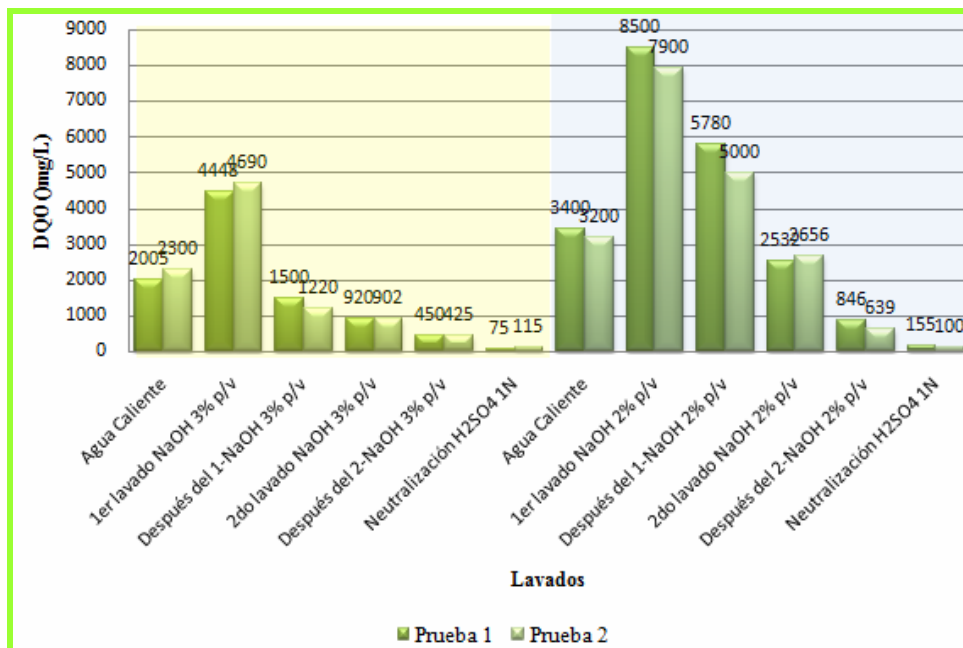


Figura 4.16. DQO en aguas de lavado con soda cáustica 3 y 2% peso-volumen.

4.4.1.3 Sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos

Los resultados de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos suspendidos fijos (SSF), expresados en las tablas 4.10 y 4.11, corresponden a los análisis de la misma muestra antes mencionada.

Tabla 4.10. Sólidos suspendidos en aguas de lavado con soda cáustica 3% p/v.

Lavados	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)
Agua Caliente	41540	6660	34880
1 ^{er} lavado NaOH 3%	67090	3890	63200
Después del 1-NaOH 3%	35800	3050	32750
2 ^{do} lavado NaOH 3%	19510	1840	17670
Después del 2-NaOH 3%	11610	780	10830
Neutralización H ₂ SO ₄ 1N	2215	145	2070

Tabla 4.11. Sólidos suspendidos en aguas de lavado con soda cáustica 2% p/v.

Lavados	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)
Agua Caliente	40410	4920	35490
1 ^{er} lavado NaOH 2%	29980	2200	27780
Después del 1-NaOH 2%	22920	1430	21490
2 ^{do} lavado NaOH 2%	9880	890	8990
Después del 2-NaOH 2%	26500	1480	25020
Neutralización H ₂ SO ₄ 1N	5720	385	5335

Comparando los resultados de sólidos suspendidos totales, volátiles y fijos en las aguas de lavado de tierra infusoria con soda cáustica, 3 y 2%, tablas 4.10 y 4.11, respectivamente, se puede decir que la soda al 3% peso-volumen, como se muestra en la tabla 4.10, remueve mayor cantidad de materia orgánica representada por los sólidos suspendidos volátiles.

4.4.1.4 Sólidos totales, volátiles y fijos

En la tabla 4.12, se muestran los resultados de sólidos totales (ST), volátiles (SV) y fijos (SF), obtenidos luego del análisis de tierra regenerada con soda cáustica, 3 y 2% peso-volumen, comparables con la tierra usada (muestra de inicio). Observando la tabla se llegó a la conclusión, donde la

tierra regenerada con soda cáustica 3%, tiene menor cantidad de materia orgánica, una vez haber removido la cantidad de 2,11% de carga orgánica (restando los sólidos volátiles de la tierra usada menos los sólidos volátiles de la tierra regenerada con soda al 3%).

Tabla 4.12. Sólidos totales (ST), volátiles (SV) y fijos (SF) en la tierra usada y tierra regenerada con soda cáustica al 3 y 2% p/v.

Tipo de Tierra	ST (%p/p)	SV (%p/p)	SF (%p/p)
Tierra usada	65,20	3,27	61,93
Tierra regenerada con NaOH 3%	65,00	1,16	63,84
Tierra regenerada con NaOH 2%	65,60	1,34	64,26

4.4.1.5 Análisis microbiológicos

En las tablas 4.13 (TGEA), 4.14 (PDA) y 4.15 (NBB), se presentan los resultados microbiológicos de las pruebas realizadas con la regeneración de tierra, usando lavado de soda cáustica al 3 y 2% peso-volumen y adicionales a estos la microbiología de la mezcla de tierra nueva tomada como control y tierra usada para verificar disminución de microorganismos.

Los resultados microbiológicos son satisfactorios aún cuando hay presencia de mesófilos totales, bacterias anaerobias y levaduras. Como se observa en las tablas 4.13, 4.14 y 4.15, los mejores resultados en cuanto a microbiología se tienen para la tierra regenera con NaOH al 3% peso-volumen; por tal razón, se decidió definir el proceso de regeneración de tierra infusoria en base a los ensayos empleando esta concentración de soda cáustica.

Incluso en presencia de los microorganismos encontrados, es posible utilizar esta tierra en el proceso de filtración sin correr riesgo de que se afecte el producto final (cerveza), ya que estas pruebas fueron realizadas sin

ninguna condición microbiológica (al ambiente), donde existen presencia de estos microorganismos; no se puede atribuir la presencia de los mismos al hecho de que el tratamiento no funcione.

Tabla 4.13. Resultados de microbiología empleando como medio TGEA.

Muestra	Mesófilos Totales (ufc/0,5ml)
Control Hyflo	0
Control Standar	0
Tierra usada	38
Tierra usada en 50 ml	1
Tierra usada en 100 ml	2
Tierra regenerada con NaOH al 3%	14
Tierra regenerada con NaOH al 3% en 50 ml	6
Tierra regenerada con NaOH al 3% en 100 ml	4
Tierra regenerada con NaOH al 2%	30
Tierra regenerada con NaOH al 2% en 50 ml	6
Tierra regenerada con NaOH al 2% en 100 ml	7

Tabla 4.14. Resultados de microbiología empleando como medio PDA.

Muestra	Mohos (ufc/0,5ml)	Levaduras (ufc/0,5ml)
Control Hyflo	0	0
Control Standar	0	0
Tierra usada	0	Sc
Tierra usada en 50 ml	0	Sc
Tierra usada en 100 ml	0	Sc
Tierra regenerada con NaOH al 3%	0	10
Tierra regenerada con NaOH al 3% en 50 ml	0	0
Tierra regenerada con NaOH al 3% en 100 ml	0	0
Tierra regenerada con NaOH al 2%	0	12
Tierra regenerada con NaOH al 2% en 50 ml	0	1
Tierra regenerada con NaOH al 2% en 100 ml	0	0

Tabla 4.15. Resultados de microbiología empleando como medio NBB.

