

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



**EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
MICROBIOLÓGICO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA
GUATEMALTECA**

Trabajo de graduación presentado por

**José Gerardo Aguirre Letona, Nidia María Mellado Tobar, y
Robin Natanael García Rodas** para optar al grado académico
de Licenciados en Ingeniería Química; y **Carlos Roberto
Andrade Sagone** para optar al grado académico de Licenciado
en Ingeniería Industrial

Guatemala

2014

**EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
MICROBIOLÓGICO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA
GUATEMALTECA**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química

**EXPANSIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
MICROBIOLÓGICO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA
GUATEMALTECA**

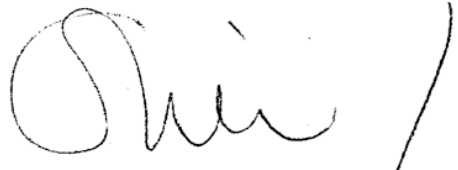
Trabajo de graduación presentado por

José Gerardo Aguirre Letona, Nidia María Mellado Tobar, y Robin Natanael García Rodas para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Química; y **Carlos Roberto Andrade Sagone** para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

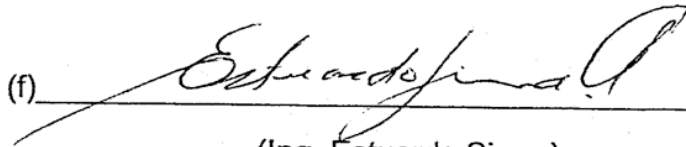
2014

Vo Bo.

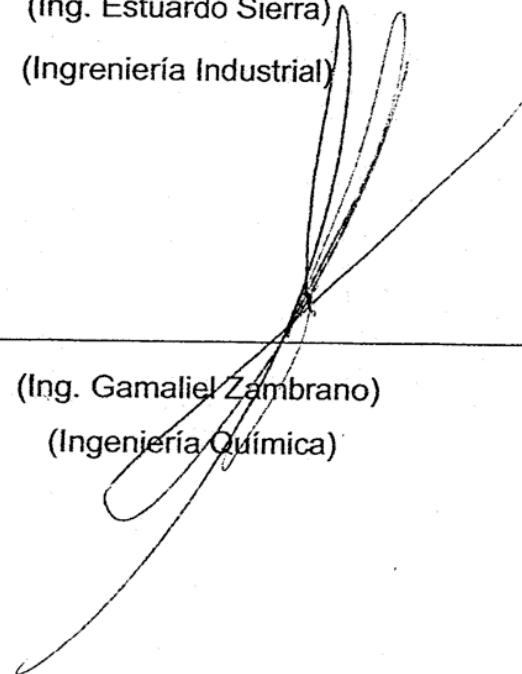
(f) 

(Ing. Cristián Rossi)

Directores de Carrera:

(f) 

(Ing. Estuardo Sierra)
(Ingeniería Industrial)

(f) 

(Ing. Gamaliel Zambrano)
(Ingeniería Química)

Fecha de aprobación: Guatemala, 17 de noviembre de 2014

ÍNDICE

LISTADO DE FIGURAS	ix
LISTADO DE CUADROS	xii
LISTADO DE GRÁFICAS	xix
RESUMEN	xxvi
ABSTRACT	xxviii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
A. Objetivo general.....	3
B. Objetivos específicos por módulo.....	3
III. JUSTIFICACIÓN	7
IV. MARCO TEÓRICO	13
A. Historia del azúcar.....	13
B. Industria azucarera en América	13
C. Industria azucarera en Guatemala	13
D. Componentes de la caña de azúcar	15
1. Azúcares.	16
2. Sacarosa.....	17
3. La inversión de la sacarosa.	17
5. Gomas naturales.....	18
6. Deterioro de la caña.	20
7. Consecuencias de la actividad microbológica.....	21
E. Herramientas de Ingeniería Industrial utilizadas	22
1. Diagrama de flujo de proceso.....	22
2. Diagrama de pescado.	23
F. Procesos de producción de azúcar	23
1. Extracción	23
2. Proceso de sulfitación y clarificación.....	25
3. Filtros de cachaza	27
4. Filtros rotatorios continuos de vacío	28
5. Evaporación.	32
6. Cristalización.....	35
G. Sistema de control microbológico.....	40
1. Resazurina.	40
2. Cromatografía para medir sacarosa	42
3. Daltonismo	43
V. ANTECEDENTES.....	44

A.	Proceso de producción de azúcar en Ingenio Magdalena	44
B.	Proceso de energía en Ingenio Magdalena	47
C.	Exploración a escala de laboratorio y piloto la recirculación del jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción	67
VI.	METODOLOGÍA.....	76
A.	Módulo 1.....	76
1.	Metodología utilizada para la evaluación en el área de recepción y molinos..	76
B.	Módulo 2.....	79
1.	Equipo, reactivos y cristalería.....	79
2.	Procedimiento para la toma de muestras	80
3.	Metodología utilizada para la evaluación de los procesos de clarificación y evaporación.	81
C.	Módulo 3	86
1.	Diseño del filtro	86
2.	Actividad microbiológica	86
3.	Temperatura.....	86
4.	PH	86
5.	Unidades formadoras de colonias	87
D.	Módulo 4	90
1.	Metodología utilizada para la evaluación de utilización de jugo sulfitado como bactericida en el proceso de extracción de jugos.	90
VII.	RESULTADOS	96
A.	Módulo 1.....	96
1.	Bagacillo debajo de conductores, y bagacillo en paredes y vigas de conductores.	96
2.	Prueba en acumulaciones de bagacillo después del limpiado de conductores.	99
3.	Temperaturas en las vigas y paredes.....	101
4.	Humedad y tierra del bagacillo debajo de los conductores.	103
5.	Caña barrida. Sacarosa extraída y coeficiente microbiológico (CM)	104
6.	Humedad y tierra en caña barrida.....	107
7.	Caña mesa	107
8.	Análisis de reincorporación en proceso de calderas	109
9.	Costo de impacto microbiológico	112
10.	Análisis de metodología actual de reincorporación de bagacillo en Ingenio Magdalena.	115
11.	Análisis proceso actual de reincorporación de caña barrida.....	115
13.	Metodología propuesta.....	117
14.	Metodología propuesta para manejo de bagacillo debajo de conductores.	118
B.	Módulo 2.....	120
C.	Módulo 3.....	132

1.	Resultados generales del estudio	132
2.	Resultados del estudio para cada filtro	144
D.	Módulo 4	176
VIII.	DISCUSIÓN	184
A.	Módulo 1.....	184
1.	Manejo de caña y bagacillo bajo conductores.	184
2.	Caña barrida	186
3.	Caña de la mesa.....	187
4.	Análisis de reincorporación a calderas	187
B.	Módulo 2.....	189
1.	Clarificación y evaporación.....	189
C.	Módulo 3.....	198
1.	Infraestructura.....	199
3.	Sobre la limpieza del lugar.....	201
4.	Análisis actuales en el área por parte del laboratorio de IMSA.....	201
5.	Primeros análisis.....	202
6.	Métodos de análisis.....	204
D.	Módulo 4	209
IX.	CONCLUSIONES.....	215
A.	Módulo 1.....	215
B.	Módulo 2.....	216
C.	Módulo 3.....	218
D.	Módulo 4	220
X.	RECOMENDACIONES	221
A.	Módulo 1.....	221
B.	Módulo 2.....	221
C.	Módulo 3.....	222
D.	Módulo 4	224
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	225
XII.	ANEXOS.....	231
1.	Datos originales.....	231
2.	Cálculos de muestra	340
3.	Análisis de error	342
4.	Figuras	344
XIII.	GLOSARIO	361
1.	Abreviaturas.....	366

LISTADO DE FIGURAS

Figura No. 1: Diagrama del proceso de producción de azúcar.....	15
Figura No. 2: Simbología de diagrama de flujo de proceso.....	22
Figura No. 3: Purificación del jugo de caña en el proceso de sulfitación y clarificación. .	26
Figura No. 4: Operación diagramática de un filtro rotatorio continuo de vacío.....	28
Figura No. 5: Filtro Oliver-Campbell 2.4 x 4.9 m. Izquierda: vista trasera de aspersores y tuberías de vacío. Derecha: vista frontal del lado de descarga de torta y válvulas de succión de alto y bajo vacío.....	29
Figura No. 6: Izquierda: sección transversal de sección de remoción de lodos de filtro rotatorio continuo. Derecha: filtro de IMSA.....	31
Figura No. 7: Sistema de filtrado RAPIFLOC.....	32
Figura No. 8: Diagrama de proceso de evaporación de múltiple efecto.....	33
Figura No. 9: Representación de difusión y reacción superficial durante la cristalización.....	37
Figura No. 10: Diagrama de proceso de cristalización.....	40
Figura No. 11: Reacción de reducción de la resazurina.....	41
Figura No. 12: Sistema para simular tanque de jugo con flujo continuo de jugo sulfitado.....	69
Figura No. 13: Metodología utilizada en el laboratorio de microbiología para el análisis de conteo de cristales.....	72
Figura No. 14: Esquema de flujo de jugos y puntos de dosificación de bactericidas del área de extracción.....	75
Figura No. 15: Toma de muestra de caña barrida y bagacillo bajo los conductores.....	77
Figura No. 16: Izquierda: pesado de bagazo seco. Derecha: máquina que obtiene el poder calorífico.....	78
Figura No. 17: Proceso de calentamiento de la solución buscando evaporar el agua de la misma, en el laboratorio de caña del Ingenio Magdalena.....	79
Figura No. 18: Izquierda: toma de muestra de floculante en tanque de jugo alcalizado. Derecha: floculante utilizado.....	81
Figura No. 19: Izquierda: tubos de ensayo de resazurina. Derecha: medición de pH para el jugo sulfitado.....	82
Figura No. 20: Jugo alcalizado en el proceso de clarificación para la medición de la velocidad de sedimentación y volumen de lodos.....	84
Figura No. 21: Metodología de jugo sulfitado como bactericida previo escala laboratorio.....	91
Figura No. 22: Metodología de jugo sulfitado como bactericida previo escala piloto.....	92
Figura No. 23: Metodología de jugos alcalizado como bactericida.....	93
Figura No. 24: Metodología de medición de elongación de cristales de masa C.....	94
Figura No. 25: Muestra de sectorización de acumulación de bagacillo para evaluación.....	100
Figura No. 26: Metodología actual del trabajo de operario debajo de los conductores.....	115
Figura No. 27: Análisis de proceso actual de reincorporación de caña barrida.....	115
Figura No. 28: Dimensiones rectángulo de pruebas de secado bajo el sol.....	116
Figura No. 29: Exposición de manejo de caña y bagacillo propuesto.....	117
Figura No. 30: Diagrama de flujo de proceso de un colaborador encargado en la limpieza de conductores.....	119

Figura No. 31: Puntos de muestreo general para la medición de actividad microbiológica por medio de pruebas de resazurina, UFC y fermentación espontánea, con base en diseño y accesibilidad del cada filtro.	132
Figura No. 32: Filtro No. 1 - Mapa de calor.....	145
Figura No. 33: Mapa de calor.....	148
Figura No. 34: Map de calor de filtro No. 3.	150
Figura No. 35: Filtro No. 4 - Mapa de calor °C +/- 0.05°.	153
Figura No. 36: Filtro No. 5 - mapa de calor.....	156
Figura No. 37: Filtro No. 6 - Mapa de calor.....	159
Figura No. 38: Filtro no. 7 - Mapa de calor.	162
Figura No. 39: Filtro No. 8 - Mapa de calor.....	164
Figura No. 40: Filtro No. 9 - Mapa de calor.....	167
Figura No. 41: Filtro No. 10 - Mapa de calor.....	169
Figura No. 42: Filtro No. 11 - Mapa de calor.....	172
Figura No. 43: Filtro No. 12 - Mapa de calor.....	174
Figura No. 44: Libras de hidróxido de calcio por galón de solución.....	254
Figura No. 45: Acumulación de bagacillo para hacer el estudio disminución de sacarosa.....	344
Figura No. 46: Acumulación de bagacillo en vigas de conductor.	344
Figura No. 47: Acumulación de bagacillo en una viga.....	345
Figura No. 48: Bagacillo acumulado al costado de la banda transportadora y sobre las vigas que la sostienen.	345
Figura No. 49: Acumulación No. 1 de bagacillo.	346
Figura No. 50: Acumulación No. 2 de debajo de conductor B. bagacillo en debajo de conductor B.	346
Figura No. 51: Acumulación de caña barrida a punto de ser reincorporada. Se puede observar el estancamiento de agua en la zona.	347
Figura No. 52: Entorno de caña barrida, mucho lodo en la superficie y en la zona de acumulación.	347
Figura No. 53: Método de Resazurina aplicado a jugos de caña y control para comparación de cambio de color.	348
Figura No. 54: Reacción de resazurina.....	348
Figura No. 55: Extracción de de muestras de lodos para prueba de resazurina, toma muestras y punto de muestreo.....	348
Figura No. 56: Medición de temporada y pH de muestreo y medición.....	349
Figura No. 57: Medición de pH en laboratorio de Fábrica de IMSA.....	349
Figura No. 58: Pruebas de resazurina para cada punto de muestreo en 12 filtros.	350
Figura No. 59: Acumulaciones de lodos y peliculadextranogenica - parte trasera de filtro.	350
Figura No. 60: Rebosadero de filtro y electrodo de control automatizado de nivel de lodos.....	351
Figura No. 61: Medicion de pH para prueba de fermentación espontánea.	351
Figura No. 62: Diluciones de jugo crudo con jugo sulfitado como bactericida.....	352
Figura No. 63: Pruebas de resazurina para las diluciones de jugo diluido con jugo sulfitado como bactericida.....	352
Figura No. 64: Pruebas de Resazurina para las diluciones de jugo diluido con lechada de cal como bactericida.	353
Figura No. 65: Preparación del microscopio para medición de elongación de cristales en masa C.....	354

Figura No. 66: Sistema ensamblado en el área de sulfitación del Ingenio Magdalena para pruebas piloto de jugo sulfitado como previo bactericida en jugo diluido.	355
Figura No. 67: Muestra de cristales de masa C para prueba de relación de elongación por el método antiguo.	355
Figura No. 68: Muestra de cristales de masa C para prueba de relación de elongación por el método descrito en la metodología.	356
Figura No. 69: Muestra de elongación de cristales afectada por la higroscopicidad de los cristales de sacarosa.	356
Figura No. 70: Muestra de cristales de masa C con relación de elongación estándar sin efectos de higroscopicidad.	357
Figura No. 71: Muestra de cristales de masa C con alta relación de elongación.	357
Figura No. 72: Capacitación de personal para medición de elongación de cristales. ...	358
Figura No. 73: Test Ishihara para detección del daltonismo.	358
Figura No. 74: Ingenio Magdalena área de extracción.	359
Figura No. 75: Ingenio Magdalena zafra 2013-2014.	359
Figura No. 76: Metodología para Conteo Microbiológico.	360

LISTADO DE CUADROS

Cuadro No. 1: Pérdida de sacarosa por la formación de dextrana.....	19
Cuadro No. 2: Flujo de jugo sulfitado en el Ingenio Magdalena.....	25
Cuadro No. 3: Brix de jugo en evaporadores de múltiple efecto.....	34
Cuadro No. 4: Intervalos de valores de Coeficiente Microbiológico con su respectivo valor respecto al nivel de actividad microbiológica que presenta la muestra analizada.....	41
Cuadro No. 5: Rangos de concentración de jugo de caña.....	42
Cuadro No. 6: Pérdida de sacarosa ante aumento de CM.....	53
Cuadro No. 7: Relación promedio de cambio de CM de diluido a sulfitado en el periodo de diciembre 2012 a febrero de 2013, de los datos reportados para el tándem A y B.....	57
Cuadro No. 8: CM promedio y proporción de lodos por segundo de jugo sulfitado.....	58
Cuadro No. 9: CM promedio y proporción final de lodos.....	58
Cuadro No. 10: CM promedio y volumen de sacarato en situación de evaporación.....	59
Cuadro No. 11: CM promedio y proporción en exceso de sacarato en simulación de evaporación.....	59
Cuadro No. 12: CM promedio e incrustaciones por unidad de área en simulación de evaporación.....	59
Cuadro No. 13: % de volumen de sacarato debido al cambio del CM en el jugo diluido.....	60
Cuadro No. 14: % de volumen de sacarato debido al cambio de CM en el jugo diluido.....	61
Cuadro No. 15: Parámetro medidos durante el alcalizado del jugo sulfitado.....	61
Cuadro No. 16: Gramos incrustados en los tubos de cada uno de los efectos durante la prueba de evaporación que corresponde a un cierto CM del jugo diluido.....	61
Cuadro No. 17: Datos utilizados para realizar los cálculos, según la caña procesada durante la Zafra 2012-2013 del Ingenio Pantaleón.....	62
Cuadro No. 18: Rangos utilizados en CM para cada uno de los evaporadores y los gramos de incrustados en un día según los datos obtenidos.....	62
Cuadro No. 19: Aumento del % Vol./Vol. de los lodos debido al cambio del CM en jugo diluido.....	63
Cuadro No. 20: Aumento de los lodos en los clarificadores SRI debido al cambio de 0.1 en el CM del jugo diluido.....	63
Cuadro No. 21: Disminución en la velocidad de sedimentación de los lodos en las pruebas de laboratorio realizadas.....	63
Cuadro No. 22: Cambios de los parámetros del pH, sacarato utilizado, Brix y POL en la clarificación debido al aumento del CM.....	63
Cuadro No. 23: Valoraciones dadas al Coeficiente Microbiológico (CM) por su valor numérico.....	64
Cuadro No. 24: Resultados promedio por día de Coeficiente Microbiológico (CM) para Tándem A.....	65
Cuadro No. 25: Resultados promedio por día de Coeficiente Microbiológico para el Tándem B.....	65
Cuadro No. 26: CM de los puntos de análisis con base en sus entradas y salidas para el Tándem A.....	66
Cuadro No. 27: CM de puntos de análisis con base en sus entradas y salidas de Tándem B.....	67

Cuadro No. 28: Criterios para el Coeficiente Microbiológico por medio de la prueba de Resazurina.	76
Cuadro No. 29: Variación del Coeficiente Microbiológico, pureza y porcentaje de sacarosa del bagacillo a través del tiempo. De la misma pila de bagacillo se obtuvo un dato por cada tiempo transcurrido. En total son 5 muestras de paredes y vigas, mientras que son 8 muestras para bagacillo debajo de los conductores.	96
Cuadro No. 30: Estados microbiológicos de bagacillo en conductores.	98
Cuadro No. 31: Estudio de incremento de Coeficiente Microbiológico en acumulación de bagacillo en el conductor A conforme al tiempo.	99
Cuadro No. 32: Temperaturas tomadas al bagacillo acumulado en paredes y vigas bajo conductor A.	101
Cuadro No. 33: Humedades obtenidas en los diferentes conductores conductores en las mesas del ingenio, con el porcentaje de tierra y Corficiente Microbiológico correspondiente.	103
Cuadro No. 34: Análisis de cambios en el porcentaje de sacarosa y nivel microbiológico del jugo de caña conforme al tiempo.	104
Cuadro No. 35: Cantidad y porcentajes de estados de caña barrida y bajo la mesa. ...	105
Cuadro No. 36: Humedad, tierra y Coeficiente Microbiológico de caña barrida en los diferentes Tándems en época seca.	107
Cuadro No. 37: Estados de caña bajo las mesas según su aceptación.	108
Cuadro No. 38: Estados de jugo primario inmediato según su aceptabilidad.	109
Cuadro No. 39: Variación de poder calorífico obtenido de diferentes muestras de bagacillo con respecto a la humedad.	110
Cuadro No. 40: Comparación de combustibles utilizados en calderas al producir 1,694.1 kWh (que es lo que producen 1000 kg de bagacillo).	111
Cuadro No. 41: Obtención de costos logísticos ante procedimiento de incorporación de bagacillo debajo de los conductores hacia el área de calderas.	112
Cuadro No. 42: Prueba teórica optimista que muestra la disminución de sacarosa con el incremento del CM.	113
Cuadro No. 43: Prueba teórica medida que muestra la disminución de sacarosa con el incremento del CM.	113
Cuadro No. 44: Prueba teórica pesimista que muestra la disminución de sacarosa con el incremento del CM.	114
Cuadro No. 45: Disminución de porcentaje de sacarosa supuesto en jugo primario debido al incremento del CM para 10,000 kg de bagazo.	114
Cuadro No. 46: Cambio de humedad conforme al tiempo, durante día soleado entre las 9:00 y 13:00 horas.	116
Cuadro No. 47: Resultados generales del estudio de comportamiento microbiológico de los filtros de cachaza y su relación con la temperatura y diseño ^{1,2}	138
Cuadro No. 48: Resultados promedio de prueba de fermentación espontánea - variación de pH.	142
Cuadro No. 49: Filtro No.1 - Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	144
Cuadro No. 50: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.	146
Cuadro No. 51: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	146
Cuadro No. 52: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.	148
Cuadro No. 53: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	149
Cuadro No. 54: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.	151
Cuadro No. 55: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	151
Cuadro No. 56: Filtro No. 4 - Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.	153

Cuadro No. 57: Filtro No. 5 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	154
Cuadro No. 58: Filtro No. 5 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	156
Cuadro No. 59: Filtro No. 6 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	157
Cuadro No. 60: Filtro No. 6 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	159
Cuadro No. 61: Filtro No. 6 - Logaritmo de unidades formadoras de colonias por mililitro en puntos de muestreo.	160
Cuadro No. 62: Filtro No. 7 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	160
Cuadro No. 63: Filtro no. 7 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	162
Cuadro No. 64: Filtro No. 8 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	163
Cuadro No. 65: Filtro No. 8 - Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.	165
Cuadro No. 66: Filtro No. 9 - Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	165
Cuadro No. 67: Filtro No. 9 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	167
Cuadro No. 68: Filtro No. 10 - promedio de temperatura de puntos de muestreo.	168
Cuadro No. 69: Filtro No. 10 - Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.	170
Cuadro No. 70: Filtro No. 11 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	170
Cuadro No. 71: Filtro No. 11 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	172
Cuadro No. 72: Filtro No. 12 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	173
Cuadro No. 73: Filtro No. 12 - promedio de CM de puntos de muestreo.	175
Cuadro No. 74: Resultados tabulados de promedios de CM para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo crudo.	176
Cuadro No. 75: Análisis con porcentajes de reducción de CM para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo crudo.	177
Cuadro No. 76: Resultados tabulados de resazurina para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo cristal.	178
Cuadro No. 77: Análisis con porcentajes de reducción de CM para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo crudo.	178
Cuadro No. 78: Resultados promedio de resazurina para jugo sulfitado como bactericida a escala piloto en jugo diluido (para ver patrón de color del CM ver el Cuadro 23)	179
Cuadro No. 79: Análisis con porcentajes de reducción de CM resazurina para el jugo sulfitado como bactericida a escala piloto en jugo diluido.	180
Cuadro No. 80: Resultados tabulados del recuento de microbiota total en el jugo crudo utilizando lechada de cal como bactericida.	180
Cuadro No. 81: Resultados tabulados del recuento de LBDG en jugo crudo utilizando lechada de cal como bactericida.	181
Cuadro No. 82: Datos pareados de CM con relación de elongación en cristales de masa C por semana para el Ingenio Magdalena.	182
Cuadro No. 83: Análisis de coeficiente de correlación.	183
Cuadro No. 84: Cuadro utilizado para comparación y efectos del CM en mesas y en jugo primario.	231
Cuadro No. 85: Flujo de jugo sulfitado clarificado crudo y cristal en el Ingenio Magdalena.	234
Cuadro No. 86: Precio del hidróxido de calcio para ingenios proporcionado por Horcasa (Grupo Progreso) y la tasa de cambio de dólar utilizada.	234
Cuadro No. 87: Grados Brix presentados para cada uno de los efectos del proceso de evaporadores.	234
Cuadro No. 88: Hora inicial y final de la reacción de la prueba de resazurina a las 0 horas para 10 muestras de 1000mL jugo sulfitado crudo y cristal.	235

Cuadro No. 89: pH inicial y final a las 0 horas para 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	235
Cuadro No. 90: Volumen de lechada (cal y agua) utilizada para la neutralización de 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.	236
Cuadro No. 91: Volumen de lodos y tiempo de sedimentación de 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	236
Cuadro No. 92: Masa inicial y final, a las 0 horas, del tubo de calandria del 1er. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	237
Cuadro No. 93: Masa inicial y final, a las 0 horas, del tubo de calandria del 2do. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	237
Cuadro No. 94: Masa inicial y final, a las 0 horas, el tubo de calandria del 3er. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	238
Cuadro No. 95: Masa inicial y final, a las 0 horas, del tubo de calandria del 4to. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	238
Cuadro No. 96: Masa inicial y final, a las 0 horas, del tubo de calandria del 5to. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	239
Cuadro No. 97: Grados Brix, a las 0 horas, de los 5 efectos del proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo.	239
Cuadro No. 98: Grados Brix, a las 0 horas, de los 5 efectos del proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado cristal.	240
Cuadro No. 99: Hora inicial y final de la reacción de la prueba de resazurina a las 0 y 4 horas para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.	240
Cuadro No. 100: pH inicial y final a las 0 y 4 horas para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	241
Cuadro No. 101: Volumen de lechada (cal y agua) utilizada a las 0 y 4 horas para la neutralización de 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.	241
Cuadro No. 102: Volumen de lodos y tiempo de sedimentación a las 0 y 4 horas para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.	242
Cuadro No. 103: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del primer efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	242
Cuadro No. 104: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del 2do. efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	243
Cuadro No. 105: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del 3er. efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	243
Cuadro No. 106: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del 4to. efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	244
Cuadro No. 107: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del 5to. efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	244

Cuadro No. 108: Grados Brix, a las 0 y 4 horas, de los 5 efectos del proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo.....	245
Cuadro No. 109: Grados Brix, a las 0 y 4 horas, de los 5 efectos del proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado cristal.	245
Cuadro No. 110: Diferencial de tiempo para la prueba de resazurina y el CM a las 0 horas, de 10 muestras de 1000mL para el jugo sulfitado crudo y cristal.	246
Cuadro No. 111: Diferencial de masa para los 5 efectos del proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL a las 0 horas, de jugo sulfitado crudo.	246
Cuadro No. 112: Diferencial de masas para los 5 efectos del proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL a las 0 horas, de jugo sulfitado cristal.	247
Cuadro No. 113: Velocidad de sedimentación de 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.....	247
Cuadro No. 114: Diferencial de tiempo para la prueba de resazurina y el CM a las 0 y 4 horas, de 5 muestras dobles de 1000mL para el jugo sulfitado crudo y cristal.	248
Cuadro No. 115: Diferencial es de pH, CM, volumen de lodos y velocidad de sedimentación para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo.	248
Cuadro No. 116: Diferencial de pH, CM, volumen de lodos y velocidad de sedimentación para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado cristal.....	249
Cuadro No. 117: Diferencial de la masa de los 5 efectos del proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL, a las 0 y 4 horas, de jugo sulfitado crudo.	249
Cuadro No. 118: Diferencial de masa para los 5 efectos del proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL, a las 0 y 4 horas, de jugo sulfitado cristal.....	250
Cuadro No. 119: Velocidad de sedimentación, a las 0 y 4 horas, para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.	250
Cuadro No. 120: Incremento en el consumo de hidróxido de calcio para el jugo sulfitado crudo y cristal.....	252
Cuadro No. 121: Incremento del volumen de lodos y decremento en la velocidad de sedimentación para el jugo sulfitado crudo y cristal.....	252
Cuadro No. 122: Incrustaciones por número de evaporadores para la Zafra 2014.....	252
Cuadro No. 123: Incremento de incrustaciones totales debido al cambio de CM (coeficiente microbiológico) para jugo sulfitado crudo y cristal.	253
Cuadro No. 124: DATOS DE FILTROS DE VACÍO PARA CACHAZA INGENIO MAGDALENA – 4 Muestreos obtenidos preliminarmente para determinación de posibles puntos críticos de análisis en estudio microbiológico de Tándem.....	255
Cuadro No. 125: Resultados de medición de Actividad Microbiológica en salidas de jugo filtrado de lodos de cachaza en clarificadores de meladura Cristal de IMSA.....	257
Cuadro No. 126: Clasificación del Coeficiente Microbiológico (CM).....	257
Cuadro No. 127: Datos de siembras para recuento de microorganismos termófilos en los filtros de cachaza.....	257
Cuadro No. 128: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 1.....	258
Cuadro No. 129: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 2.....	259
Cuadro No. 130: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 3.....	260
Cuadro No. 131: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 4.....	261
Cuadro No. 132: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 5.....	262
Cuadro No. 133: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 6.....	263
Cuadro No. 134: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 7.....	264
Cuadro No. 135: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 8.....	265
Cuadro No. 136: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 9.....	266

Cuadro No. 137: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 10.....	267
Cuadro No. 138: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 11.	268
Cuadro No. 139: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 12.....	269
Cuadro No. 140: Resultados de resazurina para las pruebas de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo del Tándem A.....	270
Cuadro No. 141: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem A.....	271
Cuadro No. 142: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem B.	272
Cuadro No. 143: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem B.....	273
Cuadro No. 144: Datos de CM para las pruebas de jugo crudo del Tándem C utilizando jugo sulfitado como bactericida.....	274
Cuadro No. 145: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem C.....	275
Cuadro No. 146: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem A.	276
Cuadro No. 147: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem A.....	277
Cuadro No. 148: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem B.	278
Cuadro No. 149: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem B.....	279
Cuadro No. 150: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem C.....	280
Cuadro No. 151: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem C.....	281
Cuadro No. 152: Datos de calibración de la válvula de émbolo para el flujo de salida de la mezcla a una apertura de 1.5 vueltas.	282
Cuadro No. 153: Datos de calibración de la válvula de émbolo para el flujo de salida de la mezcla a una apertura de 1.5 vueltas.	282
Cuadro No. 154: Datos de calibración de la válvula de émbolo para el flujo de salida de la mezcla a una apertura de 1.5 vueltas.	282
Cuadro No. 155: Datos de calibración de la válvula de émbolo para los flujos de salida de jugo sulfitado y diluido a una apertura de 1 vuelta.	283
Cuadro No. 156: Datos de calibración de la válvula de émbolo para los flujos de salida de jugo sulfitado y diluido a una apertura de 1/2 vuelta.	283
Cuadro No. 157: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como bactericida previo en jugo crudo del Tándem C en escala piloto.	283
Cuadro No. 158: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como bactericida previo en jugo crudo del Tándem A en escala piloto.	284
Cuadro No. 159: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem B en escala piloto.	285
Cuadro No. 160: Resultados tabulados de recuento de microbiota total para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - primer corrida.	287
Cuadro No. 161: Resultados tabulados de recuento de microbiota total para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - segunda corrida.....	287

Cuadro No. 162: Resultados tabulados de recuento de LBDG (agar nutritivo para leuconostoc) para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - primera corrida.	288
Cuadro No. 163: Resultados tabulados de recuento de LBDG (agar nutritivo para leuconostoc) para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - segunda corrida.	289
Cuadro No. 164: Rangos de pH para las diluciones en el análisis de lechada de cal como bactericida en jugo diluido.	290
Cuadro No. 165: Datos de medición de elongación de cristales del 16 al 20 de marzo del 2014.	290
Cuadro No. 166: Datos de medición de elongación de cristales del 21 al 25 de marzo del 2014.	292
Cuadro No. 167: Datos de medición de elongación de cristales del 26 al 30 de marzo del 2014.	293
Cuadro No. 168: Datos de medición de elongación de cristales del 31 de marzo al 04 de abril del 2014.	295
Cuadro No. 169: Datos de medición de elongación de cristales del 05 al 09 de abril del 2014.	296
Cuadro No. 170: Datos de medición de elongación de cristales del 10 al 14 de abril del 2014.	297
Cuadro No. 171: Datos de medición de elongación de cristales del 15 al 19 de abril del 2014.	299
Cuadro No. 172: Datos de medición de elongación de cristales del 20 al 24 de abril del 2014.	301
Cuadro No. 173: Datos de medición de elongación de cristales del 25 al 29 de abril del 2014.	302
Cuadro No. 174: Datos de medición de elongación de cristales del 30 de abril al 04 de mayo del 2014.	304

LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica No. 1: Solubilidad de la sacarosa pura en agua en función de la temperatura... 39	
Gráfica No. 2: Pruebas de resazurina realizadas en el conductor de mesa A en el Ingenio Magdalena en la zafra 2012 - 2013..... 52	
Gráfica No. 3: Coeficiente Microbiológico de diferentes diluciones de jugo sulfitado en jugo diluido para comprobar su efectividad como bactericida después de 10 minutos de ser agregado. 68	
Gráfica No. 4: Coeficiente Microbiológico de diferentes disoluciones de jugo sulfitado en jugo diluido para comprobar su efectividad como bactericida después de 20 minutos de ser agregado. 68	
Gráfica No. 5: Incremento en el Coeficiente Microbiológico entre la entrada y salida del tanque de jugo diluido a escala piloto utilizando un flujo continuo de jugo diluido de 0.0625L/min con un caudal de jugo diluido de 1.38L/min y un tiempo de retención de 9.23 min..... 70	
Gráfica No. 6: Disminución de porcentaje de sacarosa en bagacillo de conductores a medida que pasa el tiempo. 97	
Gráfica No. 7: Distribución de muestras de porcentajes de sacarosa a través del tiempo en bagacillo debajo de los conductores. 97	
Gráfica No. 8: Variación de Coeficiente Microbiológico conforme al tiempo en bagacillo de conductores. 98	
Gráfica No. 9: Porcentaje de estado de Coeficiente Microbiológico en bagacillo de conductores..... 99	
Gráfica No. 10: Comportamiento del nivel Microbiológica en la acumulación 1 de bagacillo..... 100	
Gráfica No. 11: Comportamiento del nivel microbiológico en la acumulación 2 de bagacillo..... 101	
Gráfica No. 12: Temperaturas obtenidas en las acumulaciones de bagacillo en las vigas del conductor de la mesa A. 102	
Gráfica No. 13: Muestras de temperatura en el bagacillo acumulado en las paredes del conductor de la mesa A..... 102	
Gráfica No. 14: Comparación de promedios de humedad y tierra por Tándem. 103	
Gráfica No. 15: Disminución de porcentaje de sacarosa en análisis de jugo de caña. . 104	
Gráfica No. 16: Variación del Coeficiente Microbiológico de la caña barrida y bajo mesa conforme al tiempo..... 105	
Gráfica No. 17: Porcentaje del estado microbiológico de la caña barrida y bajo la mesa. 106	
Gráfica No. 18: Diferencia de porcentaje de sacarosa caña barrida y bagacillo. 106	
Gráfica No. 19: Promedio de porcentaje de humedad y tierra de la caña barrida evaluada en el ingenio. 107	
Gráfica No. 20: Porcentajes de estado de CM de la mesa de los Tándemes. 108	
Gráfica No. 21: Porcentajes de estado de CM de jugo primario después de la reincorporación de la caña de mesa en los Tándemes. 109	
Gráfica No. 22: Disminución de poder calorífico a medida que aumenta la humedad. . 111	
Gráfica No. 23: Disminución de humedad de bagazo o bagacillo conforme al tiempo.. 117	
Gráfica No. 24: Estimación del incremento de la lechada de calcio y masa de hidróxido de calcio debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado crudo, a escala laboratorio..... 120	

Gráfica No. 25: Estimación del incremento de lechada debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado cristal, a escala laboratorio.	121
Gráfica No. 26: Estimación del incremento de volumen de lodos debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado crudo, a escala laboratorio.	122
Gráfica No. 27: Estimación del incremento de volumen de lodos debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el juego sulfitado cristal.	123
Gráfica No. 28: Velocidad de sedimentación debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado crudo, a escala laboratorio.	124
Gráfica No. 29: Velocidad de sedimentación debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado cristal, a escala laboratorio.	125
Gráfica No. 30: Estimado de incrustaciones totales (kg) en cada uno de los efectos en el proceso de evaporación para el jugo crudo en la Zafra 2014, a escala laboratorio.	126
Gráfica No. 31: Estimado de incrustaciones totales (kg) en cada uno de los efectos del proceso de evaporación para el jugo cristal en la zafra 2014, a escala laboratorio.	127
Gráfica No. 32: Estimación del incremento de las incrustaciones totales en el proceso de evaporación debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo crudo, a escala laboratorio.	128
Gráfica No. 33: Estimación del incremento de las incrustaciones totales en el proceso de evaporación debido al incremento del CM para el jugo cristal.	129
Gráfica No. 34: Estimación del incremento de los costos del proceso de alcalinización debido al incremento del CM para el jugo crudo durante la Zafra 2014, a escala laboratorio.	130
Gráfica No. 35: Estimación del incremento de los costos del proceso de alcalinización debido al incremento del CM para el jugo cristal de la Zafra 2014, a escala laboratorio.	131
Gráfica No. 36: Comportamiento de la Actividad Microbiológica en relación a la variación de la temperatura según diseño del filtro No. 1. ¹	139
Gráfica No. 37: CM vrs. Temperatura - Decaimiento de CM de la Actividad Microbiológica con el aumento de la temperatura. ¹²	140
Gráfica No. 38: Variación de la temperatura respecto a la distancia del tanque principal de lodos, cachazón, respecto de cada filtro.	141
Gráfica No. 39: Variación del CM respecto de la distancia del tanque principal de lodos, cachazón, respecto de cada filtro.	141
Gráfica No. 40: Filtro No.1 - Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	144
Gráfica No. 41: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.	145
Gráfica No. 42: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	147
Gráfica No. 43: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.	147
Gráfica No. 44: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	149
Gráfica No. 45: Promedio de Cm de cuatro puntos de muestro filtros No. 3.	150
Gráfica No. 46: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.	152
Gráfica No. 47: Filtro No. 4 - Promedio de Cm de cuatro puntos de muestreo.	152
Gráfica No. 48: Filtro No. 5 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	155
Gráfica No. 49: Filtro No. 5 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	155
Gráfica No. 50: Filtro No. 6 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	158
Gráfica No. 51: Filtro No. 6 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	158
Gráfica No. 52: Filtro No. 7 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	161

Gráfica No. 53: Filtro no. 7 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	161
Gráfica No. 54: Filtro no. 8 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	163
Gráfica No. 55: Filtro No. 8 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	164
Gráfica No. 56: Filtro No. 9 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.....	166
Gráfica No. 57: Filtro No. 9 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	166
Gráfica No. 58: Filtro No. 10 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.....	168
Gráfica No. 59: Filtro No. 10 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	169
Gráfica No. 60: Filtro No. 11 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.....	171
Gráfica No. 61: Filtro No. 11 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	171
Gráfica No. 62: Filtro No. 12 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.	173
Gráfica No. 63: Filtro No. 12 - Promedio de CM de puntos de muestreo.	174
Gráfica No. 64: Resultados de resazurina para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo crudo (para ver el patrón de color del CM ver Cuadro 23).	176
Gráfica No. 65: Resultados de resazurina para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo cristal (para ver patrón de color del CM ver Cuadro 25).	177
Gráfica No. 66: Resultados de prueba de resazurina en jugo sulfitado como bactericida en escala piloto.	179
Gráfica No. 67: Resultados de recuento de microbiota total en jugo crudo utilizando lechada como bactericida.	180
Gráfica No. 68: Resultados de recuento de LBDG (agar nutritivo para bacteria Leuconostoc SP.) en jugo crudo utilizando lechada como bactericida.	181
Gráfica No. 69: Relación de elongación de cristales en mada C vrs. Coeficiente Microbiológico, durante 6 semanas en el Ingenio Magdalena.	182
Gráfica No. 70: Regresión lineal para la relación entre elongación de cristales y CM de jugo primario.	183
Gráfica No. 71: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem A.	270
Gráfica No. 72: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem A.	271
Gráfica No. 73: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem B.	272
Gráfica No. 74: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem B.	273
Gráfica No. 75: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem C.	274
Gráfica No. 76: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem C.	275
Gráfica No. 77: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem A.	276
Gráfica No. 78: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem A.	277
Gráfica No. 79: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem B.	278
Gráfica No. 80: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem B.	279
Gráfica No. 81: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem C.	280

Gráfica No. 82: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem C.	281
Gráfica No. 83: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem C a escala piloto.	284
Gráfica No. 84: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem A a escala piloto.	285
Gráfica No. 85: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem B a escala piloto.	286
Gráfica No. 86: Resultados de recuento de microbiota total para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - primer corrida.	286
Gráfica No. 87: Resultados de recuento de microbiota total para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - segunda corrida.	287
Gráfica No. 88: Resultados de recuento de LBDG (agar nutritivo para leuconostoc) para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - primer corrida.	288
Gráfica No. 89: Resultados de recuento de LBDG (agar nutritivo para leuconostoc) para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - segunda corrida.	289
Gráfica No. 90: Mediciones de temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – primera prueba o corrida.	305
Gráfica No. 91: Mediciones de temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – segunda prueba o corrida.	306
Gráfica No. 92: Mediciones de temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – tercera prueba o corrida.	306
Gráfica No. 93: Mediciones de temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – cuarta prueba o corrida.	307
Gráfica No. 94: Mediciones de temperatura contra CM de tanque de ingreso–prueba o corrida 1.	307
Gráfica No. 95: Mediciones de temperatura contra CM de cama de filtros–primera prueba o corrida.	308
Gráfica No. 96: Mediciones de temperatura contra CM de tanque de ingreso–segunda prueba o corrida.	308
Gráfica No. 97: Mediciones de temperatura contra CM de camas de filtros–segunda prueba o corrida.	309
Gráfica No. 98: Mediciones de temperatura contra CM de tanque de ingreso y camas de filtros – tercera prueba o corrida.	309
Gráfica No. 99: Mediciones de temperatura contra CM de camas de filtros– tercera prueba o corrida.	310
Gráfica No. 100: Mediciones de temperatura contra CM de tanque de ingreso–cuarta prueba o corrida.	310
Gráfica No. 101: Mediciones de temperatura contra CM de cama de filtros–cuarta prueba o corrida.	311
Gráfica No. 102: Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	311
Gráfica No. 103: Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.	312
Gráfica No. 104: Filtro No. 1 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo.	312
Gráfica No. 105: Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho.	313

Gráfica No. 106: Filtro No. 2 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso	313
Gráfica No. 107: Filtro No. 2 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.....	314
Gráfica No. 108: Filtro No. 2 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo.	314
Gráfica No. 109: Filtro No. 2 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho.	315
Gráfica No. 110: Filtro No. 3 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.....	315
Gráfica No. 111: Filtro No. 3 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.....	316
Gráfica No. 112: Filtro No. 3 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.	316
Gráfica No. 113: Filtro No. 3 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.....	317
Gráfica No. 114: Filtro No. 4 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	317
Gráfica No. 115: Filtro No. 4 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.....	318
Gráfica No. 116: Filtro No. 4 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo.	318
Gráfica No. 117: Filtro No. 4 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho.	319
Gráfica No. 118: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	319
Gráfica No. 119: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.....	320
Gráfica No. 120: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frente.	320
Gráfica No. 121: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.....	321
Gráfica No. 122: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.	321
Gráfica No. 123: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	322
Gráfica No. 124: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.....	322
Gráfica No. 125: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.	323
Gráfica No. 126: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.....	323
Gráfica No. 127: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.	324
Gráfica No. 128: Filtro No. 7 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	324
Gráfica No. 129: Filtro No. 7- Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.....	325

Gráfica No. 130: Filtro No. 7 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.	325
Gráfica No. 131: Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.	326
Gráfica No. 132: Filtro No. 7 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.	326
Gráfica No. 133: Filtro 8- Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de Ingreso.	327
Gráfica No. 134: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.	327
Gráfica No. 135: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.	328
Gráfica No. 136: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura lateral derecho atrás.	328
Gráfica No. 137: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.	329
Gráfica No. 138: Filtro No. 9 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	329
Gráfica No. 139: Filtro No. 9 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.	330
Gráfica No. 140: Filtro No. 9 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.	330
Gráfica No. 141: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.	331
Gráfica No. 142: Filtro No. 9 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.	331
Gráfica No. 143: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	332
Gráfica No. 144: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.	332
Gráfica No. 145: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.	333
Gráfica No. 146: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.	333
Gráfica No. 147: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.	334
Gráfica No. 148: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	334
Gráfica No. 149: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.	335
Gráfica No. 150: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.	335
Gráfica No. 151: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.	336
Gráfica No. 152: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.	336
Gráfica No. 153: Filtro No. 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.	337

Gráfica No. 154: Filtro No. 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.....	337
Gráfica No. 155: Filtro No. 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo.	338
Gráfica No. 156: Filtro No. 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.....	338
Gráfica No. 157: Filtro 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.	339

RESUMEN

La industria azucarera es una de las más grandes y completas en todo el país. Primero, por su alta competitividad a nivel internacional, y segundo por la inversión que se realiza para la mejora continua de los procesos y operaciones. El factor microbiológico afecta el proceso de la caña en varias etapas, por lo que es necesario tener un control adecuado para aumentar la eficiencia en la productividad de azúcar del ingenio.