Muestra	Bacterias Anaerobias (ufc/0,5ml)
Control Hyflo	0
Control Standar	0
Tierra usada	96
Tierra usada en 50 ml	8
Tierra usada en 100 ml	9
Tierra regenerada con NaOH al 3%	30
Tierra regenerada con NaOH al 3% en 50 ml	10
Tierra regenerada con NaOH al 3% en 100 ml	5
Tierra regenerada con NaOH al 2%	35
Tierra regenerada con NaOH al 2% en 50 ml	6
Tierra regenerada con NaOH al 2% en 100 ml	9

4.4.2 Pruebas en campo

En esta sección, se analizó el comportamiento de la tierra infusoria usada durante los lavados en el tanque piloto (KG1) y las dosificaciones de tierra regenerada al proceso de filtración.

4.4.2.1 Lavados de tierra usada en tanque piloto

Se realizaron en total diez pruebas de lavados de tierra usada durante las corridas de filtración, en los cuales se sometió la tierra usada al procedimiento explicado en la sección 3.4.2.1. El porcentaje de tierra regenerada durante las pruebas de lavados se muestra en la tabla 4.16; éste valor se calculó partiendo de los datos de volumen (L) y concentración (porcentaje volumen-volumen) de tierra usada (L) y tierra regenerada (L) (tabla 3.14). Como se observa en la tabla 4.16, se logra un porcentaje de regeneración de más del 60% en algunos casos, debido a que se pierde la carga orgánica, partículas causantes de la turbidez y tierra infusoria que se extrae durante los lavados.

Tabla 4.16. Porcentaje de regeneración de tierra regenerada en los lavados en campo.

LAVADOS EN CAMPO							
	4	5	6	7	8	9	10
% Tierra regenerada	49,55%	48,04%	57,32%	61,25%	60,73%	61,53%	61,30%

La figura 4.17 representa el comportamiento de la DQO durante el transcurso de los lavados en el tanque piloto (no se reportan las pruebas de lavado 1,2 y 3 debido a que fueron lavados de prueba). Apreciándose claramente la disminución de la DQO a medida que avanzan los lavados de tierra infusoria desde valores de 10.000 hasta 100 mg/L que es el valor aceptable para dosificar la tierra regenerada a los filtros. También se observa en la figura que el lavado con soda cáustica 3% p/v, es el que mayor elimina materia orgánica.

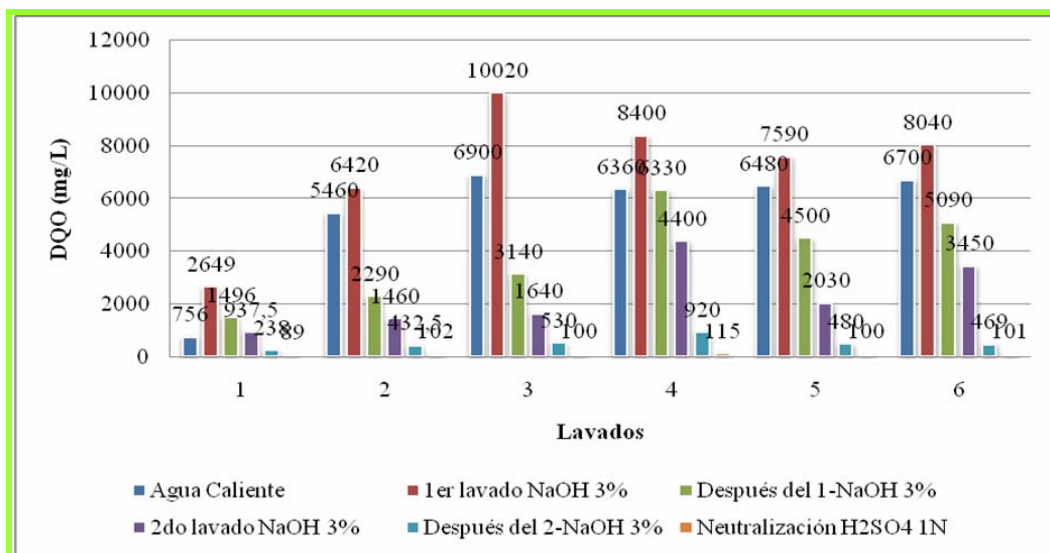


Figura 4.17. Demanda química de oxígeno durante lavados en campo.

En cuanto al factor microbiológico, se sembraron muestras de tierra usada y regenerada con la finalidad de observar el comportamiento de la tierra regenerada y decidir si se podía dosificar la tierra al filtro; los medios utilizados para estos análisis fueron TGEA, PDA y NBB. Los resultados de los diferentes análisis se reportan en la tabla 4.17, donde se observa la disminución de los microorganismos y se decide emplear la tierra regenerada en el proceso de filtración. En cuanto a mesófilos totales, se observa una disminución aproximada al 65%, mohos 100%, levaduras 96% y bacterias anaerobias 70%.

Es importante recalcar que las condiciones de lavado de tierra en campo no fueron asépticas debido a que el tanque piloto se tenía que destapar cada vez que se iba dosificar y extraer un agua de lavado.

Tabla 4.17. Resultados microbiológicos de lavados en campo.

Pruebas		TGA	PDA		NBB
		Mesófilos Totales (ufc/0,5ml)	Mohos (ufc/0,5ml)	Levaduras (ufc/0,5ml)	Bacterias Anaerobias (ufc/0,5ml)
Lavado 3	Tierra usada	Sc	58	Sc	Sc
	Tierra regenerada	Sc	0	7	0
Lavado 4 Dosificación 1	Tierra usada	Sc	45	Sc	Inc
	Tierra regenerada	58	0	5	12
Lavado 5 Dosificación 2	Tierra usada	Sc	60	Sc	81
	Tierra regenerada	42	0	0	28
Lavado 6 Dosificación 3	Tierra usada	Sc	56	86	Inc
	Tierra regenerada	50	0	9	28
Lavado 7 Dosificación 4	Tierra usada	Sc	15	Sc	86
	Tierra regenerada	31	0	3	31

Lavado 8 Dosificación 5	Tierra usada	Sc	52	Sc	89
	Tierra regenerada	10	0	6	16
Lavado 9 Dosificación 6 Dosificación 7	Tierra usada	Sc	63	Sc	63
	Tierra regenerada	15	0	0	13
Lavado 10 Dosificación 8 Dosificación 9	Tierra usada	Sc	12	Sc	85
	Tierra regenerada	26	0	2	51

*Sc: sobrecrecido; Inc.: incontable

4.4.2.2 Dosificaciones de tierra regenerada al filtro

Se realizaron nueve pruebas de dosificaciones de tierra al filtro, en donde se sustituía una dosificación normal (con tierra nueva) por una dosificación de tierra regenerada, de las cuales, en las primeras cuatro pruebas, se dosificó al dosimat 100% tierra regenerada y se realizaron las pruebas en diferentes corridas de filtración, tomando en cuenta que los resultados no fueron óptimos, es decir; los filtros durante estas pruebas no se comportaron de la manera correcta, aumentando la presión diferencial más de lo esperado (3 bar por hora) (figura 4.17 a 4.20). Se dosificó en las cinco pruebas restantes la tierra regenerada, en relación 50% tierra regenerada y 50% Hyflo (figura 4.21 a 4.25), obteniéndose mejores resultados. Al observar el comportamiento de los filtros de cerveza durante las pruebas de dosificación de tierra regenerada, se notaron diferentes situaciones:

En la primera y segunda prueba (figura 4.17 y 4.18, respectivamente), se dosificó 100% tierra regenerada, la dosificación fue la octava para el ensayo 1 y séptima para el 2; cabe destacar que al filtro se le envían aproximadamente ocho dosificaciones y éste va aumentando la presión diferencial a lo largo de la corrida.

En la figura 4.18 y 4.19, se observa el comportamiento de las variables más importantes en el proceso de filtración (presión de entrada, presión

diferencial y turbidez); el nivel del dosimat (línea negra), se muestran sólo por motivos de comparación y mejor visualización entre la dosificación, con tierra nueva (rectángulo amarillo) y con tierra regenerada (rectángulo azul). La conducta del filtro en el momento de recirculación, también es apreciable en las gráficas, detallándose usando las llaves rojas en la primera prueba (figura 4.18). Se filtraron durante las pruebas, aproximadamente 800 HL de cerveza en cada prueba, aumentando el diferencial de presión por hora (tabla 4.18) luego de la dosificación, el doble como muestra en las figuras por la línea verde; sin embargo, la turbidez no tuvo cambios considerables y el filtro 1 luego de estas pruebas finalizó con 6.009 y 9.499 HL respectivamente.

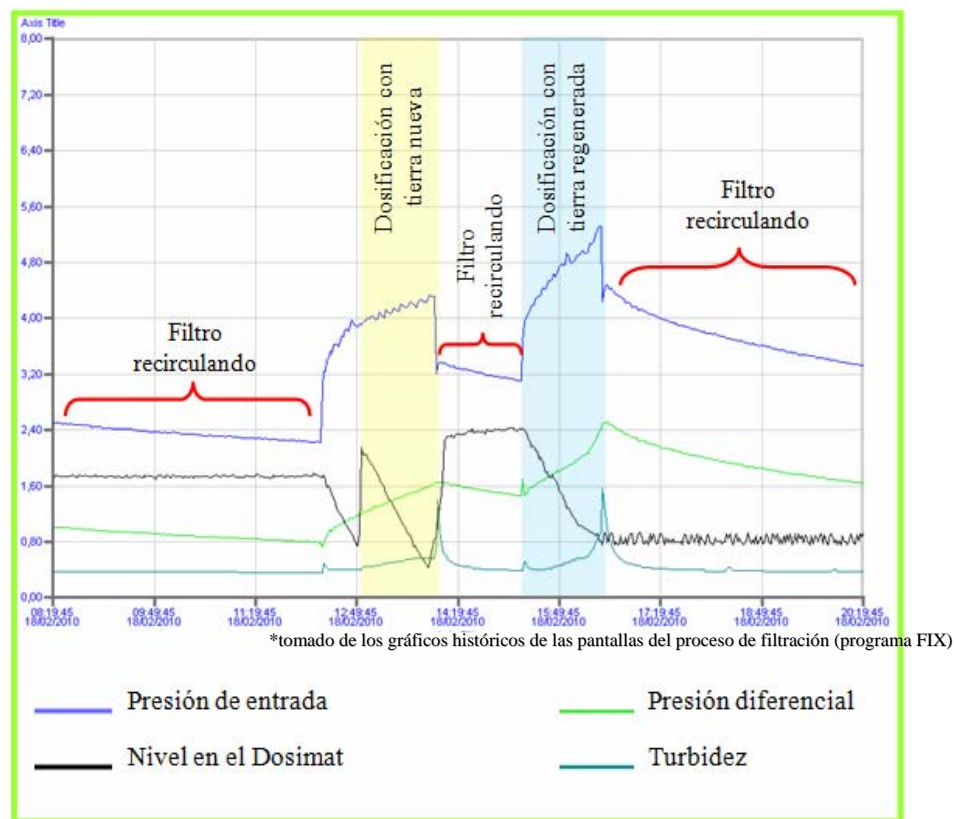


Figura 4.18. Primera prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

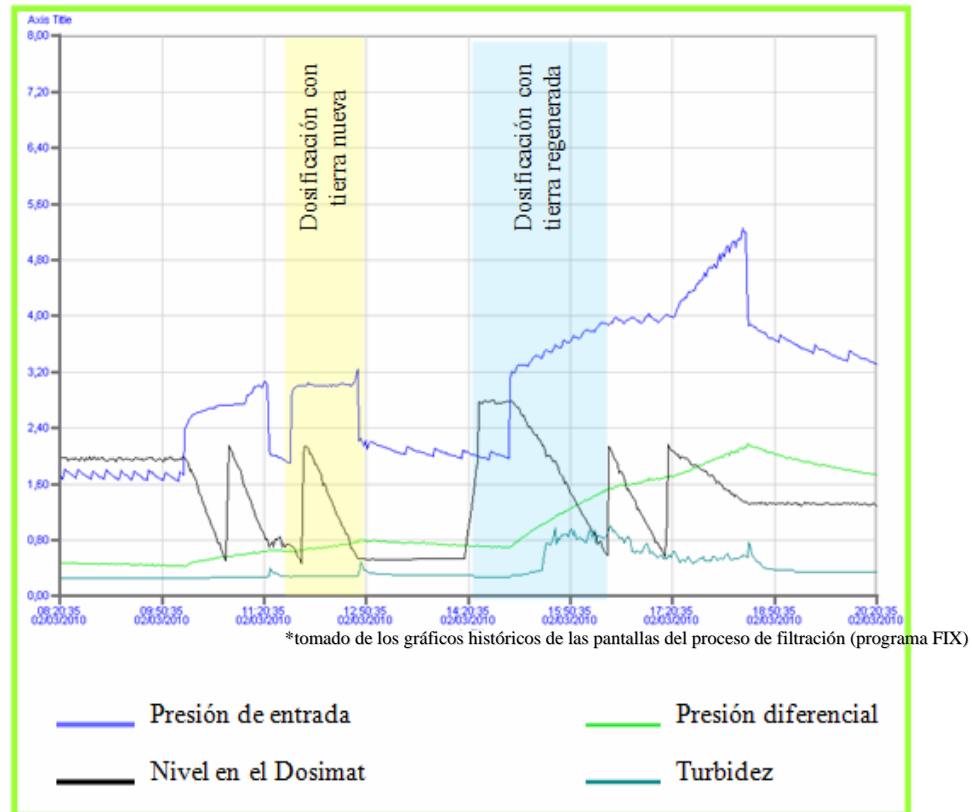


Figura 4.19. Segunda prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

La tercera y cuarta prueba (figura 4.20 y 4.21, respectivamente), se realizaron en el filtro 2, dosificando también la proporción de 100% tierra regenerada; obteniendo resultados poco factibles, ya que en la prueba 3 (rectángulo azul, figura 4.20) en el momento de dosificar la tierra desde el tanque KG1 al dosimat, entró agua grado plato al tanque y por lo tanto la concentración en el mismo, fue menor a la requerida; esto ocurrió debido a que la operación se realizó en manual y se presentó el error humano y como consecuencia la presión diferencial tuvo un aumento bastante elevado como se aprecia en la línea marrón en la figura 4.20.

En la cuarta prueba de dosificación, mostrada en rectángulo azul, figura 4.21, la presión diferencial aumentó el doble luego de la misma (tabla 4.18).