Muchos ingenios en Guatemala han invertido en investigación para el mejoramiento del sistema de control microbiológico, y en el caso de este proyecto el enfoque es en el Ingenio Magdalena, situado en el km 99 Carretera a Sipacate, La Democracia, Escuintla. Por lo que este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de estatus actual del sistema de control microbiológico en la industria azucarera de Guatemala para complementarlo e indicar el posible impacto en la productividad.

Para el desarrollo del mismo se dividió en cuatro módulos, los cuales se presentan a continuación.

Primer módulo, se centra en realizar una evaluación del manejo de caña y bagazo que se cae del proceso hacia los suelos y conductores, el cual es reincorporado a la molienda para aprovechamiento de la sacarosa. Mostrando de esta forma que el bagacillo que cae debajo de los conductores tiene muy poca sacarosa, alto coeficiente microbiológico (CM), alta humedad y porcentaje de tierra, por lo que se consideró que no es viable económicamente reincorporarlo al proceso. Como también se concluyó que la caña barrida a pesar de las condiciones en las que se encuentra es viable su reincorporación al sistema.

Segundo módulo, este se enfocó en los efectos de la actividad microbiológica en el proceso de clarificación y evaporación, dentro de los cuales se evaluaron cuatro puntos principales los cuales fueron el consumo de lechada de cal en el proceso de alcalinización, velocidad de sedimentación de lodos en el proceso de sedimentación, la formación de incrustaciones en los evaporadores

de caladria y los costos de alcalinización. Determinado como el CM tiene una relación directa en el efecto de estos procesos, disminuyendo la velocidad de sedimentación, aumentando los lodos formados, amentando el consumo de lechada y las incrustaciones en los evaporadores.

El tercer módulo se desarrolló centrado en la actividad microbiológica en el proceso de filtros de cachaza, se realizó un estudio de caracterización del área de filtros de lodos de cachaza del Ingenio Magdalena de Guatemala, el cual consiste en 12 filtros rotatorios, se estudió el diseño de estructuras y equipos así como de su funcionamiento, logística de operación, mantenimiento y limpieza. Al realizar tal estudio se encontró que el proceso actual permite que se formen acumulaciones de lodos y biopelículas que contribuyen a la proliferación de microorganismos termófilos que consumen el azúcar, además, que la variación constante del volumen de lodos de los filtros provocan tiempos de residencia diferentes producen variaciones en las temperaturas de los lodos que contribuyen también al aumento de la actividad microbiológica.

Y el cuarto módulo se centra en dos temas los cuales son la formación de cristales y en la presentación de un sistema de control microbiológico. Con el fin de analizar la actividad microbiológica en los procesos de sulfitación, alcalización y cristalización se llevó a cabo una investigación, en la cual se realizaron diluciones mezcladas de jugo sulfitado crudo y jugo cristal a escala laboratorio y piloto, para luego analizarlos usando el test de resazurina evaluando su utilización como bactericida en el área de extracción; así mismo se realizó a escala laboratorio diluciones mezcladas de jugo alcalizado. Obteniendo como resultados la posible recirculación de jugo sulfitado en los jugos de molinos para ayudar en el control de la actividad microbiológica. Por último se analizó el coeficiente de elongación de cristales en masa C o masa final, comparándolo con el coeficiente microbiológico obtenido en el jugo de primera extracción, durante 50 días.

Presentándose de esta forma la investigación realizada en el Ingenio Magdalena durante la Zafra 2014.

ABSTRACT

The sugar industry is one of the largest in the Guatemala. First, because of its high international competitiveness, and second by the investment made for the continuous improvement of processes and operations. The microbiological factor affects the process of sugarcane in several stages, so it is necessary to have adequate control to increase efficiency in the productivity of sugar mill.

Many mills in Guatemala have invested in research to improve the microbiological control system as Ingenio Magdalena, located at Km 99 Carretera a Sipacate, La Democracia, Escuintla. This research had as main objective the evaluation of the current status of microbiological control system in the sugar industry of Guatemala, presenting the actual status, the possible improvements and indicates the possible impact on productivity. The research was divided into four modules, which are presented below.

The first module focuses on an assessment of the management of sugarcane bagasse, which is reincorporated to the mills to take advantage of the sucrose that is still in it, after it falls under the machinery and stays for a prolonged time. Thus showing that the bagasse that falls under the drivers have very little sucrose, high microbiological coefficient (CM), high humidity and percentage of land, so I will not consider it economically viable to be reincorporated to the process. As also concluded that the cane swept can be reincorporated to the system.

The second module focused on the effects of microbiological activity in the process of clarification and evaporation, evaluating four main sub processes which are: consumption of calcium hydroxide in the alkalization process, sludge sedimentation rate, scale formation in evaporators of caladria and the alkalization costs. Determining the direct effect of CM over those processes.

Third module, In order to improve the recovery of sugar contained in the clarification process waste muds, a characterization study of the mud filters was performed in Guatemala's Magdalena Sugar mill factory (IMSA), which is formed by twelve rotary filters. The study analyzed the design, structures and equipment and its operation, logistics, maintenance and cleaning. It was found that the

present process allows accumulations of muds and biofilm that contribute to the growth of thermophilic microorganisms that consume sugar. Also the constant varying of the muds volume in the filters causes different residence times producing variations in the temperatures that also contribute to increased microbial activity.

The fourth module focuses on two topics: crystal formation and the development of a microbiological control system. In order to analyze the microbiological activity in the process of sulfation and crystallization was carried out an investigation in which dilutions of the sulfited mixed raw juice and crystal juice were used on cane juice of the mills in the laboratory and pilot scale; doing the laboratory scale for dilutions of alkalized juice; proving that a percentage of the utilization of sulfited juice may help to stop the microbiological growth. Finally the crystals elongation coefficient C was compared and analyzed.

The research was developed at the Ingenio Magdalena during Zafra 2014.

I. INTRODUCCIÓN

En la industria alimenticia el control microbiológico es esencial, los métodos cada día permiten establecer parámetros a través de los cuales no sólo se realizan procesos limpios sino prácticos. Durante los últimos años la Universidad del Valle de Guatemala en conjunto con los ingenios azucareros ha desarrollado estudios de investigación para el desarrollo de la industria del azúcar. Equipos interdisciplinarios de estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala se han integrado con el objetivo de realizar un trabajo de graduación mediante investigaciones y propuestas realizadas en varios ingenios en el país. La integración de dichas investigaciones forma parte del Megaproyecto, el cual busca solucionar problemas con relación a la actividad microbiológica en la caña de azúcar que tiene un impacto significativo en la industria azucarera.

La agroindustria azucarera de Guatemala forma parte importante del sistema económico del país debido a que se ha convertido en una de las principales fuentes de divisas y generadora de abundantes empleos. Los ingenios azucareros están en búsqueda constante de nuevos procedimientos que ayuden a mejorar la eficiencia del proceso de producción y con ello minimizar al mismo tiempo las pérdidas de sacarosa.

En este trabajo se realizó el análisis de la actividad microbiológica y sus consecuencias en varias partes del proceso de producción de azúcar: manejo de caña en los patios, manejo de bagacillo después del desfibrado de caña, los procesos de sulfitación, alcalización, evaporación, filtros de cachaza y cristalización; mediante pruebas de resazurina y análisis específicos en cada área a evaluar durante la zafra 2013-2014 en el Ingenio Magdalena. Así mismo cuenta con marco teórico donde se definen los procesos a ser analizados, en la metodología se describe los materiales y métodos utilizados para evaluar cada objetivo del módulo.

La investigación del control microbiológico de todos estos procesos se dividió en módulos, los cuales se separaron de la siguiente forma: manejo de caña barrida y bagacillo bajo conductores, evaporación y clarificación, monitoreo de lodos y filtros de cachaza, y por último la sulfitación y cristalización del azúcar. En cada módulo se plantearon diferentes objetivos, que juntos complementan el análisis del sistema de control microbiológico actual en el Ingenio Magdalena.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar el estatus actual del sistema de control microbiológico de la industria azucarera de Guatemala para complementarlo e indicar el posible impacto en la productividad.

B. Objetivos específicos por módulo

Módulo 1. Evaluación y propuesta de reingeniería de los procedimientos de reincorporación de caña en los patios y conductores del Ingenio Magdalena.

1. Diseñar un método factible técnica y económicamente, para el manejo de caña barrida del patio y bagacillo debajo de los conductores en el Ingenio Magdalena para disminuir el nivel microbiológico en los jugos y aumentar la productividad.

- a. Determinar la influencia de la reincorporación de caña barrida y bagacillo debajo de los conductores en el incremento del coeficiente microbiológico y disminución de sacarosa en la caña que le acompaña en el proceso.
- b. Determinar las condiciones en las cuales la caña de patio y bagacillo debajo de los conductores no se deben reincorporar al proceso de extracción de azúcar y sea factible económicamente enviarlas a otro proceso.
- c. Definir el método más adecuado de recolección de caña barrida, y bagacillo de conductores tomando en cuenta las condiciones mencionadas para el manejo adecuado de la misma.
- d. Proponer una metodología de secado y transporte de la caña o bagacillo que en dado caso no sea reincorporado hacia las calderas u otra alternativa en base a los resultados del impacto microbiológicos de los mismos.

Módulo 2. Evaluación de la actividad microbiológica y sus efectos en el área de clarificación y evaporación en el Ingenio Magdalena.

2. Determinar la relación entre la incidencia y los efectos de la actividad microbiológica en el proceso de clarificación y evaporación con jugos del Ingenio Magdalena durante la zafra 2014, a escala de laboratorio.

- a. Determinar la relación entre el consumo de lechada (cal y agua) en la alcalinización de jugo sulfitado cristal y crudo con respecto a la variación del coeficiente microbiológico (CM) en la zafra 2014, a escala laboratorio.
- b. Determinar, usando los datos de la zafra 2014, la relación entre el cambio de la velocidad de sedimentación y volumen de lodos en el proceso de clarificación para el jugo alcalizado cristal y crudo con respecto al efecto del CM, a escala laboratorio.
- c. Determinar la relación de masa de incrustaciones en los evaporadores de calandria debido al exceso de lechada de cal añadida con respecto al CM durante la zafra 2014, mediante el análisis gravimétrico y a escala laboratorio.
- d. Determinar la relación del incremento de costos de alcalinización en el proceso de clarificación con respecto al aumento de volumen de lechada de cal respecto a la variación del CM, durante la zafra 2014.

Módulo 3. Caracterización microbiológica del área de filtración de lodos de cachaza del proceso de producción de azúcar.

3. Caracterizar microbiológicamente el área de filtración de lodos de cachaza del proceso de producción de azúcar para reaprovechamiento de contenido de azúcar, por medio de muestreos y análisis específicos en cada área a evaluar, para proponer mejoras técnicas en el Ingenio Magdalena

- a. Evaluar el diseño del sistema de filtros de cachaza de IMSA para la determinación de puntos de muestreo por medio de análisis específicos que permitan conocer la actividad microbiológica de cada filtro.
- b. Evaluar la logística de trabajo y limpieza del área de filtros de cachaza de IMSA, con el fin de determinar procesos críticos en el manejo de los equipos y de los sistemas y así modificar patrones de trabajo que se puedan cambiar, mejorar o implementar para minimizar el impacto de la actividad microbiológica.
- c. Determinar actividades microbiológicas por medio de Coeficiente Microbiológico de los 12 filtros de cachaza de IMSA y su relación con la variación de temperatura través de pruebas de resazurina y medición directa de temperatura por medio de sensores digitales, respaldando los resultados con la determinación de la cantidad unidades formadoras de colonias en filtros de lodos de cachaza a través de recuento en placa de aerobios.
- d. Establecer variables de control para la aplicación de un sistema integrado de control microbiológico como una opción para mejorar su eficiencia al menor costo del tándem de filtros de lodos de cachaza de IMSA.

Módulo 4. Análisis de la actividad microbiológica en los procesos de sulfitación, alcalización, cristalización y sus consecuencias para proponer mejoras técnicas en un ingenio de Guatemala.

4. Analizar la actividad microbiológica y sus consecuencias en los procesos de sulfitación, alcalización y cristalización, por medio de muestreos y análisis específicos en cada área a evaluar, para proponer mejoras técnicas en el Ingenio Magdalena.

- a. Evaluar a escala laboratorio la utilización del jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción, usando el Coeficiente Microbiológico (CM) medido con pruebas de resazurina en diluciones desde 5 a 50% v/v de jugo sulfitado en jugo diluido.

- b.** Evaluar a escala piloto el efecto de la recirculación del jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción, usando el CM medido en pruebas de resazurina para la mezcla con jugo diluido crudo en tres puntos del sistema, durante 30 minutos.
- c.** Evaluar a escala laboratorio la utilización de lechada de cal como bactericida en el área de extracción y a su vez, la efectividad de la prueba de resazurina para la misma por medio de muestreos, determinando el coeficiente microbiológico en esa área y comparar con conteos microbiológicos.
- d.** Evaluar las consecuencias de actividad microbiológica en muestras de masa final del proceso de cristalización utilizando la medición de elongación de cristales y comparar con el CM promedio en jugo primario (cristal).

III. JUSTIFICACIÓN

El sector azucarero representa el 23.82% del valor total de la producción agrícola guatemalteca y 13.65% de las exportaciones totales del país, siendo el segundo sector económico que genera más divisas. Siendo esta una empresa tan importante para el país, es necesario evaluar cada uno de los procesos de producción de manera que sea competente en cada aspecto y así obtener mayores resultados a partir de la misma materia prima.

Sólo el Ingenio Magdalena durante la zafra 2013-2014 procesó 7,719,166.70tc de caña molida y produjo 1,508,608.3 ton de azúcar. De la producción total de azúcar el 4% representa la cantidad de kilogramos de cachaza generada por tonelada de azúcar producida. Es decir que el ingenio genera entre 32 y 40 kg de cachaza. (IMSA, 2014)

El control microbiológico juega un gran papel en una industria alimenticia, es necesario realizar los controles específicos para que no solo se obtenga la mayor cantidad de producto sino que el producto cumpla con los más altos estándares de calidad.

Es necesario trabajar en varias direcciones para reducir el efecto negativo de la actividad microbiana en el proceso azucarero; una de ellas es la caracterización microbiológica de los jugos circulantes y sus áreas de procesos. (Nuñez, Fabian, 2013)

Módulo 1. Actualmente, en el proceso de la caña de azúcar existe un problema al momento de trasladar la caña de los camiones a los conductores. Los camiones van totalmente llenos de caña. En el momento que hacen fila para descarga con otros camiones y al momento en el que la grúa levanta el furgón de dicho camión, se cae mucha caña en el patio. Esta caña es barrida por el "payloader" o vehículo de carga frontal, el cual acumula pilas de caña, que pasa mucho tiempo en la interperie exponiéndose a la contaminación y actividad microbiológica. Además, también existe el mismo problema con el bagacillo que se cae de los conductores, aunque este bagacillo tiene otras condiciones. Por estudios anteriores realizados en el Ingenio Pantaleón y Magdalena el impacto de reincorporar dicha caña que pasa mucho tiempo en espera es muy alto y genera pérdidas al ingenio, ya que no se extrae la misma cantidad de sacarosa a dicha caña debido a la acción microbiana. Se desea estudiar las alternativas posibles y viables en el proceso para el mejor manejo de esta caña y bagazo con alto nivel de actividad microbiológica.

Según observaciones y mediciones realizadas, el tamaño promedio de una acumulación de caña barrida es de 60 metros cuadrados por 1 metro y medio de alto. En el caso del bagacillo, este se acumula en las paredes, vigas y piso de los conductores, generando pequeñas prominencias que luego son paleados hacia adentro.

Por lo tanto es necesario determinar la viabilidad de dicha caña y bagacillo en su reincorporación al proceso de molienda y analizar cuál es el manejo ideal de la misma, para crear una metodología real que sea ejecutable y viable económicamente.

Módulo 2. Existen dos razones por las cuales las empresas buscan subir sus rendimientos, la primera es el interés de las mismas por incrementar su productividad y evitar la generación de pérdidas en los procesos, la segunda es debido a que por las diferentes crisis en el mercado mundial han forzado a que empresas reduzcan costos, obligando al replanteamiento de sus procesos para volverlos más eficientes. En un ingenio azucarero, obtener un buen desempeño en el proceso de clarificación y evaporación es de suma importancia, dado a que eso permite obtener costos bajos de operación e incrementar el

aprovechamiento de la materia prima. El correcto desempeño del proceso y del equipo depende de varios factores como la utilización de vapor, la capacidad de transferencia de calor, el mantenimiento adecuado y el manejo correcto de la misma materia prima, entre otros.

La actividad microbiológica en la materia prima, jugo de caña, repercute en el sistema si no se le controla de la manera adecuada, debido a que en el proceso de clarificación la alta actividad microbiológica libera ácidos que aumentan la capacidad buffer del jugo sulfitado, de tal manera que es necesario agregar mayor cantidad de lechada de cal en el proceso de clarificación. Tal como se presenta en la investigación que Martínez realizada en el Ingenio Pantaleón en el 2013, el incremento del CM aumenta la utilización de lechada de cal el cual es presentado en el cuadro 7 y 8 en el área de antecedentes. Por esta razón se presenta la necesidad de realizar un estudio en el Ingenio Magdalena, con el objetivo de determinar ecuaciones que determinen el comportamiento del proceso por el efecto de la actividad microbiológica. Otro aspecto a evaluar es la formación de incrustaciones debido a que en el estudio de Martínez se presenta un aumento de incrustaciones debido al incremento del CM, como se presenta en el cuadro 12. El incremento en la utilización de lechada puede formar más iones calcio libres en el jugo de caña, generando así un aumento de incrustaciones en los evaporadores de calandria repercutiendo directamente en la reducción de transferencia de calor y disminuyendo la eficiencia térmica del proceso. Siendo por este motivo necesario que la actividad microbiológica se estudie y se mantenga controlada para que el proceso de clarificación y evaporación mantengan costos bajos de operación en la utilización mínima de lechada (cal y agua) para la estabilización del pH y energía en forma de vapor por la resistencia de transferencia de calor debido a las incrustaciones, y así poder determinar las pérdidas que este genere.

Por lo tanto, un aumento en la actividad microbiológica sugiere un aumento en los costos de tratamiento del jugo en el área de clarificación y en el mantenimiento de los evaporadores. Siendo también un factor importante en la pérdida de sacarosa debido a la descomposición de la molécula en sus formas más sencillas glucosa y fructosa por el pH bajo debido a los ácidos generados por estos, representando una menor capacidad de producción debido a que no

es posible la cristalización de los dos compuestos antes mencionados. Por estos motivos se debe de estudiar el comportamiento de la actividad microbiológica para determinar medias correctivas en los distintos procesos. Dado a que esto podría representar un posible ahorro en la utilización de lechada (hidróxido de calcio específicamente, siendo Q1,085.00 por tonelada métrica su costo), disminución de tiempo en el proceso de clarificación debido a la velocidad de sedimentación lo que podría acelerar el proceso, reduciendo el tiempo muerto, y una posible disminución en la formación de incrustaciones; representando de esta forma un incremento en la productividad del Ingenio Magdalena.

Módulo 3. Determinar las características microbiológicas particulares de los jugos de cada filtro del sistema de recuperación es determinante a realizar para iniciar un proceso de reingeniería que aumente la eficiencia de producción, pero para ello es necesario conocer el estado actual del sistema, por lo cual se realizó un estudio preliminar que no solo estableciera la viabilidad sino indicará parámetros metodológicos de un estudio más completo, además, revelará las condiciones de logística, diseño, mantenimiento y limpieza actual de los equipos. A continuación se presentan los resultados del análisis de temperaturas, coeficientes de actividad microbiológica CM, diseño de estructuras y logística de mantenimiento y limpieza del área.

Existe una variación significativa entre la temperatura de los lodos de tanques y filtro, esta variación puede provocar sistemas en los cuales exista una microbiota resistente a las condiciones de temperatura que son inferiores a la recomendada por la teoría, 80°C. A medida que los filtros se alejan del filtro cachazón la temperatura de los lodos va decreciendo, promoviendo actividad microbiana que consuma el azúcar que se desea recuperar. La distancia recorrida por los lodos podría ser factor determinante en la disminución de temperatura.

Se encontró que la prueba de resazurina tiene limitantes al trabajar a temperatura elevadas, los resultados de viro fueron afectados por las temperaturas entre 85°C y 95°C, además se asume que las variaciones tan marcadas entre medidas de lodos del mismo tanque de alimentación de cada

filtro se deben no solo a lo expuesto anteriormente sino también a las cantidades elevadas de coagulante en la mezcla de lodos.

En los tres turnos de trabajo, la metodología de lavado del área actual no contempla la remoción completa de sólidos de acumulados en la totalidad de los filtros, más aún en la parte posterior donde solo tres filtros poseen compuertas habilitadas para el acceso y que aun teniendo estos accesos la limpieza no se desarrolla idealmente, se realizan dos lavados superficiales de cada filtro y además la remoción de sólidos y biopelículas así como de hongos solo se realiza en la parte frontal del filtro. Por otro lado, todos los filtros poseen diseño distintos en cuanto a dimensiones de la cama contenedora de lodos, también los cajones de rebosadero poseen diferentes dimensiones, lo cual hace que los volúmenes de lodos en varíen constantemente, factor que puede hacer variar la temperatura de los lodos y promover acumulaciones en el lecho del tanque que provean a los microorganismos ambientes de proliferación.

Módulo 4. En este trabajo se realizó un estudio de la actividad microbiológica en las áreas de extracción y cristalización ya que poseen las condiciones idóneas para el crecimiento de microorganismos. También se analizó los procesos sulfitación y alcalización los cuales presentan un crecimiento bajo de microorganismos por lo que podrían utilizarse como previos bactericidas en el proceso de extracción. El aumento en la actividad microbiológica presenta una pérdida significativa de sacarosa cristalizable para obtener azúcar de diferentes tipos.

El análisis en las áreas determinadas anteriormente se realizó con el objetivo de cuantificar la efectividad del jugo sulfitado o alcalizado en la reducción del CM de jugo diluido; debido a que la presencia de microorganismos en el proceso influye tanto en la concentración como en la obtención del azúcar final; así mismo se tiene en cuenta un ahorro en Bactericida utilizado; la dosificación de bactericida definida para la zafra 12-13 fue de 27.5 gal/día para el tándem A y 33.8 gal/día para el tándem B y tándem C. La dosificación de bactericidas se basa en la recomendación técnico comercial de los productos utilizados y regulación FDA vigente, uno de ellos con el título 21CFR172.165.

Durante la zafra 2013-2014 se utilizó tres bactericidas cuyos costos son Q77.87 por galón de Bactericida Carbamato C, Q67.40 por galón de Bactericida Carbamato Carbácido y Q69.43 por galón de Bactericida Cuaternario ENAQUAT. (Magdalena, 2013)

Por medio de este estudio se logra determinar el posible uso de jugo sulfitado como previo bactericida en el proceso de extracción dando como resultado una disminución en el costo total de bactericida utilizado dentro del proceso, al mismo tiempo se obtendría un aumento de sacarosa libre de dextrana lo cual aumenta la cantidad de producto final obtenido.

El Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) ha reconocido el problema que presentan los microorganismos para la industria, por lo que se ha trazado la meta para el año 2015 de generar información tecnológica para mejorar los procesos de extracción y recuperación de sacarosa tratando de disminuir las pérdidas indeterminadas controlando la actividad microbiana, según el informe anual 2011-2012 de esta institución.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Historia del azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una planta que pertenece a la familia de las gramináceas. Se originó en el sureste de Asia y después de propagó a Oceanía, Indonesia, Filipinas, Hawai y otras islas cercanas. Se cree que las técnicas de procesamiento y cristalización de azúcar de caña se inventaron en India. Desde India se difundió a Persia, lugares en los cuales aprendieron los árabes sobre la producción de azúcar. Durante las conquistas árabes, propagaron el cultivo hacia Egipto, Marruecos, España y Sicilia. (Wagner, 2007)

Durante el siglo XIV, el consumo de azúcar era un lujo, su uso estaba reducido a endulzar medicamentos amargos y en la confitería de la alta sociedad. El producto se hizo cada vez más popular, incrementando la demanda obligando a la expansión de la caña a las islas del Atlántico. Estas islas se volvieron las proveedoras de Europa. Cristóbal Colón en su segundo viaje a América, trajo consigo la caña de azúcar, lo cual inició la industria primitiva de azúcar. (Wagner, 2007)

B. Industria azucarera en América

En el año 1,600 la producción del azúcar crudo en América era la mayor industria del mundo y durante el siglo XVI en muchas colonias españolas. La producción de azúcar se desarrolló bajo la dinámica de la hacienda y en el contexto de mercados locales restringidos y poco dinámicos (Herrera, 1999).

C. Industria azucarera en Guatemala

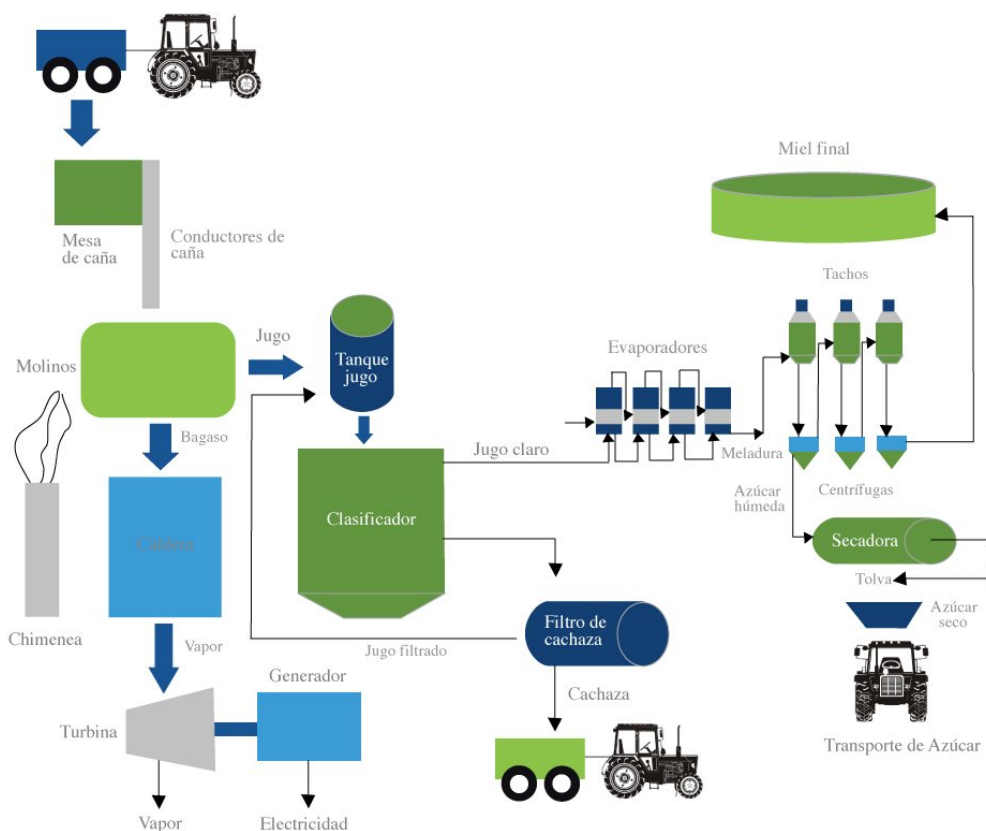
Durante la época colonial, la producción de azúcar fue únicamente para consumo interno. En 1590, los frailes dominicos fundaron el primer ingenio en San Jerónimo, Baja Verapaz. Fue hasta el siglo XIX cuando iniciaron las primeras exportaciones de azúcar pero de una manera informal y en pocas cantidades. A principios de los años 60, Estados Unidos permitió importaciones

de los países centroamericanos. En 1963, salieron los primeros embarques de azúcar hacia Estados Unidos. (Mirón, 1998)

La industria de azúcar se concentra en el denominado cordón cañero formado por los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu y Guatemala. En 1957, los productores de azúcar fundaron la Asociación de Azucareros de Guatemala para velar por sus intereses y desarrollar la industria utilizando las mejores tecnologías. Desde entonces, los ingenios han compartido información, situación que no se da en muy pocas industrias, lo que ha llevado a la industria azucarera guatemalteca a ser una de las más competitivas en el mundo. (Mirón, 1998; ASAZGUA, 2013).

En la actualidad, operan 12 ingenios entre los que se encuentra: Ingenio Pantaleón y Concepción, Ingenio Palo Gordo, Ingenio Madre Tierra, Ingenio Santa Ana e Ingenio Magdalena. Según cifras de ASAZGUA, para la zafra 2012-2013 se produjeron 2,782,693 toneladas métricas, el incremento en la producción es aproximadamente del 11%, el cual se debe a una mejora en las condiciones climáticas. Guatemala es el tercer país a nivel mundial con mejor productividad. En cuanto a exportaciones, es el segundo a nivel Latinoamericano y 4 a nivel mundial. En cuanto a Guatemala, es el segundo sector económico que genera más divisas en el país. (ASAZGUA, 2013)

Figura No. 1: Diagrama del proceso de producción de azúcar.



Fuente: Ingenio Risalda, 2014.

D. Componentes de la caña de azúcar

La temperatura, humedad y luminosidad, son los principales factores climáticos que controlan el desarrollo de la caña. La caña de azúcar es una planta tropical que se desarrolla mejor en lugares calientes y soleados. Cuando prevalecen temperaturas altas la caña de azúcar alcanza un gran crecimiento vegetativo y bajo estas condiciones la fotosíntesis se desplaza, hacia la producción de carbohidratos de alto peso molecular, como la celulosa y otras materias que constituyen el follaje y el soporte fibroso del tallo. Es indispensable también proporcionar una adecuada cantidad de agua a la caña durante su desarrollo, para que permita la absorción, transporte y asimilación de los nutrientes. La caña de azúcar se cultiva con éxito en la mayoría de suelos que, deben contener materia orgánica y presentar buen drenaje tanto externo como interno y que su pH oscile entre 5.5 a 7.8 para su óptimo desarrollo. Se reportan

buenos resultados de rendimiento y de azúcar en suelo de textura franco limoso y franco arenoso. (SIAP México, 2012)

1. **Azúcares.** El valor comercial del azúcar deriva de la preponderancia de la sacarosa como constituyente del jugo de la planta madura. Los otros azúcares importantes que se encuentran presentes en concentraciones sustanciales son la glucosa y la fructosa; los métodos cromatográficos no han revelado más que indicios de cetosa y no han indicado que en jugos frescos e inalterados ocurran naturalmente otros compuestos de esta clase. Los azúcares están clasificados químicamente como carbohidratos, grupo numeroso y ampliamente diseminado de sustancias naturales que se caracterizan por ser compuestos de carbono combinado con oxígeno e hidrogeno en las proporciones que se requieren para formar agua. No son hidratos en el sentido estricto de este término; estructuralmente, son compuestos de cadenas de carbono, más frecuentemente de 5 o 6 átomos de longitud o productos inferiores de condensación de tales compuestos. (Spencer, 1963)

La configuración del grupo hidroxilo y los átomos de hidrógeno en los azúcares es la que determina la propiedad de los azúcares, de ocasionar la rotación del plano de la luz polarizada; en esta propiedad se han basado los métodos más ampliamente empelados para la determinación de la presencia de azúcares en los jugos y los productos de la fabricación de azúcar.

El tronco de la caña de azúcar está compuesto por una parte sólida llamada fibra y una parte líquida, la cual es el jugo. El jugo, está compuesto de agua y sacarosa. Tanto en la parte sólida como en la líquida hay otras sustancias pero éstas se encuentran en cantidades muy pequeñas. (Perafán 2005).

Factores como la variedad de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, lluvias, riegos, etc. hacen que varíen la composición de la caña. (Perafán 2005). Composición general:

- Agua 73 - 76 %
- Sacarosa 8 - 15 %
- Fibra 11 - 16 %

- Glucosa 0.2 – 0.6 %
- Fructosa 0.2 – 0.6 %
- Sales 0.3 – 0.8 %
- Ácidos orgánicos 0.1 – 0.8 %
- Otros 0.3 – 0.8 %

Se considera fibra de la caña la materia insoluble en agua y se compone principalmente de celulosa. Así mismo tiene otros colorantes como la antocianina y la sacaretina. Algunos de los ácidos orgánicos que contiene son oxálico, glicólico, málico, succíno y tánico (Perafán 2005).

2. Sacarosa. Este azúcar, que es el azúcar refinado del comercio, está ampliamente diseminado por todo el reino vegetal. Las fuentes comerciales, aparte de la caña de azúcar, son la remolacha azucarera y el árbol de arce, ciertas plantas y el sorgo dulce que se utiliza para la fabricación de jarabe. La sacarosa es un disacárido producido por la condensación de glucosa y fructosa, tiene la forma empírica de $C_{12}H_{22}O_{11}$. (Spencer, 1963)

Los cristales tienen una densidad aproximada de 1.5879 a 15°C y muestran actividad óptica a lo largo de sus tres ejes. La sacarosa pura funde en 188°C. (Spencer, 1963)

3. La inversión de la sacarosa. La sacarosa se hidroliza con facilidad en soluciones ácidas a velocidades que aumentan notablemente según el aumento de la temperatura y la disminución del pH con liberación de los monosacáridos constituyentes que la conforman, los cuales son la glucosa y la fructosa. El medio ácido contribuye como un catalizador en la aceleración de esta reacción. La acidez del jugo de caña disminuye por la actividad microbiológica, debido a que los productos del metabolismo de los microorganismos son dos los más importantes, el primero goma o dextrana y el segundo ácido. (Spencer, 1963)

Por esta razón los Ingenios incorporaron a la producción de azúcar el proceso de alcalización de los jugos sulfitados por dos motivos, el primero para preparar el jugo para el proceso de evaporación llevando el pH del mismo a un

pH 7 o cercano, y el segundo debido a que este ayuda en el proceso de clarificación a la formación de floculos. (Magdalena, 2014)

5. Gomas naturales. En el jugo de caña, la sucrosa es degradada para formar dextrosa y levulosa, particularmente por *L. mesenteroides*, la cual produce dextranasa para provocar polimerización de la dextrosa hacia polisacáridos llamados dextrana. La Dextrana tiene pesos moleculares de entre 15000-2000000 o mayores. La característica de la dextrana de ser dextrorrotatoria afecta la polarización del jugo, resultando en falsos contenidos de azúcar y falsa pureza del jugo. Los rangos específicos de rotación de la dextrana se encuentran entre los rangos de +195 hasta +205, comparada con esa de la sucrosa, la cual es de +66.5. Teóricamente, 333ppm de dextrana en la caña aumenta los resultados de polarimetría en 0.15. Además, un 0.1% de dextrana en el jugo produce un error de 1% en polarimetría, y cuando un 0.5% de dextrana se tiene un error de 7% de error en polarimetría. (Chen y Chou, 1993)

Las dextranas son cadenas poliméricas de unidades glucosil, sintetizadas por dextranasa (dextranasa) por la transferencia de unidades de D-glucosil desde la sacarosa hasta moléculas receptoras. Esta polimerización resulta en la formación de dextrana, y unidades de fructosil son liberadas. Las dextranas también llamadas glucanos, junto a un número substancial de vínculos $\alpha(1,6)$ en su cadena principal, generalmente comprenden más del 50% del total de los vínculos. Estos α -D-glucanos también poseen cadenas laterales, derivadas principalmente de $\alpha(1,3)$ - y en algunas ocasiones de vínculos $\alpha(1,4)$ - o vínculos $\alpha(1,2)$ -. Los diferentes tipos de dextranas de tamaño variable y estructura se sintetizan según el dextranasa producida por la cepa. (Majumder, 2007)

Las dextranas solubles tienen amplias aplicaciones bien documentadas en la industria. La *L. mesenteroides* se utiliza en reacciones con aceptores de maltosa, con el objetivo de obtener oligosacáridos con enlaces α -1, 2 glicosídicos. Estos compuestos resisten la hidrólisis por las enzimas digestivas en los animales y los seres humanos debido a la configuración de sus enlaces glicosídicos y la estimulación selectiva de sus microorganismos intestinales como *Bifidobacterium* spp. *Lactobacillus* spp., *Bacteroides* spp. Además, las

dextranas actúan como prebióticos, prometiendo beneficios para la salud humana. En la actualidad ya se están utilizando como aditivos en la alimentación animal y humana. Las dextranas son ampliamente utilizadas en la industria farmacéutica como expansores del volumen sanguíneo y en la industria alimenticia como acondicionadora, estabilizante y agente de reemplazo de gomas naturales. Se utiliza contra la deficiencia de hierro y en la cicatrización de la herida abierta. Los derivados de dextrana como sephadex y DEAE-dextrana sirven como tamices moleculares y son ampliamente utilizados para la separación de biomoléculas en cromatografía. (Majumder, 2007)

Para mostrar las pérdidas que se deben a la formación de dextrana, se puede usar la Tabla No. 1 (Chen y Chou, 1993)

Cuadro No. 1: Pérdida de sacarosa por la formación de dextrana.

<i>Dextrana (%)</i>	<i>Sucrosa perdida, (%) (lb/t azúcar)</i>	<i>Fructosa formada (lb/ t azúcar)</i>	<i>Ácidos formados (%)</i>
0.05	0.20 (4.4lb)	2.2	0.07
0.1	0.40 (8.8lb)	4.4	0.14
0.5	2.0 (44lb)	22	0.7

Es importante señalar que estas pérdidas de sucrosa representan solamente éstas pérdidas directamente por la formación de dextrana. De tres a cinco veces los niveles pueden ser perdidos después en procesamiento por otras moléculas formadas junto con la dextrana. (Chen y Chou, 1993)

La pérdida de sucrosa causada por la formación de dextrana puede ser calculada de la dextrana en el jugo. Considerando que un mol de sucrosa tiene peso molecular de 342 y provee un mol de glucosa, con peso molecular de 180, entonces se van a necesitar 222 moles de sucrosa para formar dextrana con un peso molecular aproximado de 40000. Por lo tanto $222 \times 342 / 40000 = 1.898$, lo que significa que la pérdida de sucrosa es aproximadamente 1.9 veces la dextrana formada. (Chen y Chou, 1993)

También ha sido reportado que una hora de retraso en el procesamiento de jugo, produce pérdidas de aproximadamente 6.47% del contenido de sucrosa. (Chen y Chou, 1993)

La caracterización de gomas solubles que se dan naturalmente en la caña de azúcar, y son extraídas con el guarapo durante la molienda. El problema se complica por la presencia frecuentemente de dextranas, así como la de otros productos de la contaminación microbiológica. Las gomas solubles en agua y claramente diferenciables de la dextrina son aisladas de las melazas. Los efectos indeseables surgen en la elaboración del jugo y la cristalización de los azúcares son a partir de los jarabes que dan viscosidades más elevadas. En la estructura de estos polisacáridos están presentes por lo menos cinco azúcares simples diferentes; la glucosa, la galactosa, la arabinosa y la xilosa, sustancias que fueron logradas por hidrólisis. (Spencer, 1963)

6. Deterioro de la caña. La caña recién cortada es superior a la que ha yacido en los campos o en un lugar determinado por un tiempo prolongado. La importancia que tiene que la caña sea molida recién cortada está en que las pérdidas se pueden dar por la inversión de sacarosa y deterioro, esto está relacionado con la pérdida de humedad. El deterioro de la caña se puede deber a la entrega de caña al molino que tiene como consecuencia el aumento de costos de transporte de la caña necesaria para producir el azúcar, los molinos tienen que moler más caña por unidad de azúcar producida, debido a la mayor cantidad de impurezas que se tiene que manejar, el juego de caña deteriorada produce azúcar de inferior calidad. (Spencer, 1963)

Dentro de las impurezas que se pueden formar en la caña por el tiempo prolongado antes de su molienda se deben a la actividad microbiana, debido a que la misma induce a la reacción de inversión presentada anteriormente. Por lo que los azúcares presentes en el jugo ya no son cristalizables, como lo es la glucosa y la fructosa que no son cristalizables a escala industrial; representando pérdidas para el proceso. (Magdalena, 2014)

7. Consecuencias de la actividad microbiológica. La formación de ácidos como otro de los productos de los microorganismos contribuye a la inversión de la sacarosa, dando como producto de la misma glucosa y fructosa. Los productos de la inversión no son posibles de cristalizar por lo que estos se suman a las pérdidas en la producción de azúcar. (Spencer, 1963)

La formación de dextrana no solo reduce la concentración de sacarosa en el jugo de la caña, sino que aumenta la viscosidad de éste y las mieles y masas que le siguen en el proceso. Esto incrementa los costos de bombeo y dificulta la cristalización, la etapa más importante de la refinación de azúcar. (Eggleston, 2002)

Uno de los problemas atribuidos a la dextrana es que disminuye la tasa de asentamiento de los lodos. Además, provoca dificultades para llevar a ebullición, por lo tanto se necesita más energía para llevar a ebullición. Sin embargo el efecto más dañino de la formación de dextrana es la elongación de los cristales. La formación de dextrana y la elongación del cristal no solo reducen el crecimiento del cristal sino que aumenta la producción de falsos granos. Para producir azúcar de alta calidad se debe tener jugos con menos de 1400ppm de dextrana. (Chen y Chou, 1993)

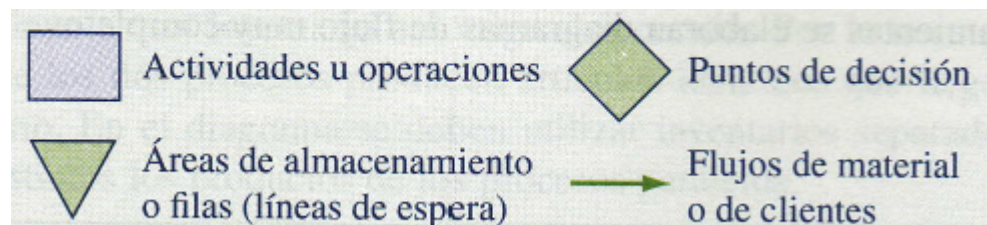
Otro problema asociado al daño bacteriano del jugo de caña, es la formación de oligosacáridos. Morel du Boil (1991) reportó que los oligosacáridos provocan deformación de cristales. Ravelo, Ramos y Mejiras (1991) encontraron que la formación de oligosacáridos totales era mayor que la formación de dextrana y etanol, por lo que este es un mejor indicador del deterioro de la caña. La elongación de cristales se da como producto de los microorganismos al originar dextrana. La dextrana ocluye algunas de las caras de formación del cristal de azúcar y como consecuencia una deformidad en los cristales. Esto repercute cuando en el proceso de centrifugación de estos cristales, al no alcanzar el ancho suficiente salen del proceso en la melaza. (Spencer, 1963)

E. Herramientas de Ingeniería Industrial utilizadas

1. **Diagrama de flujo de proceso.** El diagrama de flujos de proceso es particularmente útil para registrar los costos ocultos no productivos como por ejemplo, las distancias recorridas, retrasos y almacenamientos temporales. Una vez que estos periodos no productivos se identifican, los analistas pueden tomar medidas para minimizarlos, y por ende, reducir costos. (Niebel & Freivalds, 2009)

Al analizar un proceso, es recomendable empezar con un diagrama que muestre sus elementos básicos, por lo general actividades, flujos, y zonas de almacenamiento. Las actividades se representan en forma de rectángulos, los flujos como flechas, y el almacenamiento de bienes o artículos como un triángulo invertido. Los puntos de decisión se representan con un diamante. (Chase & Jacobs, 2011)

Figura No. 2: Simbología de diagrama de flujo de proceso.