Sin embargo, durante estas dosificaciones se filtraron 600 HL y al final de la corrida, los HL filtrados de cerveza en la prueba 3 y 4 fueron 4.482 y 3.392, respectivamente.

Es importante mencionar que la prueba 3, se realizó durante la octava dosificación y la 4 en la tercera dosificación y que también la turbidez en los TCCs (producto destinado a filtrar) filtrados, estaba alta y ésta es la principal razón por lo cual los filtros tienen corridas de corta duración.

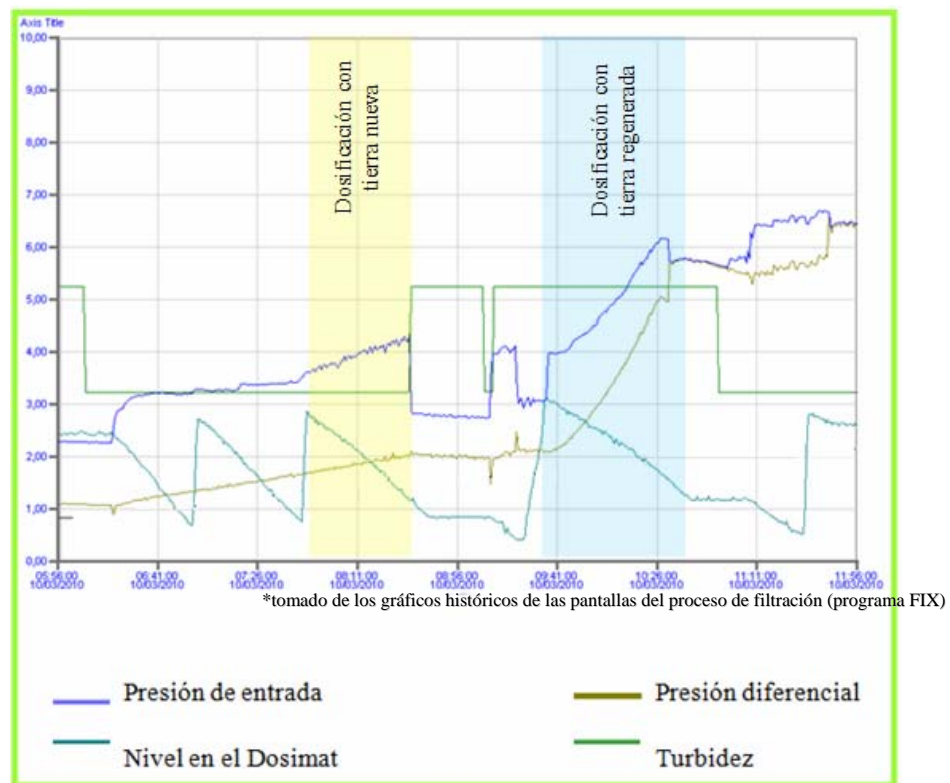


Figura 4.20. Tercera prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

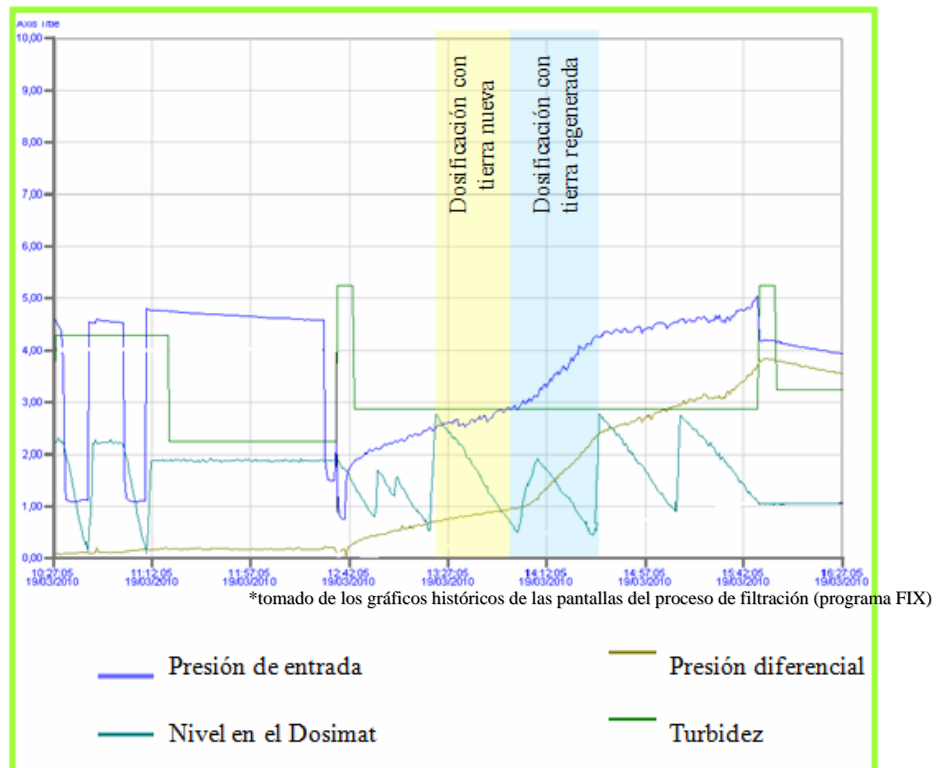


Figura 4.21. Cuarta prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

En la quinta prueba se comienza a dosificar la tierra regenerada en relación, 50% dicha tierra y 50% Hyflo, debido a que los resultados de las dosificaciones anteriores no eran óptimos. La prueba se realizó en el filtro 1 aumentando la presión diferencial muy poco después de la dosificación como lo indica la tabla 418 y observándose en la figura 4.22 mediante la línea verde. La turbidez (línea verde oscuro) no indica cambios apreciables. Se filtraron durante la dosificación 500 HL y en total el filtro, obtuvo una finalización con 7.224 HL de cerveza. El comportamiento del filtro después de la dosificación fue estable como se observa en la figura 4.22.

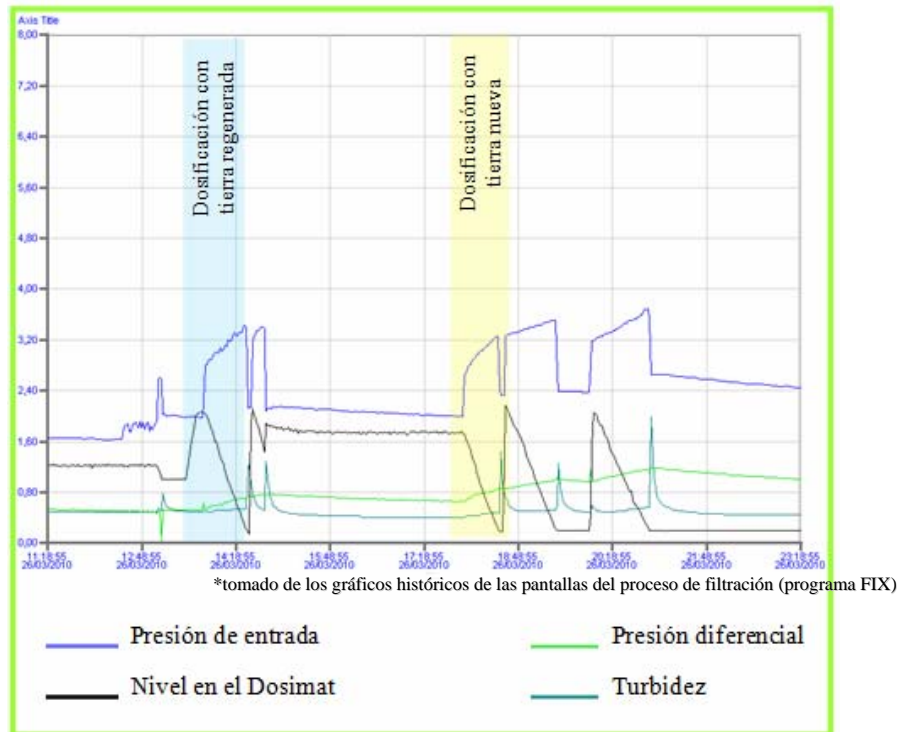


Figura 4.22. Quinta prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

La sexta y séptima prueba (figura 4.22 y 4.23, respectivamente), se realizaron en el filtro 1 con resultados poco factibles, debido a que en la prueba 6, como se observa en la figura 4.23, el diferencial de presión aumentó más del doble (línea verde), debido a que la esclusa en el momento de preparar la mezcla de Hyflo, tenía un problema y la tierra no se preparó a la concentración requerida y también la turbidez de los TCCs estaba alta y las corridas duraban menos de lo esperado; sin embargo, el filtro a pesar de este inconveniente, filtró 6.010 HL. En la séptima prueba (figura 4.24), se agregó adicionalmente 50 ml de la enzima Ultraflo Max, para observar si se podía mejorar la filtrabilidad de la tierra. Luego de agregar la enzima, se dosificó la tierra al dosimat, pero ocurrió una baja de tensión de veinte minutos antes de comenzar a dosificar la tierra al filtro, se dosificaron en total 823 L de mezcla entre Hyflo y tierra regenerada y se filtraron en total 5.103

HL. La baja de tensión provocó que la prueba no fuera comparativa, ya que durante este inconveniente pueden ocurrir movilidad del medio filtrante en las velas. En conclusión no se notaron cambios con el uso de la enzima.

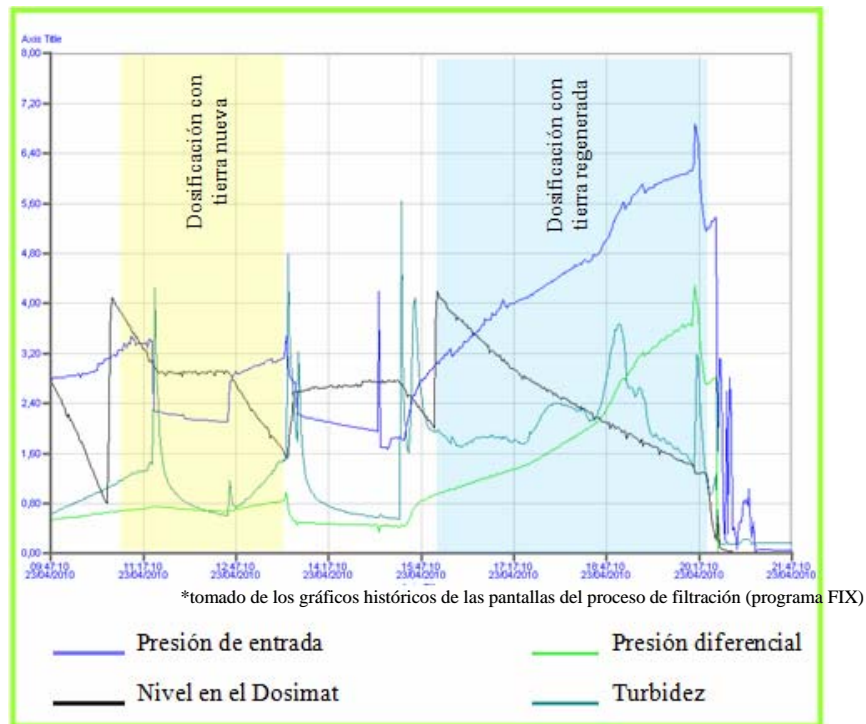


Figura 4.23. Sexta prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

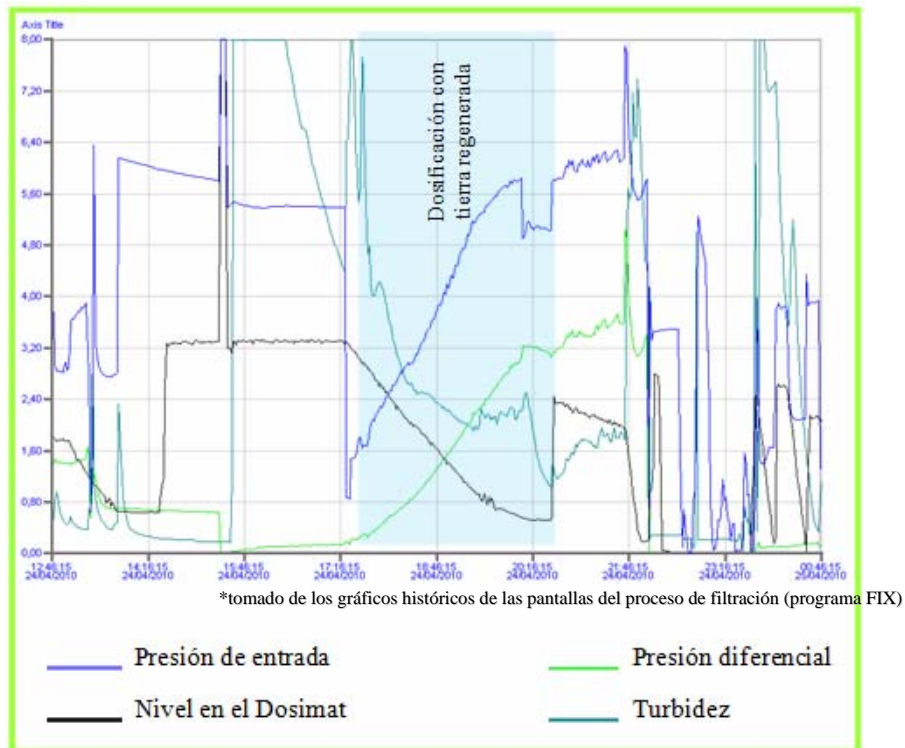


Figura 4.24. Séptima prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

La octava (figura 4.25) y novena (figura 4.26) prueba, se realizaron en una misma corrida de filtración obteniendo resultados favorables (el filtro se mantuvo estable durante toda la corrida de filtración), es decir; las variables, presión de entrada (línea azul), presión diferencial (línea verde) y turbidez (línea verde oscuro), obtuvieron un comportamiento estable al igual que la dosificación con tierra nueva (rectángulo amarillo).

Las pruebas se realizaron en el filtro 1 y la relación fue: 50% tierra regenerada y 50% Hyflo. Se filtraron durante las dosificaciones, 1.078 y 1.439 HL, respectivamente y el filtro finalizó con 11.667 HL de producto. Como se muestra en la tabla 4.18, el diferencial de presión por hora, resultó menor que el teórico (3 bar por hora).

Luego de observar el comportamiento de los filtros de cerveza durante las pruebas, se puede concluir que se puede dosificar tierra regenerada en una misma corrida de filtración obteniendo resultados factibles.