Fuente: Chase & Jacobs, 2011

El diagrama se identifica mediante un título, y la información adicional que lo acompaña que generalmente incluye el número de parte, el número de diagrama, la descripción del proceso, el método actual o propuesto, la fecha, y el nombre de la persona que lo elaboró. Existe otra información adicional que se le puede brindar. (Niebel & Freivalds, 2009)

2. Diagrama de pescado. También conocido como diagrama "causa-efecto", desarrollado por Ishikawa a principios de los años cincuenta mientras trabajaba en un proyecto de control de calidad para Kawasaki Steel Company. El método consiste en definir la ocurrencia de un evento o problema no deseable, esto es, el efecto, como la cabeza del pescado, y después, identificar los factores que contribuyen a su conformación, esto es, las causas, como las espinas del pescado unidas a la columna vertebral y cabeza del pescado.

Por lo general, las principales causas se subdividen en cinco o seis categorías principales: humanas, máquinas, métodos, materiales, medio ambiente, administrativas. Los diagramas de pescado han tenido mucho éxito en los círculos de calidad japoneses, donde se espera la contribución de todos los niveles de trabajadores y gerentes. (Niebel & Freivalds, 2009)

F. Procesos de producción de azúcar

1. Extracción. El objetivo de la molienda es para separar el jugo que contiene sacarosa del resto de la caña, que comprende principalmente fibra. La extracción se entiende el porcentaje de sacarosa extraído de la caña en los molinos, y es igual a la sacarosa en el jugo crudo como porcentaje de sacarosa en la caña. (Rein, 2007)

Se puede suponer que la caña está compuesta por tres componentes, cada uno con dos sub-componentes: (Rein, 2007)

- a. Fibra, que consiste en:
 - La fibra vegetal, y
 - La materia insoluble que no es fibrosa, pero incluida con "fibra" en la caña y bagazo analizado, a veces se mide en forma de cenizas.
- b. Los sólidos disueltos, se hace referencia también como Brix, que consiste en el material soluble en agua en la caña:
 - Sacarosa (medido generalmente aproximadamente como la polarización o POL)
 - Glucósidas (otra materia soluble en solución) a veces también llamado no-azúcar o no-POL.
- c. El agua, que consiste en:

- El agua "libre" (el disolvente en el que la sacarosa y glucósidas se disuelven),
- Agua libre de Brix (agua "ligada" que forma parte de la estructura de celulosa de la caña y por lo tanto no está disponible como un disolvente para la sacarosa y glucósidas y no se extrae en el proceso de molienda).

En las fábricas, la caña se exprime a alta presión entre pares sucesivos de rodillos. Estos están diseñados para extraer lo más posible del jugo (agua libre + sacarosa + no azúcar) de la fibra insoluble. La caña de residual a partir del cual se ha extraído el jugo se denomina bagazo. (Rein, 2007)

El porcentaje de la sacarosa en la caña original que se elimina con el jugo crudo se denomina la "extracción de sacarosa", E, expresada como un porcentaje:

$$E = 100 \times \frac{\dot{m}_{S,RJ}}{\dot{m}_{S,C}}$$

(Rein, 2007)

Sin embargo, si se aplica el reciclado de lodo, el jugo contiene algo de sacarosa reciclado y la medida se define más apropiadamente como:

$$E = 100 \times \frac{(\dot{m}_{S,C} - \dot{m}_{S,B})}{\dot{m}_{S,C}}$$

(Rein, 2007)

Donde $\dot{m}_{S,C}$, se refiere a la tasa de flujo de masa de sacarosa, y los subíndices C y B se refieren a jugo crudo, y el bagazo de caña, respectivamente. "Extracción Pol" y "extracción de Brix" se definen de manera similar. En la práctica, la extracción es más comúnmente expresada en términos de POL, porque se mide más fácilmente que la sacarosa. Las cifras de sacarosa y de extracción de POL son numéricamente muy cerca y, para efectos prácticos, pueden tomarse como iguales. Sin embargo, la extracción de Brix difiere de forma significativa. (Rein, 2007)

Algunos de los glucósidos se extraen menos fácilmente que la sacarosa. Esto se evidencia por el hecho de que el jugo extraído en la primera etapa de molienda (jugo de primera expresado) es siempre de mayor pureza que el jugo crudo, que se extrae hacia el final del tándem de molienda (expresado como último jugo) es siempre de menor pureza. (Rein, 2007)

El jugo residual que queda en el bagazo final es de pureza aún más baja. En consecuencia, la extracción medida sobre una base Brix será menor que la extracción de sacarosa. De caña razonablemente bien preparada, por lo general es posible extraer un 60% a 75% de la sacarosa en un molino convencional. Si esta caña se pasa entonces a un segundo molino, muy poco más de sacarosa se recuperará, ya que hay poco de jugo que queda libre con el bagazo. Por lo tanto para permitir que los molinos posteriores extraigan más sacarosa, se añade al bagazo agua adicional o imbibición. Esto se mezcla con el jugo que queda en la caña, lo diluye y proporciona más material extraíble para los molinos. (Rein, 2007)

2. Proceso de sulfitación y clarificación. El desempeño de un proceso de sulfitación depende de la eficiencia de generación del SO_2 y de la mezcla de este gas con el jugo de caña. Para mayor reducción del color, la mezcla debe ser rápida, completa y uniforme. Cuando en exceso o mal homogeneizado, el gas tiende a ser perdido para la atmósfera causando problemas ambientales y consumo innecesario de azufre. Por otro lado, se tiene la ocurrencia de zonas en el jugo con pH muy bajo que favorecen la inversión de la sacarosa y la corrosión localizada de tubería y equipos (EngenhoNovo, 2012).

Cuadro No. 2: Flujo de jugo sulfitado en el Ingenio Magdalena.

	CRUDO	CRISTAL
FLUJO DE JUGO	3625gpm	3500gpm

Fuente: Ingenio Magdalena, 2014

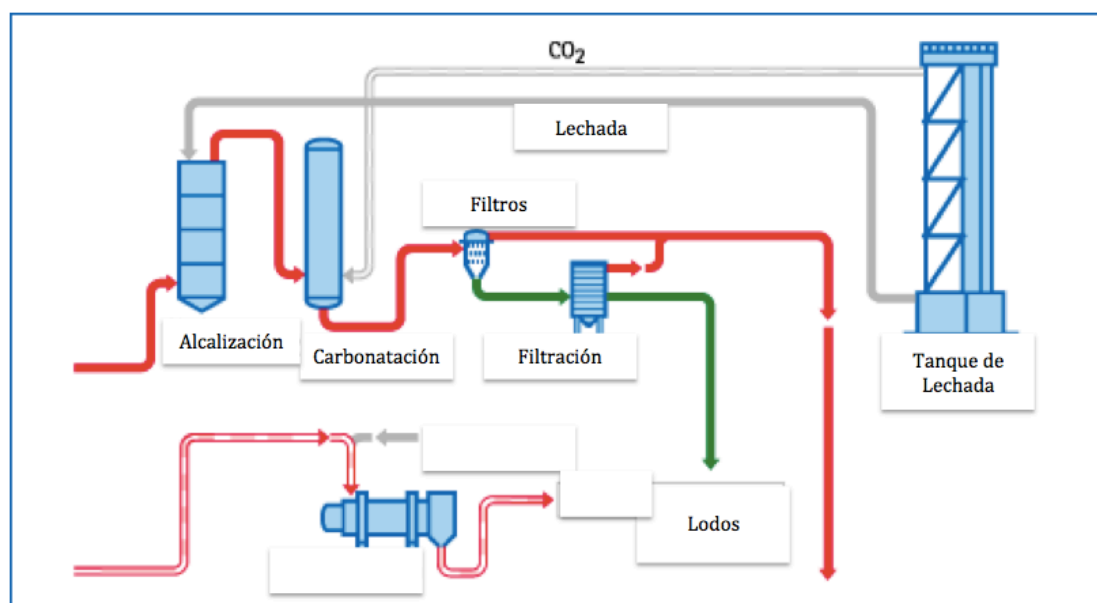
La adición de cal al jugo neutraliza los ácidos libres, impidiendo la inversión de la sacarosa; su acción sobre los azúcares reductores depende de la concentración y de la temperatura. La cal en soluciones diluidas no descompone los azúcares reductores, sino que los transforma en una mezcla de glucosa, fructosa, manosa y glutosa; pero a concentraciones mayores, a baja

temperatura, los transforma en ácidos sacáridos y lácticos. La cal se combina con la albúmina que precipita en coágulos; con muchas sales inorgánicas como los fosfatos, formando compuestos insolubles; los iones de hierro, aluminio y silicatos presentes en los jugos precipitan con la cal, formando un precipitado gelatinoso, con gran cantidad de materia orgánica (Porta, 1955).

En este proceso la cantidad de cal empleada, la forma de añadirla y la temperatura varían según las regiones y las fábricas, aunque siempre se añade la cal suficiente para neutralizar los ácidos orgánicos presentes en el jugo y se calienta después a 95 °C o a mayor temperatura (Porta, 1955).

Se acostumbra a emplear la cal en forma de lechada de 15 a 20 °C y puede ser continua o intermitente. Es de máxima importancia añadir la cal con la mayor exactitud posible; si la lechada añadida es insuficiente, la precipitación de la albúmina y el ácido fosfórico es incompleta, y la decantación, lenta y dificultosa, dando jugos turbios y originándose pérdidas por inversión; si la cal que se añade es excesiva, el jugo decanta pronto y la cal actúa sobre los azúcares reductores a temperaturas elevadas, formando sales de coloración oscura y ácidos que invierten el azúcar; estas sales de cal retrasan la evaporación y la cristalización (Porta, 1955)

Figura No. 3: Purificación del jugo de caña en el proceso de sulfitación y clarificación.



Fuente: Südzucker, 2013.

3. Filtros de cachaza. El proceso de clarificación separa los jugos creados en dos capas o dos partes:

- El jugo claro que se eleva a la superficie
- El lodo, que se precipita hacia el fondo.

El jugo claro va hacia la manufactura, que en general es, directo a los evaporadores. El lodo necesita ser filtrado primeramente, para separar del jugo la materia suspendida que contiene, con las sales insolubles formadas y el bagazo fino mezclado. (Hugot, 1986)

La filtración muchas veces es una operación complicada, y difícil de controlar. Para combinar las mejores opciones de hacerlo satisfactoriamente, es necesario observar varios puntos:

Temperatura: la viscosidad de los jugos y especialmente la de las gomas y ceras, que tienen que pasar a través de una superficie filtrante, decrece mientras la temperatura aumenta. Es entonces una ventaja para el equipo filtrar a altas temperaturas. Preferiblemente, arriba de los 80°C (175°F).

Reacción: los jugos alcalinos son filtrados más fácilmente que los ácidos o neutros. (Hugot, 1986)

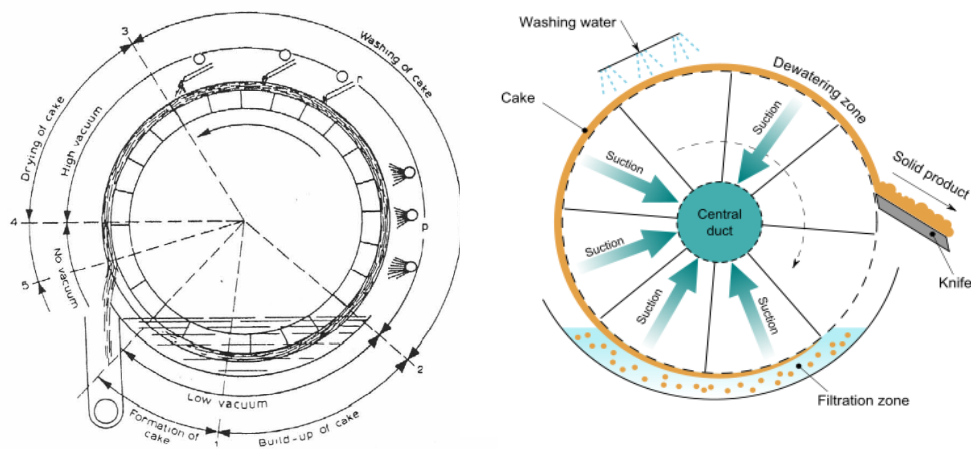
Los siguientes tipos de filtros han sido usados en la industria azucarera:

- Filtros prensa
- Filtro mecánico o de hojas
- Filtro rotatorio continuo de vacío
- Filtros de banda

Los primeros tipos han desaparecido ya de las plantas por mejoramiento de otras tecnologías más funcionales como los rotatorios continuos y los de banda. (Hugot, 1986)

4. Filtros rotatorios continuos de vacío. El filtro está compuesto de un tambor que rota sobre un eje horizontal y sumergido parcialmente en los líquidos a filtrar. La periferia del tambor sirve como superficie filtradora y se divide en 24 secciones, cada uno ocupando 15° de la circunferencia y extendiéndose a lo largo de todo el tambor. Cada sección está conectada individualmente a un sistema de vacío por una tubería pequeña que termina en una válvula de distribución situada en uno de los extremos del tambor y uniendo tres diferentes sectores:

Figura No. 4: Operación diagramática de un filtro rotatorio continuo de vacío.

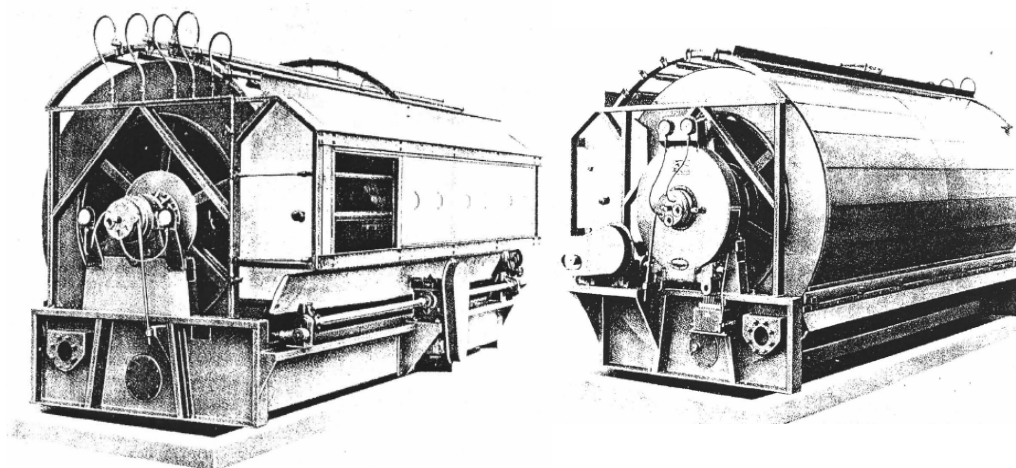


Fuente: Hugot, 1986

- Uno sin conexión al vacío, pero conectado a la atmósfera
- El segundo comunica a una cámara de bajo vacío, manteniendo una presión de 15-30 cm (6-12in.) de mercurio.
- El tercero conecta con una cámara de alto vacío, manteniendo una presión de 40-50 cm (15-20in.) de mercurio.

La superficie exterior del tambor consiste en una hoja perforada de cobre o acero inoxidable, cubriendo las 24 secciones. (Hugot, 1986)

Figura No. 5: Filtro Oliver-Campbell 2.4 x 4.9 m. Izquierda: vista trasera de aspersores y tuberías de vacío. Derecha: vista frontal del lado de desacarga de torta y válvulas de succión de alto y bajo vacío.



Fuente: Hugot, 1986

Mientras el cilindro rota, la sección del tambor que primero entra en líquido es inmediatamente conectada al bajo vacío. Esto produce una aspiración del líquido, el cual pasa por las finas perforaciones. Sin embargo, luego se cubren por trozos de bagazo y materia suspendida. El primer jugo que pasa a través esta obviamente mal filtrado y es muy turbio. A este jugo se le llama filtrado turbio y es dirigido a un recipiente especial. (Hugot, 1986)

La superficie ahora recubierta de una capa fina que forma el principio de la torta filtrada, pasa al sector de válvulas conectadas al alto vacío. Esto es necesario en verdad para aumentar el vacío, pues la resistencia ofrecida por la torta aumenta con el espesor. Sin embargo, el jugo que ahora pasa a través está mejor filtrado y por sus propias impurezas y por el bagazo fino que contiene. A ambos forman la superficie filtrante necesaria y que se almacena sobre la superficie del tambor del filtro. Este filtrado entonces constituye el filtrado claro, el cual se manda a otro contenedor. La torta filtrada se sigue formando hasta que la sección emerge del líquido. El jugo contenido en la superficie fluye de regreso al tanque, mientras que el contenido dentro del lodo es succionado por el vacío del tambor. (Hugot, 1986)

La sección del filtro pasa luego por debajo de atomizadores que irrigan agua caliente sobre la torta. Este es el inicio del lavado. El vacío absorbe el agua

lentamente a través de la torta. Los fabricantes establecen que este lavado ha sido diseñado de tal forma que el agua tiene el tiempo suficiente, en la fracción de rotación restante, para pasar a través de la torta desplazando el jugo. La remoción del azúcar es muy efectiva, sin embargo el Brix del jugo filtrado claro es sólo un poco menor al del turbio. (Hugot, 1986)

Luego que los aspersores irrigan, el lavado continúa en las tuberías y hojas distribuidoras de metal r que permite al agua gotear en la torta, para balancear la tendencia de la superficie a secar mientras el agua es succionada. Luego del último goteo, el secado comienza y el agua es extraída hacia dentro sin la adición del agua en el exterior. (Hugot, 1986)

Justo antes que la sección re-ingrese al líquido del tanque, llega a un raspador formado por una banda de hule rígido que se apoya levemente sobre el filtro y cuando una sección del filtro se aproxima al raspador, el distribuidor de válvulas detiene el vacío que sostiene la torta contra la superficie del filtro. Luego el contacto mínimo con el raspador separa la torta en bloque y cae en a un recipiente, tornillo o banda trasportadora que le lleva a un recipiente de almacenaje o desecho. (Hugot, 1986)

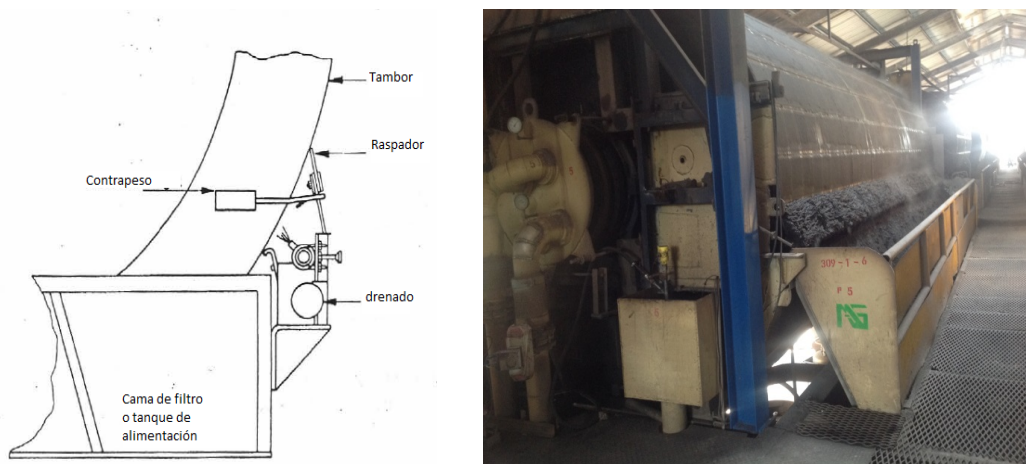
Sustancias secas en los lodos: la porción de sólidos en los lodos de filtración debe sere no menor de 4.5%, siendo la porción recomendada es entre 5.5 y 6%.(Hugot, 1986)

Placas perforadas: son de cobre, bronce o acero inoxidable, perforadas con 625 agujeros por in² y con un diámetro de 0.5 mm (0.029 in.). Las placas deben tener un espesor de 0.45 mm, 1 mm entre los centros de los agujeros, 23% de espacio abierto. (Hugot, 1986)

- La temperatura del lodo a filtrar debe ser de al menos 85°C (185°F) luego de la adición del bagazo. Abajo de esa temperatura, hay riesgo de que las ceras bloqueen los pasos del jugo filtrado. (Hugot, 1986)
- La torta de lodo contiene 0.5-3% de azúcar, esto corresponde a una pérdida de Pol de 0.2 a 0.8 %, aproximadamente 0.5%.(Hugot, 1986)

- El ritmo de filtrado esperado es de 250 a 400 L/m² (5-8 gal./ft²) de la superficie por hora. Sin embargo, la capacidad de las bombas de filtrado es de 480-500 L/m²/h (10 gal/ft²/h). (Hugot, 1986)

Figura No. 6: Izquierda: sección transversal de sección de remoción de lodos de filtro rotatorio continuo. Derecha: filtro de IMSA.



Fuente: Hugot, 1986.

La retención es la proporción de materia extraída por el filtro, expresada como el porcentaje de materia suspendida contenida en el lodo que llega al filtro. Esta retención a veces decae por debajo del 50%, en este caso el filtro debe extraer toda la materia suspendida suplida por los clarificadores ya que de otra forma habría acumulación de la materia suspendida. Si la retención es del 50%, significa que los dos filtrados mantienen en circulación entre los clarificadores y filtros una cantidad de materia suspendida igual a la que se remueve con la torta filtrada. (Hugot, 1986)

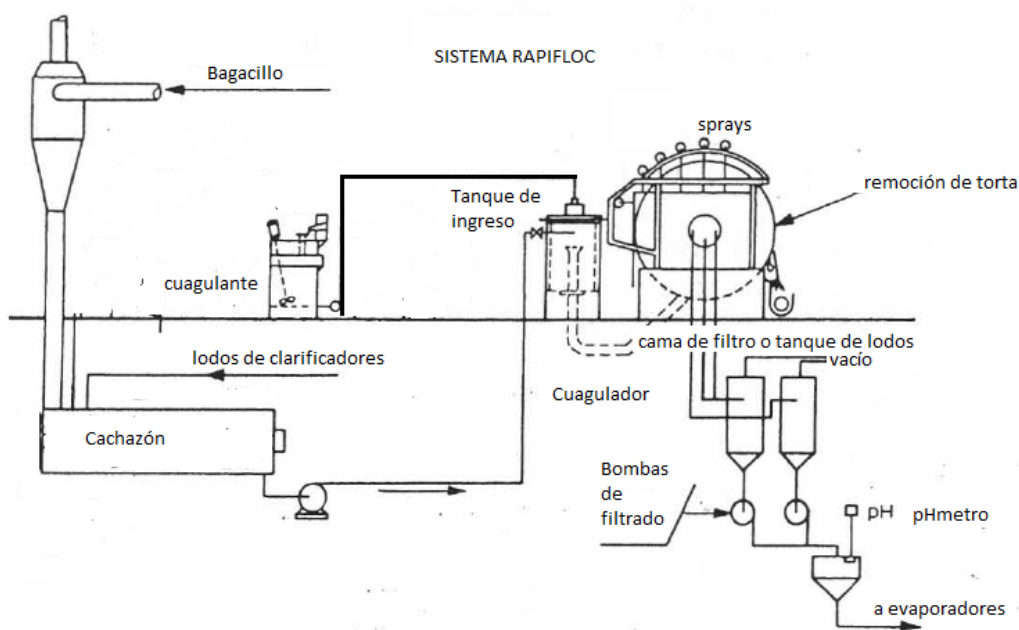
Pruebas ha mostrado que la retención varía entre 48 y 88%, aproximándose a 70%. Se ha concluido que es fácil mantener una retención de 75-80%, representando una mejora substancial sobre el 50%, si se mantienen las siguientes precauciones:

- Aumento en la proporción de bagacillo en el lodo.
- Reducción en la velocidad del filtro. 1 rotación cada 6 u 8 minutos o hasta 10 o 11 minutos.

De acuerdo con el método de cosecha de la caña (mecánica o manual) se puede reconocer 180 a 240 kg de lodo por t.c. (400-540 lb/t.c.) dando 25-40 (55-90 lb.) kg de lodo por tonelada de caña. (Hugot, 1986)

En 1961 Dorr-Oliver plantearon un nuevo sistema de filtración que llamaron Rapifloc y este sistema consiste en añadir un cuagulante, en porciones de al menos 1.5 ppm al jugo. El cuagulante es agregado en un recipiente especial llamado “tanque de ingreso o cuagulador”, justo antes que los lodos ingresen a la cama del filtro. Los actuales sistemas son variates de este sistema con mejores modificaciones. (Hugot, 1986)

Figura No. 7: Sistema de filtrado RAPIFLOC.



Fuente: Hugot, 1986

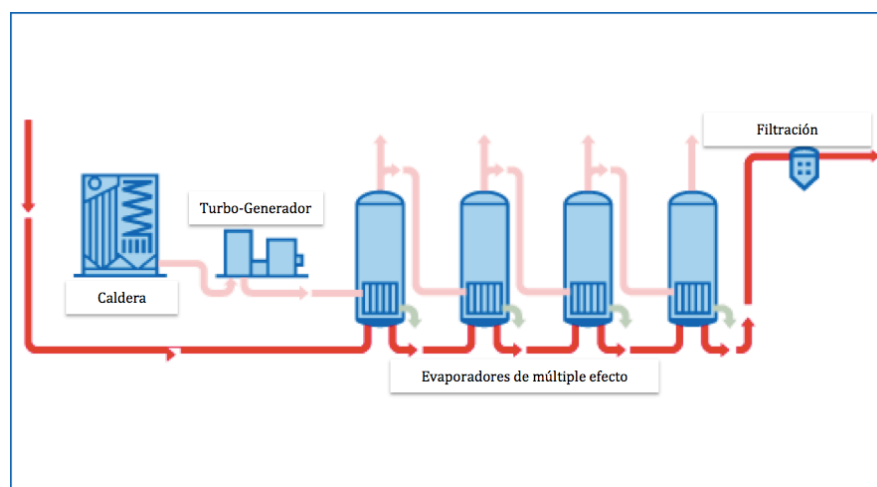
5. Evaporación. La evaporación se regula de forma que el jarabe salga de la evaporación con un Brix de 60° a 70°. Las pérdidas por inversión son tanto mayores cuanto más elevada es la temperatura y mayor su acidez; la inversión comienza a ser peligrosa a 115°C, y nunca debe pasarse de temperatura de 125°C a 130°C (Porta, 1955).

Durante la evaporación, las sales disueltas en el jugo se precipitan y quedan en parte en suspensión en el jugo, enturbiándolo; otra parte se deposita

en el interior de los tubos de haz, incrustándolos, o se adhiere a las mallas tubulares, formando costras que disminuyen el coeficiente de transmisión de calor; las materias coloidales se adhieren también a los tubos del haz, formando así incrustaciones.

La naturaleza de las incrustaciones depende del procedimiento de depuración que se siga, de la concentración del jugo y del número de cuerpos (evaporadores) que componen el múltiple efecto (Porta, 1955).

Figura No. 8: Diagrama de proceso de evaporación de múltiple efecto.



Fuente: Südzucker, 2013

Las incrustaciones se componen de sales cálcicas de ácidos orgánicos, entre las cuales se encuentran sulfato, fosfato, carbonato, silicato y oxalato cálcico, sílice, hidróxido de hierro, entre otras; las materias orgánicas contenidas en las incrustaciones se componen de ácido oxálico, gomas y albuminoides, materias que se depositan en los tubos, junto con la fibra, azúcar y glucosa carbonizadas, a esto se debe el cambio en la coloración de las incrustaciones a lo largo de los efectos (Porta, 1955).

Los evaporadores múltiples están conectados de forma que el vapor procedente de un efecto sirve de medio de calefacción para el siguiente efecto y el líquido concentrado constituye la alimentación de éste. El primer efecto de un evaporador de efecto múltiple es aquél en el que se introduce vapor vivo y en el que la presión en el espacio del evaporador es la más elevada. El último efecto es el que tiene la presión mínima en el espacio interior. De esta forma, la presión

se divide a lo largo de dos o más efectos en un sistema de efecto múltiple. La presión en cada efecto es menor que la del efecto del cuál recibe el vapor de agua y superior a la del efecto que suministra el vapor (Porta, 1955).

En el Ingenio Magdalena al igual que en todos los Ingenios de Guatemala se utiliza el evaporador de calandria, el cual se utiliza en un sistema en serie para llevar a cabo la economía de evaporación. El sistema de limpieza utilizado en el Ingenio Magdalena consiste en parar los evaporadores en intervalos de seis días para su limpieza con vapor y agua caliente a presión. Para no parar la producción el Ingenio cuenta con un sistema extra de evaporadores para poder rotar estos y colocarlos en funcionamiento al momento de llevar a cabo el mantenimiento de los distintos sistemas de evaporación. (Magdalena, 2014)

Cada efecto, por sí sólo, actúa como un evaporador de un solo efecto y cada uno de ellos tiene una caída de temperatura a través de su superficie de calefacción correspondiente a la caída de presión en dicho efecto (Porta, 1955).

Cuadro No. 3: Brix de jugo en evaporadores de múltiple efecto.

CRUDO			CRISTAL		
	No Vaso	Brix		No Vaso	Brix
PRE	38	29.66	PRE	39	25.22
DUP	16	46.67	DUP	26	34.65
TER	22	52.33	TER	6-7	46.65
CUA	02	54.30	CUA	13	53.67
MELADURA	-----	65.64	MELADURA	-----	60.98

Fuente: Ingenio Magdalena, 2014

6. Cristalización. La sacarosa tiene una elevada solubilidad en agua. Una solución saturada de sacarosa se encuentra en equilibrio termodinámico con la fase sólida de sacarosa y contiene alrededor de dos partes de sacarosa por cada parte de agua a temperatura ambiente y casi cinco partes de sacarosa por cada parte de agua a 100°C. Para cristalizar la sacarosa se requiere elevar su concentración por encima de aquella correspondiente a una solución saturada, y llevarla en forma regulada y con precisión a la concentración requerida para lograr la cristalización deseada. Por lo tanto es importante establecer la concentración de sacarosa en solución saturada bajo las condiciones de operación. (Rein, 2007)

La función de los tachos al vacío es producir cristales de azúcar satisfactorios a partir del jarabe o las mieles. La concentración de la alimentación suministrada a los tachos es por lo general de 60 a 65° Brix, y puede llegar hasta 74° Brix en una refinería. Las altas densidades reducen el consumo de vapor y acortan la duración del ciclo, pero una densidad demasiado alta puede implicar el riesgo de producir conglomerados y falso grano. (Chen, 2000)

La ebullición del azúcar, ya sea que los tachos estén controlados manualmente o por instrumentos, implica los mismos principios y ocasiona los mismos problemas. (Chen, 2000)

El primer paso consiste en la elaboración del grano. En la industria del azúcar crudo, el grano se produce generalmente para plantas de bajo grado; la planta de grano se transfiere a un cristizador de almacenamiento donde se pueden extraer para iniciar plantas de bajo grado. Una planta de bajo grado es suficiente para tres plantas de bajo grado. Si se tienen dos cristizadores de almacenamiento en vez de uno, la combinación de la operación permite obtener grano para nueve plantas. Este procedimiento ahorra mucho tiempo al proveer el triple de núcleos, cada uno de los cuales adsorben sacarosa a la misma velocidad, y así se construye el volumen a una velocidad de tres a nueve veces más rápido. Por otra parte, es preferible preparar el grano a un vacío no mayor de 63.5 cm (25 pulg) del nivel del mar, lo que significa temperaturas de 66 a 71°C (150 a 160°F), dependiendo de la pureza. A dichas

temperaturas la viscosidad será más baja y la velocidad de crecimiento del cristal será más rápida. (Chen, 2000)

El tacho se cierra, se aumenta el vacío y se envía toda la cantidad de agua de inyección al condensador a fin de obtener una rápida velocidad de evaporación con el licor, azúcar, o miel, antes de la granulación. La llave del vapor se abre después de que la superficie de calefacción esté cubierta de líquido. La carga en el tacho no debe ser demasiado alta, ya que esto retardaría las operaciones debido al efecto de la carga hidrostática. Después que se inicia la ebullición, la alimentación debe ser continua a fin de mantener el nivel ligeramente más alto que el requerido para formar grano; la alimentación se cierra antes de que se inicie la nucleación. (Chen, 2000)

La irregularidad del grano en la templa final puede ser causada por: (Chen, 2000)

- Un súbito aumento del vacío,
- Permitir que la evaporación tenga lugar demasiado rápido,
- Fugas de aire en la válvula de pie, y
- La admisión de alimentación fría a un tacho caliente mientras aumenta la temperatura de la templa.

El grano no aparecerá inmediatamente después de la introducción del azúcar pulverizado. Se admite un mínimo de aire junto con el material de choque a fin de evitar la alteración del equilibrio de temperatura. Cuando el grano se empieza a formar, después de unos minutos, será necesario determinar cuándo se debe parar mediante un examen con la varilla de prueba como se ha utilizado en métodos antiguos. (Chen, 2000)

a. Crecimiento de cristales. Las moléculas de sacarosa en solución tienen que esparcirse o difundirse hasta el cristal y luego ser incorporadas en la estructura reticular del cristal. Por lo tanto la proporción de cristalización depende de estos dos procesos. La Figura 1 presenta una capa límite a través de la cual las moléculas se difunden, y una capa de adsorción sobre la superficie del cristal. Estos dos procesos pueden representarse como:

$$\text{Difusión: } \frac{dm}{dt} = k_D \cdot A \cdot (c - c^*)$$

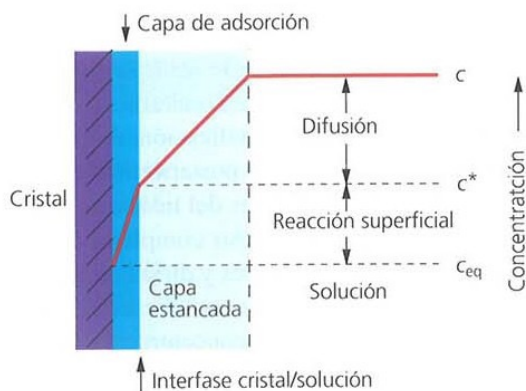
(Rein, 2007) Superficie de reacción: $\frac{dm}{d\tau} = k_R \cdot A \cdot (c^* - c_{eq})$

Donde A es el área superficial del cristal, k_D y k_R son constantes de las tasas de difusión y de superficie de reacción, c , c^* y c_{eq} son las concentraciones de la solución, en la interface sobre la superficie del cristal, y de equilibrio respectivamente. (Rein, 2007)

Se debe tener cuidado para asegurar que no sea tan grande que la concentración de la solución caiga en la región intermedia o hábil. Esto resultaría en formación de nuevos núcleos de cristalización, cultivando cristales de menor tamaño que posteriormente afectan la separación de los cristales del licor madre. (Rein, 2007)

La nucleación es un proceso complejo, que es influenciado por muchos factores y difícil de controlar o predecir. Los procesos de cristalización deben evitar operar en regímenes de concentración y temperatura donde pueda ocurrir nucleación descontrolada. (Rein, 2007)

Figura No. 9: Representación de difusión y reacción superficial durante la cristalización.



Fuente: Rein, 2007

b. Efecto de las no-sacarosas. Los componentes en solución diferentes a la sacarosa, o no-sacarosas, tienen cuatro efectos significativos sobre la cristalización: Modifican la solubilidad de la sacarosa. El coeficiente de solubilidad generalmente es menor a uno cuando el valor de la relación no-sacarosas/agua es pequeño, pero cuando esta relación es más elevada el valor excede a uno, indicando un incremento de la solubilidad de la sacarosa. (Rein, 2007)

Reducen la proporción o tasa de cristalización al reducir la velocidad del proceso de difusión debido al incremento de la viscosidad o por interacción con ciertas caras de la superficie del cristal, inhibiendo así la incorporación en la estructura cristalina. (Rein, 2007)

Afectan la forma o morfología del cristal. Esto está asociado con el punto anterior, pues algunas impurezas bloquean los sitios de cristalización de ciertas superficies, reduciendo el crecimiento de estas caras y por lo tanto cambiando la forma del cristal. Se conoce particularmente de ciertos oligosacáridos que son causa de cristales alargados. (Rein, 2007)

Incrementan el espesor de la región meta estable que se presenta en la Figura 2, ampliando el rango seguro de condiciones de concentración y temperatura para el crecimiento de cristales. (Rein, 2007)

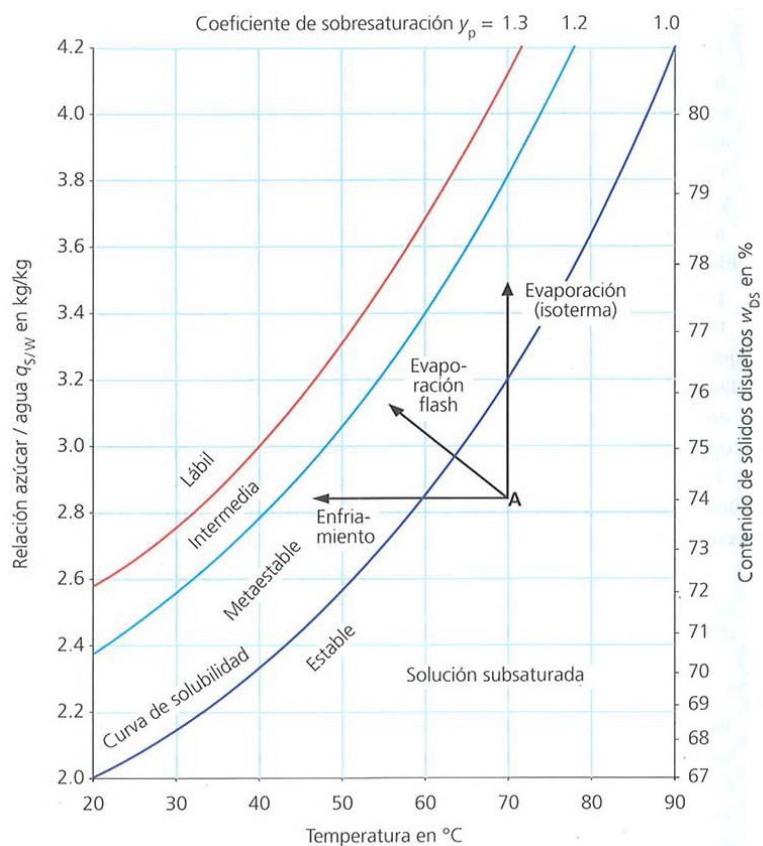
Los efectos de las no-sacarosas varían de una región de cultivo de caña a otra y de acuerdo al momento de la zafra. Generalmente son difíciles de medir o predecir. Estos son afectados por la relación no-sacarosas/agua y también por la relación entre azúcares reductores/ceniza. El coeficiente baja por debajo de uno hasta valores entre 0.8 y 0.9 cuando la relación no-sacarosas/agua es tres. Esto implica que la solubilidad de la sacarosa en agua se reduce a medida que la pureza es menor. A medida que la relación no-sacarosas/agua se incrementa por encima de tres, el coeficiente de solubilidad incrementa, excediendo a uno cuando la relación no-sacarosas/agua pasa aproximadamente por encima de cuatro. Han sido pocas las ocasiones en que se ha intentado cuantificar el efecto de las no-sacarosas sobre la tasa de cristalización. Incorporando la propuesta de Wright y White (1974) se puede obtener:

$$k_G = k_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_A}{R \cdot T} - 1.75 \cdot q_{NS/W}\right)$$

(Rein, 2007)

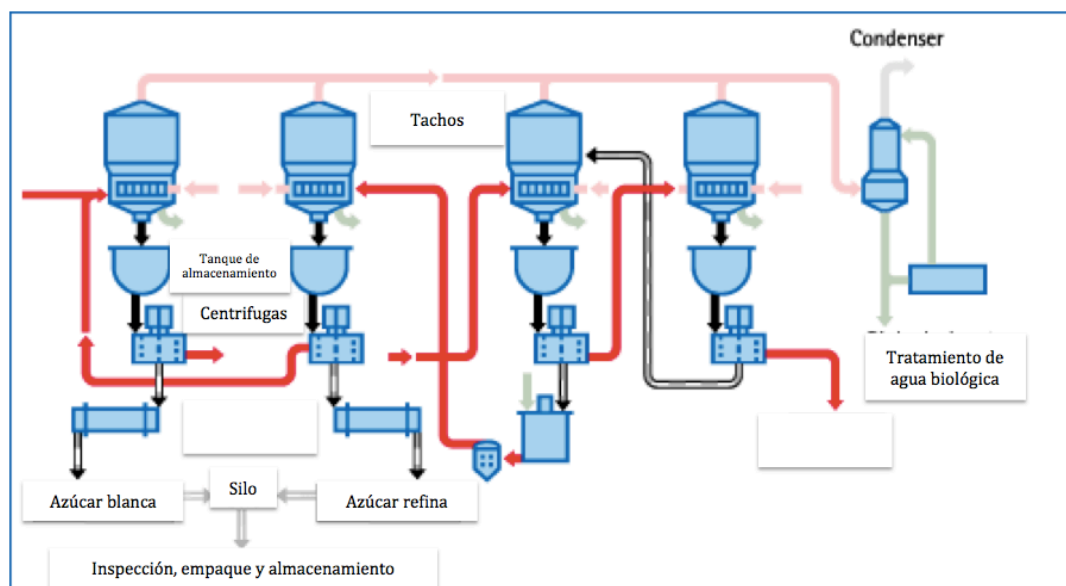
En esta ecuación ($q_{NS/W}$) es la relación entre no-sacarosas/agua. Love (2002) analizó los resultados de varios investigadores y demostró que la constante 1.75 es muy baja, estimando que deberá tener un valor alrededor de 2.4.