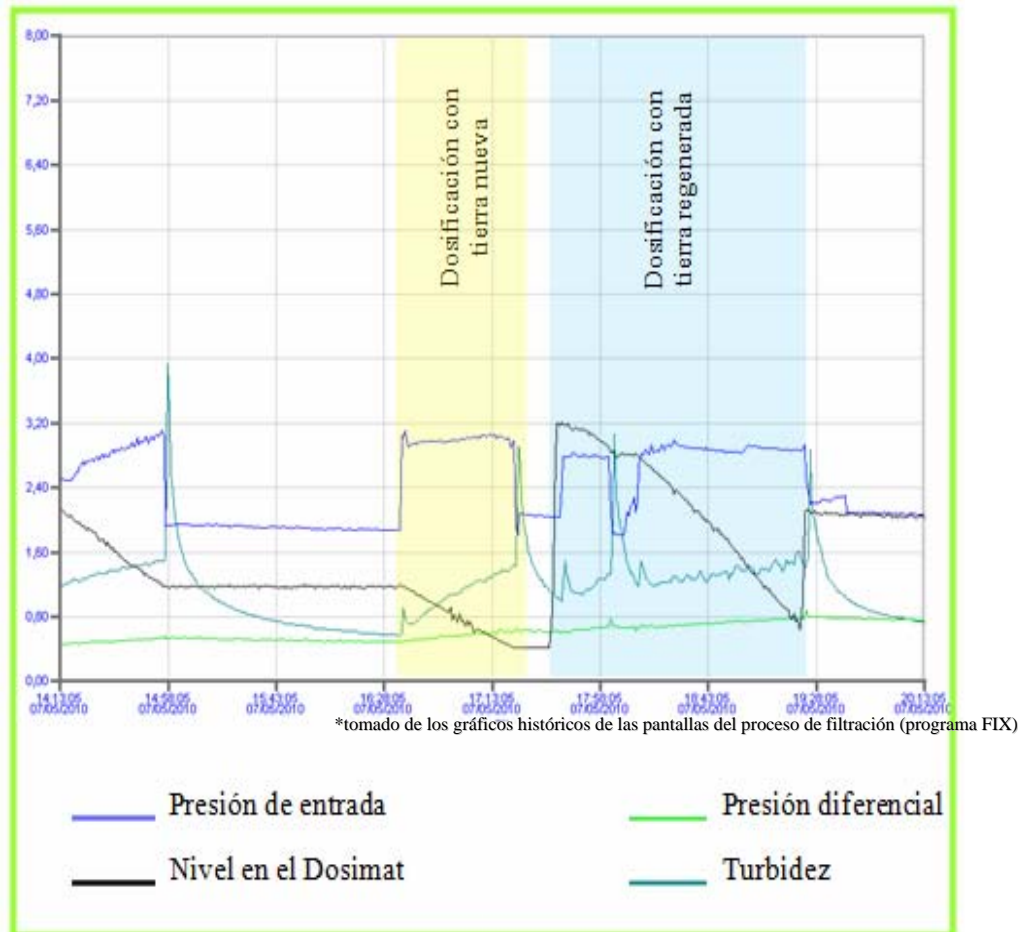


Figura 4.25. Octava prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

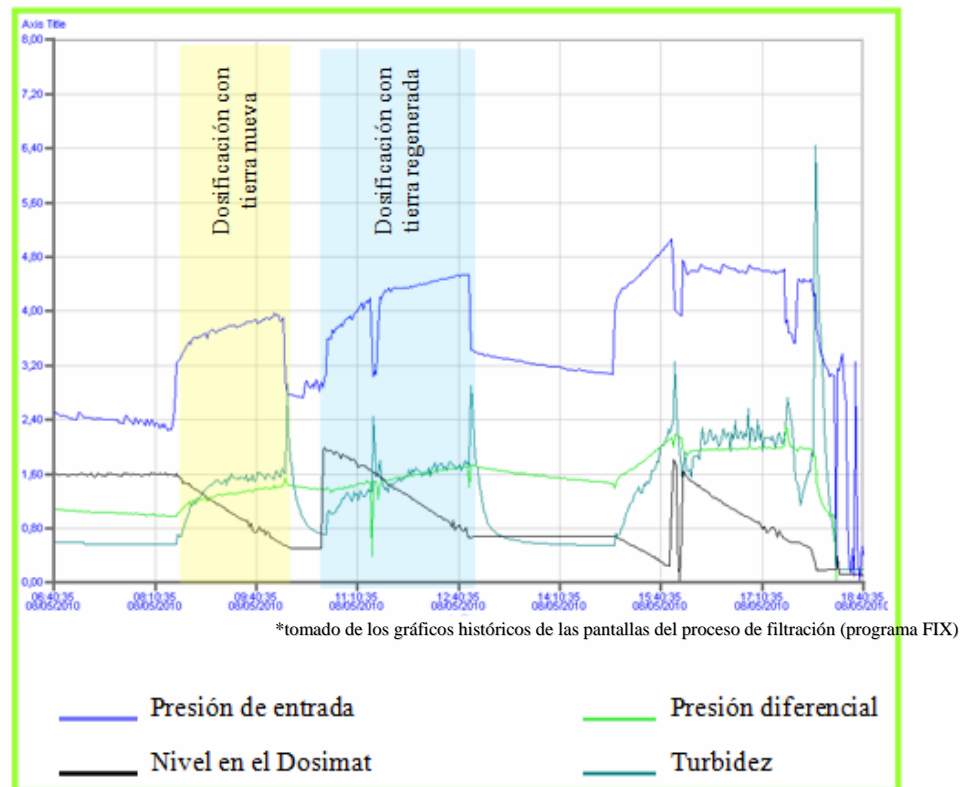


Figura 4.26. Novena prueba de dosificación de tierra regenerada al filtro.

Tabla 4.18. Diferencial de presión por hora antes y después de dosificar la tierra regenerada al filtro.

Dosificación	$\Delta P/h$ (bar/h)	
	Antes	Después
1	0,34	0,66
2	0,20	0,40
3	0,33	0,90
4	0,53	1,00
5	0,33	0,35
6	0,30	0,80
7	0,83	0,92
8	0,16	0,17
9	0,17	0,20

La cantidad total de tierra regenerada durante todos los ensayos de lavado de tierra, se reporta en la tabla 4.19, obteniéndose un total de 820,40 kg (aproximadamente 36 sacos). Este cálculo se realizó en base a los datos de la tabla 3.15, la concentración de la mezcla de tierra infusoria (20% peso-peso) y al peso de cada saco (22,7 kg).

Tabla 4.19. Totalización de kilogramos de tierra regenerada

Dosificación	Kilogramos tierra ahorrados
1	119,40
2	139,40
3	124,00
4	109,20
5	51,80
6	64,30
7	82,30
8	80,00
9	50,00
Total= 820,40 kg	

Una vez filtrada la cerveza con la tierra regenerada, se le realizó una prueba de degustación, donde se comparó la cerveza filtrada con tierra nueva y la filtrada con la tierra regenerada. Los resultados se muestran en la tabla 4.2, donde se observan que la cerveza filtrada con la dosificación de tierra infusoria tratada no presenta variación en sus propiedades organolépticas; aroma, sabor, cuerpo, amargor y parecer general. Estos parámetros se miden en puntajes de 1 a 5. El puntaje reportado para esta cerveza quiere ésta dentro de norma.