Gráfica No. 1: Solubilidad de la sacarosa pura en agua en función de la temperatura.



Fuente: Rein, 2007

Figura No. 10: Diagrama de proceso de cristalización.

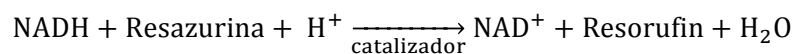


Fuente: Südzucker, 2013.

G. Sistema de control microbiológico

1. **Resazurina.** La resazurina (7-hidroxi-3H-phenoxazin-3-ona-10-óxido) es un compuesto químico de color azul con fluorescencia baja utilizado como indicador para medir la actividad metabólica de células, incluyendo las bacterias. Este se empezó a utilizar con mucho éxito en la industria láctea como parte del sistema de control microbiológico. Uno de sus beneficios es que no afecta el metabolismo ni la integridad de las células analizadas. (Candeias, y otros, 1998)

La resazurina es reducida a resorufin mediante la siguiente reacción:

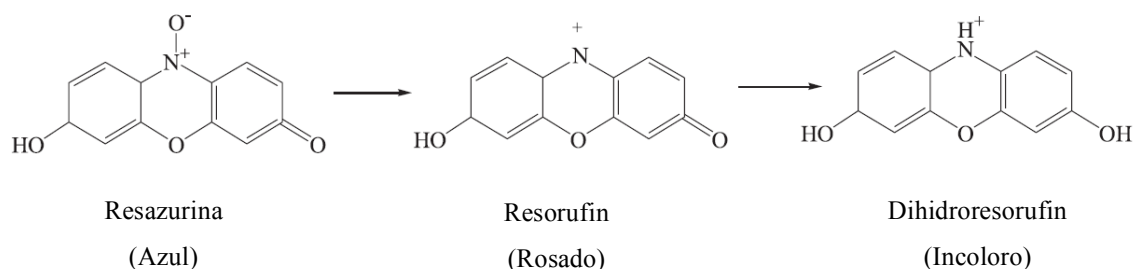


(Candeias, y otros, 1998.)

Se cree que las enzimas mitocondriales son las que catalizan la reacción y permiten la transferencia de electrones. El resorufin, el producto de la reacción, es una sustancia de color rosado con una alta fluorescencia. Este, en ausencia de oxígeno, se reduce reversiblemente a dihidroresorufin. Se ha encontrado que la reducción de la resazurina es proporcional a la cantidad de organismos vivos

en una muestra. (Carneiro Borra, Andrade Lotufo, Gaglioti, de Mesquita Barros, & Andrade, 2009; Haggerty, Argerich, & Martí, 2008)

Figura No. 11: Reacción de reducción de la resazurina.



Fuente: Guerin, Mondido, McCleen, & Peasley, 2001

Estas propiedades, así como el cambio en color y fluorescencia, permiten realizar mediciones con el uso de espectrofotómetros o fluorímetros, u observando visualmente los cambios. Este sistema de cuantificación de la actividad microbiológica es muy efectivo, ya que tarda únicamente de 1 a 4 horas sin destruir las células. Por lo tanto, puede ser utilizado de manera operativa en la industria azucarera. (Rampersad, 2012; Nuñez, 2013).

Estimación de la actividad microbiológica por reducción de resazurina

Coefficiente Microbiológico (CM):

$$CM = \frac{5}{t_r}$$

Cuadro No. 4: Intervalos de valores de Coeficiente Microbiológico con su respecto valor respecto al nivel de actividad microbiológica que presenta la muestra analizada.

CM	Valoración
< 2.0	Bueno
2.0 a 2.5	Alerta
2.5 a 3.0	Malo
3.0 a 5.0	Crítico
>5.0	Muy Crítico

Fuente: Alvarez, *et. al.* 2008

Donde:

- ✓ CM es el coeficiente microbiológico.
- ✓ “tr” es el tiempo de reducción de la resazurina de la muestra analizada.

El CM es una variable que es proporcional a la carga y actividad microbiana de la muestra analizada (Guzmán, 2011. Trabajo de Graduación)

En el tiempo de zafra 2006-2007 se determinaron rangos de crecimiento microbiano en el jugo primario y diluido. Se analizaron muestras de jugo primario y jugo diluido, con muestras de diferentes puntos del tándem. (Noack, 2008)

Se encontraron los siguientes rangos de concentración microbiana en jugo de caña de distintos puntos a lo largo del tándem: (Noack, 2008)

Cuadro No. 5: Rangos de concentración de jugo de caña.

Tipo de jugo	Rango de concentración UFC/mL
1er molino	2.37E+06 – 7.70E+06
Diluido	1.40E+06 – 5.7E+06
2do molino	3.59E+05 – 1.21E+06
3er molino	2.72E+05 -- 7.30E+05
4to molino	4.27E+04 – 1.51E+05
5to molino	2.50E+04 – 7.60E+04
6to molino	7.50E+03 – 2.92E+0.4

Fuente: Noack, 2008

2. Cromatografía para medir sacarosa. La cromatografía es una técnica que permite la separación de los componentes de una mezcla debido a la influencia de dos efectos contrapuestos. El primero es la retención, que es producido sobre los componentes de mezcla por una fase estacionaria, que puede ser un sólido o un líquido anclado a un soporte sólido. Por otra parte, también está el desplazamiento, que es el efecto ejercido sobre los componentes de la mezcla por una fase móvil, que puede ser un líquido o un gas. De esta forma, los componentes a lo largo de la mezcla son impulsados por la fase móvil hasta la estacionaria.

Los componentes que son fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven lentamente con el flujo de la fase móvil, mientras que los componentes que se unen débilmente a la fase estacionaria, se mueven más rápido. Debido a la distinta movilidad, los componentes se separan en zonas

discretas que se pueden analizar posteriormente. (Universidad de Valencia, 2011)

3. Daltonismo. Es una disfunción en la percepción del color. Se produce cuando vemos los objetos de diferente color que el asignado como estándar.

El daltónico ve el color verde o el rojo de un color pardo o los confunde, y es porque en su código de colores aparecen cambiados. Este fenómeno lo descubrió John Dalton, ya que él padecía esta enfermedad. Este problema se transmite a través del cromosoma X; es genético, no se puede curar y lo padecen entre un 4 a 7% de los hombre y un 0.4% de las mujeres.

Hay varios tipos de daltonismo. La disfunción más frecuente es como acabamos de indicar, la ceguera para el rojo o verde y afecta bien a los conos responsables del rojo, o bien a los del verde. Al faltar uno de estos conos, las tonalidades de luz que le deberían corresponder son captadas por el otro, como un color pardo. Menos frecuente es la ceguera para el azul, en la que faltan los conos responsables de este color y la persona no es capaz de distinguir entre los tonos azules y los amarillos. Estas alteraciones se conocen como di-cromatismos, pues al sujeto que las padece solamente se le excitan dos tipos de conos.

También puede suceder que presentándose los tres tipos de receptores que contienen los conos, alguno de ellos (frecuentemente los del rojo o el verde) sea anómalo. En este caso, lo que ocurrirá es que podrá distinguir los colores dentro de un espectro más restringido, pudiendo identificar como iguales aquellos tonos que para una persona normal resultan bastante parecidos aunque siempre diferentes. Presentan, en conclusión, defectos parecidos a los di-cromatismos, pero más leves. En este caso hablaremos del monocromatismo, en el que todos los colores se aprecian como distintas tonalidades de un mismo color. Para comprobar si una persona es daltónica o no lo es, se debe realizar un test de daltonismo. Consiste en mirar los cuadros de la Figura 48, fijándonos en la superposición de los números coloreados con colores verdes o rojos de diferentes tonalidades. Si logramos distinguir los números correctos del test de Ishihara, no hay problemas de daltonismo.

V. ANTECEDENTES

Desde mediados del pasado siglo se conoce que la actividad microbiológica ha sido un factor negativo que disminuye la eficiencia y aumenta los costos en la agroindustria azucarera. De diversas maneras se ha tratado de minimizar los efectos de dicha actividad. La lucha contra plagas y enfermedades y la mejor organización de la cosecha y el transporte, son grandes pasos que han mejorado este efecto, así como el énfasis en la limpieza y desinfección en el área de molienda entre otras, a lo que se añade en los últimos años la aplicación de desinfectantes y enzimas como la dextranasa. Si bien la actividad microbiológica demasiado alta en la caña o los jugos de los molinos provoca consecuencias negativas tan ostensibles y perjudiciales que ya es mínima su incidencia debido a las medidas adoptadas, todavía son significativos los efectos múltiples y de menor escala, pero que unidos pueden ocasionar considerables pérdidas. (Nuñez, 2006)

A. Proceso de producción de azúcar en Ingenio Magdalena.

Entrada: Inicia con el peso en básculas de las unidades que transportan la caña de azúcar en el ingenio y que se encuentran al ingreso del área industrial. Además en esta parte se determina la calidad de la materia prima, tomando muestras que se analizan continuamente en el laboratorio de control de calidad. La caña que llega a la fábrica se descarga sobre las mesas de alimentación por medio de viradores de caña con capacidad de 50 t. Para tener un proceso más limpio, en las mesas de caña se aplica agua entre 110 y 120 °F para lavado, eliminando así sólidos o materia extraña como la tierra, sales, minerales, piedras y otros que se adhieren a ella en el campo durante el alce a las jaulas que la transportan hacia la fábrica. Luego la caña se somete a un proceso de preparación que consiste en romper y desfibrar las celdas de los tallos por medio de troceadoras, picadoras oscilantes y desfibradoras, para poder pasar al proceso de extracción del jugo. (IMSA, 2014)

Molienda: Este es un proceso continuo que actualmente se realiza en tres tándemes de molinos con capacidad de molienda diaria total de 32.200 t,

distribuido en tándem “A” (9,000 t); tándem “B” (11,040 t) y tándem “C” (11,960t). Hacia estos tándems se alimenta con caña preparada, la cual es sometida a una serie de extracciones utilizando molinos de rodillo o mazas y todos los molinos son de cuatro masas rayados en forma de “V”. Para hacer más eficiente el proceso de molienda, los jugos pobres de los molinos posteriores se aplican nuevamente en el proceso (proceso de maceración) y en el último molino se aplica agua caliente con temperatura entre 68 - 82 °C para aumentar la extracción. El bagazo es un subproducto industrial que se transporta hacia el sistema de calderas para usarlo en calidad de biomasa como combustible. El sobrante tiene como destino la hidrolización y reserva para cubrir paros de emergencia. (IMSA, 2014)

Clarificación: El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores, que llegan a temperaturas entre 140 y 155 °F. Luego pasa por la torre de sulfitación, bajando el pH para producir azúcar blanco únicamente. En esta etapa se utiliza azufre como agente decolorante y luego mediante la adición de la lechada de cal (entre 6 y 10 baume) se neutraliza el jugo. El calentamiento del jugo se realiza en tres etapas: la primera con vapor vegetal de 5.0 psig alcanzando temperaturas entre 175 y 185 °F, la segunda, por vapor de 5.0 psig alcanzando temperaturas entre 205 y 215 °F y la última con vapor de 10 psig para rectificación del jugo en forma automática.

Con el proceso anterior se logra que el jugo, al ser liberado a presión atmosférica, sufra una pequeña evaporación en el tanque flash evitando que los flóculos floten o decanten con lentitud por la presencia de burbujas atrapadas en el interior.

El siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores a baja velocidad para permitir la concentración de lodos y que pueden ser extraídos por gravedad en un clarificador. En la etapa final de este proceso se utilizan coladores vibratorios con malla 110 mesh para la eliminación de bagacillo y evitar que llegue al producto final.

Los filtros de cabeza son parte indispensable del proceso, pues sin ellos, la pérdida de sacarosa en la cachaza sería significativa. (IMSA, 2014)

Evaporación: El sistema de evaporación en la planta es de quintuple efecto, tanto para la línea de blanco como para la línea de crudo. La operación es relativamente sencilla debido a que se fijan las condiciones de entrada, salida, nivel de cada evaporador y extracción de vapores vegetales hacia el exterior.

La evaporación se realiza en evaporadores tipo Roberts en los cuales el vapor y el jugo se encuentran en cámaras separadas que fluyen en el mismo sentido. El jugo pasa de un evaporador a otro con bombas denominadas “de transferencia”. El control global de un evaporador se ejecuta a través de la estabilización de cinco factores muy importantes:

- La concentración del producto final
- La presión absoluta en el último cuerpo
- La alimentación de vapor y jugo al primer evaporador
- Remoción de condensados y gases incondensables
- El control de incrustación en cada evaporador (IMSA, 2014)

Cristalización: La cristalización o crecimiento de los cristales de sacarosa que contiene el jarabe se lleva a cabo en tachos al vacío. Estos cocimientos, según su pureza producirán azúcar crudo y azúcar blanco. Este es un proceso demorado que industrialmente se acelera introduciendo al tacho unos granos microscópicos de azúcar, denominados “semilla”. El operador o maestro tachero, con mucha experiencia debe juzgar el punto exacto del cocimiento para la obtención de un buen producto. (IMSA, 2014)

Separación: Los cristales del azúcar se separan de la miel restante en las centrífugas que son equipos cilíndricos que giran a gran velocidad. La miel pasa a través de las telas de las canstas y los cristales quedan atrapados dentro y luego se lavan con agua. Las mieles vuelven a los tachos o bien se utilizan como materia prima para la producción de alcohol en las destilerías. El azúcar pasa al proceso de secado y enfriado. (IMSA, 2014)

Refinado: En el caso de la producción de azúcar blanca refinada, existe un proceso adicional, que utiliza como materia prima azúcar blanco estándar o azúcar crudo.

En este proceso se disuelve el azúcar a 60 grados brix, luego se le adiciona carbón activado y tierra diatomácea. Esta solución se hace pasar por primera y segunda filtración en filtros verticales, hasta obtener un licor claro. El licor es evaporado y empieza la cristalización de los granos. (IMSA, 2014)

Secado: En el proceso de centrifugado se utiliza agua de condensado para lavar el azúcar, lo cual da como resultado humedades entre 0.3 % y 0.6%, por lo que es necesario pasarla por un proceso de secado para alcanzar niveles entre 0.2% para azúcar crudo y 0.03% para azúcares blancos. (IMSA, 2014)

Envasado: El azúcar crudo de exportación sale directamente de la secadora a las bodegas de almacenamiento. En las bodegas, se carga a granel en camiones que la transportan al puerto de embarque. El azúcar blanco estándar y refinado se empaca en sacos de 50 y 46 kg, y en jumbos de 1400 kg para ser comercializado local e internacionalmente. (IMSA, 2014)

B. Proceso de energía en Ingenio Magdalena

1. Historia Ingenio Magdalena. 1983-1991. Inicios del Ingenio: a comienzos de los años 80, Ingenio Magdalena es reubicado en la Finca Buganvilia (localización actual). Anteriormente, el Ingenio estaba instalado en la Finca Magdalena, de la cual se deriva su nombre, ubicada en el Rodeo, Escuintla. Inicialmente, dedicaba su operación a producción de mieles como materia prima, para fabricación de licor.

Con el cambio de administración, se inicia una etapa de crecimiento continuo. Se le compró un tándem de molinos a Central Guánica, Puerto Rico sustituyendo los molinos iniciales, alcanzado las 18,200 TM de azúcar durante este período.

Durante esta zafra se alcanza una producción de 53,792 TM de azúcar, con una plantación de 5,550 hectáreas.

En los años siguientes se innovan los sistemas de corte, alojamiento de cortadores, sistemas de transporte, se completa la instalación de los molinos 5 y 6 del tándem de Guánica y se adicionan terceras mazas. Además, comenzamos incipientemente inversiones para un programa de cogeneración.

1994-1996. Se duplica la producción de la zafra de 1990-1991, alcanzando una producción de 105,855 TM de azúcar. En la fábrica se inicia una nueva ampliación con la adquisición de un nuevo tándem de molinos adicionales, con capacidad de 9,200 TM elevando la molienda a 16,000 TM de caña molida por día. En el campo inicia el laboratorio de Meristemas para la producción de semilla de caña y selección de variedades, con una producción de 400,000 plantas iniciales. Actualmente se producen más de dos millones.

2001-2007. Inician los trabajos de destilería con la instalación de una planta de alcohol con capacidad de 120,000 litros diarios. Un año más tarde se inicia la exportación. Se amplía la generación de energía eléctrica, con más inversión en un turbo generador condensando de 16.5 MW con capacidad de 53.5 MW y en una nueva línea de transmisión eléctrica para incrementar la entrega al sistema eléctrico nacional.

Se logró una expansión en el área agrícola de 1,570 nuevas hectáreas sumando una cobertura total de 36,000 hectáreas de plantación de caña, además se incrementó en riego cubriéndose 56% del área del cultivo. En talleres y transporte se adquieren 100 camiones destinados al transporte de la caña, nueve cosechadoras mecánicas y maquinaria agrícola para asistir técnicamente las operaciones móviles.

En el 2005, la fábrica amplía sus instalaciones con un tándem adicional de molinos con una capacidad de 9,200 TM diarias de molienda. Con esta instalación Magdalena es el primer ingenio de la región que cuenta con tres tándemes de molinos. Y en energía se instala una planta adicional de cogeneración con capacidad de 30MW.

Ya en el 2006, el área de campo coordina y programa una operación para garantizar 4,780,000 TM de caña de azúcar de acuerdo a las 45,887 hectáreas de tierra cultivables. Nuevamente, se realizan inversiones para ampliar las instalaciones y consolidar la operación de la fábrica. Se invierte en tecnología para eficientar la operación de molienda contando con una capacidad instalada de 34,040 TM de caña molida por día. Esto incluye evaporación y clarificación de meladura.

2007-2010: Para la fabricación de azúcar refino, se ampliaron las áreas de centrifugado, evaporación, tachos y envasado, contando con una capacidad instalada de producción de 2,760 TM de azúcar refino por día. En el área de cogeneración se aumentó la capacidad instalada a través de nuevas inversiones: Proyecto de transmisión: Elevación de 69 kV. A 230 kV. en la subestación de energía dentro de las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Instalación de líneas de transmisión 230 kV. Construcción e instalación de subestación de interconexión de 230 kV. en el municipio de Siquinalá, Escuintla. Instalación de un turbo de 45 MW y planta termoeléctrica de 45 MW (zafra 2008-2009)

El laboratorio de Meristemas aumenta su capacidad de producción en el 2008, convirtiéndose en una Biofabrica con una capacidad instalada de producción artificial de plantas, a través de la técnica de multiplicación de tejidos vegetativos o micro propagación de 2, 500,000 plántulas. Se dedica el 80% a la caña de azúcar y el 20% a otros vegetales. Se inicia el programa de producción de entomopatógenos utilizados para el control biológico de plagas específicas que afectan la caña de azúcar con una capacidad de 45,000 dosis por temporada (marzo a octubre).

Alcohol: se consolidan las operaciones de una segunda planta de alcohol, con una capacidad instalada de 300,000 litros diarios. Se inicia la construcción de una nueva Planta de Generación Eléctrica a través de la utilización de combustibles renovables.

2012-2013. Expansión en calderas: Se inaugura con la presencia del Sr. Presidente la nueva planta de generación de energía eléctrica adicionando 60MW a la capacidad instalada del ingenio y se inicia la instalación de un domo para almacenar azúcar refino con una capacidad de 76mil TM. Inicia la instalación de una nueva caldera con un turbogenerador para aumentar la capacidad instalada en la planta de energía. Se Finaliza la construcción del Domo de azúcar y se construyen tres nuevos complejos habitacionales. (IMSA, 2014)

2. Enfoque actual de Ingenio Magdalena.

a. MISIÓN:

Desarrollamos con innovación y eficiencia productos alimenticios, agrícolas y energéticos para mejorar la calidad de vida de las personas.

b. VISIÓN:

Al 2015 desarrollaremos y atenderemos con presencia directa en al menos cinco mercados seleccionados en sus distintas líneas de negocio, con productos y servicios diferenciados con un negocio energético equivalente al 50% del resultado de Magdalena. (IMSA, 2014)

3. Situación actual en Ingenio Magdalena. Patio: actualmente en Ingenio Magdalena existe una logística simple de manejo de caña de patio, que se basa en acumulación y reincorporación de caña barrida y bagacillo. En otros ingenios, como en el Pantaleón, se logró establecer un manejo de bagacillo tomando en cuenta el tiempo que pasan los operarios sin limpiar dicha zona, de modo que si pasan más de lo establecido sin limpiar, dicho bagacillo se lleva fuera del proceso.

Magdalena tiene procesos estandarizados y una logística muy específica en sus operarios, pero no tiene estandarizado el manejo de caña de patio desde el aspecto microbiológico. Por otra parte en el ingenio Pantaleón se han realizado diferentes estudios de la actividad microbiológica en los patios del ingenio, los cuales han demostrado la alta influencia de la reincorporación del bagacillo y caña barrida en el incremento del coeficiente microbiológico con sus diferentes causas. Las gráficas 21 y 22 de la parte de anexos muestran algunos resultados. Una de las causas de este impacto microbiológico es la acumulación de caña, la cual es manejada por un tractor que la mueve y reincorpora en todo momento. La caña que va quedando hasta abajo, permanece más tiempo acumulada, y por lo tanto su coeficiente microbiológico es mayor que el de las demás y esto contamina toda la caña del tándem en el proceso. En las fotografías 2 y 3 se muestra el manejo de la caña barrida y de la caña de jaulas, la cual es la que queda atorada en los camiones y es acumulada nuevamente y reincorporada al proceso.

Mesas y conductores: El Ingenio Magdalena posee 3 mesas, en las cuales se incorpora la caña proveniente de la carga que traen los camiones en las jaulas. La mesa A y B poseen la misma antigua estructura, en la que los conductores y la banda de reincorporación están por debajo del nivel del suelo, donde se acumula mucho bagazo. El conductor C está más elevado, por lo que el bagacillo que se escapa del mismo es más fácil de recolectar y no presenta las mismas condiciones de temperatura que los otros. Este conductor no posee mucho problema con bagacillo en las paredes, debido a que no posee paredes muy altas.

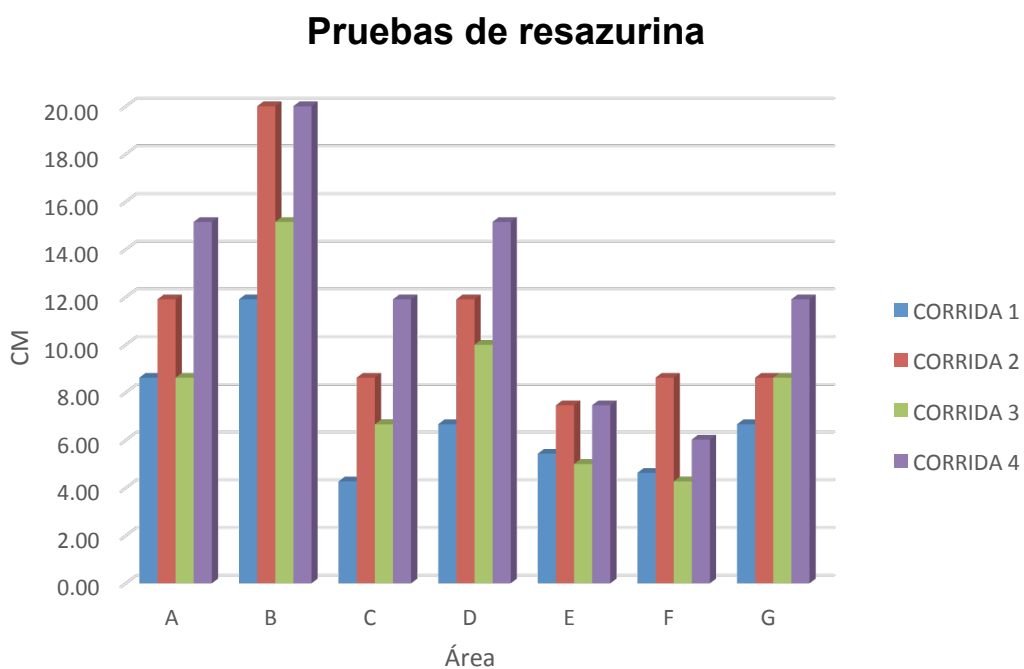
Las mesas poseen una extracción directa del “trash”, que es tierra y basura que lleva la caña que es sacudida al momento de dejarse caer en la mesa. Dicha “trash” es transportada por medio de bandas hacia camiones que la llevan fuera del ingenio. El furgón pasa aproximadamente 12 horas como mínimo para llenarse y llevarse al área de los conductores para reincorporarse a la molienda, tiempo que es aprovechado por los microorganismos para consumir sacarosa. Al momento de reincorporar tanto la caña barrida como la caña de jaulas y el bagacillo, se ve un aumento significativo en el porcentaje de tierra que posee el bagazo resultante después de la molienda para ser utilizado como combustible.

4. Seguridad Industrial. El Ingenio Magdalena posee una política de seguridad industrial estricta que consta de uso obligatorio de equipo para proteger esencialmente cabeza, ojos, oídos, pies. Esto consta de un uso obligatorio de casco de polietileno, chaleco reflectivo y calzado industrial para ingresar a la fábrica, y en otras áreas es necesario el uso de tapones auditivos y lentes protectores para disminuir los riesgos de lesiones. Además para control de las personas que ingresan a la fábrica, se identifica cada área de trabajadores, visitas, gerentes, con un color de casco particular. En el ingenio también se exige que todo individuo dentro de la planta debe de moverse en las líneas amarillas, ya que éstas están diseñadas para caminar lejos de cualquier riesgo y evitar accidentes.

5. Investigaciones realizadas en Ingenio Magdalena. El Ingenio Magdalena ha sido objeto de estudio en otros años, en los cuales se ha investigado a fondo el alto impacto microbiológico del bagacillo debajo de los

conductores ante la reincorporación de los mismos al proceso de molienda. El siguiente texto es la conclusión de una investigación, en la cual se refiere al bagacillo que se acumula en los conductores: "Mediante el análisis de cada uno de los factores mencionados anteriormente se estableció como tiempo límite que el bagazo puede pasar acumulado sin ser reintroducido es de 2 horas. Mediante ello se puede asegurar que el % de sacarosa se mantiene adecuado ya que presenta un 90% de lo que es determinado como bueno. El % de dextrana se mantiene bajo ya que su aumento es de 5%. Finalmente, en cuanto al coeficiente de actividad microbiológica, este después de las 2 horas empieza a aumentarse hasta un punto en el que la actividad microbiológica es totalmente significativa." (Ortiz, 2013)

Gráfica No. 2: Pruebas de resazurina realizadas en el conductor de mesa A en el Ingenio Magdalena en la zafra 2012 - 2013.



Fuente: Ortiz, 2013

Por otra parte, se identificó en una investigación la pérdida de sacarosa conforme al aumento de CM:

Cuadro No. 6: Pérdida de sacarosa ante aumento de CM.

Aumento de CM	Pérdida de Sacarosa
0.05	7.4%
0.1	7.6%
0.15	7.7%
0.2	7.8%
0.25	7.9%
0.3	8.0%
0.35	8.2%
0.4	8.3%
0.45	8.4%
0.5	8.6%
0.55	8.8%
0.6	9.1%
0.7	9.3%
0.8	9.8%
0.9	10.3%
1	11.1%
1.5	12.3%
2	13.6%

Fuente: Gaitán, 2013

6. Condiciones Microbiológicas e investigaciones anteriores. Un factor que ha dilatado las mejoras en los procedimientos paliativos establecidos o por establecer, es la falta de técnicas analíticas confiables, baratas y sencillas, que permitan un monitoreo sistemático con la frecuencia que demanda esta industria, la cual procesa grandes cantidades de materia prima las 24 horas del día, durante 6 meses. (Nuñez, 2006)

Ya ha sido demostrado que indicadores tradicionales como la caída de pureza, el incremento del coeficiente glucósico, glucobrix o reductores, muy útiles en mediciones de otra naturaleza, no son confiables cuando está presente la actividad microbiológica, incluso pueden indicar valores en el sentido contrario de lo que está realmente sucediendo. Mientras, otras técnicas más confiables para medir la densidad microbiológica o sus efectos, son demasiado complicadas o caras para aplicarlas en un control microbiológico sistemático como lo demanda la industria (Hernández y Sainz, 1987) (Nuñez, 2006)

En las últimas décadas del siglo pasado, la industria azucarera cubana comenzó a trabajar en el desarrollo de técnicas analíticas confiables, sencillas y

baratas que fueran viables en condiciones fabriles y aptas como indicadores para acciones operativas puntuales, además de admitir la significancia muestral que permitan tomar decisiones estratégicas acertadas basándose en sus resultados.

El test de la resazurina desarrollado por Hernández (1986) resultó ser la más prometedora. En la continuación de los trabajos iniciales, se desarrollaron metodologías que fueron implementadas por el Ministerio de la Industria Azucarera de Cuba. (Núñez y Maldonado, 1986) (Nuñez, 2006)

La disminución a niveles mínimos de la anteriormente pujante industria azucarera cubana provocó que desde finales de la década de los ochentas, durante todos los noventas y primera década de este siglo el tema no se desarrollara suficientemente. Sin embargo, dada la importancia del mismo, durante los últimos años se comenzó a trabajar con ingenios de Guatemala en la actualización de los métodos basados en el test de referencia y el establecimiento de un sistema integrado de control microbiológico para la agroindustria. (Nuñez, 2006)

Actualmente, los ingenios azucareros en Guatemala utilizan diferentes biosidas para controlar el crecimiento de la población bacteriana. Los biosidas se agregan constantemente en los jugos de caña mezclados, donde se ha determinado mayor población de bacterias (Antier, 1996). Los biosidas utilizados son inespecíficos y no es totalmente conocida la eficacia de su acción. Se han reportado casos dónde se observa bacterias resistentes a biosidas similares a los utilizados en la industria azucarera y la formación de biopelículas (Gilbert y McBain; 2003; Russel, 2003; Leather y Côte, 2008).

Durante los años de 2011 a 2013 se han desarrollado proyectos como iniciativa de los Ingenios Pantaleón y Magdalena con el apoyo de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala para el desarrollo de sistemas de control microbiológico en la parte de extracción de jugos en tándems de molinos, sulfatación y evaporización y finalmente de jugos de cachaza del área de filtración.

Se encontró que los puntos de mayor actividad microbiológica son los tanques de jugo diluido por su tiempo de retención, producido por su diseño y altura de succión de la bomba. Se diseñaron y/o implementaron mejoras al proceso de limpieza del tándem, fundamentalmente en cuanto al orden y el modo de ejecución de la misma, así como al método de comunicación entre los operarios del control operativos microbiológico y los molinos.

Con base en el modelo desarrollado se estimó una disminución de 0.9 del coeficiente microbiológico de los jugos diluidos, solamente en el ahorro de cal y el azúcar que se recupera de los lodos en una zafra como la del 2011-2012 y a los precios actuales, el ingenio obtendría una ganancia de Q.580.483.80. (Wellmann et al, 2013)

En 2013 se realizó un estudio por parte de la Universidad del Valle de Guatemala y los bioquímicos y microbiólogos Osbel Nuñez y Christine Fabian. El objetivo de este estudio fue identificar las bacterias predominantes mediante la amplificación y secuenciación de su gen 16S ARN en 11 tándems pertenecientes a seis ingenios del Departamento de Escuintla. (Nuñez, Fabian, 2013)

Se identificaron siete géneros, de los cuales se determinaron cinco especies. El hallazgo más interesante fue la identificación de *Weissellia confusa*, en lugar de *Leuconostoc mesenteroides* como lactobacilo dextranogénico en todos los jugos estudiados. En la susceptibilidad de las cepas identificadas hacia los biocidas utilizados en los ingenios se observó mayor resistencia en las bacterias gram-negativas y que los biocidas químicos fueron más efectivos que los biológicos. Se necesitan mayores concentraciones de biocidas para inhibir el crecimiento bacteriano que las que se usan actualmente en la industria azucarera, por lo que se recomienda establecer políticas y supervisión sistemática de la aplicación de los mismos para su uso adecuado. (Nuñez, Fabian, 2013)

Los trabajos para obtener la mejor variante del test de la resazurina, las pruebas experimentales para el establecimiento de un sistema de control integral microbiológico en la agroindustria, y finalmente la implementación del mismo, se han realizado progresivamente en varios ingenios durante los últimos cuatro

años: cinco ingenios de Guatemala y experimentalmente en uno de Honduras y Nicaragua respectivamente.

La mejora del test comprendió el establecimiento de la relación de inoculación jugo/solución y aireación que redujera el tiempo y se observara mejor el punto final considerando las características del jugo analizado; y el reporte de los resultados fácilmente descifrables con la introducción de dos indicadores: Coeficiente Microbiológico (CM), para estimar la actividad microbiológica en jugos u otros materiales azucarados; y el Incremento de CM (IC), este último para medir el incremento de la actividad microbiológica entre dos puntos consecutivos en el proceso.

El test de la resazurina modificado ha demostrado que posee las condiciones para el monitoreo y control operativo en caña y tándem de molinos; y por su confiabilidad, rapidez, sencillez y bajo costo, permite obtener el número de muestras necesario para el establecimiento práctico de estrategias y la toma de decisiones operativas válidas.

El sistema integrado de control microbiológico por medio del test de resazurina y temperatura ha demostrado ser efectivo para determinar dónde, cuánto cómo y cuándo se incrementa la actividad microbiológica, tanto en la cosecha como en el área de extracción, permitiendo tomar medidas operativas durante el proceso productivo y definir estrategias a mayor plazo para reducirla, así como evaluar la efectividad de dichas medidas.

8. Jugo Sulfitado. Martínez (2013) llevó a cabo a determinación para la correlación del coeficiente microbiológico (CM) entre el jugo diluido y el jugo sulfitado. Desarrollando una ecuación que ajusta la conversión del CM en los procesos de extracción y sulfitación.

Los resultados obtenidos por Martínez (2013):

Cuadro No. 7: Relación promedio de cambio de CM de diluido a sulfitado en el periodo de diciembre 2012 a febrero de 2013, de los datos reportados para el tándem A y B.

	DilA-Sul	DilB-Sulf	
Febrero	0.31±1.35	0.25±1.03	
Enero	0.63±0.63	0.39±0.44	
Diciembre	0.23±0.79	0.35±0.65	
Promedio	0.39±0.21	0.33±0.07	0.36±0.045

(Martínez, 2012)

Ecuación No. 1: Relación promedio de cambio de CM diluido a sulfitado en el periodo de diciembre 2012 a febrero 2013.

$$CM \text{ diluido} = 0.36 + CM \text{ sulfitado}$$

(Martínez, 2012)

9. Clarificación y evaporadores. Aguirre (2012) desarrolló una ecuación a escala laboratorio del proceso de clarificación y evaporación, utilizó jugo sulfitado proveniente del Ingenio Pantaleón el cual clarificó.

Tomó una muestra de jugo sulfitado, luego agregó sacarato formado por la mezcla de jugo claro, meladura, cal y agua, en proporción hasta llevar el jugo a pH neutro, y se calentó hasta el punto de ebullición para agregar floculante. Luego vertió el jugo en dos probetas para permitir la sedimentación de los lodos (Aguirre, 2012).

El tubo de cobre se sumergió en jugo clarificado, previamente pesado y proveniente de los evaporadores del Ingenio para simular el proceso de evaporación, sometiendo el jugo a calentamiento, monitoreando periódicamente los grados brix, hasta llegar a un rango de 60 a 65 brix. En seguida, se lavó el tubo en agua destilada, se secó al aire libre y luego se pesó para encontrar la cantidad de incrustación formada por diferencia de masas (Aguirre, 2012).

Para esto, realizó cinco muestras con distinta actividad microbiológica, para comparar volúmenes de sacarato (cal) agregados con incrustaciones formadas.

Simultáneamente, al jugo sulfitado utilizado se le realizó una serie de pruebas que cuantificaron la actividad microbiológica, como el coeficiente

microbiológico y la fermentación espontánea. Teniendo el coeficiente microbiológico como parámetro de comparación entre muestras (Aguirre, 2012).

Aguirre (2012) evaluó la relación entre velocidad de sedimentación, proporción de lodos y la actividad microbiológica, utilizó jugo sulfitado y se tomó el coeficiente microbiológico a muestras con distinta actividad microbiológica. Para el efecto, fue necesario elaborar un método a escala laboratorio que determinó la velocidad de sedimentación y la proporción de lodos.

Tomó 100mL de jugo sulfitado, luego agregó sacarato hasta llevar el jugo a pH neutro, y calentó hasta el punto de ebullición. Luego el jugo lo trasvasó a una probeta y monitoreo cada 10 segundos durante 200 segundos la movilización de lodos a lo largo de la probeta, cuantificando el porcentaje de lodos final y monitoreando el porcentaje de lodos por unidad de tiempo (s). Adicionalmente determinó el coeficiente microbiológico del jugo para tener un parámetro cuantitativo de comparación entre la movilización de lodos y el aumento en la actividad microbiológica (Aguirre, 2012).

Los resultados obtenidos por Aguirre (2012) son:

Cuadro No. 8: CM promedio y proporción de lodos por segundo de jugo sulfitado.

CM promedio	Velocidad ($\pm 0.003 \text{ cm}^3/\text{s}$)
0.63 \pm 0.01	0.405
0.66 \pm 0.01	0.385
0.72 \pm 0.01	0.370
0.79 \pm 0.01	0.320
0.96 \pm 0.02	0.220

(Aguirre, 2012).

Cuadro No. 9: CM promedio y proporción final de lodos.

CM promedio	Proporción final de lodos ($\pm 0.5 \%$)
0.63 \pm 0.01	19.0
0.66 \pm 0.01	23.0
0.72 \pm 0.01	26.0
0.79 \pm 0.01	36.0
0.96 \pm 0.02	56.0

(Aguirre, 2012)

Cuadro No. 10: CM promedio y volumen de sacarato en situación de evaporación.

CM promedio	Volumen de sacarato utilizado en análisis (± 0.5mL)
0.63 ± 0.01	20.0
0.66 ± 0.01	22.0
0.72 ± 0.01	24.5
0.79 ± 0.01	28.1
0.96 ± 0.02	30.4

(Aguirre, 2012)

Cuadro No. 11: CM promedio y proporción en exceso de sacarato en simulación de evaporación.

CM promedio	Proporción en exceso de sacarato (± 0.5 %)
0.63 ± 0.01	0.00
0.66 ± 0.01	0.10
0.72 ± 0.01	0.26
0.79 ± 0.01	0.72
0.96 ± 0.02	0.90

(Aguirre, 2012)

Cuadro No. 12: CM promedio e incrustaciones por unidad de área en simulación de evaporación.

CM promedio	Incrustación por unidad de área en simulación de evaporación (kg/m²)
0.63 ± 0.01	0.0130 ± 0.0012
0.66 ± 0.01	0.0783 ± 0.0073
0.72 ± 0.01	0.0913 ± 0.0085
0.79 ± 0.01	0.1696 ± 0.0158
0.96 ± 0.02	0.2218 ± 0.0206

(Aguirre, 2012)

En el área de clarificación Martínez (2013) continuó desarrollando la metodología de Aguirre (2012) descrita anteriormente, pero dentro de las modificaciones que fue desarrollando se encuentra la toma de la muestra de 100mL a 2000mL para la cual 1000mL se utilizaron para las pruebas iniciales. Las pruebas consistieron en determinar la cantidad de sacarato necesario para llevar el pH del jugo a neutro debido a la actividad microbiológica como también

la determinación del tiempo y la cantidad de precipitado de lodos luego de agregado el floculante, para lo cual se utilizó una probeta de 1000mL. Para los 1000mL restantes se dejaron reposar por 4 horas para dejar que los microorganismos presentes se desarrollaran y poder tener un diferente CM para llevar a cabo una comparación que determino el comportamiento del tiempo de precipitado de los lodos conforme el coeficiente microbiológico incrementara. Determinando el incremento de lodos debido a la actividad microbiológica o el decremento por la falta de la misma tomando los valores de ambas muestras.

Otro de los procesos que se mejoraron fue la medición de las incrustaciones en los evaporadores debido al exceso de cal por la actividad microbiológica presente. El cual consistió en tomar el jugo clarificado de la prueba anterior y decantarlo. Y con la utilización de 5 beakers y 5 muestra de tubo de cobre del evaporador de calandria se llevaron a cabo las simulaciones de los distintos evaporadores, controlando los grados brix. La mejora consistió en la simulación de cada uno de los evaporadores para determinar la cantidad de incrustaciones por evaporador, como también el desarrollo del proceso de los evaporadores 4 y 5 al vacío al igual que en el ingenio Martínez (2013).

Los resultados obtenidos por Martínez (2013) son:

Cuadro No. 13: % de volumen de sacarato debido al cambio del CM en el jugo diluido.

CM rango	Promedio CM	promedio %V/V
<1	1.18	16.39
1-1.5	1.53	17.66
1.51-2	2.08	22.19
2.1-2.5	2.64	27.50
2.51-3	3.20	38.75

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 14: % de volumen de sacarato debido al cambio de CM en el jugo diluido.

CM rango	%vol./vol. sacarato	Promedio CM
<1	0.88	1.18
1-1.5	1.31	1.53
1.51-2	1.38	2.08
2.1-2.5	1.84	2.64
2.51-3	2.75	3.20

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 15: Parámetro medidos durante el alcalizado del jugo sulfitado.

Muestras 1-10			Muestras 11-20		
Vol. Sacarato mL	CM (sulfitado)	pH inicial	Vol. Sacarato mL	CM (sulfitado)	pH inicial
7.50	1.71	4.84	15.00	1.76	4.44
7.5	2.07	4.98	22.00	2.84	4.52
10.00	1.43	5.15	22.00	2.50	5.14
9.50	1.25	5.15	13.00	1.54	5.09
10.00	1.00	5.15	20.50	1.84	4.89
8.50	0.40	5.13	14.50	0.94	4.93
9.50	0.98	4.85	12.50	1.01	4.79
4.50	0.98	4.99	5.00	1.54	4.96
3.95	0.71	5.08	5.00	1.92	5.06
3.50	0.83	5.21	5.00	0.94	5.09

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 16: Gramos incrustados en los tubos de cada uno de los efectos durante la prueba de evaporación que corresponde a un cierto CM del jugo diluido.

CM(sulf)	CM diluido	1	2	3	4	5
1.71	2.07	0.0012	0.0003	0.0009	0.0018	0.0039
2.07	2.43	0.0007	0.0003	0.001	0.0026	0.0073
1.43	1.79	0.0009	0.0037	0.0024	0.0008	0.0003
1.25	1.61	0.0015	0.0036	0.0013	0.0011	0.0011
1	1.36	0.0003	0.0003	0.0021	0.0020	0.0075
0.4	0.76	0.0002	1E-04	0.0027	0.0002	0.0075
0.98	1.34	0.0001	0.0003	0.003	0.0071	0.0139
0.98	1.34	0.0011	0.0081	0.0018	0.0005	0.0006
0.71	1.07	0.0012	0.0007	0.0013	0.0127	0.0015
1.76	2.12	0.0014	0.0006	0.0013	0.0051	0.0144

Continuación - Cuadro No.16: Gramos incrustados en los tubos de cada uno de los efectos durante la prueba de evaporación que corresponde a un cierto CM del jugo diluido.						
CM(sulf)	CM diluido	1	2	3	4	5
2.84	3.2	0.0018	0.001	0.0038	0.0046	0.0139
2.5	2.86	0.0037	0.004	0.0026	0.0048	0.0118
1.54	1.9	0.0015	0.0108	0.002	0.0014	0.0018
1.84	2.2	0.0012	0.006	0.011	0.0066	0.0084
0.94	1.3	0.0026	0.0041	0.0106	0.0052	0.0092
1.01	1.37	0.0017	0.0029	0.0031	0.0087	0.0107
1.54	1.9	0.0068	0.0031	0.0026	0.002	0.0018
1.92	2.28	0.0018	0.0009	0.0025	0.0204	0.0025

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 17: Datos utilizados para realizar los cálculos, según la caña procesada durante la Zafra 2012-2013 del Ingenio Pantaleón.

29,980,463	L/día
4, 727,902	tcaña(zafra)
26,711.31073	tcana/día

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 18: Rangos utilizados en CM para cada uno de los evaporadores y los gramos de incrustados en un día según los datos obtenidos.

CM rango	promedio CM del jugo diluido	1	2	3	4	5	kg/L incrustados en 600 mL de muestra	kg incrustados/ día
<1	1.16	0.0010	0.0027	0.0039	0.0051	0.0065	0.00003	888.34
1-1.5	1.53	0.0011	0.0026	0.0022	0.0031	0.0049	0.00002	645.73
1.51-2	2.08	0.0023	0.0036	0.0034	0.0062	0.0055	0.00003	968.60
2.1-2.5	2.64	0.0022	0.0022	0.0018	0.0037	0.0095	0.00003	894.80
2.51-3	3.20	0.0018	0.0010	0.0038	0.0046	0.0139	0.00004	1157.71

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 19: Aumento del % Vol./Vol. de los lodos debido al cambio del CM en jugo diluido.

CM rango	Promedio CM	CM Promedio del jugo diluido	promedio %V/V
<1	0.83	1.18	16.39
1-1.5	1.17	1.53	17.66
1.51-2	1.72	2.08	22.19
2.1-2.5	2.29	2.64	27.50
2.51-3	2.84	3.20	38.75

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 20: Aumento de los lodos en los clarificadores SRI debido al cambio de 0.1 en el CM del jugo diluido.

CM	ΔCM	%Vol./Vol.	% disminución	SRI 0.1514(m3/s)	SRI 0.1766(m3/s)
1	0.9	1.077	15.32	2.48	2.89
1.5	1.4	1.077	16.58	2.67	3.12
2	1.9	1.077	21.11	3.36	3.92
2.5	2.4	1.077	26.42	4.16	4.86
3	2.9	1.077	37.67	5.87	6.84

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 21: Disminución en la velocidad de sedimentación de los lodos en las pruebas de laboratorio realizadas.

CM rango	CM promedio del jugo diluido	% lodos/s
<1	1.18	0.279%
1-1.5	1.53	0.274%
1.5-2	2.08	0.259%
2-2.5	2.64	0.242%
2.5-3	3.20	0.204%

(Martínez, 2012)

Cuadro No. 22: Cambios de los parámetros del pH, sacarato utilizado, Brix y POL en la clarificación debido al aumento del CM.

Muestra	Δ pH	Δ sacarato	Δ brix	Δ Pol	Δ pureza	Δ color	Δ turbidez	CM
1	0.40	7.50	0.27	2.37	0.13	554.00	11750.00	0.05
2	0.46	14.50	0.44	1.89	0.09	654.00	679.00	0.77
3	0.01	12.00	0.27	0.03	-0.01	7367.00	40301.00	1.07
4	0.06	3.50	0.51	0.66	0.02	32776.00	1041.00	0.29
5	0.26	10.50	0.65	0.65	0.01	723.00	21912.00	0.84
6	0.20	6.00	0.49	-0.16	-0.04	3126.00	1901.00	0.54

Continuación - Cuadro No.22: Cambios de los parámetros del pH, sacarato utilizado, Brix y POL en la clarificación debido al aumento del CM.								
Muestra	Δ pH	Δ sacarato	Δ brix	Δ Pol	Δ pureza	Δ color	Δ turbidez	CM
7	0.06	3	0.2	-0.05	-0.02	1884	13278	0.03
8	0.03	0.5	2.28	0.39	-0.12	6546	1380	0.55
9	0.02	1.05	0.28	0.02	-0.02	11918	2703	1.2
10	0.12	1.5	1.77	1.92	0.04	820	12597	0.1

(Martínez, 2012)

10. Actividad microbiológica en los tándems del Ingenio Pantaleón.

En el 2008, Álvarez *et. al.*, establecieron un sistema de control microbiológico en el Ingenio Pantaleón ya que no se encontraba adecuadamente aplicado en la industria azucarera guatemalteca. Parte del trabajo se enfocó en medir el coeficiente microbiológico del jugo primario y del jugo diluido para determinar el efecto del tándem de molinos sobre la contaminación por parte de los microorganismos. La Ecuación No.1 muestra la forma en que se calcula el coeficiente microbiológico (CM). Primero se muestra en el cuadro 3 las valoraciones dadas al coeficiente microbiológico por su valor numérico actualizadas por Núñez en el año 2013. En el cuadro 4 se muestran los coeficientes microbiológicos promedio del Tándem A de los días analizados. En el Cuadro No. 5 se muestran los mismos resultados del Tándem B.

Ecuación 2. Cálculo de coeficiente microbiológico.

$$CM = \frac{5}{(\text{tiempo final} - \text{tiempo inicial})}$$

Fuente: Álvarez *et al.*, 2008

Cuadro No. 23: Valoraciones dadas al Coeficiente Microbiológico (CM) por su valor numérico.

CM	Valoración del resultado	
Menor a 1.75	Bueno	Verde
1.75-2	Aceptable	Amarillo
3-Feb	Malo	Naranja
Mayor a 3	Crítico	Rojo

Fuente: Núñez, 2013

Cuadro No. 24: Resultados promedio por día de Coeficiente Microbiológico (CM) para Tándem A.

CM jugo primario	CM jugo diluido
1.93	1.94
2.13	1.66
1.31	1.31
2.3	2.13
2.46	1.88
2.35	2.27
1.57	1.57
2.38	2.2
2.73	2.13
1.87	1.76

Fuente: Álvarez *et al.*, 2008

Cuadro No. 25: Resultados promedio por día de Coeficiente Microbiológico para el Tándem B.

CM jugo primario	CM jugo diluido
1.96	1.8
1.43	1.57
1.88	1.77
1.72	1.73
1.37	1.52
1.9	1.88
1.83	1.8
2	1.7

Fuente: Álvarez *et al.*, 2008

En el trabajo de Álvarez (2008), también se midieron los coeficientes microbiológicos de los productos de cada tándem del Ingenio Pantaleón. Se determinó el incremento del coeficiente microbiológico (ICM) de los puntos de análisis para las entradas y salidas de los tándems. El Cuadro 6 muestra los resultados para el Tándem A y en el Cuadro 7 se observan los resultados para el Tándem B.

Cuadro No. 26: CM de los puntos de análisis con base en sus entradas y salidas para el Tándem A.

ICM de los puntos de análisis							
Punto de salida	Punto de entrada	Día					
		1	2	3	4	5	6
Jugo diluido	Caña	-0.17	-0.34	1.15	0	0.47	--
Jugo diluido	Primario	-0.03	-2.5	0	0	0.41	0
Molino 1	Caña	-0.14	2.16	1.15	0	0.07	--
Molino 2	Molino 1	-0.06	-2.64	-0.43	0	-0.02	-1.49
Molino 2	Tanque molino 3	---	1.19	0.73	0.57	-0.01	-0.74
Molino 3	Molino 2	---	-0.98	-0.43	-0.48	-0.03	-0.26
Molino 3	Tanque molino 4	---	0.21	0.4	0.43	-0.43	-1
Molino 4	Molino 3	---	-0.21	-0.39	-0.43	-0.3	0.8
Molino 4	Tanque molino 5	0.15	0.3	0.71	0	0.21	0.03
Molino 5	Molino 4	-0.2	-0.51	-0.23	0	-0.15	-0.32
Molino 5	Tanque molino 6	0.32	-0.1	0.14	0.4	0.29	0.16
Molino 6	Molino 5	-0.12	-0.25	-0.16	-0.9	-0.32	0.18
Tanque molino 1-2	Molino 1	0.14	-2.64	0.43	-0.91	-0.28	0
Tanque molino 1-2	Molino 2	0.2	0	0.86	-0.91	-0.26	1.49
Tanque molino 3	Molino 3	---	-0.21	-0.3	-0.09	0.04	1
Tanque molino 4	Molino 4	-0.15	0	-0.01	0	0.73	0.19
Tanque molino 5	Molino 5	0.05	0.21	-0.47	0	-0.05	-0.29
Tanque molino 6	Molino 6	-0.2	0.34	0.02	0.51	0.03	-0.35
Colador	Tanque molino 1-2	-0.17	0.14	-0.43	0.91	0.69	0

Fuente: Álvarez *et al.*, 2008

Cuadro No. 27: CM de puntos de análisis con base en sus entradas y salidas de Tándem B.

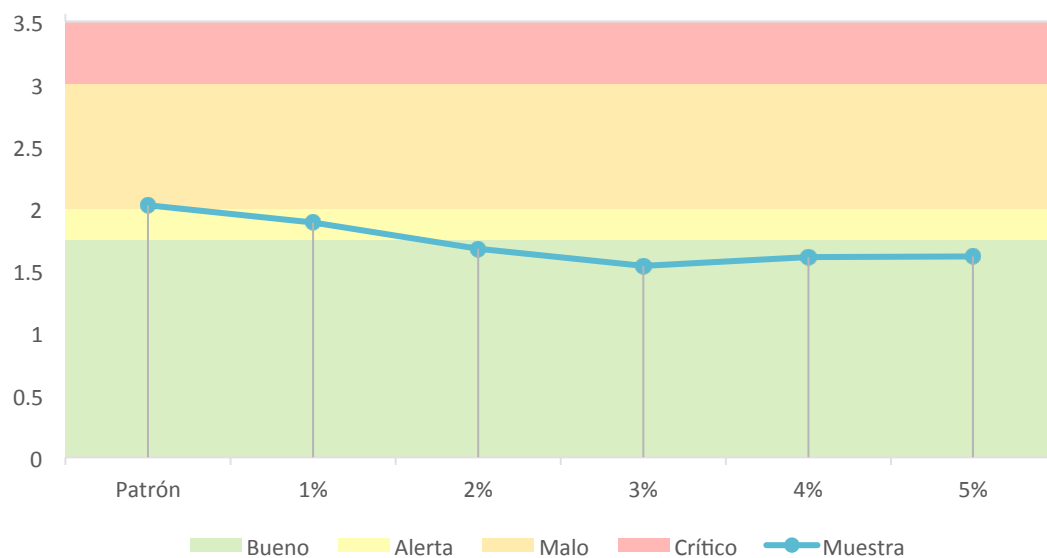
ICM de los puntos de análisis							
Punto de salida	Punto de entrada	Día					
		1	2	3	4	5	6
Jugo diluido	Caña	0.72	0.17	-0.13	0.05	-2.4	0.67
Jugo diluido	Primario	0.64	-0.22	0.08	-0.13	0.73	0.33
Molino 1	Caña	0.09	0.4	-0.21	0.18	-3.13	0.33
Molino 2	Molino 1	0.07	-0.32	-0.14	-0.93	-0.3	0
Molino 2	Tanque molino 3	-0.03	0.12	0	-0.5	0	0.2
Molino 3	Molino 2	-0.28	-0.04	-0.11	0.5	-0.08	-0.24
Molino 3	Tanque molino 4	-0.01	0.57	0.1	0.27	0.25	0.1
Molino 4	Molino 3	-0.11	-0.15	-0.18	-0.27	-0.43	0
Molino 4	Tanque molino 5	-0.01	-0.44	0.17	-0.01	0.45	0.66
Molino 5	Molino 4	-0.06	-0.48	0.29	-0.42	-0.45	-0.55
Tanque molino 1-2	Molino 1	-0.38	0	0.08	-1.35	0	0
Tanque molino 1-2	Molino 2	-0.44	0.32	0.21	-0.42	0.3	0
Tanque molino 3	Molino 3	0.31	-0.08	0.11	0	0.08	0.03
Tanque molino 4	Molino 4	0.11	-0.42	0.08	0	0.18	-0.1
Tanque molino 5	Molino 5	0.07	0.92	-0.47	0.43	0	-0.11

Fuente: Álvarez, 2008

C. Exploración a escala de laboratorio y piloto la recirculación del jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción

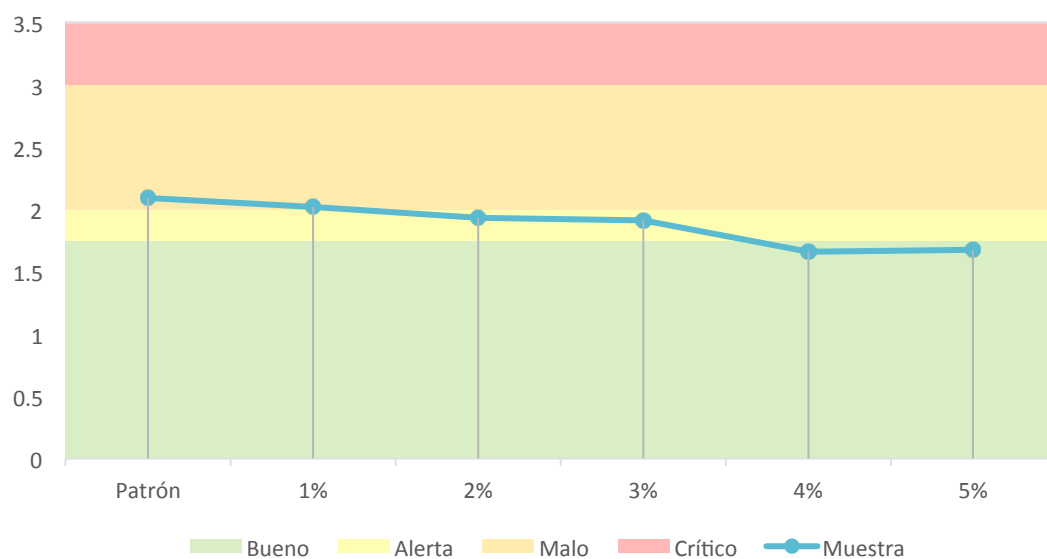
1. **Escala laboratorio.** Para la exploración de jugo sulfitado como bactericida, se realizaron diluciones de 1 a 5% volumen/volumen de jugo sulfitado en jugo diluido. Para realizar las diluciones se tomó una muestra de jugo sulfitado A y jugo diluido del tándem A en el Ingenio Pantaleón en sus respectivos puntos de muestreo. Para la dilución de 1% se utilizó una probeta plástica de 100mL para medir 99mL de jugo diluido y 1mL de jugo sulfitado. Se realizó el mismo procedimiento utilizando los volúmenes de 98, 97, 96 y 95mL de jugo diluido y 2, 3, 4, 5mL de jugo sulfitado para hacer las diluciones de 2,3,4 y 5% respectivamente. Se agitó vigorosamente en un recipiente plástico de 500mL con tapadera. También se utilizó 100mL de jugo diluido como muestra testigo. Se midieron los coeficientes microbiológicos de cada una de las diluciones y la muestra testigo en el momento inicial, después de 10 y 20 minutos. (García Salas, 2013)

Gráfica No. 3: Coeficiente Microbiológico de diferentes diluciones de jugo sulfitado en jugo diluido para comprobar su efectividad como bactericida después de 10 minutos de ser agregado.



Fuente: García Salas, 2013

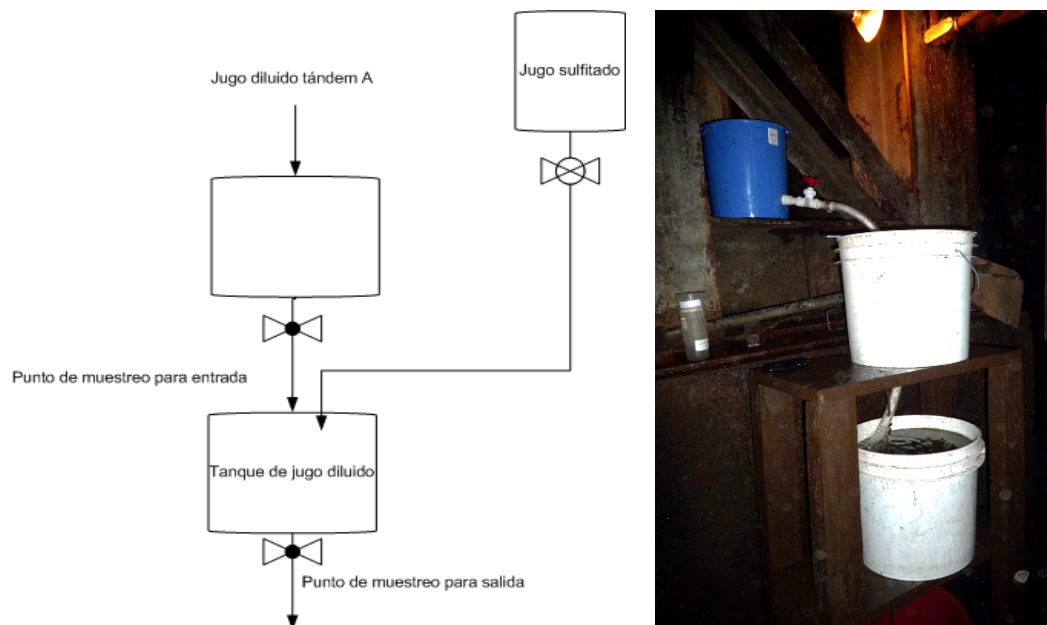
Gráfica No. 4: Coeficiente Microbiológico de diferentes disoluciones de jugo sulfitado en jugo diluido para comprobar su efectividad como bactericida después de 20 minutos de ser agregado.



Fuente: García Salas, 2013

2. **Escala piloto.** Se diseñó el siguiente equipo para simular el tanque de jugo diluido:

Figura No. 12: Sistema para simular tanque de jugo con flujo continuo de jugo sulfitado.



Fuentes: García Salas, 2013

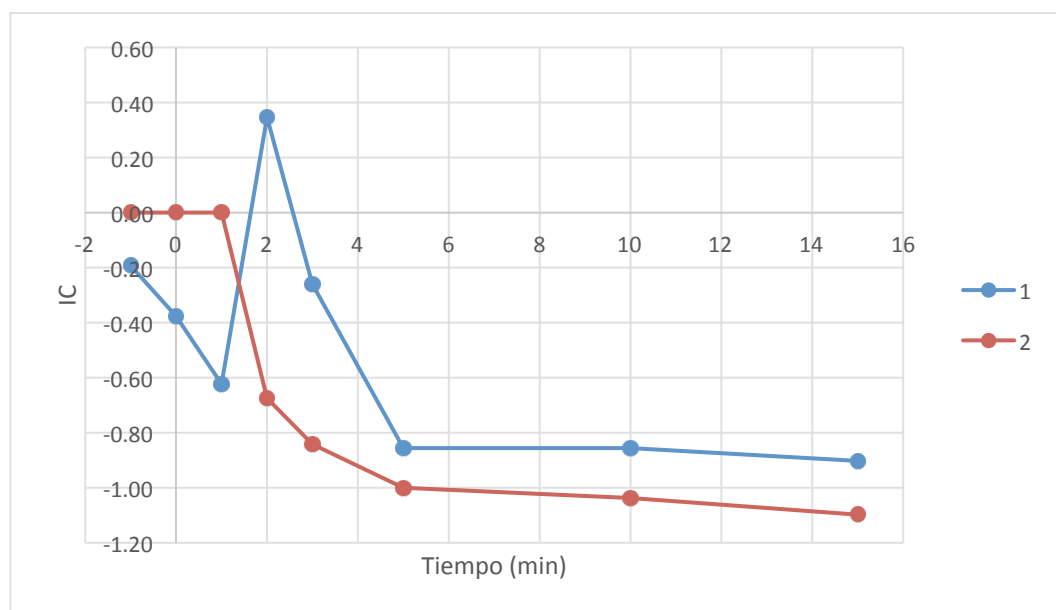
La cubeta azul se llenó con jugo sulfitado y se reguló su caudal utilizando una válvula de globo para que fuera el 5% del caudal de la cubeta simulando el tanque de jugo diluido. Las válvulas de globo de cada cubeta blanca se abrieron de manera que ambas tuvieran el mismo caudal. De primero se llenó la cubeta que simula el tanque de jugo diluido y después se llenó la cubeta de alimentación. Se procuraba mantener el mismo nivel en la cubeta de alimentación para que el flujo de entrada se mantuviera igual. Se tomaron muestras de la entrada y salida al inicio, 1, 2, 3, 5, 10 y 15 minutos. A cada muestra se le realizó el test de resazurina para medir el coeficiente microbiológico. (García Salas, 2013)

Se realizaron un conjunto de pruebas utilizando jugo sulfitado como sustituto de bactericida en los jugos diluidos, lo cual puede significar un ahorro tanto en términos de gastos en bactericidas químicos como pérdidas de sacarosa para los ingenios azucareros. Así mismo se realizaron pruebas a jugo alcalizado para determinar el coeficiente microbiológico ya que no se tenían previos estudios de ésta área en la cual debido al resultado del coeficiente microbiológico puede ser

necesario utilizar más lechada de cal para obtener el pH deseado por lo cual reduciría el gasto en el proceso de alcalización.

Finalmente, se realizó un análisis de la elongación de los cristales comparándola con el coeficiente microbiológico, el cual afecta el proceso de cristalización debido a que en cuanto mayor sea el coeficiente microbiológico menor es la cantidad de sacarosa obtenida como producto final, ya que la actividad microbiana afecta a la viscosidad del magma haciendo que los cristales crezcan horizontalmente en lugar de octagonalmente, por ello se pierde la sacarosa cristalizada en las centrífugas ya que se van en la melaza y no se logra una completa separación significando una pérdida importante de producto.

Gráfica No. 5: Incremento en el Coeficiente Microbiológico entre la entrada y salida del tanque de jugo diluido a escala piloto utilizando un flujo continuo de jugo diluido de 0.0625L/min con un caudal de jugo diluido de 1.38L/min y un tiempo de retención de 9.23 min.



Fuente: García Salas, 2013

3. Extracción. Este es un proceso continuo que actualmente se realiza en tres tándems de molinos con capacidad de molienda diaria total de 32.200 TM, distribuido en tándem "A" (9,000 TM); tándem "B" (11,040 TM) y tándem "C" (11,960 TM). Hacia estos tándems se alimenta con caña preparada, la cual es sometida a una serie de extracciones utilizando molinos de rodillo o mazas y todos los molinos son de cuatro masas rayados en forma de "V". Para hacer más eficiente el proceso de molienda, los jugos pobres de los molinos posteriores se

aplican nuevamente en el proceso (proceso de maceración) y en el último molino se aplica agua caliente con temperatura entre 155-179 °F para aumentar la extracción. El bagazo es un subproducto industrial que se transporta hacia el sistema de calderas para usarlo en calidad de biomasa como combustible. El sobrante tiene como destino la hidrólisis y reserva para cubrir paros de emergencia. . (Magdalena, 2013)

4. Clarificación. El jugo proveniente de los molinos pasa por calentadores, que llegan a temperaturas entre 140 y 155 °F. Luego pasa por la torre de sulfatación, bajando el PH para producir azúcar blanco únicamente. En esta etapa se utiliza azufre como agente decolorante; luego mediante la adición de la lechada de cal entre 6 y 10 baume se neutraliza el jugo. El calentamiento del jugo se realiza en tres etapas; la primera por vapor vegetal de 5.0 psi alcanzando temperaturas entre 175 y 185 °F; la segunda por vapor de 5.0 psi alcanzando temperaturas entre 205 y 215 °F y la última con vapor de 10 psi para rectificación del jugo en forma automática. Con el proceso anterior se logra que el jugo, al ser liberado a presión atmosférica, sufra una pequeña evaporación en el tanque flash evitando que los flóculos floten o decanten con lentitud por la presencia de burbujas atrapadas en el interior. El siguiente paso es alimentar el jugo a los clarificadores a baja velocidad para permitir la concentración de lodos y que pueden ser extraídos por gravedad en un clarificador SRI y con bombas en los Rapi Door 444. En la etapa final de este proceso se utilizan coladores vibratorios con malla 110 mesh para la eliminación de bagacillo y evitar que llegue al producto final. (Magdalena, 2013)

5. Cristalización. La cristalización o crecimiento de la sacarosa que contiene el jarabe se lleva a cabo en tachos al vacío. Estos cocimientos, según su pureza producirán azúcar crudo y azúcar blanco. Este es un proceso demorado que industrialmente se acelera introduciendo al tacho unos granos microscópicos de azúcar, denominados semillas. La experiencia del operativo debe juzgar el punto exacto del cocimiento, para la obtención de un buen producto. (Magdalena, 2013)

- Diseño de método para medir la deformación por elongación de cristales de masas cocidas.
- Medición del tamaño de los cristales en las diferentes masas cocidas A, B y c de los tachos o cristalizadores.

Para lograr seleccionar el número óptimo de campos que se deben de leer para obtener un coeficiente de elongación significativo, se tomaron las siguientes cantidades de muestra por Ingenio de la zafra 2012-2013:

- Magdalena: 45
- Pantaleón: 25
- Madre Tierra: 8
- Santa Ana: 10

(Rodríguez, 2014)

Luego, se realizó una homogenización de las muestras por medio de la aplicación de calor por medio de un baño María, para posteriormente tomar cierta cantidad de masa y colocarla en un portaobjetos y realizar las mediciones de los cristales tanto su ancho como largo por medio de la utilización de un microscopio con lente milímetro en un rango de 1-10. Se realizó una lectura de 20 campos por muestra, cada campo con una medición de aproximadamente 35-45 cristales o más. (Rodríguez, 2014)

Metodología utilizada en el laboratorio de microbiología para el análisis de las muestras recolectadas en la zafra 2012-2013 de los Ingenios Magdalena, Santa Ana, Pantaleón y Madre Tierra.

Figura No. 13: Metodología utilizada en el laboratorio de microbiología para el análisis de conteo de cristales.

IDENTIFICACIÓN DE LOS DATOS
DE LA MUESTRAS



IDENTIFICACIÓN CON NÚMERO
CORRELATIVO



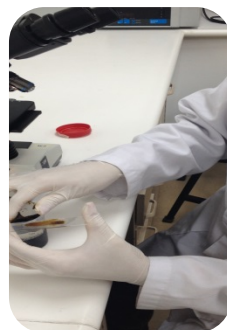
COLOCACIÓN DE MUESTRA EN
BAÑO DE MARÍA PARA
HOMOGENIZAR



HOMOGENIZADA LA MUESTRA, PREPARARLA PARA COLOCARLA EN PORTAOBJETOS



COLOCAR UNA CANTIDAD SIGNIFICATIVA DE MUESTRA EN PORTAOBJETOS



ENFOCA LENTE, LEER TAMAÑO DE CRISTALES



DOCUMENTAR LARGO Y ANCHO DE CRISTALES (mm)

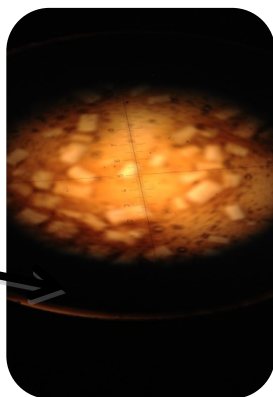


CAMBIAR DE CAMPO Y REALIZAR NUEVAMENTE LA MEDICIÓN

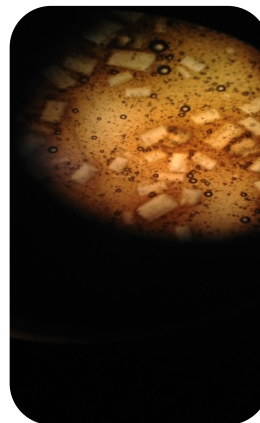


Continuación - Figura No. 13: Metodología utilizada en el laboratorio de microbiología para el análisis de conteo de cristales.

ESCALA MILIMETRADA (1-10mm) UTILIZADA



CRISTALES OBSERVADOS Y MEDIDOS



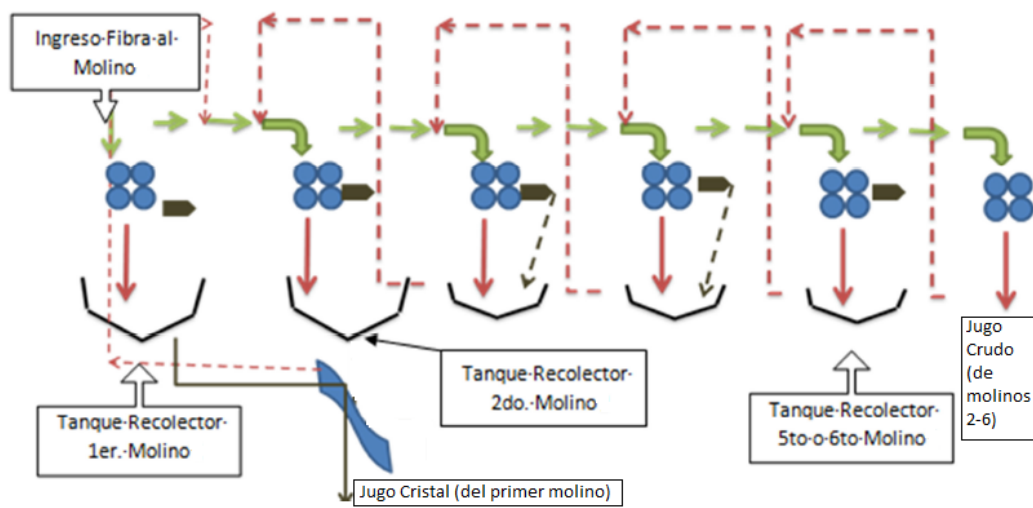
(Rodríguez, 2014)

6. Desarrollo de método aplicable en la medición de cristales. Para este punto, será necesario tomar la mayor cantidad de muestras en el período de la zafra de las masas cocidas A, B y C, tanto del Ingenio Pantaleón como Magdalena, para que luego cada muestra se analice por campos. En cada campo se leerán las dimensiones de los cristales. Esto quiere decir su ancho y largo. En cada muestra se necesita leer un aproximado de 30-50 ó más cristales. Luego, con los datos obtenidos, se aplicará un análisis estadístico de promedio acumulado para determinar la cantidad óptima de campos que sea representativo para el análisis de muestras, por medio de comparación gráfica de los resultados. (Rodríguez, 2014)

7. Efecto de compuestos con alta electronegatividad en la prueba de resazurina. La glucólisis es el punto donde se centra la reacción midiéndose por su capacidad reductora, por lo que se tienen cambios en la apariencia física inicialmente siendo azul, luego en la degradación a resorufina es color rosado y por último en la degradación a dihidrosorunia es una solución incolora; por lo que la prueba de la resazurina se ve afectada con compuestos con electronegatividad alta debido a que con la presencia de cualquier ion positivo reacciona el oxígeno produciendo un óxido del compuesto ejemplos, óxido de magnesio, óxido de cobre, etcétera. (Mena, 2014)

8. Esquema de flujo de jugo en los molinos. Con el propósito de obtener una mayor calidad del azúcar blanco a partir de un proceso de azúcar blanco directo, Ingenio Magdalena, ubicado en la Democracia, Escuintla, ha separado el jugo obtenido en la extracción del tándem, utilizando únicamente el jugo primario (jugo del primer molino) para producir azúcar blanco, y el jugo del molino 2 en adelante para producir azúcar crudo; esto permitiría disminuir la cantidad de impurezas que acompañan al jugo del primer molino o jugo primario, para mejorar la clarificación y de esta manera, obtener un mejor color de azúcar. (Lima, 2009)

Figura No. 14: Esquema de flujo de jugos y puntos de dosificación de bactericidas del área de extracción.



Fuente: Méndez, 2013

VI. METODOLOGÍA

A. Módulo 1

1. Metodología utilizada para la evaluación en el área de recepción y molinos

a. Toma de muestras de caña y bagacillo de patio.

- **Manual:** En el caso del Bagacillo, la extracción de jugos de la caña se puede hacer manualmente, exprimiéndolo con las manos y colocándolo en un recipiente.
- **Desfibradora y prensa**
En el caso de caña, primero se debe de desfibrar para convertirla en bagazo, el cual después se debe de exprimir en la prensa (Figura 6). Recolección de jugo manual (Figura 7). Transporte de caña a desfibradora (Figura 8). Bagacillo recolectado bajo conductores y caña barrida desfibrada respectivamente.

Para poder definir las condiciones que delimite cuándo se debe de dejar de reincorporar la caña barrida o el bagacillo tirado al proceso de extracción, se deben de analizar los siguientes factores:

b. Coeficiente Microbiológico (CM). Se evalúa con la prueba de resazurina el nivel microbiológico y se compara con la siguiente tabla para saber su estado:

Cuadro No. 28: Criterios para el Coeficiente Microbiológico por medio de la prueba de Resazurina.

Coeficiente Microbiológico	Criterios CM
0-1.49	Bueno
1.5-1.75	Alerta
1.76-2.49	Malo

Figura No. 15: Toma de muestra de caña barrida y bagacillo bajo los conductores.



Para cada tipo de caña, dependiendo el lugar donde se tomaron, se clasificaron e hicieron pruebas de resazurina de forma aleatoria y midiendo el cambio en el tiempo.

Pruebas de cantidad de sacarosa

- Utilización de Equipo HPLC
- Brix y Pol Comparación con datos ordinarios de caña no reincorporada
- Porcentaje de sacarosa de un fluido
 - Capacidad del bagacillo y caña barrida para utilización en calderas
- Capacidad calorífica de bagazo

Se colocan entre 1 y 1.008 g de bagazo en un pequeño recipiente, el cual ingresa en el calorímetro que quema el material y determina el poder calorífico del mismo en BTU/lb.

- Costos y logística en traslado Análisis de costos estimados, donde se tomen en cuenta factores como mano de obra y recursos a utilizar.
- Porcentaje de humedad del bagazo (tiene que ser menor a 51% para funcionar en calderas adecuadamente)

Se pesan 20g del bagazo a evaluar, y luego se calienta en hornos hasta que su peso deje de variar con el tiempo. Al encontrar este último peso, se realiza una regla de tres para determinar el porcentaje que representaba el agua antes de ponerse en el horno.

Figura No. 16: Izquierda: pesado de bagazo seco. Derecha: máquina que obtiene el poder calorífico



c. Porcentaje de tierra. Se pesan 500g de caña, y con ayuda de agua se extrae la tierra de la misma. Luego se utilizan 100 mL, se pesa, y luego se calienta hasta llegar a evaporar el agua. Luego se vuelve a pesar para obtener la diferencia entre ambos y encontrar el porcentaje de tierra que tiene la solución.

Figura No. 17: Proceso de calentamiento de la solución buscando evaporar el agua de la misma, en el laboratorio de caña del Ingenio Magdalena.



B. Módulo 2

1. Equipo, reactivos y cristalería

a. Prueba de resazurina

- Recipientes plásticos resistentes al calor de 2000mL
- Tubos de ensayo plásticos
- Solución de resazurina de 10ppm
- Horno a 37°C
- Cronómetro
- Micro-pipetas

b. Prueba de clarificación de jugo sulfitado

- Recipientes plásticos resistentes al calor 1500mL
- Recipiente de metal de 1000mL
- Probetas plásticas resistentes al calor de 1000±3mL
- Probeta vidrio 10±0.05mL
- Potenciómetro
- Cronometro
- Estufa

- Lechada (cal y agua) utilizada por el Ingenio Magdalena (6°baume)
- Floculante utilizado por el Ingenio Magdalena

c. Prueba de evaporación de jugo sulfitado

- Recipientes plásticos resistentes al calor 2000mL
- Beakers de vidrio de 1000mL±50mL
- Estufa
- Fragmentos de tubo de evaporador de calandria de acero inoxidable (2cmx3cm, Cedula No. 40)
- Kit de destilación
- Bomba para vacío
- Refractómetro portátil
- Balanza analítica 120±0.0001g
- Pinzas
- Guantes para el calor
- Manta de calentamiento

2. Procedimiento para la toma de muestras

a. Jugo sulfitado. La toma de muestras se llevó a cabo en el mismo punto de recolección de muestras para jugo sulfitado crudo y cristal que utiliza el laboratorio de fábrica del Ingenio Magdalena. El cual se encuentra en el tanque de almacenamiento del jugo sulfitado crudo y cristal. Los tanques de almacenamiento están divididos en tres partes, uno para cada uno de los jugos provenientes de cada tándem.

Para poder obtener una muestra representativa, con un recipiente de 2000mL, se tomó 500mL de cada uno de los 3 tándemes para llevar a cabo una mezcla homogénea, para obtener las muestras de 1000mL del jugo sulfitado crudo y cristal. Y para obtener la muestra de 2000mL de jugo sulfitado crudo y cristal se tomó 1000mL de cada uno de los 3 tándemes para llevar a cabo una muestra homogénea. Obteniendo de esta forma 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo, 1000mL de jugo sulfitado cristal, 5 muestras de 2000mL de jugo sulfitado crudo y 5 muestras de 2000mL jugo sulfitado cristal.

El muestreo se llevó a cabo en las durante las 10 visitas al Ingenio Magdalena.

b. Lechada (cal y agua). La toma de muestra de lechada se llevó a cabo en la torre de mezclado de cal con agua que posee el Ingenio con el fin de no afectar las variables del procedimiento en laboratorio. Este se llevó a cabo en el segundo tanque de mezclado antes de ser bombeado al proceso, la muestra se tomó en la parte superior del tanque con un recipiente de 2000mL.

Se tomó 10 muestras de 2000mL para cada visita al Ingenio.

c. Floculante. La toma de muestra del floculante se obtuvo en la parte superior del tanque de clarificación del Ingenio, antes de ser agregado al jugo alcalizado en un dispensador de floculante como el que se muestra a continuación con un recipiente de 2000mL.

Se tomó 10 muestras de 2000mL para cada visita al Ingenio.

Figura No. 18: Izquierda: toma de muestra de floculante en tanque de jugo alcalizado. Derecha: floculante utilizado.



3. Metodología utilizada para la evaluación de los procesos de clarificación y evaporación.

a. Determinación del consumo de lechada. Para la determinación del consumo de lechada en la alcalinización se tomaron las muestras de jugo sulfitado crudo y cristal como se explica en el paso anterior.

Para la muestra de 2000mL, tomada con un recipiente de 2000mL, se tomaron 1000mL para trabajar en la hora 0 y se dejaron 1000mL para trabajarse 4 horas después con el fin de poder correlacionar los valores posteriormente y determinar si existe o no un aumento en el CM el consumo de lechada. Se tomó una muestra de los jugos y se agregaron al reactivo que utiliza el Ingenio en un tubo de ensayo para la determinación del CM. Seguidamente, se midió el pH inicial con el potenciómetro existente en el laboratorio y se prosiguió al agregado de lechada para su neutralización. La medición de la lechada se llevó a cabo con una probeta de 10 ± 0.05 mL. Se controló el cambio de pH con el potenciómetro hasta un pH de 7. Tomando los valores de mililitros de lechada utilizada para la neutralización del volumen de jugo trabajado.

Esto se llevó a cabo a las 0 y 4 horas para la muestra de 2000mL y para la muestra separada de 1000mL a las 0 horas.

Posteriormente, para el análisis del incremento del consumo de lechada por el cambio de CM se utilizó el cambio de las muestras a las 0 y 4 horas para el consumo de mL de lechada y CM. Con estos valores se desarrolló una regresión lineal. La regresión lineal obtenida se escaló a 150 días de zafra y a un flujo de jugo sulfitado crudo de $0.2281 \frac{m^3}{s}$ y para el jugo sulfitado cristal de $0.2208 \frac{m^3}{s}$.

Figura No. 19: Izquierda: tubos de ensayo de resazurina. Derecha: medición de pH para el jugo sulfitado.



b. Determinación de la velocidad de sedimentación y volumen de lodos. Para la determinación de la velocidad de la sedimentación y el volumen de lodos formados en el proceso de clarificación se prosiguió a tomar las muestras trabajadas en la prueba anterior. Posterior a esto se transfirió las muestras a beakers de 1000±50mL de metal y utilizando una estufa se llevó el jugo alcalizado a punto de ebullición. Luego de alcanzar el jugo, este se llevó cercano al punto de ebullición y se transfirió el jugo a una probeta de 1000±3mL y se agregó 990mL de la muestra y con una probeta de 10±0.05mL se midió 10mL de floculante para poder llevar a cabo una relación de 1/100 partes. El floculante se agregó en la parte superior de la probeta del 1000mL. Seguido de esto se midió la velocidad de sedimentación con un cronómetro. Esta medición se llevó a cabo determinando el tiempo transcurrido que los lodos disminuyen a una razón de 10mL dentro de la probeta.

Luego se midió el volumen de lodos formados dentro de la probeta al finalizar la sedimentación, esta medición se llevó a cabo 2 minutos después de su inicio.