Tabla 4.20. Comparación de degustación de cerveza filtrada con tierra nueva y cerveza filtrada con tierra regenerada.

Características	Cerveza filtrada con tierra infusoria nueva	Cerveza filtrada con tierra infusoria tratada
Aroma	4.9	4.9
Sabor	4.9	4.9
Cuerpo	3.9	4.8
Calidad amargo	4.8	4.7
Parecer general	4.5	4.8

4.4.3 Propuesta para la regeneración de tierra infusoria usada proveniente de dos filtros

Luego de verificar la eficiencia del uso de tierra infusoria regenerada en el proceso de filtración mediante las pruebas de campo, se plantea el diseño conceptual del proceso de regeneración cuyo procedimiento se explicó en la sección 3.5.1. Una vez obtenida la propuesta de regeneración, se diseñó conceptualmente los tanques donde se llevaría a cabo el procedimiento de lavado y sus características. Los resultados se reportan en la tabla 4.21.

Tabla 4.21. Características de los tanques propuestos para la regeneración de la tierra infusoria provenientes de dos corridas de filtración

PARÁMETRO	Tanque para regeneración	Tanque para almacenar
Capacidad (m ³)	17,00	17,00
Diámetro (m)	2,33	2,33
Altura (m)	4,00	4,00
Elevación (m)	1,00	1,00
Altura drenaje 1 (m)	0,67	-
Altura drenaje 2 (m)	1,34	-
Cantidad de soda cáustica 50% p/p (L)	200	-

Cantidad de ácido sulfúrico grado alimenticio 98% (L)	50	-
--	----	---

La cantidad de tierra a regenerar son aproximadamente 5.700 sólidos provenientes de dos corridas de filtración, obteniendo un volumen de tierra regenerada de 4.500 L (mezcla de tierra regenerada + agua grado plato en concentración 50% volumen-volumen). Esta cantidad es suficiente para la preparación de 18 dosificaciones con la relación 50% tierra regenerada (250 L) y 50% Hyflo (250 L).

4.5 Ahorro Económico del Diseño Conceptual del Proceso de Regeneración de la Tierra Infusoria

Luego de obtener los costos relacionados con la preparación de los filtros de cerveza y costo de los productos para el tratamiento de regeneración de tierra infusoria; se calculó el costo del tratamiento para la tierra proveniente de dos filtros, como se muestra en la tabla 4.22; también se indica el costo de una dosificación de tierra nueva (70% Hyflo/ 30% Standar) y una dosificación propuesta (50% tierra regenerada/ 50% Hyflo); teniéndose una diferencia de 91,8 Bs por cada dosificación reemplazada.

Tabla 4.22. Costos de las dosificaciones con tierra nueva, propuesta y del tratamiento para el lavado de tierra proveniente de dos filtros.

Dosificación	Dosificación de tierra nueva	Dosificación propuesta	Tratamiento para 2 filtros
Costo (Bs/dosificación)	466,3	374,5	1657,22

En la tabla 4.23 se reportan los costos (Bs/kg) de la tierra infusoria regenerada y la tierra infusoria tipo Hyflo y Standar. Comparando los costos, es evidente que la tierra regenerada es más económica y además mediante su regeneración e implementación en el proceso, se enviarían menos desechos a CEPAREL,

disminuyendo el impacto ambiental y se ahorraría 40 sacos entre Hyflo y Standar (producto importado).

Tabla 4.23. Costo de tierra regenerada, tierra infusoria tipo Hyflo y Standar.

Producto	Tierra regenerada	Hyflo	Standar
Costo (Bs/kg)	1,84	5,65	2,36

El ahorro de la propuesta se determinó tomando en cuenta el costo de la tierra que se dejaría de utilizar, el costo de una dosificación con tierra nueva, el costo de una dosificación propuesta y el costo del tratamiento; teniendo como resultado un ahorro de 3.303,57 Bs por la tierra regenerada de dos filtros. Por lo tanto, el proceso de regeneración de tierra infusoria es factible económicamente para la elaboración de cerveza, ésto viene dado por la disminución del costo en 3.303,57 Bs para filtración teórica de 20.000 HL de producto.

4.6 Conclusiones

1. La cantidad de agua grado plato que se debe agregar en el momento de la preparación de la tierra es 90,8 L en lugar de 115 L.
2. El método más apropiado para medir la concentración de tierra en los tanques KG es centrifugando la mezcla de tierra infusoria en viales de 50 ml agregados directamente del KG.
3. La concentración de tierra infusoria tipo Hyflo en el tanque KG según el método de medición establecido está entre un valor de 59,42 y 62,48% volumen-volumen.
4. La concentración de tierra infusoria tipo Standar en el tanque KG según el método de medición establecido está entre un valor de 55,44 y 59,46% volumen-volumen.

5. La instalación de la placa orificio en los KG mejoró la dosificación de agua grado plato para la preparación de tierra infusoria.

6. La soda cáustica al 3% peso-volumen elimina mayor cantidad de materia orgánica en la tierra usada que las otras aguas de lavado según análisis de sólidos suspendidos volátiles.

7. Respecto al análisis de materia orgánica (DQO) en la tierra infusoria tratada en los filtros de cerveza, se observó la efectividad del tratamiento ya que la DQO disminuyó en forma progresiva con el avance del mismo.

8. Según los análisis microbiológicos se observó notablemente la disminución de la carga microbiana de mesófilos totales, bacterias anaerobias, mohos y levaduras entre tierra usada y regenerada, comparable a la tierra nueva.

9. Las propiedades fisicoquímicas y degustativas de la cerveza filtrada con la tierra regenerada no se afectan.

10. Se determinó que el porcentaje de tierra regenerada es del 60%; debido a la eliminación de carbón, materia orgánica y tierra que se pierde durante los lavados.

11. Se estableció que la relación adecuada para el uso de tierra regenerada en el proceso es de 50% tierra regenerada y 50% Hyflo. Las dosificaciones de la tierra regenerada no afectan las condiciones del filtro.

12. Se proponen dos tanques de 17 m³ para la regeneración y almacenamiento de la tierra infusoria proveniente de dos corridas de filtración.

13. El costo estimado para la regeneración de 4.500 L (18 dosificaciones) de tierra regenerada es de 1.657,23 Bs.

14. El ahorro neto es de 3.303,57 Bs por cada regeneración de dos filtros.

4.7 Recomendaciones

1. Respecto a las corridas de los filtros se recomienda controlar turbidez en los TCCs para así lograr corridas largas de filtración ya que es este el factor principal del bajo rendimiento de los filtros.

2. Verificar la correcta formación de las precapas en las velas del filtro, durante la preparación del filtro para proceso, principalmente durante las caídas de tensión.

3. Revisar por lo menos una vez a la semana la calidad y distribución de la torta de filtración después de haber dosificado por lo menos 90% del volumen de sólidos.

4. Cumplir con los planes de mantenimiento presentes.

5. Disminuir las dimensiones de los agujeros de la rejilla que se encuentra en la esclusa para evitar posibles estancamientos de papel en ella.

6. Determinar la concentración en los tanques KG cada vez que se prepare tierra infusoria para garantizar una buena concentración al momento de dosificar la tierra a los filtros.