Esto se llevó a cabo a las 0 y 4 horas para la muestra de 2000mL y para la muestra separada de 1000mL a las 0 horas.

Posteriormente, para el análisis del incremento de formación de lodos debido al efecto del CM se utilizó el cambio de las muestras a las 0 y 4 horas para incremento de mL de lodos y CM. Con estos valores se desarrolló una regresión lineal. La regresión lineal obtenida se escaló a 150 días de zafra y a un flujo de jugo sulfitado crudo de $0.2281 \frac{m^3}{s}$ y para el jugo sulfitado cristal de $0.2208 \frac{m^3}{s}$. Para la determinación de los kilogramos (toneladas métricas) utilizadas en la preparación de la lechada se utilizó el valor del Ingenio Magdalena, el cual es 6° baume. Para la conversión de grados baume se utilizó el cuadro proporcionado por la National Lime Association, el cual se presenta en la Figura 9 en apéndice.

Figura No. 20: Jugo alcalizado en el proceso de clarificación para la medición de la velocidad de sedimentación y volumen de lodos.



c. Determinación de la formación de masa de incrustaciones.

Para el proceso de medición de la masa de incrustaciones formadas en el proceso de evaporación, se preparó un sistema compuesto por un kit de destilación, una manta y una estufa con un beaker de 1000mL.

Se llevó a cabo el corte de 10 piezas provenientes del tubo de calandria del Ingenio, para lo cual se utilizó una pulidora y los cortes se hicieron paralelos a tubo; se lijaron para eliminar cualquier impureza sobre la superficie de las piezas. Las piezas se tararon para cada una de las corridas.

Seguido de esto se midió los grados Brix con un refractómetro y se decantó el jugo clarificado del proceso anterior. Se colocó 600mL de jugo clarificado en un beaker de 1000 ± 50 mL. Se agregó la pieza de tubo del efecto 1 para su simulación a presión atmosférica y se colocó en una estufa para calentar el jugo a punto de ebullición y llevar a cabo el proceso de evaporación del jugo clarificado. Se controló los grados Brix hasta llegar a los grados deseados para el primer efecto. Se retiró con pinzas la pieza de tubo y seguido de esto se agregó la pieza del evaporador 2. Se controló los grados Brix hasta llegar a los grados deseados para el segundo efecto. Se volvió a retirar la pieza y se colocó la pieza del tercer efecto. Se monitorio los grados Brix hasta llegar a los grados deseados para el tercer efecto. Se retiró la pieza del tercer efecto y el jugo se trasvasó a un balón de 500mL del sistema de destilación. Se colocó en balón con la pieza del cuarto efecto y se continuó la evaporación con el kit de

evaporación al vacío. Se monitorio los grados Brix hasta llevar a los grados deseados, se retiró la pieza del cuarto efecto y se introdujo la pieza del quinto efecto. Se monitorio hasta llegar a los grados Brix deseados y se retiró la pieza.

Los grados Brix fueron lo que determinó el cambio de fragmento de tubo para cada efecto.

El jugo concentrado se descartó.

Las piezas obtenidas en cada uno de los efectos se lavaron con agua destilada con el fin de retirar los residuos de azúcar y mieles, se secaron y se esperó a que tuvieran una temperatura ambiente. Posteriormente se pesaron para determinar la masa final del fragmento de tubo.

Por medio de una diferencia de masas se determinó la cantidad de la masa de incrustaciones formada sobre el fragmento del tubo de calandria.

El material del tubo de calandria proporcionado por el Ingenio Magdalena es de acero inoxidable.

Esto se llevó a cabo a las 0 y 4 horas para la muestra de 2000mL y para la muestra separada de 1000mL a las 0 horas.

Posteriormente, para el análisis del incremento de incrustaciones debido al efecto del CM se utilizó el cambio de las muestras a las 0 y 4 horas para incremento gramos de incrustaciones y CM. Con estos valores se desarrolló una regresión lineal. La regresión lineal obtenida se escaló a 150 días de zafra y a un flujo de jugo sulfitado crudo de $0.2281 \frac{m^3}{s}$ y para el jugo sulfitado cristal de $0.2208 \frac{m^3}{s}$.

d. Determinación de los costos en el proceso de clarificación.

Para la determinación del incremento de costos en el proceso de alcalinización del jugo sulfitado se tomó los resultados de la regresión lineal escalada que corresponde al resultado del objetivo uno. Con los valores de masa (t) de hidróxido de calcio utilizados en la preparación de la lechada y el precio proporcionado por Horcalsa (Grupo Progreso) de tonelada de cal colocada en

Escuintla se desarrolló una nueva función para el aumento de costos en este proceso debido al efecto del CM.

Los costos de hidróxido de calcio proporcionados por Horcalsa (Grupo Progreso) colocando el mismo en Escuintla es el \$140.00, para el cual se utilizó una tasa de cambio de Q7.75 por dólar.

C. Módulo 3

Para la caracterización de la actividad microbiológica del área de filtrado de IMSA que está compuesta por un tanque de mezcla de lodos y bagacillo, cachazón, 12 filtros con su tanque de ingreso o coagulador y 4 tanques de preparación de coagulante. Se establecen las siguientes variables de control necesarias para el proceso y el método de análisis específico para su estudio,

1. Diseño del filtro

a. Estudio de diseño físico y funcionamiento.

Se realizó el levantado de un plano que permitiera identificar mejor cada uno de los equipos, a través del recorrido, observación, catálogo, registro y graficación directa del lugar.

2. Actividad microbiológica

a. Prueba de resazurina. Consistió en tomar un volumen específico de lodos de los equipos contenedores por medio de una toma muestras adecuadas y mezclándolo con el reactivo en viales de 25 mililitros aproximadamente, para luego incubarlos a temperaturas de 40°C a 60°C.

3. Temperatura

a. Medición directa de puntos críticos. Por medio de un sensor digital de temperatura se procedió a medir directamente las temperaturas de las muestras de lodos extraídas de los equipos.

4. PH

a. Método de fermentación espontánea. Se extrajeron muestras de lodos de aproximadamente 250 ml de volumen las cuales se sometieron al

análisis de pH a temperatura ambiente y luego incubadas por 3 horas a 40°C aproximadamente para luego medir el diferencial de pH nuevamente a temperatura ambiente.

5. Unidades formadoras de colonias

a. Recuento en placa de aerobios termófilos. De las muestras que se extrajeron se tomaron 100 ml aproximadamente para llevar a cabo un análisis de la cantidad de unidades formadoras de colonias termófilas. El proceso se explica adelante en el documento.

6. Estudio de diseño físico y funcionamiento del área de filtrado.

Se realizaron dos estudios básicos para determinar el funcionamiento propio del área.

a. Estructura:

- i. Se realizó un levantado de las estructuras y equipos importantes en el proceso de filtración generando los siguientes planos del área:
 - a) Filtro individual – Imagen No. 3, Sección F de ANEXO.
 - b) Filtros y tanques de lodos y coagulante – Imagen No. 4, Sección F de ANEXO.
 - c) Se determinó puntos críticos de evaluación de las variables a estudiar para la determinación de la actividad microbológica y su impacto en el proceso de recuperación. Ver imagen No. 2 de Sección F de Anexo.
- ii. Actividad Microbiológica, Temperatura UFC/ml y pH:
 - a) Tanques de ingreso o Coaguladores
 - b) Accesos a cama de filtro o tanque de lodos
 - c) Reboso de cama o tanque de lodos

b. Logística:

- i. Se determinó tiempos de:
 - a) Funcionamiento regular
 - b) Mantenimiento
 - c) Paro por malfuncionamiento u otras causas
 - d) Limpieza

- e) Turnos de operarios
- f) Se estableció el flujo del proceso de filtrado y su control.

7. Prueba de resazurina para determinación de actividad microbiológica y medición de temperatura: Se realizaron 20 muestreos durante la zafra 2013-2014 en los meses de enero a mayo de los puntos de muestreo específicos de cada filtro, del tándem de IMSA (8 filtros de 12) ubicado en el departamento de Escuintla, Guatemala.

La prueba consistió en poner en contacto el indicador de resazurina con los lodos que se extrajeron de puntos específicos y accesibles del sistema de cada filtro y se midió el tiempo en que la solución se decoloraba a una temperatura de 40 a 60°C que es la temperatura promedio de los lodos en los camas de filtros, con este tiempo se calcula un coeficiente microbiológico ($CM = 5/\text{tiempo de decoloración en horas}$), mientras más alto es el valor de CM mayor es la actividad microbiológica en el jugo analizado, ver Tabla No. 44, fotografía No.1 imagen 1 en secciones A y F respectivamente de ANEXO. (Méndez, Rivera, 2012)

8. Toma de muestras: Pasos: Se recolectaron muestras aproximadamente 250 cm³ de jugo de cachaza, y jugos filtrados de alto y bajo vacío y seguidamente se realizaron los estudios planteados anteriormente y la temperatura por medio de una Taylor 9940N con capacidad de (-40.0° a 150.0°) ± 0.05° Celsius. Filtro por filtro de acuerdo a los puntos de muestreo de cada filtro. Ver imagen No.3 de sección F del ANEXO.

En base a los datos recabados se elabora un mapa de calor para cada filtro y se determina la relación de Actividad microbiológica y temperatura.

9. Prueba recuento en placa de aerobios termófilos para determinación de UFC/mL: con la toma de muestra, inoculación y lectura, se realizaron dos muestreos durante la zafra 2013-2014 en los meses de Abril y Mayo de filtros específicos del tándem de IMSA (8 filtros de 12) ubicado en el departamento de Escuintla, Guatemala. En un recipiente estéril se recolectó 250 cm³ de lodos de Cachaza y seguidamente se realizó su inoculación en las instalaciones del propio ingenio en condiciones asépticas.

Las inoculaciones se realizaron por el método de siembra en superficie en placas Petri, para lo cual cada muestra de lodo fue diluida en agua peptonada al 0.1% (Merck) hasta una dilución de 10⁻⁴. Se inoculó 0.1 gr de las diluciones finales 10⁻³, 10⁻⁴ y 10⁻⁵, en Agar derecuento en placa (APC), para la microbiota general y en un medio agarificado de prueba, originalmente concebido como selectivo y diferencial para Leuconsotocsp y que finalmente se le denominó Agar LBDG. Se realizó las observaciones de cada placa a las 24 y 48 horas luego de la incubación a temperaturas de 55°C y ambiente respectivamente.

La selección y aislamiento de colonias bacterianas para identificar. Se realizó una selección preliminar de patrones de colonias según sus características culturales y un estimado de la proporción de cada patrón. Se determinaron las características morfológicastintoriales (Gram) de un número de colonias proporcional a la distribución estimada del patrón, eligiéndose finalmente las más abundantes.

10. Muestreo y prueba de fermentación espontánea: Para realizar las pruebas de temperatura, CM, pH y UFC/mL, se procedió a realizar muestreos diarios o semanales durante los meses de enero a mayo de la zafra 2013-2014, tomando porciones de aproximadamente 250 ml de lodos de los puntos de muestreo posibles según el diseño de cada filtro y de su tanque de ingreso o coagulador por medio de un toma muestras de metal que permite llegar a cada punto de muestra sin dañar el filtro y sin contaminar la muestra o alterar su temperatura o pH. Se midió inmediatamente la temperatura, luego de estabilizada registrada la misma y se tomó una porción para cada una de las otras tres pruebas, la porción para CM se dosificó directamente en tubos de ensayo que contenían la resazurina, ver fotografía No. 1 y 5 de la sección F del ANEXO.

Para la determinación de pH se almaceno muestras de entre 100 y 250 mL del lodo en frascos de pírex sellados. Estos frascos se enfriaron a 20°C aproximadamente para medir el pH y luego se mantuvieron en una incubadora por 3 horas a una temperatura de entre 40° y 50°C. Luego de transcurrido ese periodo se enfría nuevamente a 20°C aproximadamente y luego se mide de nuevo el pH para determinar si hubo un delta de acidez.

La porción restante de los lodos, aproximadamente 100 mL, se almaceno en bolsas estériles especiales de muestra, estas muestras se utilizaron para llevar a cabo las pruebas de recuento en placa de aerobios termófilos para determinación de UFC/mL.


Para la caracterización de la actividad microbiológica del área de filtrado de IMSA que está compuesta por un tanque de mezcla de lodos y bagacillo, cachazón, 12 filtros con su tanque de ingreso o coagulador y 4 tanques de preparación de coagulante. Se establecen las siguientes variables de control necesarias para el proceso y el método de análisis específico para su estudio.

D. Módulo 4

1. Metodología utilizada para la evaluación de utilización de jugo sulfitado como bactericida en el proceso de extracción de jugos.


a. Escala laboratorio. Para el análisis de muestras de jugo sulfitado como bactericida, se realizaron diluciones de 5 a 50% v/v de jugo sulfitado en jugo diluido.

Figura No. 21: Metodología de jugo sulfitado como bactericida previo escala laboratorio.




Se realizó una exploración del área de sulfitación del Ingenio Magdalena, en la cual se determinó los puntos de muestreo en cada uno de los tandems.


Se tomó una muestra de 300mL de jugo sulfitado (crudo y cristal) y 600mL de jugo diluido (crudo y cristal) de cada tandem en el Ingenio Magdalena en sus respectivos puntos de muestreo. (se realizó en duplicado teniendo un total de 12 corridas)




Para la dilución de 5% se utilizó una probeta plástica de 100mL y una jeringa de 5mL para medir 95mL de jugo diluido crudo y 5mL de jugo sulfitado crudo respectivamente. Se realizó el mismo procedimiento utilizando los volúmenes de 90, 80, 70,60 y 50mL de jugo diluido (crudo y cristal) y 10, 20, 30, 40, y 50mL de jugo sulfitado (crudo y cristal) para hacer las diluciones de 10 a 50% respectivamente.



Como muestra testigo se utilizó 100mL de jugo diluido (crudo y cristal) .

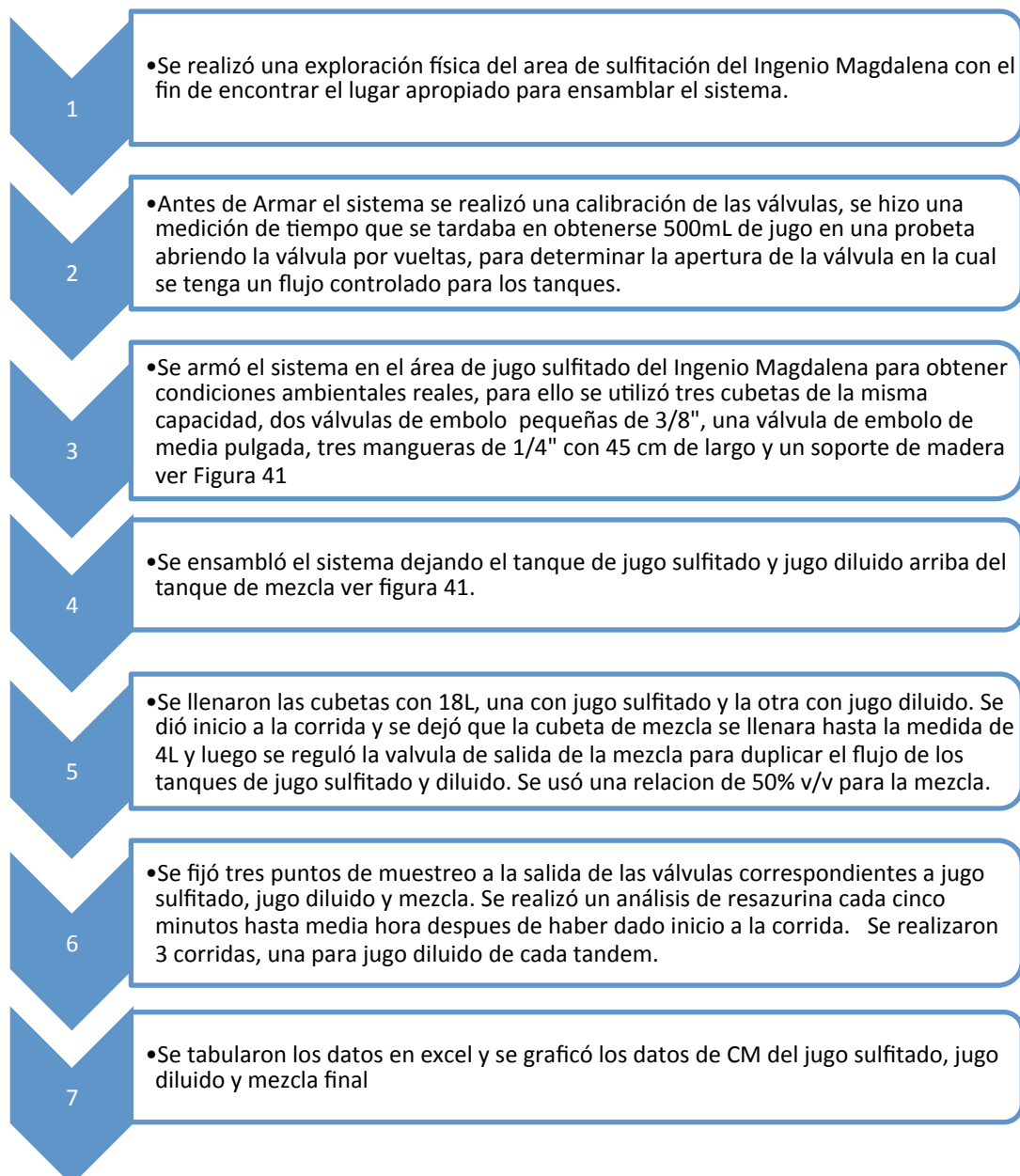


Se midió los coeficientes microbiológicos al inicio, y después de 10, 20, 30 minutos, 1 y 2 horas para cada una de las diluciones y la muestra testigo, agitando la muestra vigorosamente antes de cada medición.



b. Escala piloto. Para el análisis de tiempos de retención que debe tener el jugo sulfitado se realizó un sistema en el cual se fijan los flujos tanto de jugo sulfitado como jugo diluido.

Figura No. 22: Metodología de jugo sulfitado como bactericida previo escala piloto.

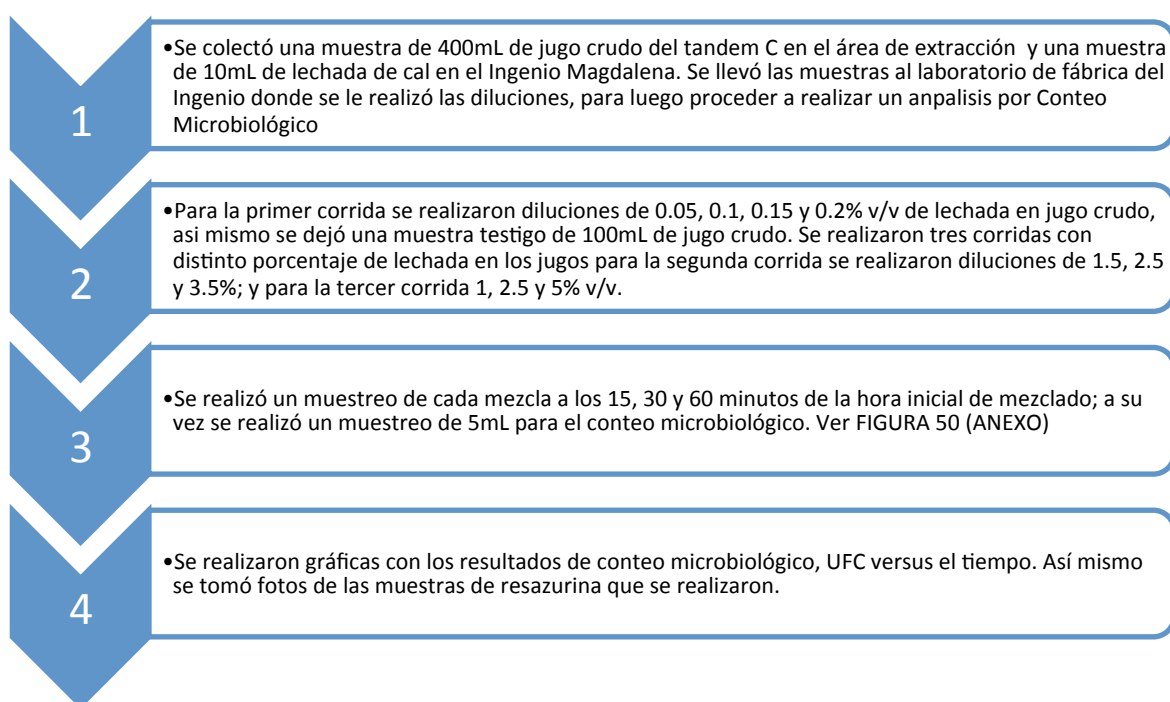


2. Metodología utilizada para la evaluación de utilización de jugo alcalizado como bactericida en el proceso de extracción de jugos.

a. Evaluación del coeficiente microbiológico en el jugo alcalizado. Se realizó una exploración del proceso de alcalización en los tres

tándems del Ingenio Magdalena con el fin de determinar los puntos de muestreo y la cantidad de lechada de cal que se utiliza para neutralizar el jugo sulfitado. Se realizó un conteo microbiológico de unidades formadoras de colonias (UFC), por medio de cultivos con Agar de recuento de placa y un medio agarificado concebido como selectivo y diferencial para *Leuconostoc sp.*, denominado Agar LBDG, para determinar el efecto del jugo alcalizado como bactericida y se realizó el test de resazurina en las muestras para verificar la viabilidad del mismo para el jugo alcalizado.

Figura No. 23: Metodología de jugos alcalizado como bactericida.



3. Metodología utilizada para el análisis de cristalización.

a. Análisis de elongación de cristales. Se estudió el método utilizado en el análisis de cristales en la masa final predefinido en el trabajo de investigación en zafra 2012-2013, luego se realizó una exploración del proceso de cristalización en el Ingenio Magdalena y se delimitó los puntos de muestreo en base a los puntos críticos para pérdidas por elongación de cristales en las distintas masas.

Figura No. 24: Metodología de medición de elongación de cristales de masa C.



En el análisis de elongación de cristales se llevó cincuenta frascos plásticos estériles con tapadera de rosca de 150mL, los cuales se dejaron en el laboratorio de fábrica donde se recolectó entre 5 a 8 muestras de masa C diarias en el mismo frasco, para las cuales se midieron los anchos y largos de los cristales por medio de un microscopio con lente milimetrado escala de 10 μ m y

lente de magnificación de 10X. Luego se realiza una correlación del CM con el coeficiente de elongación.

VII. RESULTADOS

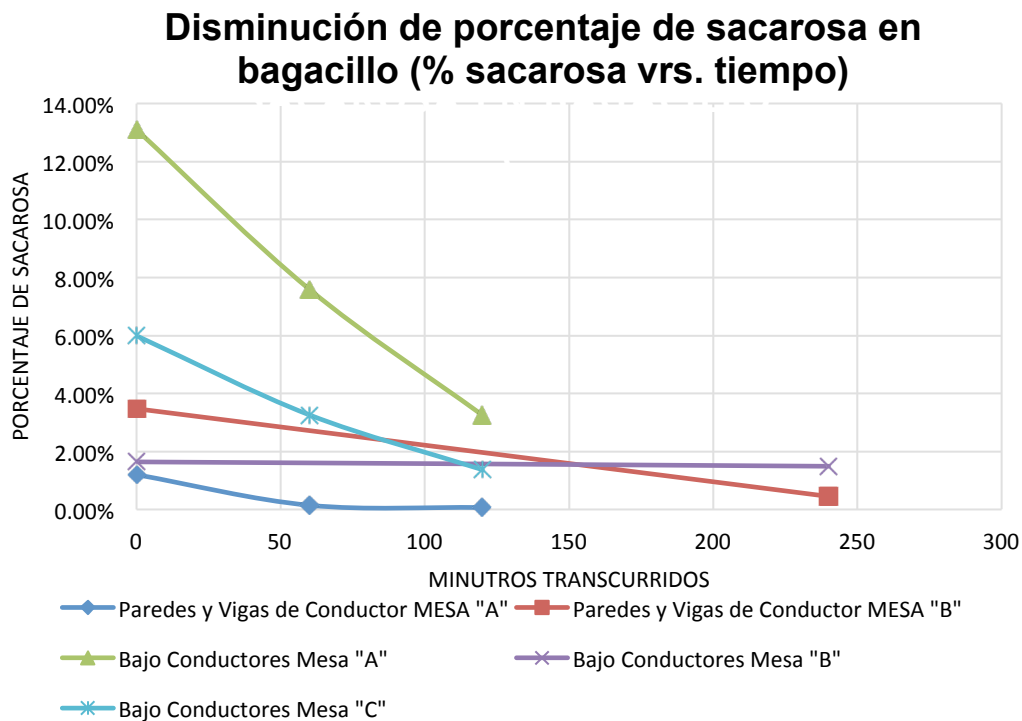
A. Módulo 1

1. Bagacillo debajo de conductores, y bagacillo en paredes y vigas de conductores.

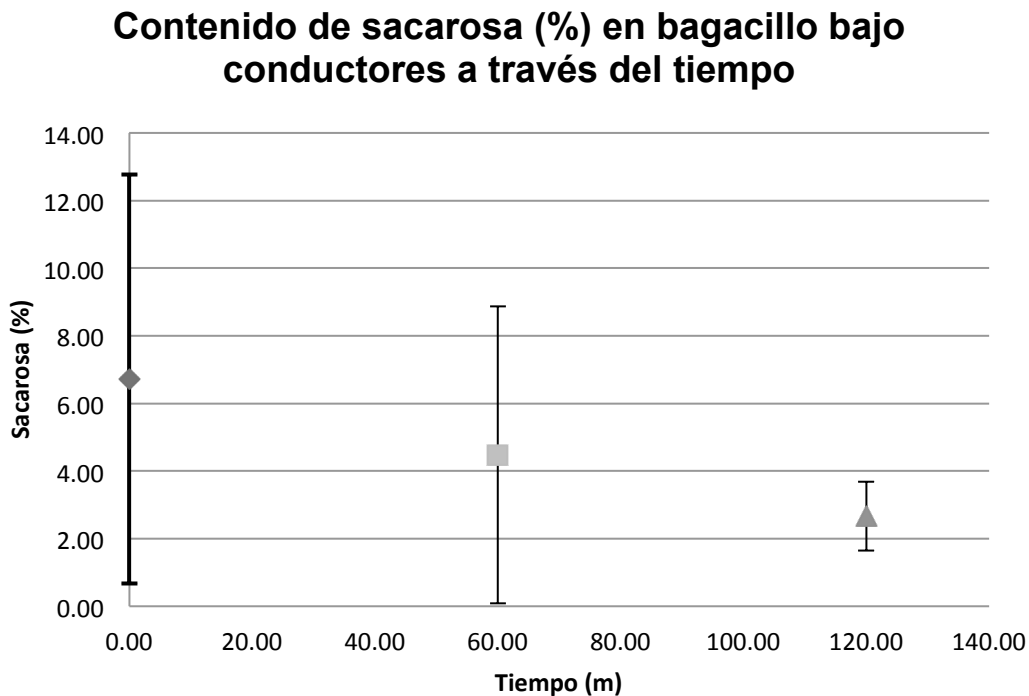
Cuadro No. 29: Variación del Coeficiente Microbiológico, pureza y porcentaje de sacarosa del bagacillo a través del tiempo. De la misma pila de bagacillo se obtuvo un dato por cada tiempo transcurrido. En total son 5 muestras de paredes y vigas, mientras que son 8 muestras para bagacillo debajo de los conductores.

Punto de extracción BAGACILLO	Tiempo (min) transcurrido	Porcentaje de Sacarosa	CM	Estado CM	Pureza
Paredes y Vigas de Conductor MESA "A"	0	1.19%	4.28	CRÍTICO	0.64
	60	0.14%	0.99	BUENO	0.63
	120	0.07%	0.90	BUENO	0.00
Paredes y Vigas de Conductor MESA "B"	0	3.48%	5.20	CRÍTICO	0.62
	240	0.45%	3.82	CRÍTICO	0.25
Bajo Conductores Mesa "A"	0	13.09%	5.00	CRÍTICO	0.80
	60	7.59%	7.51	CRÍTICO	0.71
	120	3.25%	7.88	CRÍTICO	0.66
Bajo Conductores Mesa "B"	0	1.65%	10.00	CRÍTICO	0.62
	240	1.49%	7.46	CRÍTICO	0.40
Bajo Conductores Mesa "C"	0	5.99%	13.40	CRÍTICO	1.14
	60	3.26%	3.90	CRÍTICO	0.45
	120	1.37%	2.61	CRÍTICO	0.68

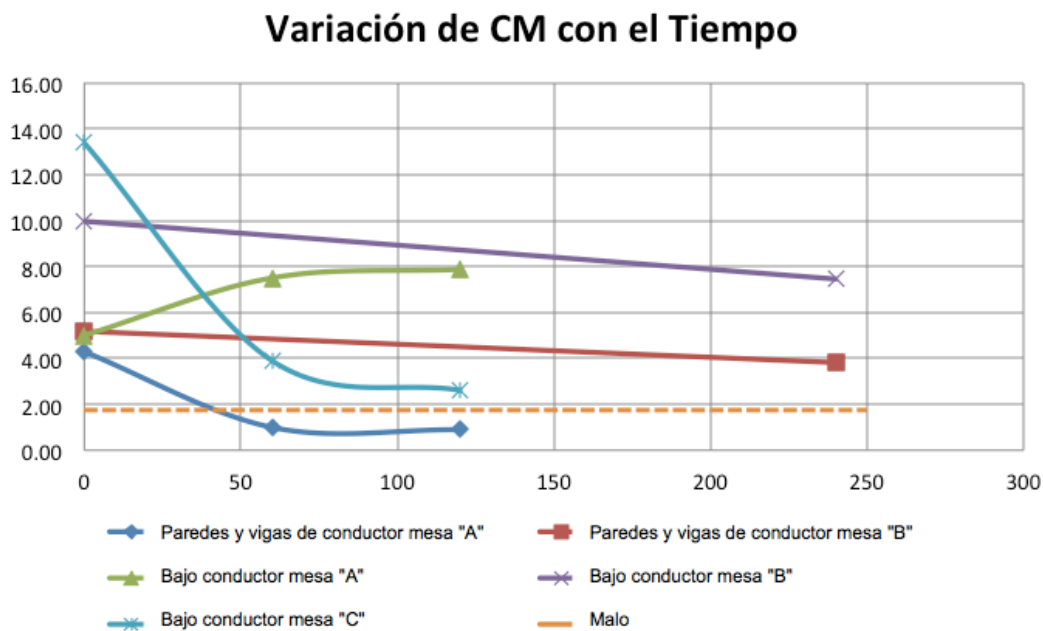
Gráfica No. 6: Disminución de porcentaje de sacarosa en bagacillo de conductores a medida que pasa el tiempo.



Gráfica No. 7: Distribución de muestras de porcentajes de sacarosa a través del tiempo en bagacillo debajo de los conductores.



Gráfica No. 8: Variación de Coeficiente Microbiológico conforme al tiempo en bagacillo de conductores.



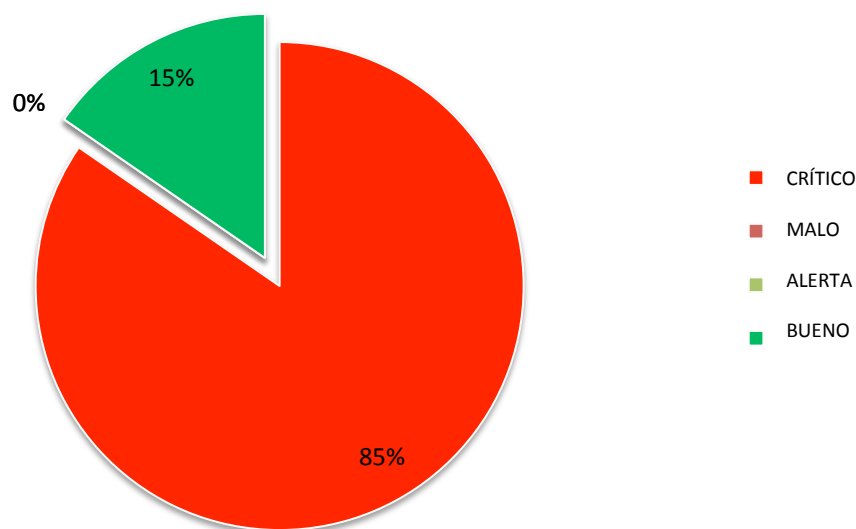
Con base en la "Tabla 8", se analizaron los estados de coeficiente microbiológico del bagacillo de conductores.

Cuadro No. 30: Estados microbiológicos de bagacillo en conductores.

	Cantidad	%
CRÍTICO	11	85%
MALO	0	0%
ALERTA	0	0%
BUENO	2	15%

Gráfica No. 9: Porcentaje de estado de Coeficiente Microbiológico en bagacillo de conductores.

Porcentaje de estado de CM en bagacillo conductores

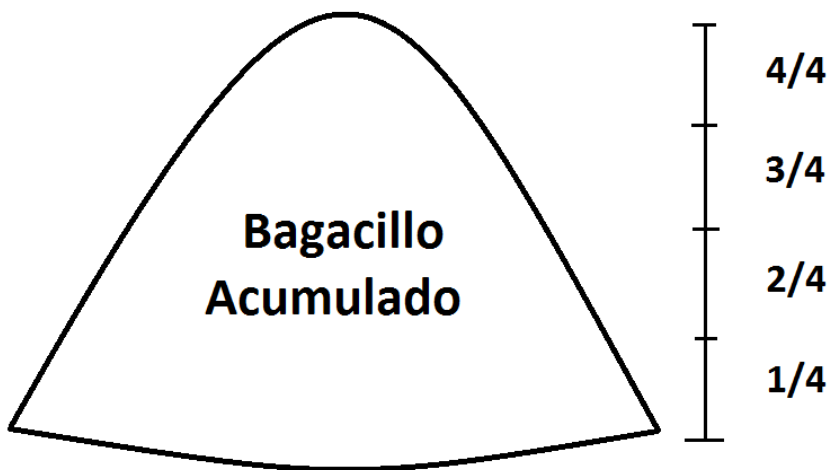


2. Prueba en acumulaciones de bagacillo después del limpiado de conductores. Se realizó otra prueba en el conductor A, en la cual se estudiaron dos diferentes acumulaciones de bagacillo, midiendo su coeficiente microbiológico a medida que pasa el tiempo en cuatro sectores diferentes de la acumulación. La temperatura al momento de obtener dichas muestras fue de 30 a 35 °C.

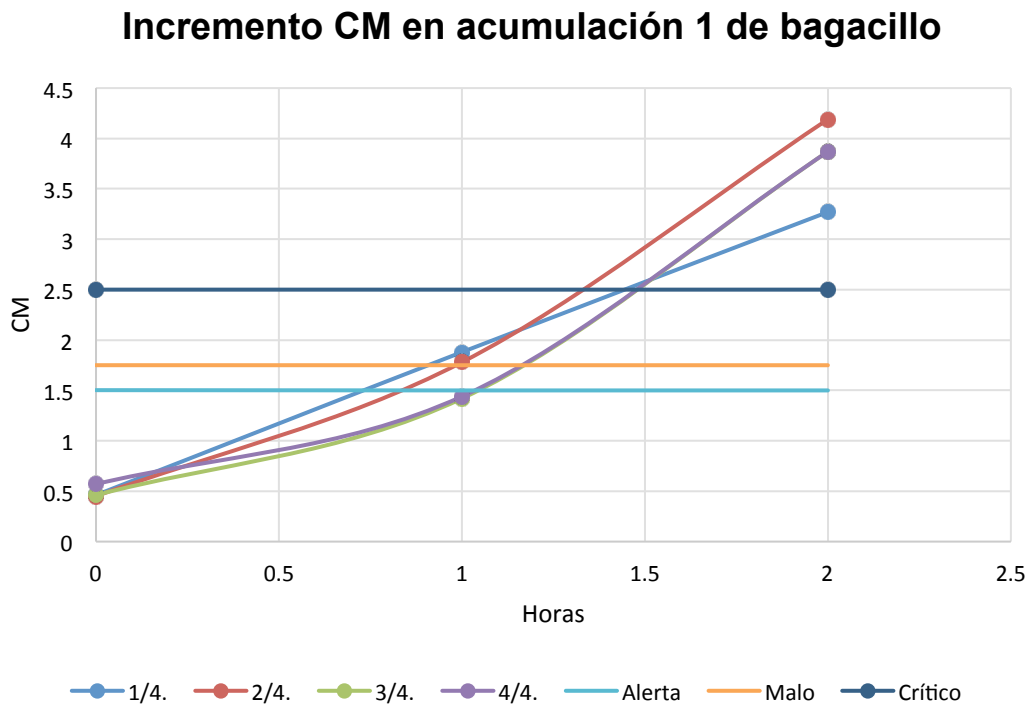
Cuadro No. 31: Estudio de incremento de Coeficiente Microbiológico en acumulación de bagacillo en el conductor A conforme al tiempo.

Sector	Zona del sector	CM (0 min)	CM (60 min)	CM (120 min)
Acumulación 1	1/4.	0.46	1.88	3.27
Acumulación 1	2/4.	0.45	1.78	4.19
Acumulación 1	3/4.	0.46	1.42	3.87
Acumulación 1	4/4.	0.57	1.44	3.87
Acumulación 2	1/4.	1.34	2.31	5.05
Acumulación 2	2/4.	1.38	2.31	5.05
Acumulación 2	3/4.	1.38	2.2	4.75
Acumulación 2	4/4.	1.34	2.2	4.50

Figura No. 25: Muestra de sectorización de acumulación de bagacillo para evaluación.

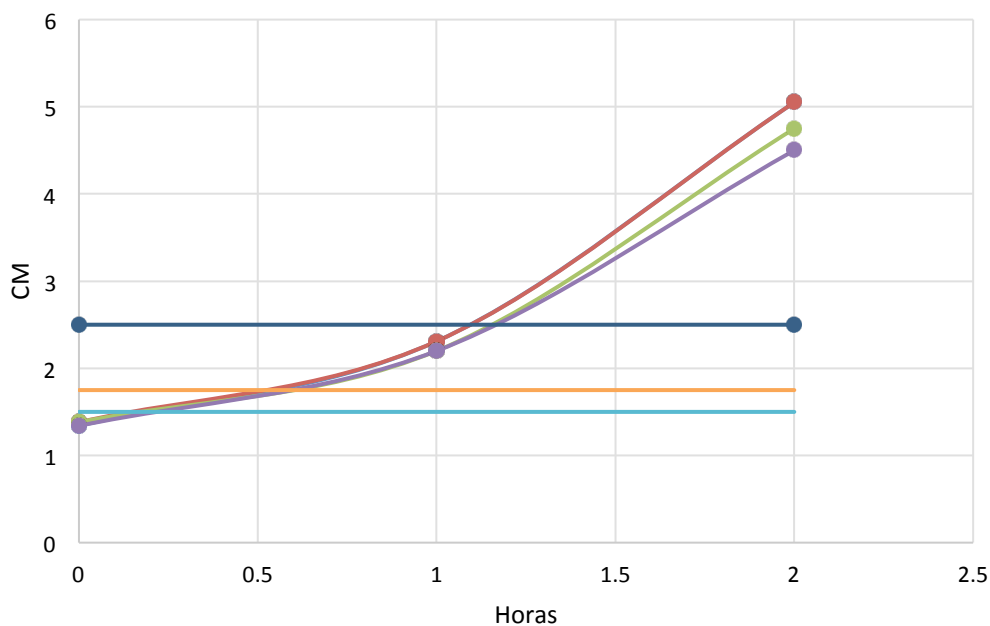


Gráfica No. 10: Comportamiento del nivel Microbiológica en la acumulación 1 de bagacillo.



Gráfica No. 11: Comportamiento del nivel microbiológico en la acumulación 2 de bagacillo.

Incremento CM en Acumulación 2 de bagacillo

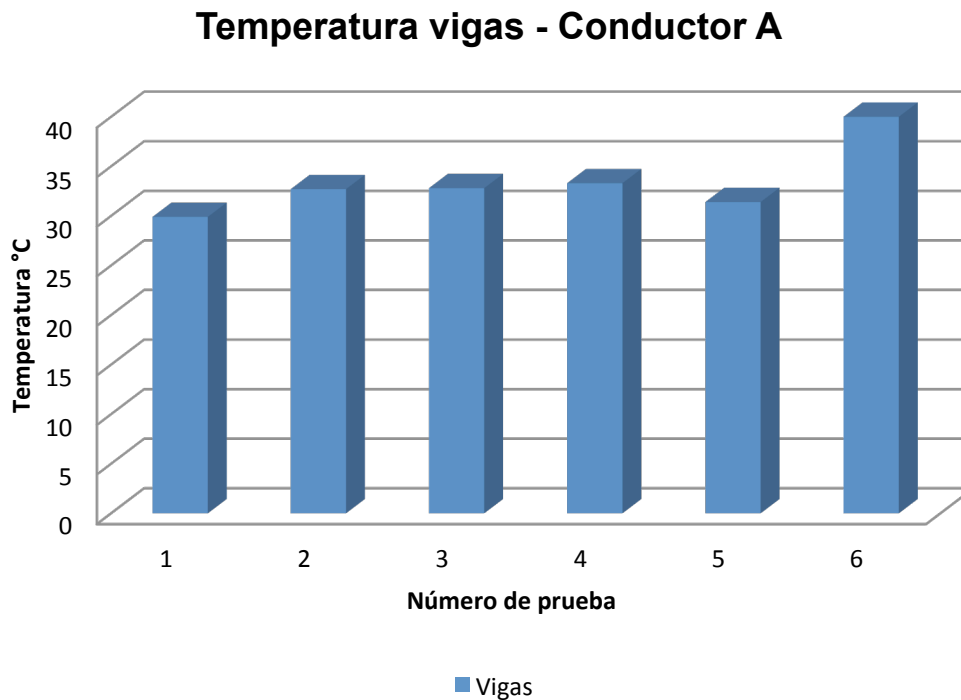


3. Temperaturas en las vigas y paredes. Se evaluó la temperatura del bagacillo que queda estancado en las paredes y vigas en el conductor. Las muestras fueron obtenidas de varios puntos en las paredes. En el caso de las vigas, se tomaron varias medidas de cada viga y se promedió el resultado de cada parte para luego sacar un promedio de todas las vigas.

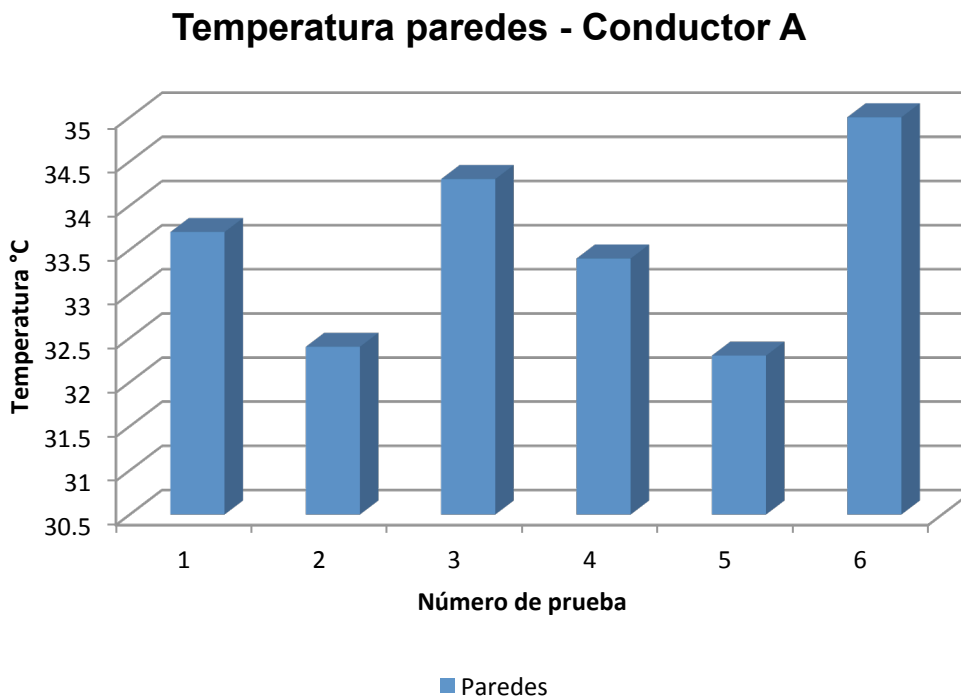
Cuadro No. 32: Temperaturas tomadas al bagacillo acumulado en paredes y vigas bajo conductor A.

	Paredes	Vigas
Temp. (°C)	33.7	29.9
	32.4	32.7
	34.3	32.8
	33.4	33.3
	32.3	31.4
	35	40
Media	33.52	33.35
σ	1.06	3.5

Gráfica No. 12: Temperaturas obtenidas en las acumulaciones de bagacillo en las vigas del conductor de la mesa A.



Gráfica No. 13: Muestras de temperatura en el bagacillo acumulado en las paredes del conductor de la mesa A.



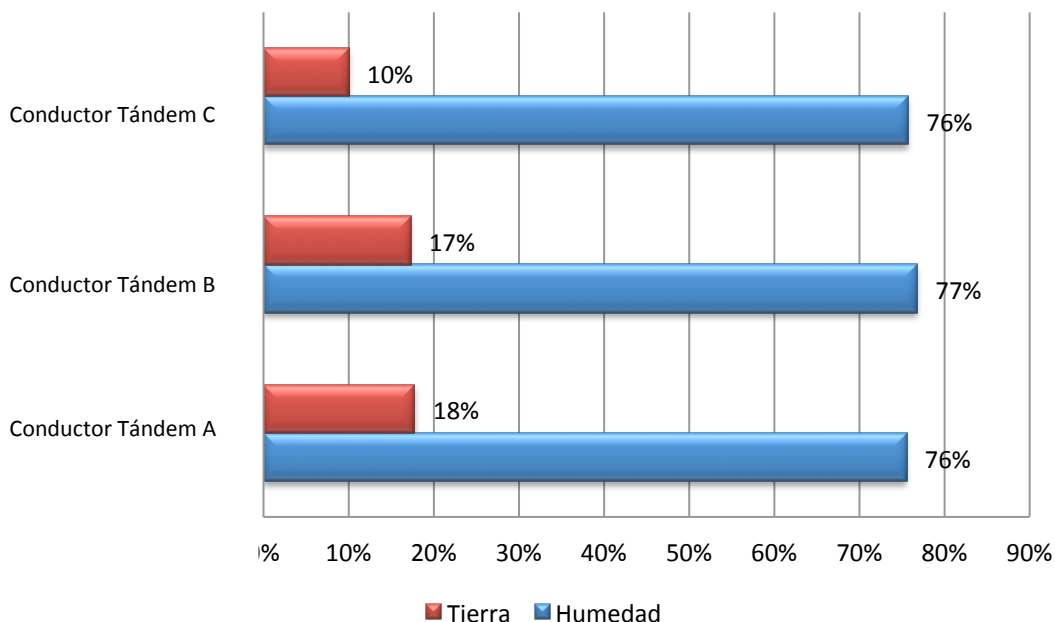
4. Humedad y tierra del bagacillo debajo de los conductores.

Cuadro No. 33: Humedades obtenidas en los diferentes conductores conductores en las mesas del ingenio, con el porcentaje de tierra y Corficiente Microbiológico correspondiente.

Bagacillo conductor	Fecha	Humedad	Tierra	CM
Conductor mesa A	28-abr	79%	30%	6.12
Conductor mesa B	28-abr	76%	14%	4.48
Conductor mesa C	28-abr	72%	12%	3.85
Conductor mesa A	28-abr	75%	10%	5.11
Conductor mesa B	28-abr	81%	25%	1.89
Conductor mesa C	28-abr	80%	7%	2.9
Conductor mesa A	12-may	73%	12%	8.45
Conductor mesa B	12-may	72%	12%	7.75
Conductor mesa C	12-may	73%	9%	7.1
Conductor mesa A	12-may	75%	19%	2.34
Conductor mesa B	12-may	78%	18%	4.5
Conductor mesa C	12-may	78%	12%	6.87
	Media	76%	15%	5.11
	Desviación	3%	7%	2.16

Gráfica No. 14: Comparación de promedios de humedad y tierra por Tándem.

Porcentajes promedio de humedad y tierra

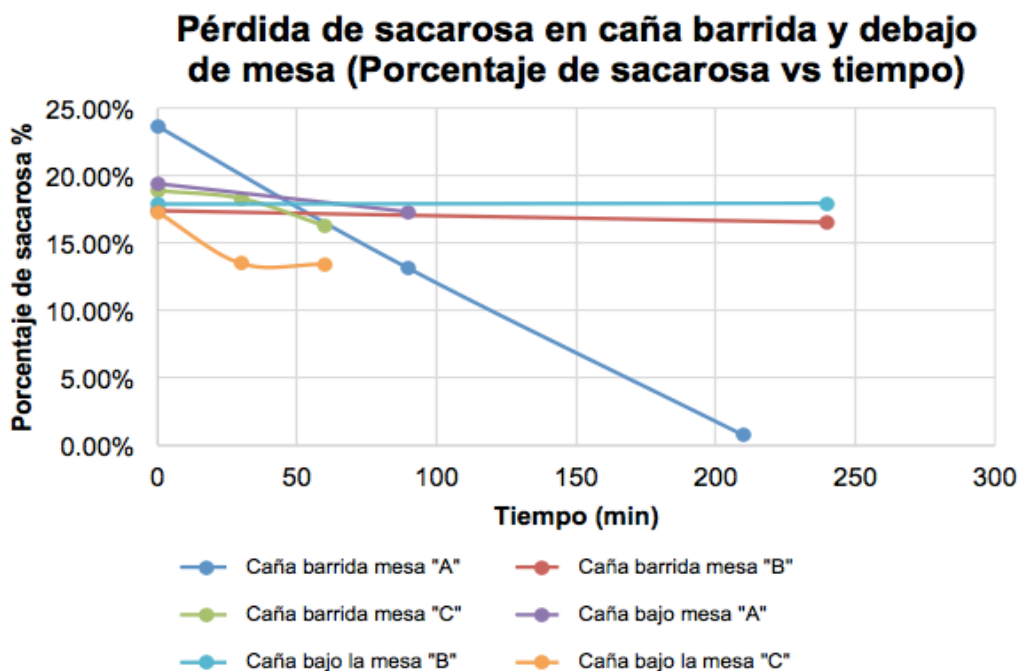


5. Caña barrida. Sacarosa extraída y coeficiente microbiológico (CM)

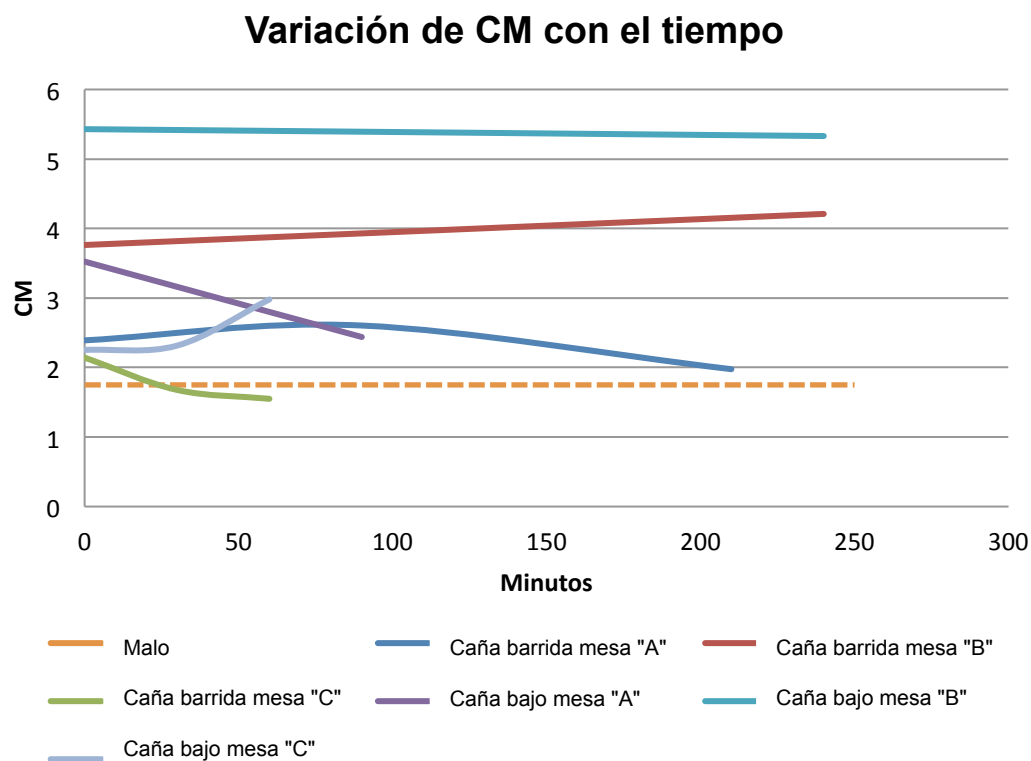
Cuadro No. 34: Análisis de cambios en el porcentaje de sacarosa y nivel microbiológico del jugo de caña conforme al tiempo.

Punto de extracción caña	Tiempo transcurrido (min)	Porcentaje de sacarosa	CM	Estado CM
Caña barrida mesa "A"	0	23.60%	2.39	MALO
	90	13.12%	2.60	CRÍTICO
	210	0.75%	1.98	MALO
Caña barrida mesa "B"	0	17.38%	3.76	CRÍTICO
	240	16.55%	4.21	CRÍTICO
Caña barrida mesa "C"	0	18.87%	2.14	MALO
	30	18.32%	1.68	ALERTA
	60	16.28%	1.55	ALERTA
Caña bajo la mesa "A"	0	19.44%	3.52	CRÍTICO
	90	17.32%	2.44	MALO
Caña bajo la mesa "B"	0	17.90%	5.43	CRÍTICO
	240	17.97%	5.33	CRÍTICO
Caña bajo la mesa "C"	0	17.27%	2.25	MALO
	30	13.50%	2.31	MALO
	60	13.45%	2.98	CRÍTICO

Gráfica No. 15: Disminución de porcentaje de sacarosa en análisis de jugo de caña.



Gráfica No. 16: Variación del Coeficiente Microbiológico de la caña barrida y bajo mesa conforme al tiempo.

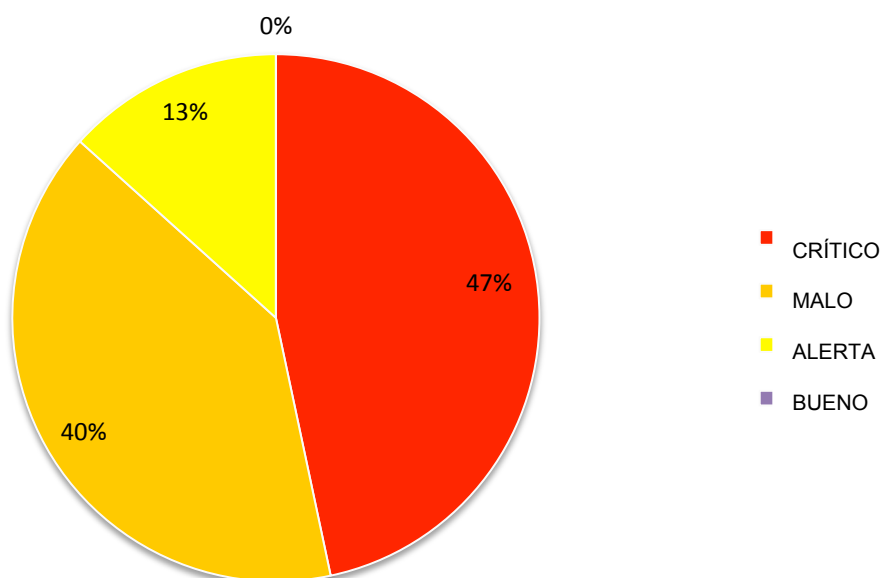


Cuadro No. 35: Cantidad y porcentajes de estados de caña barrida y bajo la mesa.

	Cant	%
CRÍTICO	7	54%
MALO	6	46%
ALERTA	2	15%
BUENO	0	0%

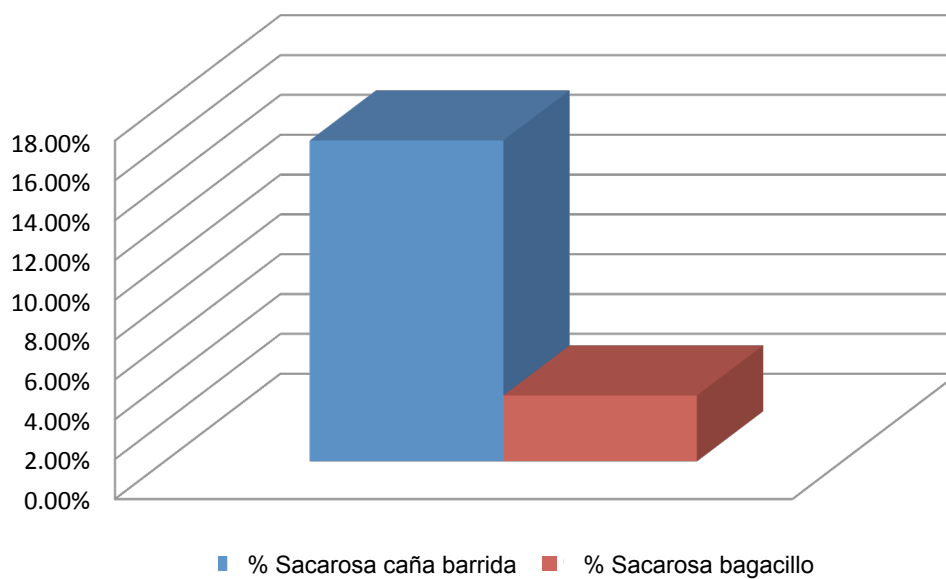
Gráfica No. 17: Porcentaje del estado microbiológico de la caña barrida y bajo la mesa.

Estados de CM bagacillo conductores



Gráfica No. 18: Diferencia de porcentaje de sacarosa caña barrida y bagacillo.

Diferencia de porcentaje de sacarosa caña barrida y bagacillo

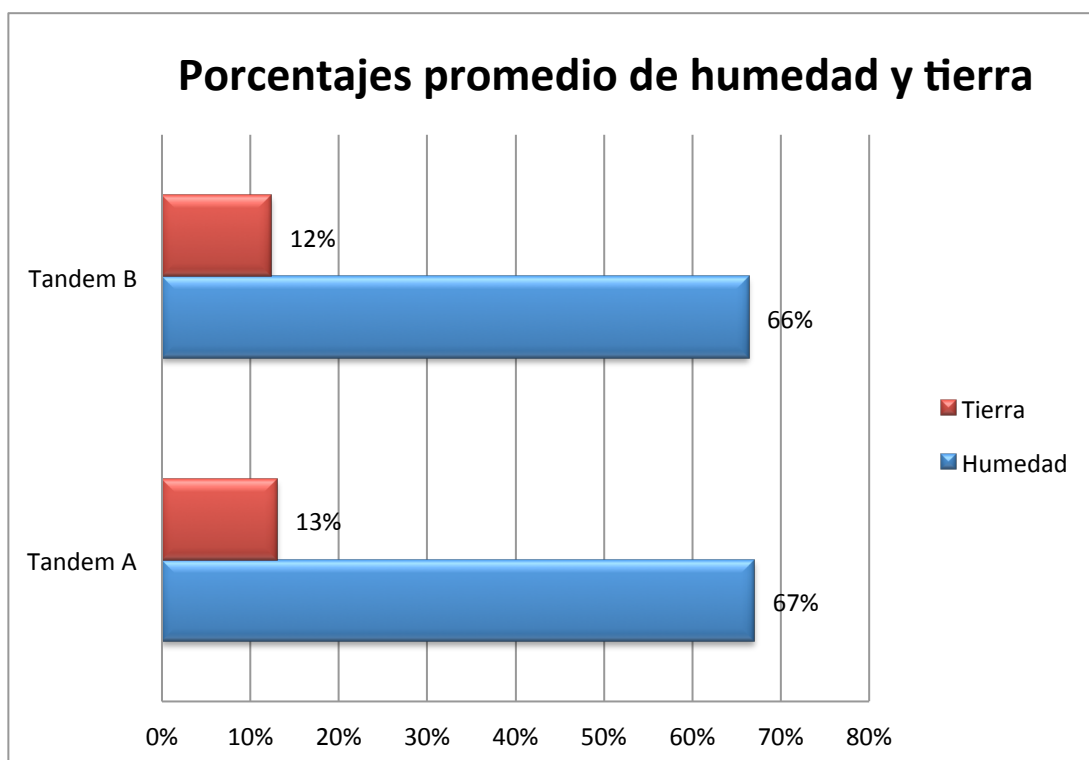


6. Humedad y tierra en caña barrida

Cuadro No. 36: Humedad, tierra y Coeficiente Microbiológico de caña barrida en los diferentes Tándems en época seca.

Caña barrida	Fecha	Humedad	Tierra	CM
Tándem A	28-abr	69%	14%	3.61
Tándem A	12-may	62%	18%	4.33
Tándem A	28-abr	70%	7%	5.76
Tándem B	28-abr	64%	21%	2.88
Tándem B	12-may	73%	10%	2.35
Tándem B	12-may	62%	6%	1.65
	Media	67%	13%	3.43
	Desviación	5%	6%	1.48

Gráfica No. 19: Promedio de porcentaje de humedad y tierra de la caña barrida evaluada en el ingenio.



7. Caña mesa

a. Análisis de Coeficiente Microbiológico de caña en mesas y su efecto ante el jugo primario. Se evaluó el impacto del CM de entrada de la caña en las mesas, y se comparó con el CM tomado al instante en el jugo primario para ver si existe

alguna relación. En anexos se encuentra la Tabla No. 22 donde están todas las muestras las cuales resumen las Tablas No. 15 y 16.

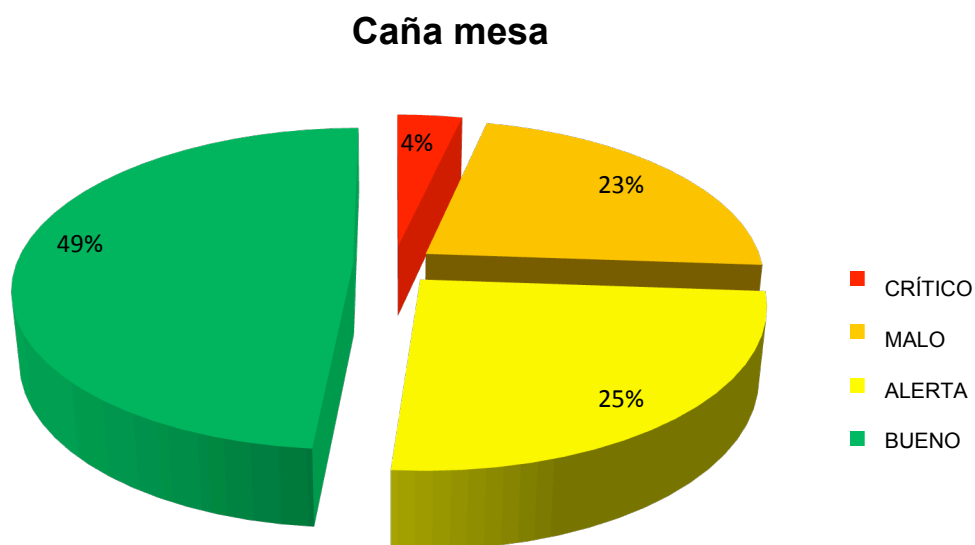
b. Caña de mesas:

Cuadro No. 37: Estados de caña bajo las mesas según su aceptación.

Estado de caña (CM)	Cant	%	% Aceptable	
CRÍTICO	4	4%	26%	No aceptable
MALO	25	23%		
ALERTA	28	25%	74%	Aceptable
BUENO	54	49%		

PROMEDIO CM 1.704775

Gráfica No. 20: Porcentajes de estado de CM de la mesa de los Tándemes.



b. Jugo primario

Cuadro No. 38: Estados de jugo primario inmediato según su aceptabilidad.

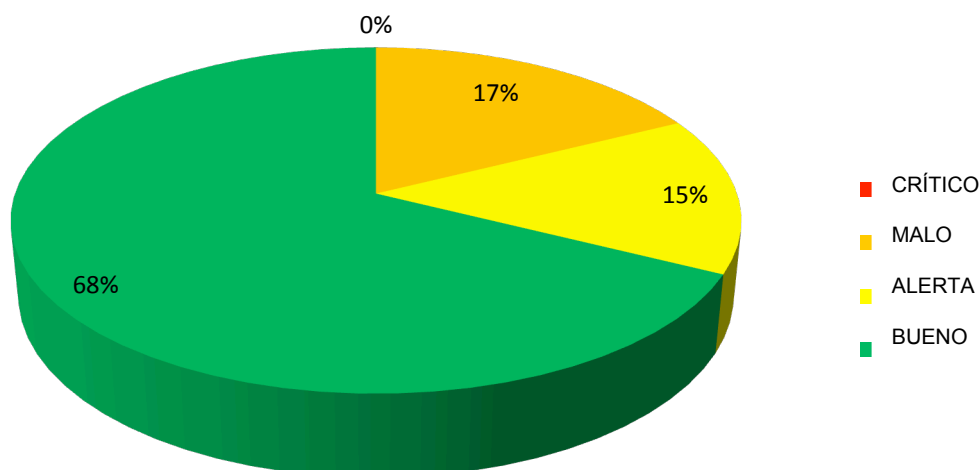
Estado de jugo (CM)	Cant	%	% Aceptable	
CRÍTICO	0	0%	18%	No Aceptable
MALO	18	18%		
ALERTA	15	15%	82%	Aceptable
BUENO	69	68%		

PROMEDIO CM

1.57

Gráfica No. 21: Porcentajes de estado de CM de jugo primario después de la reincorporación de la caña de mesa en los Tándemes.

Jugo primario



Las condiciones de la caña y bagacillo se determinaron a partir de su coeficiente microbiológico (CM) y la cantidad de sacarosa que poseen a partir del tiempo que transcurre. Se analizó la factibilidad de reincorporación al proceso de calderas.

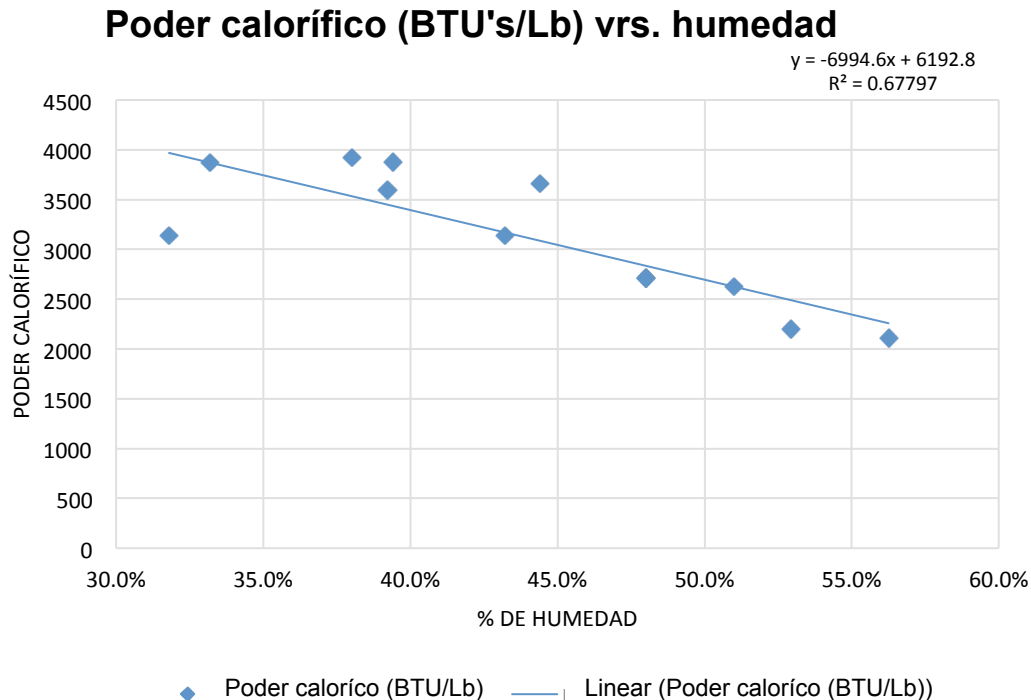
8. Análisis de reincorporación en proceso de calderas

a. **Poder calorífico.** Se utilizó un estándar de flujo de bagacillo de 1000 kg, es decir 1 tonelada para efectos prácticos del análisis. Se realizaron pruebas de poder calorífico a medida que sí fue disminuyendo la humedad de diversos bagacillos.

Cuadro No. 39: Variación de poder calorífico obtenido de diferentes muestras de bagacillo con respecto a la humedad.

Humedad	Poder Calorífico (BTU/L)	Poder calorífico (kWh/kg)	Energía producida por tonelada (kWh/t)
0.00%	4478	2.89	2,893.29
0.00%	4266	2.76	2,756.31
0.00%	4165	2.69	2,691.05
31.80%	3135	2.03	2,025.56
33.20%	3872	2.5	2,501.74
38%	3923	2.53	2,534.69
39.20%	3592	2.32	2,320.83
39.40%	3878	2.51	2,505.62
43.20%	3139	2.03	2,028.14
44.40%	3661	2.37	2,365.41
48.00%	2715	1.75	1,754.19
48%	2715	1.75	1,754.19
51.00%	2622	1.69	1,694.10
52.90%	2201	1.42	1,422.09
56.30%	2112	1.36	1,364.59

Gráfica No. 22: Disminución de poder calorífico a medida que aumenta la humedad.



b. Comparación de combustibles. Como el bagacillo o bagazo de caña entrante posee un porcentaje de humedad mayor al 60%, se asume que con el proceso de secado se llega a un 51%, el máximo permitido en calderas. De esta forma, se compara el poder calorífico con dicho porcentaje de humedad con el poder calorífico de otros combustibles que compra el ingenio, que son por lo general carbón o búnker. Los precios utilizados y conversiones son datos de referencia mundial, precios del mercado de commodities. El procedimiento se encuentra descrito en anexos.

Cuadro No. 40: Comparación de combustibles utilizados en calderas al producir 1,694.1 kWh (que es lo que producen 1000 kg de bagacillo).

	Carbón	Búnker	Bagacillo 51% humedad
Costo de combustible para producir 1694.1 kW * h	81.21 Q	Q1,115.61	Q 14.98 (costos logísticos)
Cantidad a Utilizar (kg)	224.1	252.12	1000

Fuente: Bunkerworld, 2014. InvestMine, 2014.

Los costos logísticos se obtuvieron de la siguiente manera, asumiendo las circunstancias de la metodología. No se tomó en cuenta el costo del secado, ya que ese

proceso se realiza habitualmente en el ingenio sin que se agregue el bagacillo, no es significativo agregarlo.

Cuadro No. 41: Obtención de costos logísticos ante procedimiento de incorporación de bagacillo debajo de los conductores hacia el área de calderas.

Costo de transporte de 1000 kg de bagacillo		
Cálculo de costo de transporte		Dimensionales
Capacidad de carga vehículo	500	kg
Número de viajes	2	Viajes
Distancia estipulada a calderas	1	km
Rendimiento pickup	30	km/galón
Precio gasolina	28	Q/galón
Costo de transporte por t	3.73	Q/t
Cálculo costo de operarios		Dimensionales
Salario mínimo diario septiembre 2014	74.97	Q/día
Porcentaje de tiempo invertido en movimiento de 1 t de bagacillo	5%	
Costo de operario diario en movimientos	3.7485	Q/t
Operarios necesarios (1 por tándem)	3	Operarios
Costo total operarios	11.2455	Q/t
Costo total de logística	14.98	Q/t

9. Costo de impacto microbiológico

a. **Pruebas teóricas para medir la pérdida de sacarosa.** Se realizaron las siguientes pruebas teóricas en base a los cálculos de la tabla y las gráficas anteriores.

Cuadro No. 42: Prueba teórica optimista que muestra la disminución de sacarosa con el incremento del CM.

Escenario	Tiempo (min) transcurrido	Porcentaje de sacarosa	kg de azúcar/ t bagacillo	Valor de azúcar / ton bagacillo	CM	Estado CM
Optimista % inicio, poco aumento CM	0	20.00%	20.0	Q57.42	1.50	BUENO
	60	12.10%	12.1	Q34.74	1.75	ALERTA
	120	11.40%	11.4	Q32.73	2.00	MALO
Optimista % inicio, medio aumento CM	0	20.00%	20.0	Q57.42	1.60	ALERTA
	60	11.40%	11.4	Q32.73	2.10	MALO
	120	8.90%	8.9	Q25.55	2.60	CRÍTICO
Optimista % inicio, alto aumento CM	0	20.00%	20.0	Q57.42	1.70	ALERTA
	60	8.90%	8.9	Q25.55	2.70	CRÍTICO
	120	6.40%	6.4	Q18.37	3.70	CRÍTICO

Cuadro No. 43: Prueba teórica medida que muestra la disminución de sacarosa con el incremento del CM.

Escenario	Tiempo (min) transcurrido	Porcentaje de Sacarosa	kg de azúcar/ t bagacillo	Dinero obtenido del bagazo	CM	Estado CM
Usual % Inicio, poco aumento CM	0	11.00%	11.0	Q31.58	2.80	CRÍTICO
	60	3.10%	3.1	Q8.90	3.05	CRÍTICO
	120	2.40%	2.4	Q6.89	3.30	CRÍTICO
Usual % Inicio, medio aumento CM	0	11.00%	11.0	Q31.58	2.90	CRÍTICO
	60	2.40%	2.4	Q6.89	3.40	CRÍTICO
	120	1.30%	1.3	Q3.73	3.90	CRÍTICO
Usual % Inicio, alto aumento CM	0	11.00%	11.0	Q31.58	3.00	CRÍTICO
	60	1.50%	1.5	Q4.31	4.00	CRÍTICO
	120	0.80%	0.8	Q2.30	5.00	CRÍTICO

Cuadro No. 44: Prueba teórica pesimista que muestra la disminución de sacarosa con el incremento del CM.

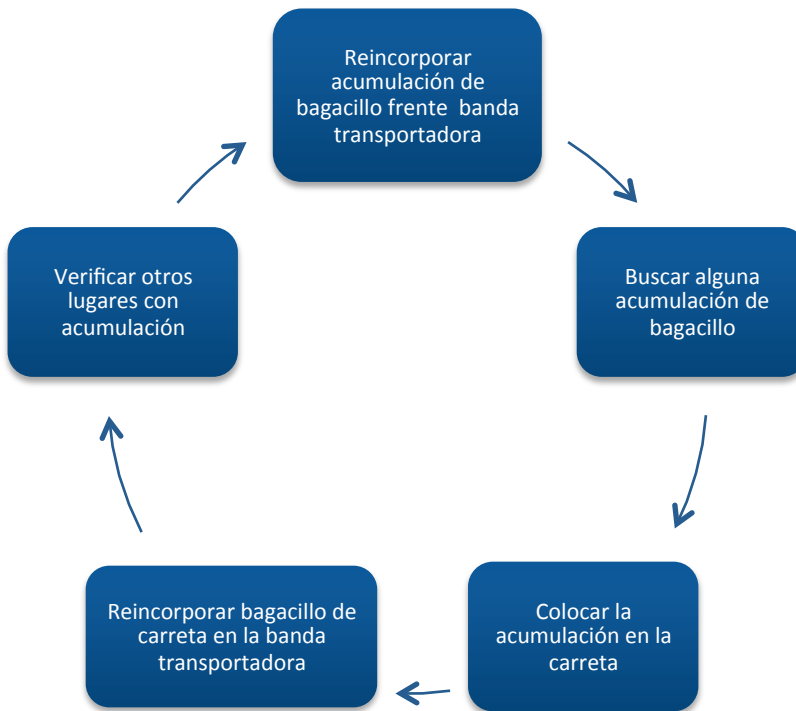
Escenario	Tiempo (min) transcurrido	Porcentaje de Sacarosa	kg de azúcar/ t bagacillo	Dinero obtenido del bagazo	CM	Estado CM
Pesimista % Inicio, poco aumento CM	0	6.00%	6.0	Q17.23	4.50	CRÍTICO
	60	3.50%	3.5	Q10.05	4.75	CRÍTICO
	120	1.80%	1.8	Q5.17	5.00	CRÍTICO
Pesimista % Inicio, medio aumento CM	0	6.00%	6.0	Q17.23	4.60	CRÍTICO
	60	2.10%	2.1	Q6.03	5.10	CRÍTICO
	120	0.75%	0.8	Q2.15	5.60	CRÍTICO
Pesimista % Inicio, alto aumento CM	0	6.00%	6.0	Q17.23	4.70	CRÍTICO
	60	0.80%	0.8	Q2.30	5.70	CRÍTICO
	120	0.15%	0.2	Q0.43	6.70	CRÍTICO

Cuadro No. 45: Disminución de porcentaje de sacarosa supuesto en jugo primario debido al incremento del CM para 10,000 kg de bagazo.

Escenario	Tiempo (min) transcurrido	Porcentaje de Sacarosa en jugo	kg de azúcar/ 10 t bagacillo	Dinero obtenido del bagazo	CM	Estado CM
Jugo primario	0	30.00%	3000	Q8,612.92	2.80	CRÍTICO
	60	22.10%	2210	Q6,344.85	3.05	CRÍTICO
	120	21.40%	2140	Q6,143.88	3.30	CRÍTICO

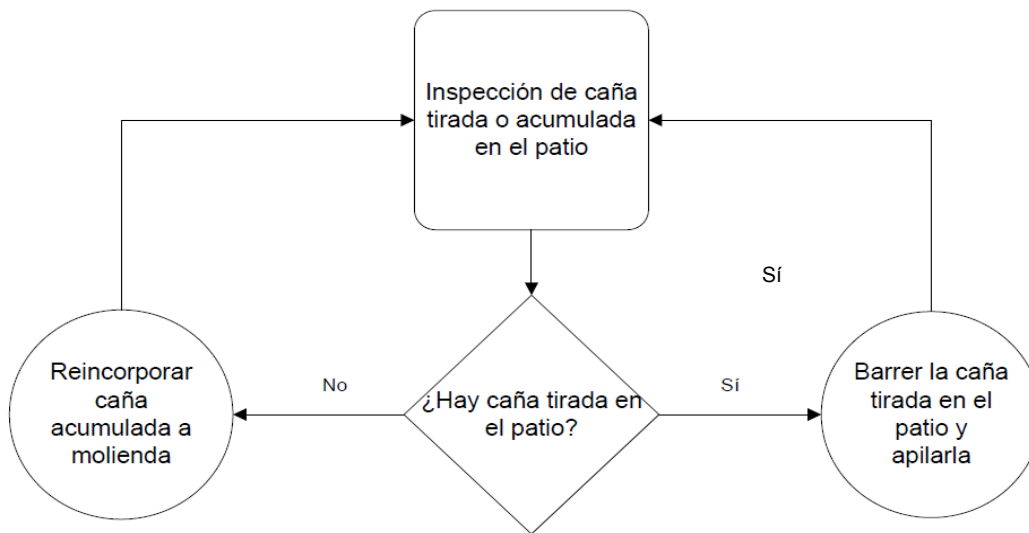
10. Análisis de metodología actual de reincorporación de bagacillo en Ingenio Magdalena.

Figura No. 26: Metodología actual del trabajo de operario debajo de los conductores.



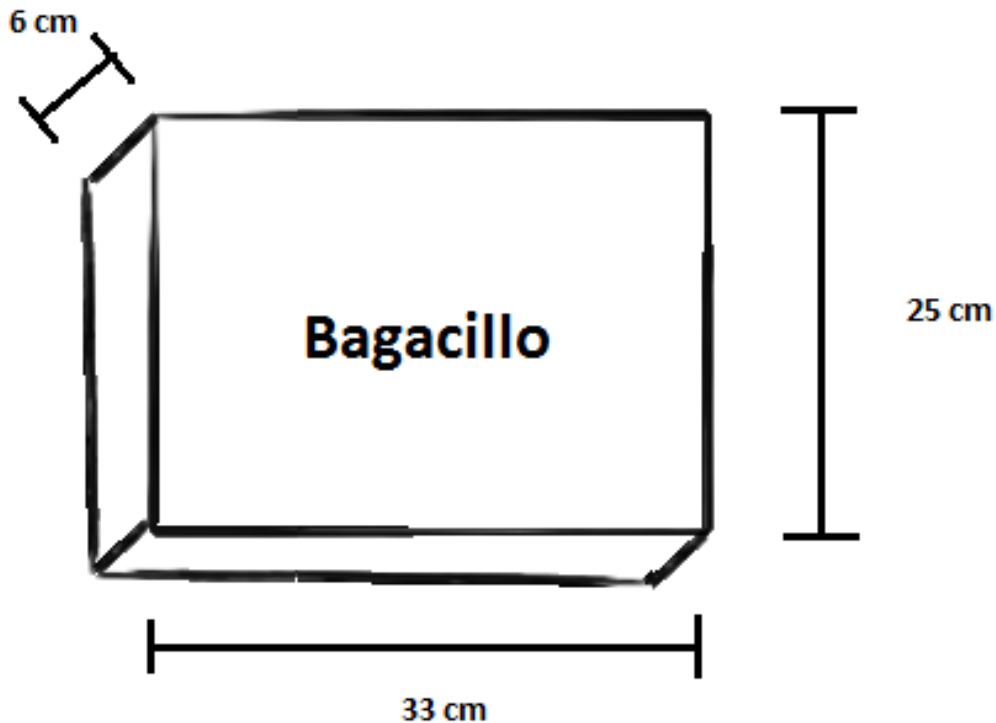
11. Análisis proceso actual de reincorporación de caña barrida.

Figura No. 27: Análisis de proceso actual de reincorporación de caña barrida.



12. **Estudio de secado de bagacillo.** Se hicieron varias pruebas para secado de bagazo, en los cuales se hicieron cuadros de bagazo con las siguientes medidas:

Figura No. 28: Dimensiones rectángulo de pruebas de secado bajo el sol.



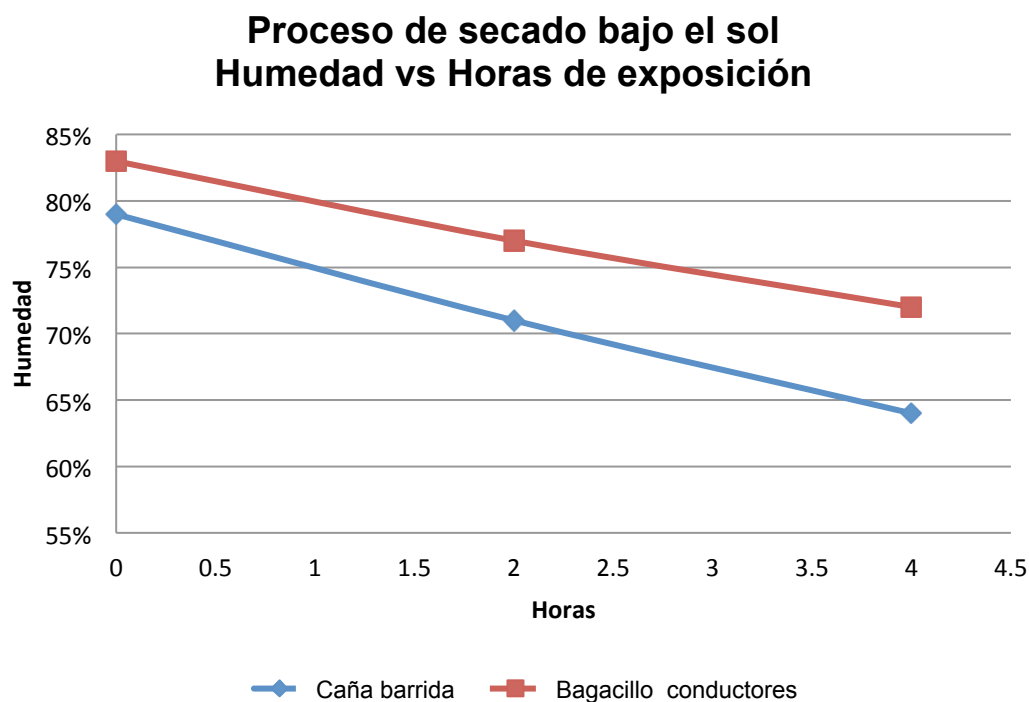
Volumen de cuadro de prueba = 4950 cm³

a. Resultados obtenidos del estudio:

Cuadro No. 46: Cambio de humedad conforme al tiempo, durante día soleado entre las 9:00 y 13:00 horas.

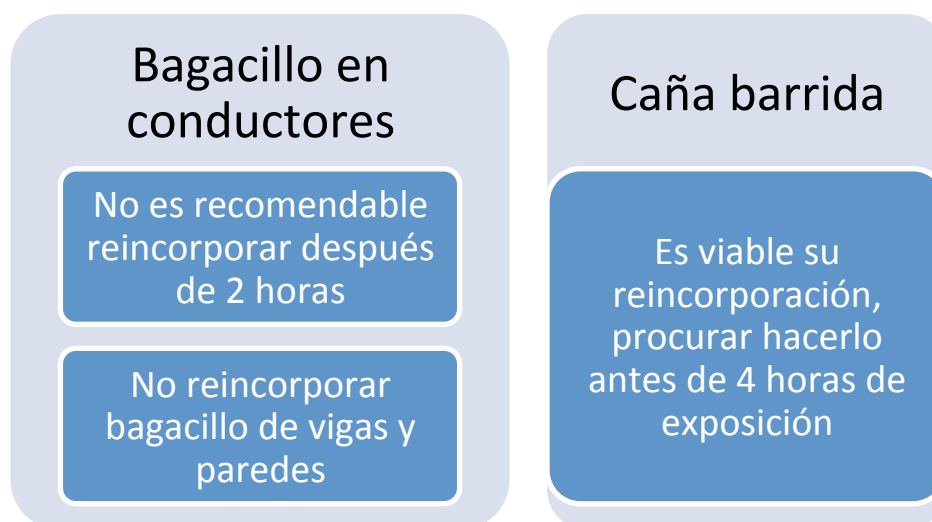
Procedencia de bagazo	Humedad por tiempo transcurrido (horas)		
	0	2	4
Caña barrida	79%	71%	64%
Bagacillo conductores	83%	77%	72%

Gráfica No. 23: Disminución de humedad de bagazo o bagacillo conforme al tiempo.



13. Metodología propuesta. A partir de todos los análisis descritos anteriormente, se realizó una propuesta de mejora para el Ingenio Magdalena a partir de cada tipo de caña, de modo que se puedan adecuar a algún modelo de la mejor forma.

Figura No. 29: Exposición de manejo de caña y bagacillo propuesto.



a. La caña barrida da ciertos problemas en el impacto microbiológico, pero todavía vale la pena extraer la sacarosa que posee, pero se debe de tener un cuidado especial con la misma. Es recomendable reincorporarla al proceso de molienda pero cuidando que tenga menos tierra y eliminar los estancamientos de agua que agilizan la actividad microbiológica. Además procurar de no dejar más de 4 horas una acumulación en espera a ser reincorporada.

b. El bagacillo debajo de los conductores es el más problemático. Después de 2 horas, no es recomendable reincorporarlo. Posee un CM muy alto, poca sacarosa y genera un alto impacto en los jugos. En vez de simplemente tirarlo, existe la factibilidad de ser llevado a calderas y dejarlo en un proceso de secado y que se mezcle con el otro bagazo, de esta forma se aprovechará como combustible. La cantidad de tierra será un factor que afecte su desempeño en calderas. El bagacillo que queda en las paredes no se debe de reincorporar a molienda en ningún momento, ya que su acumulación es lenta y tiene muy bajos porcentajes de sacarosa, aunque su CM no es tan alto

14. Metodología propuesta para manejo de bagacillo debajo de conductores.

Donde los recursos a utilizar, el ingenio ya los posee, por lo que solo es necesario asignar a cada conductor una **cubeta** y una **carreta** para sacar y movilizar el bagacillo en mal estado. El punto céntrico de acumulación se sugiere que sea a un costado del conductor B, en donde el operario llega con la carreta y deja el bagacillo. Además esta exposición al sol ayuda al secado superficial del mismo.

Actualmente, el ingenio posee un **automóvil tipo pickup** que es utilizado en laboratorio de caña que está estacionado esperando a llevar el bagazo que se desecha del laboratorio a los procesos del ingenio. Este pickup puede ser utilizado con gran facilidad para movilizar una vez al día todo el bagacillo extraído de los conductores hacia el área de calderas y ser vaciado y mezclado con el otro bagazo. Por lo tanto esta metodología no requiere inversión alguna.

Gracias a los estudios realizados, se recomienda que el operario siga el siguiente diagrama de flujo:

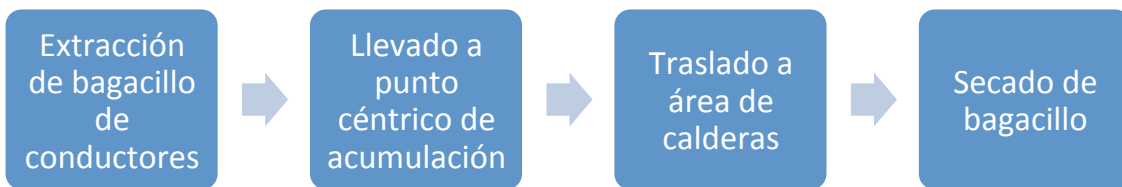
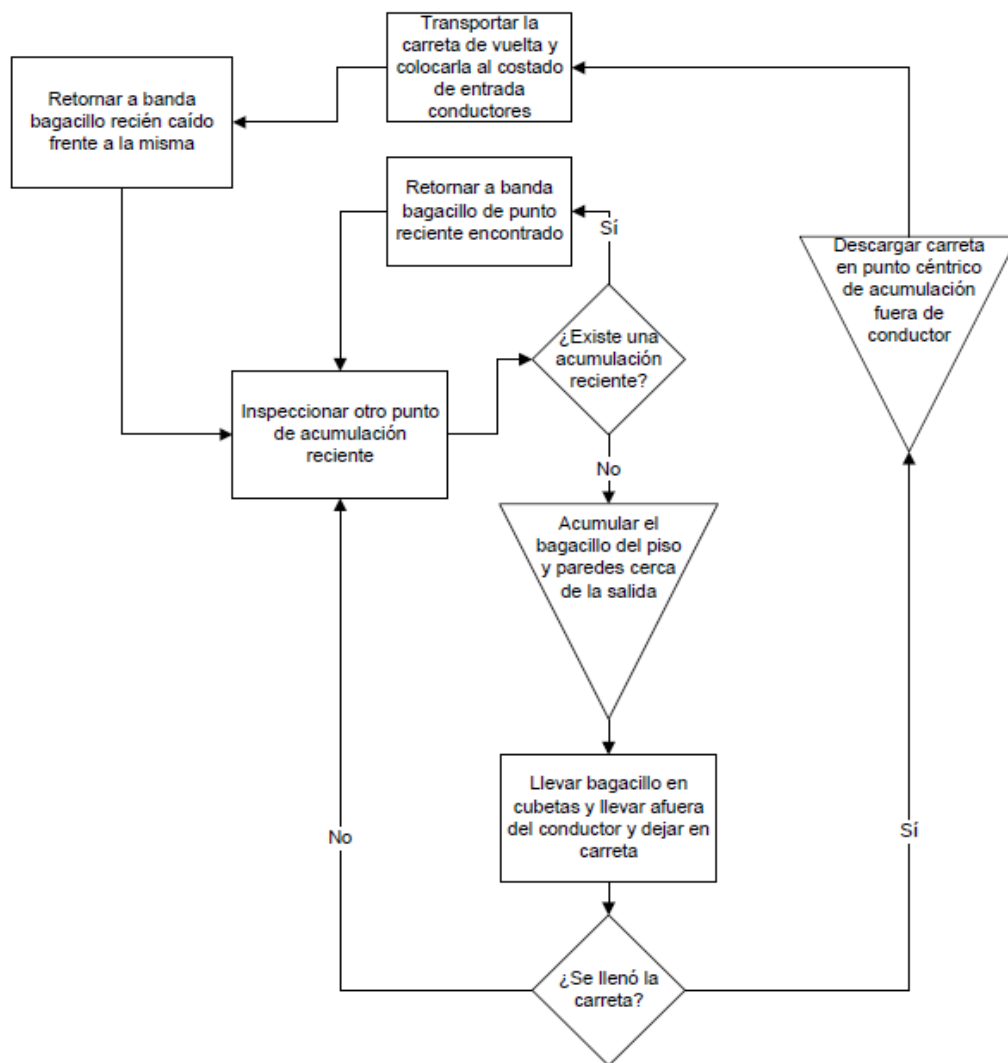


Figura No. 30: Diagrama de flujo de proceso de un colaborador encargado en la limpieza de conductores.



Secuencia de actividades para el proceso del método propuesto para el manejo de bagacillo debajo de los conductores.

La acumulación reciente se refiere a un punto donde es notable que está en constante acumulación y no lleva mucho tiempo (calculando que no lleve más de 2

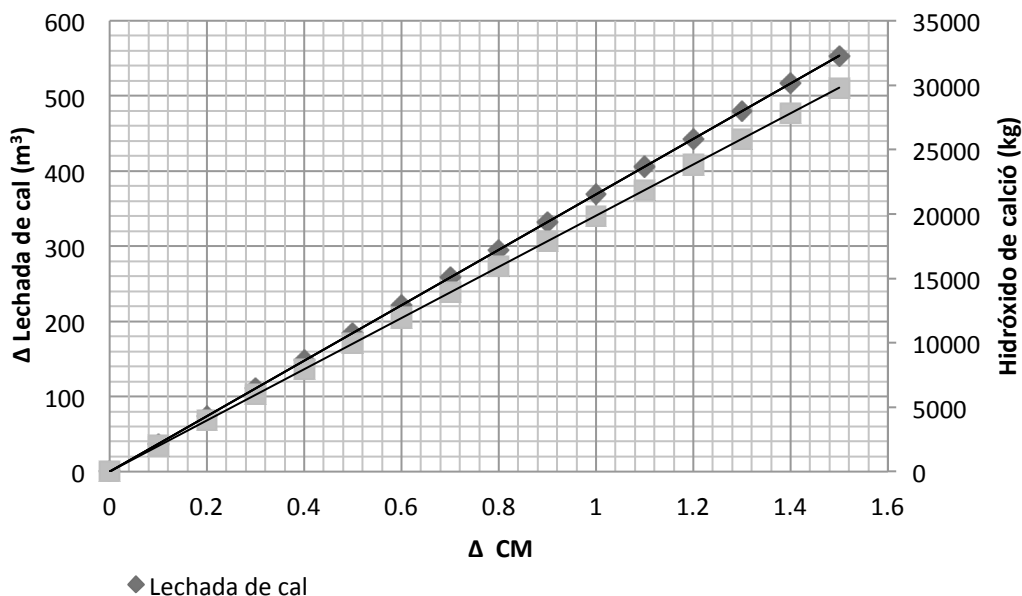
hroas). En la Figura 46 en anexos se puede apreciar un punto de acumulación reciente evidente.

B. Módulo 2

A continuación, se presentan los resultados alcanzados, estos son ecuaciones desarrollados para describir el comportamiento del aumento en el uso de lechada de cal, el aumento de lodos, la disminución de la velocidad de sedimentación, el incremento de incrustaciones y el incremento de costos de operación del proceso de alcalinización de jugo sulfitado; por el incremento del coeficiente microbiológico (CM). Presentando estas ecuaciones como una herramienta rápida para la determinación del efecto del incremento del CM en el proceso de clarificación y evaporación, para su utilización en el Laboratorio de Fábrica del Ingenio Magdalena.

Gráfica No. 24: Estimación del incremento de la lechada de calcio y masa de hidróxido de calcio debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado crudo, a escala laboratorio.

Δ Lechada de cal y Δ hidróxido de calcio vs. Δ CM / Zafra (Crudo)



*Flujo de jugo sulfitado crudo: $0.2281 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escalamiento para nivel industrial

Lechada de cal (m^3) = $(369 \times CM) - 1 \times 10^{-13}$

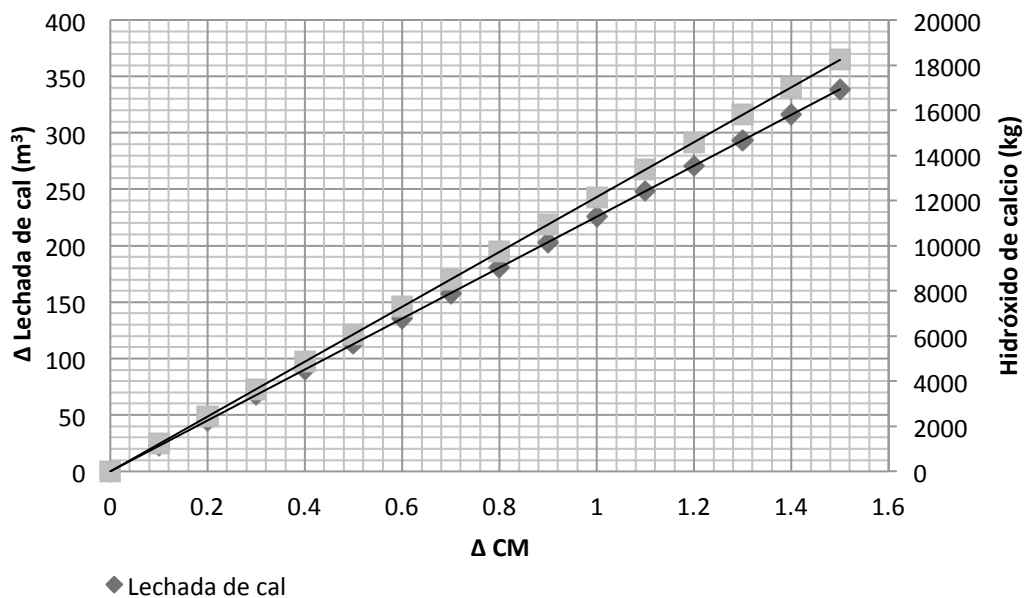
Hidróxido de calcio (kg) = $(19871 \times CM) - 9 \times 10^{-12}$

$R^2 = 0.86439$ proveniente de los datos experimentales

$E = \pm 4.143\%$ (0.04143) error presente en la ecuación y la gráfica

Gráfica No. 25: Estimación del incremento de lechada debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado cristal, a escala laboratorio.

Δ Lechada de cal y Δ hidróxido de calcio vs. Δ CM / Zafra (Cristal)



*Flujo de jugo sulfitado cristal: $0.2208 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escalado a nivel industrial

Lechada de cal (m^3) = $(225.75 \times CM)$

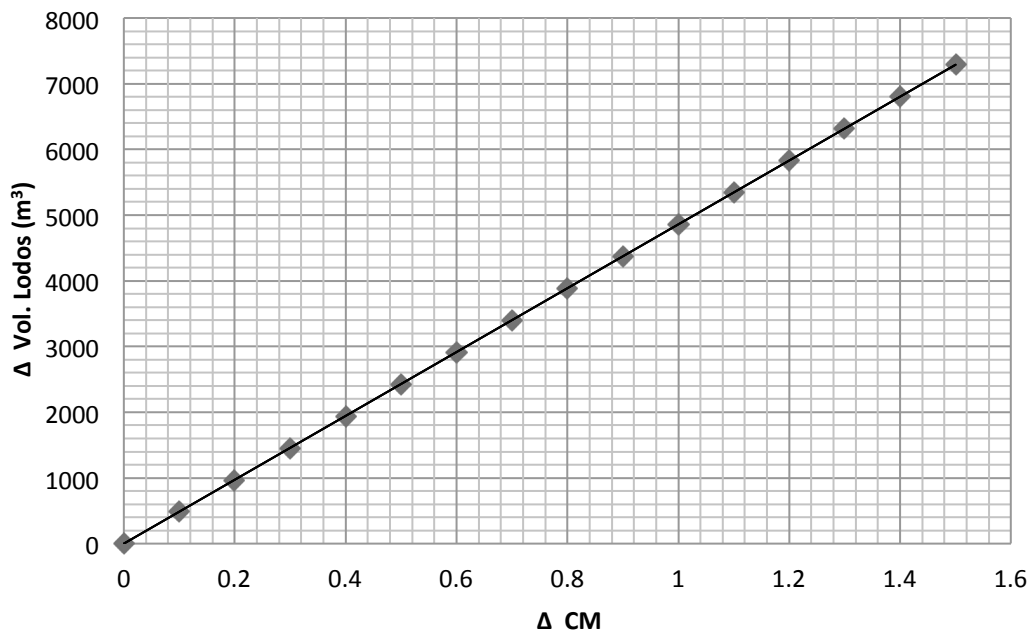
Hidróxido de calcio (kg) = $(12157 \times CM) - 4 \times 10^{-12}$

$R^2 = 0.56172$ proveniente de los datos experimentales

$E = \pm 12.52\%$ (0.1252) error presente en la ecuación y la gráfica

Gráfica No. 26: Estimación del incremento de volumen de lodos debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado crudo, a escala laboratorio.

Δ Volumen de Lodos vs. Δ CM Zafra (Crudo)



*Flujo de jugo sulfitado crudo: $0.2281 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escalado a nivel industrial

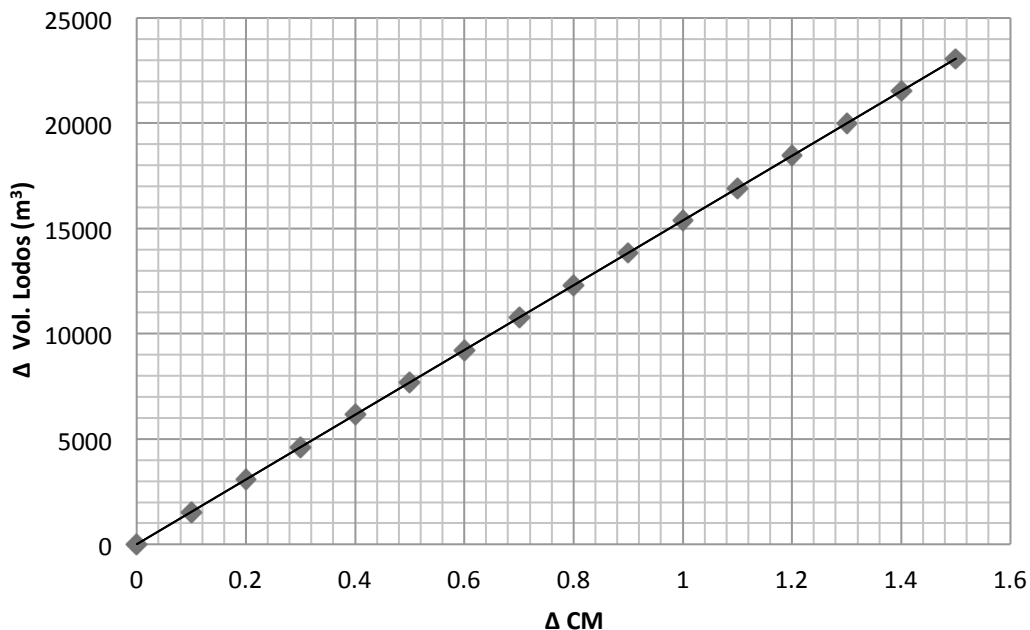
Volumen de lodos (m^3) = $(4859 \times CM) - 2 \times 10^{-12}$

$R^2 = 0.9653$ proveniente de los datos experimentales

$E = \pm 0.87\%$ (0.0087) error presente en la ecuación y la gráfica

Gráfica No. 27: Estimación del incremento de volumen de lodos debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el juego sulfitado cristal.

Δ Volumen de lodos vs. Δ CM Zafra (Cristal)



*Flujo de jugo sulfitado cristal: $0.2208 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escalado a nivel industrial

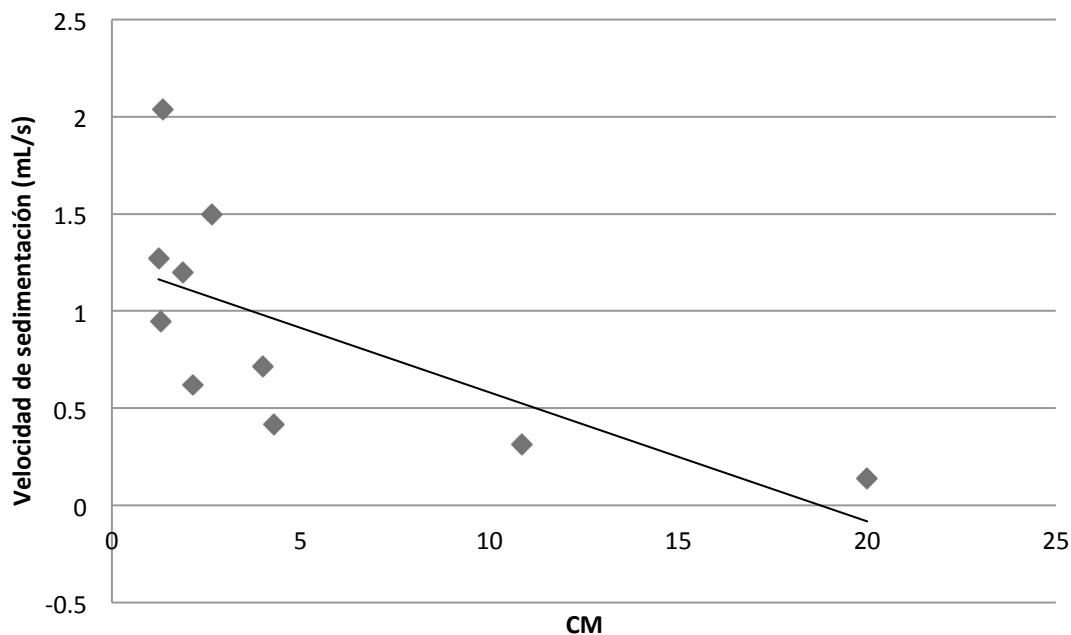
Volumen de lodos (m^3) = $(15379 \times CM)$

$R^2 = 0.97437$ proveniente de los datos experimentales

$E = \pm 0.64\%$ (0.0064) error presente en la ecuación y la gráfica

Gráfica No. 28: Velocidad de sedimentación debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado crudo, a escala laboratorio.

Velocidad de sedimentación vs. CM (Crudo)



*Flujo de jugo sulfitado crudo: $0.2281 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escala laboratorio

Velocidad de sedimentación (mL/s) = - 0.0664 (CM) + 1.2449

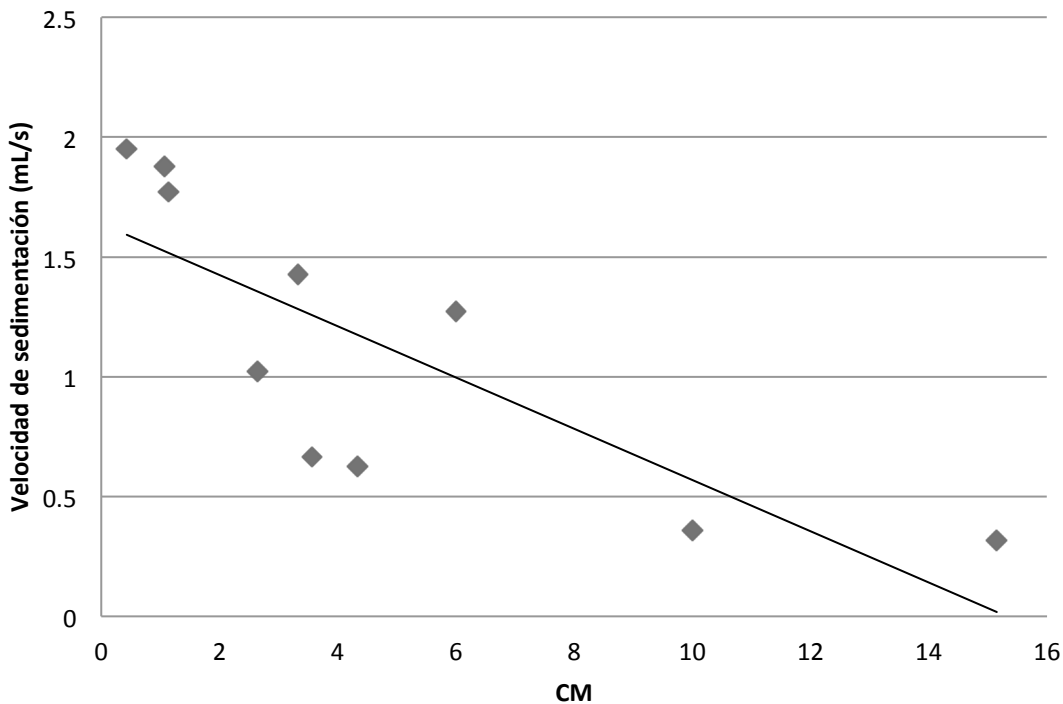
$R^2 = 0.45542$

Regresión lineal no apta para describir comportamiento

E = $\pm 16.25\%$ (0.1625) error presente en la ecuación y la gráfica

Gráfica No. 29: Velocidad de sedimentación debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo sulfitado cristal, a escala laboratorio.

Velocidad de sedimentación vs. CM (Cristal)



*Flujo de jugo sulfitado cristal: $0.2208 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escala laboratorio

Velocidad de sedimentación (mL/s) = - 0.107 (CM) + 1.6385

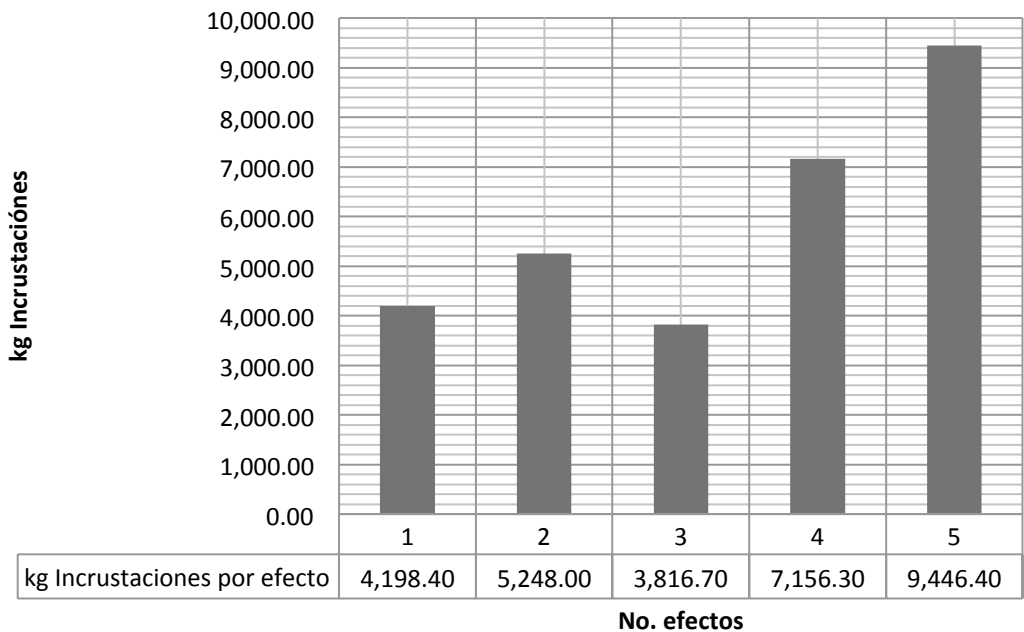
$R^2 = 0.62395$

Regresión lineal no apta para describir comportamiento

E = $\pm 23.50\%$ (0.2350) error presente en la ecuación y la gráfica

Gráfica No. 30: Estimado de incrustaciones totales (kg) en cada uno de los efectos en el proceso de evaporación para el jugo crudo en la Zafra 2014, a escala laboratorio.

kg Incrustaciones totales vs. No. efectos Zafra 2014 (Crudo)



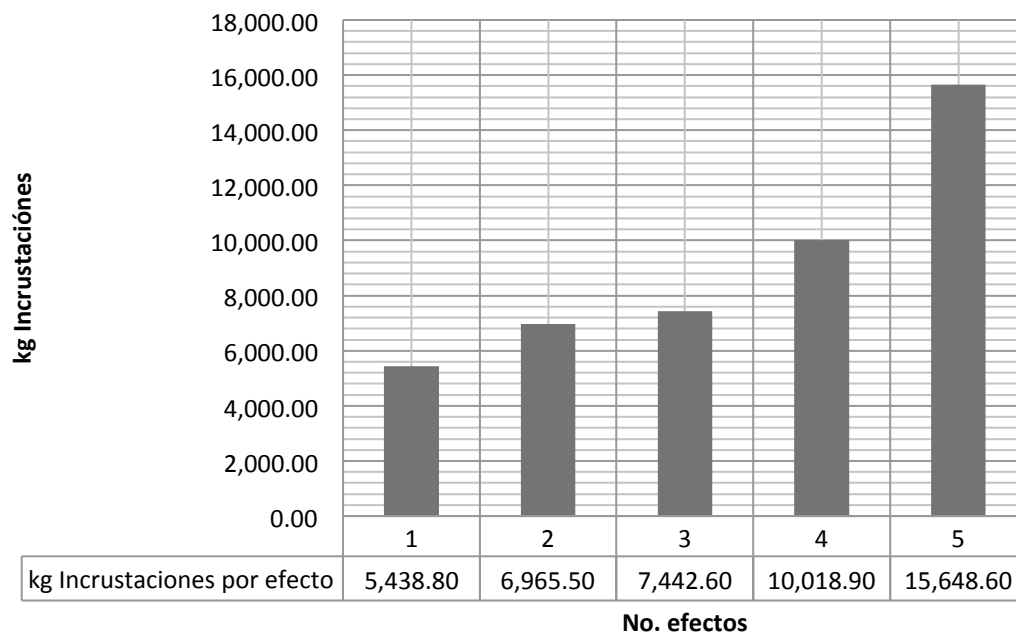
*Flujo de jugo sulfitado crudo: $0.2281 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***Escalado a nivel industrial

Gráfica No. 31: Estimado de incrustaciones totales (kg) en cada uno de los efectos del proceso de evaporación para el jugo cristal en la zafra 2014, a escala laboratorio.

kg Incrustaciones totales vs. No. efectos Zafra 2014 (Cristal)



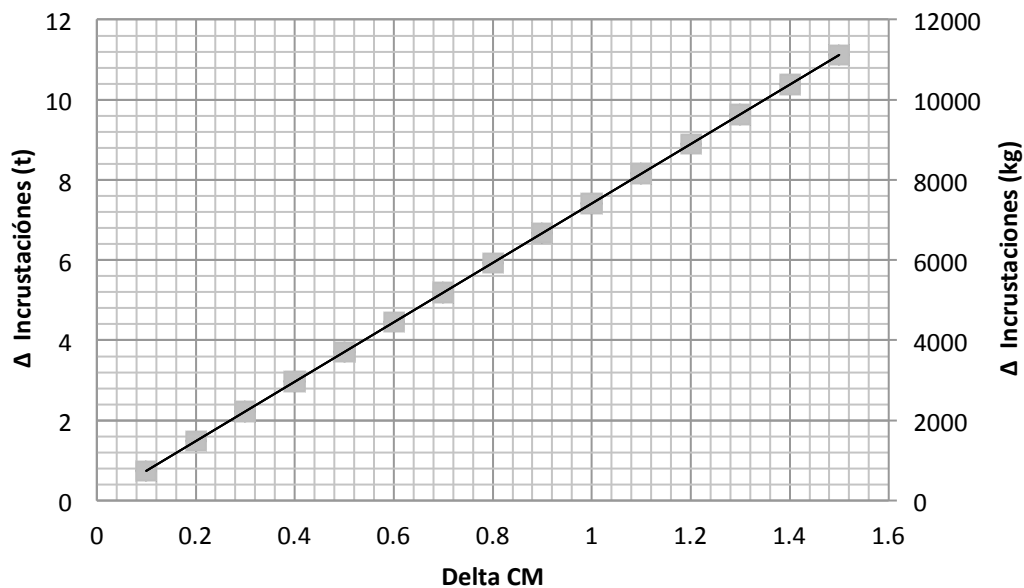
*Flujo de jugo sulfitado cristal: $0.2208 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***Escalado a nivel industrial

Gráfica No. 32: Estimación del incremento de las incrustaciones totales en el proceso de evaporación debido al incremento del CM (Coeficiente Microbiológico) para el jugo crudo, a escala laboratorio.

Δ Incrustaciones totales vs. Δ CM Zafra (Crudo)



*Flujo de jugo sulfitado crudo: $0.2281 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escalado a nivel industrial

Incrustaciones (t) = $(7.412 \times \text{CM}) - 1 \times 10^{-14}$

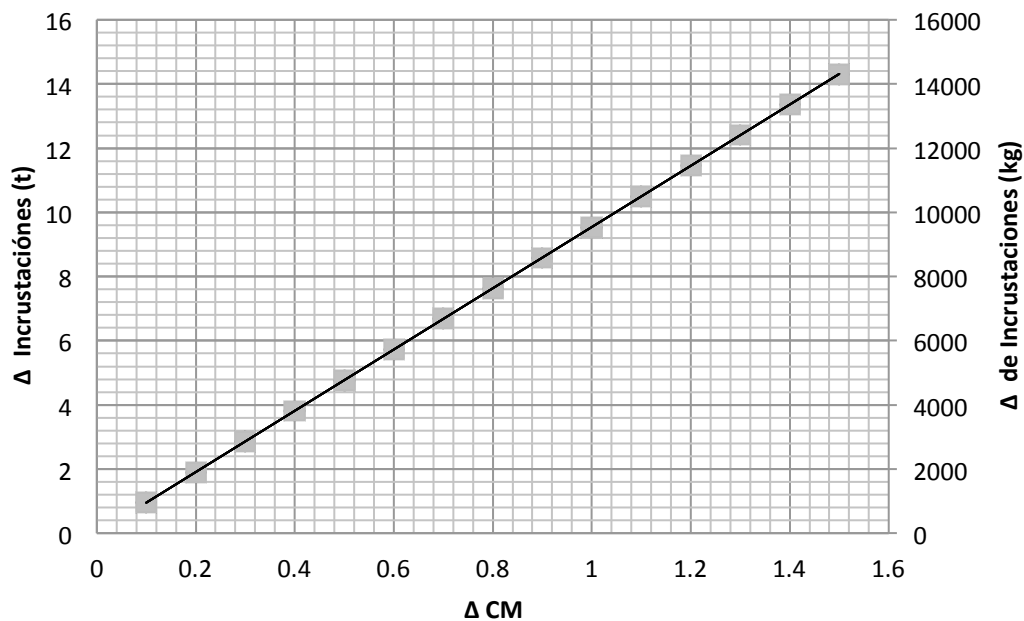
Incrustaciones (kg) = $(7412 \times \text{CM}) - 1 \times 10^{-11}$

$R^2 = 0.99054$ proveniente de los datos experimentales

$E = \pm 0.23\%$ (0.0023)

Gráfica No. 33: Estimación del incremento de las incrustaciones totales en el proceso de evaporación debido al incremento del CM para el jugo cristal.

Δ Incrustaciones totales vs. Δ CM Zafra (Cristal)



*Flujo de jugo sulfitado cristal: $0.2208 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escalado a nivel industrial

Incrustaciones (t) = $(9.5418 \times CM)$

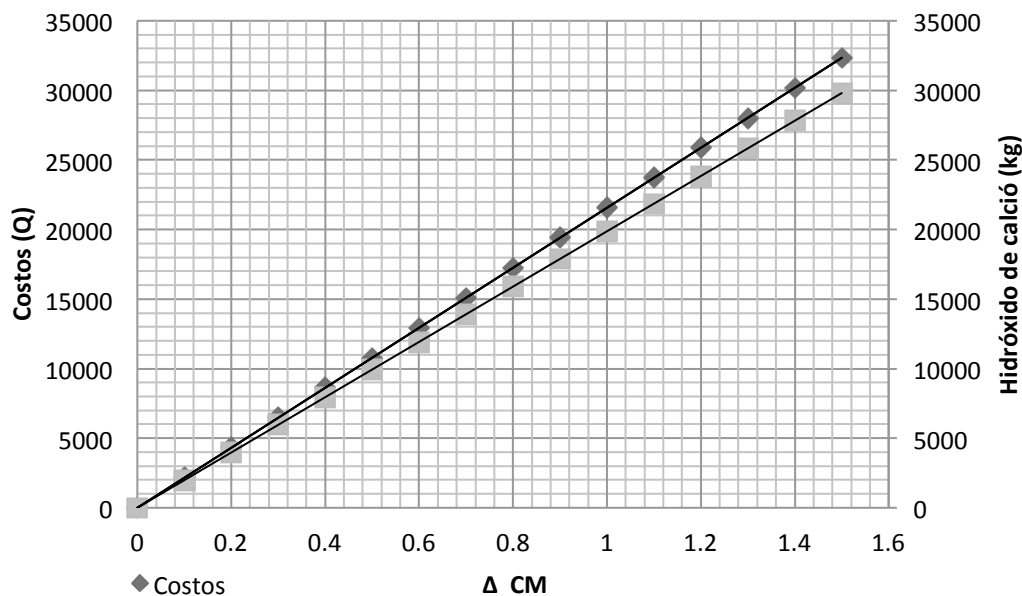
Incrustaciones (kg) = $(9541.8 \times CM) - 6 \times 10^{-12}$

$R^2 = 0.73347$ proveniente de los datos experimentales

$E = \pm 7.17\%$ (0.0717)

Gráfica No. 34: Estimación del incremento de los costos del proceso de alcalización debido al incremento del CM para el jugo crudo durante la Zafra 2014, a escala laboratorio.

Incremento costos del proceso de alcalización vs. Δ CM Zafra (Crudo)



*Flujo de jugo sulfitado crudo: $0.2281 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escalado a nivel industrial

Incremento costos proceso de alcalización (Q) = $(21560 \times \text{CM}) - 3 \times 10^{-11}$

Hidróxido de calcio (kg) = $(19871 \times \text{CM}) - 9 \times 10^{-12}$

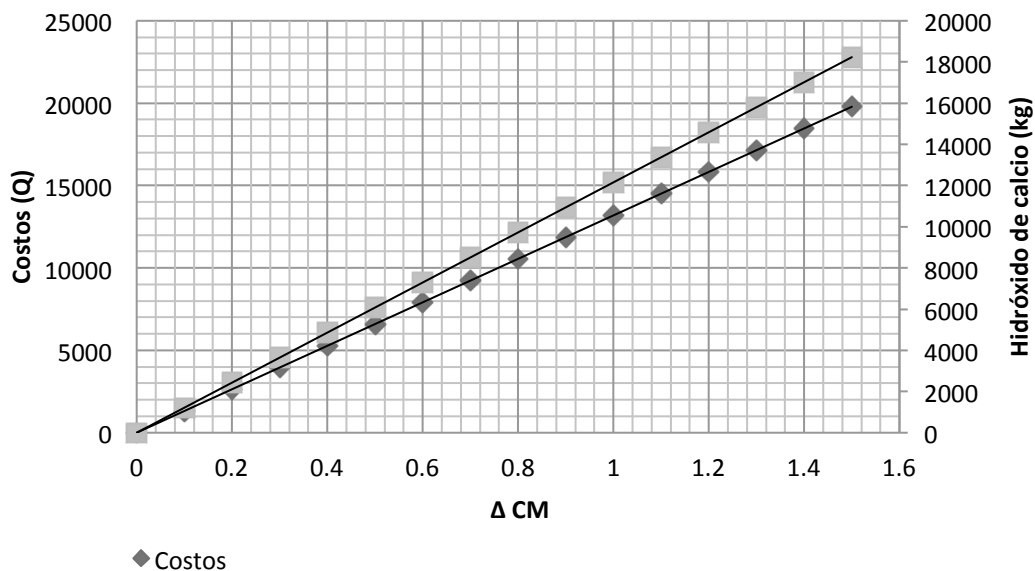
$R^2 = 0.86439$ proveniente de los datos experimentales

$E = \pm 4.143\%$ (0.04143)

*Gráfica a 6° Baume

Gráfica No. 35: Estimación del incremento de los costos del proceso de alcalinización debido al incremento del CM para el jugo cristal de la Zafra 2014, a escala laboratorio.

Incremento costos del proceso de alcalinización vs. Δ CM Zafra (Cristal)



*Flujo de jugo sulfitado cristal: $0.2208 \frac{m^3}{s}$

**Capacidad máxima de operación

***1 CM = 0 para Δ CM

****Escalado a nivel industrial

*****Costo t colocado en Escuntla= Q1,085.00

Incremento costos proceso de alcalinización (Q) = $(13190 \times \text{CM}) - 9 \times 10^{-12}$

Hidróxido de calcio = $(12157 \times \text{CM}) - 4 \times 10^{-12}$

$R^2 = 0.56172$ proveniente de los datos experimentales

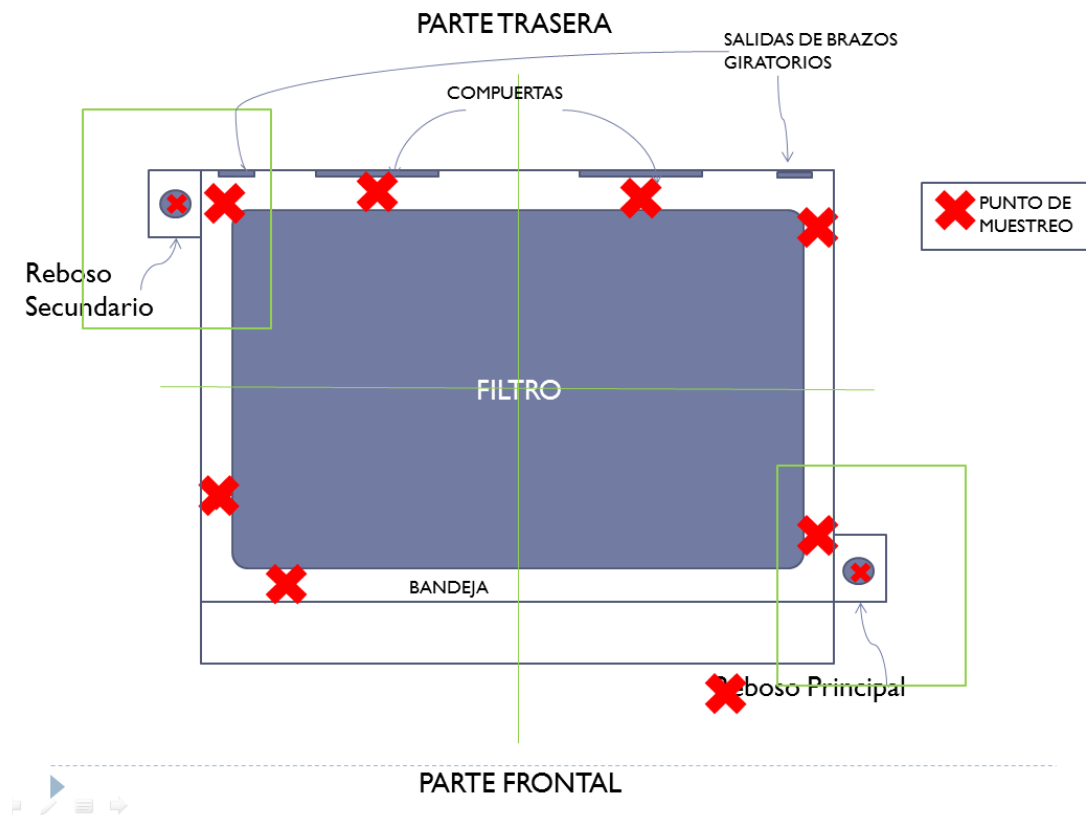
$E = \pm 12.52\%$ (0.1252)

* Gráfica para 6° Baume

C. Módulo 3

1. Resultados generales del estudio

Figura No. 31: Puntos de muestreo general para la medición de actividad microbiológica por medio de pruebas de resazurina, UFC y fermentación espontánea, en base a diseño y accesibilidad de cada filtro.



- Los puntos de muestreo varían de acuerdo al diseño del filtro.
- En promedio el filtro tiene 5 puntos (laterales delanteros y traseros y tanques de ingreso o coaguladores