7. Recuperar la soda que se utiliza en el proceso de regeneración de tierra infusoria a fin de ahorrar el producto.

8. Seguir con los ensayos de tierra regenerada al filtro pero a macroescala con el fin de evaluar el comportamiento del filtro preparando más de dos dosificaciones de tierra regenerada por corrida de filtración.

9. Poner en práctica el proyecto destinado a la regeneración de tierra infusoria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ballet, J., "**Tierras de diatomeas, curiosidad natural al servicio de la industria**". Revista Creces. (1985). Fecha de consulta: 05 de diciembre de 2009. Disponible en:

<http://www.creces.cl/new/index.asp?imat=%20%20%3E%20%203&tc=3&nc=5&a8>.

2. Sommer, G., "**Regeneración de diatomita**". Inventos patentados en España en los últimos 60 años. (1990). Fecha de consulta: 05 de diciembre de 2009. Disponible en:

<http://patentados.com/invento/regeneracion-de-diatomita.html>.

3. Ramos, V., Egüez, H., Ladines L., Carrión, P., "**Perspectivas de la explotación y aplicación de tierra de diatomeas en la península**". Revista Tecnológica. Vol. 17, No.1. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). - Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. (2007). Fecha de consulta: 03 de diciembre de 2009. Disponible en:

<http://www.rte.espol.edu./.../2%20perspectivas%20de%20explotacion%20diatomeas.pdf>.

4. Leal, L., "**Informe de prueba, análisis y/o evaluación. Título: Prueba de lavado de tierra infusoria**". Cervecería Polar, C. A.- Planta Oriente. (2008).

5. Silvestre, S., "**Propuesta para la regeneración de la tierra diatomea utilizada como coadyuvante de filtración en una empresa cervecera**". Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Industrial. Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui. (2009).

6. "**Filtración**". Enciclopedia Wikipedia. (1999). Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2009. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Filtraci%C3%B3n>.

7. Mc Cabe, W., Smith, J. y Harriott, P., **“Operaciones unitarias en Ingeniería Química”**, Editorial McGraw-Hill, Sexta edición en español, México, **(2002)**.

8. Perry, R., **“Manual del Ingeniero Químico”**. Editorial McGraw-Hill. Barcelona. **(1996)**.

9. **“Portal de Empresas Polar”**. Portal de información empresarial. (Intranet). **(2008)**. Fecha de consulta: 16 de noviembre de 2009. Disponible en:

<http://www.wwww.empresas-polar.com>.

10. Broderick, H., **“El cervecero en la práctica: un manual para la industria cervecera”**. Asociación de Maestros Cerveceros de las Américas, Segunda edición. EEUU. **(1977)**.

11. Kunze, W., **“Tecnología para cerveceros y malteros”**. Primera edición en español. Editorial Belín VLB. **(1977)**.

12. Lara, M., **“¿Qué son y para que se usan las diatomeas?”**. **(2005)**. Fecha de consulta: 09 de noviembre de 2009. Disponible en:

<http://www.cuc.udg.mx/gaceta-CUC/gaceta-CUC/gaceta34/pagina8.pdf>.

13. **“Guía de operación de tratamiento de aguas”**. Empresas Polar, Venezuela. **(1999)**.

14. Faña, J., **“Índices de calidad de aguas es cuencas y microcuencas”**, Ediciones G.H.E.N., República Dominicana. **(1999)**.

15. Mendonca, S., **“Sistemas de lagunas de estabilización”**, Editorial McGraw – Hill Interamericana S.A. Primera edición. Colombia. **(2000)**.

16. Castillo D., **“Evaluación de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas servidas del sector este, Punta Baja, (Cumaná) con miras a su reutilización”**, Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Química, UDO. Núcleo de Anzoátegui. Puerto La Cruz. **(2002)**.

17. Bueno S., **“Determinación de la calidad microbiológica de alimentos listos para el consumo en establecimientos que preparan y**

sirven alimentos en la región de Mayagüez". Tesis de grado. Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayaguez. Puerto Rico. (2005).

18. Karassik I. y Krutzsch W., **"Manual de bombas. Diseño, aplicación, especificaciones, operación y mantenimiento"**, Editorial McGraw-Hill, Primera edición en español, México. (1983).

19. Acerind S., **"Soldadura de los aceros inoxidables. Para el ingeniero de diseños"**, Sección III. (1987). Fecha de consulta: 29 de diciembre de 2009. Disponible en:

[http:// www.cientificossaficionados.com/libros.pdf](http://www.cientificossaficionados.com/libros.pdf).

20. **"Guía de operación de filtración"**. Gerencia de elaboración. Empresas Polar, Venezuela.

21. **Técnica de procesos para productos sensibles: cervezas. (2008)**.

Disponible:

http://www.krones.com.br/downloads/branchenprospekt_bier_s.pdf .

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	Diseño conceptual de un proceso de regeneración de tierra infusoria utilizada como medio filtrante en una empresa cervecera
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Rodríguez F., Jessica J.	CVLAC: 19.141.151 E MAIL: jjrf1988@gmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Tierra infusoria

Empresa cervecera

Regeneración

Diseño

Filtro de velas

Filtración

Medio filtrante

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	
	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

En Cervecería Polar C.A. Planta Oriente, se registraron en los últimos meses del año 2009 aumentos en el índice de consumo de tierra infusoria en base al estándar de cervecerías con similar producción; por lo que se evaluó el consumo de tierra infusoria y propuso un proceso para su regeneración y reutilización. Se hizo un estudio detallado de los filtros de cerveza, sistema de dosificación y preparación de tierra infusoria, proponiendo mejoras para la reducción del consumo de dicha tierra. Posteriormente, se estableció un método de medición, a nivel experimental, para mantener la concentración de tierra infusoria según las especificaciones técnicas de proceso, en los tanques de preparación. El estudio se basó en experimentos de laboratorio para el diseño del proceso de regeneración de tierra lavada con agua caliente, soda cáustica, agua fresca y neutralización con ácido sulfúrico. Se efectuaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos en tierra regenerada comparable con la tierra nueva; se decidió dosificar la tierra regenerada a los filtros de cerveza obteniendo resultados factibles. Se propuso el diseño de dos tanques para el proceso de regeneración de la tierra usada proveniente de dos corridas de filtración, obteniendo un ahorro de 3.307,57 Bs por cada regeneración de tierra usada.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
Cova Alexis	CVLAC:	11.905.328			
	E_MAIL	<u>alexiscovab@gmail.com</u>			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
Leal Luis	CVLAC:				
	E_MAIL	luisg.leal@empresas-polar.com			
	E_MAIL	11.722.724			
	ROL	CA	AS	TU	JU
Ochoa Osvaldo	CVLAC:	4.077.552			
	E_MAIL	<u>Ochoa.osvaldo@gmail.com</u>			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
Martínez Petra	CVLAC:	4.902.046			
	E_MAIL	<u>pmartinez97@hotmail.com</u>			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	08	05
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y

ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis. Diseño conceptual de un proceso de regeneración de tierra infusoria utilizada como medio filtrante en una empresa cervecera.doc	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E
F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s
t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: Dpto. Elaboración/Cervecería Polar. (OPCIONAL)

TEMPORAL: 2 meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo Anzoátegui

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

DERECHOS

De acuerdo con el reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente en su artículo 41 establece

“Los trabajos de grado son propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”

Jessica Rodríguez

AUTOR

Ing. Alexis Cova

A. ACADÉMICO

Ing. Osvaldo Ochoa

JURADO

Ing. Petra Martínez

JURADO

Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS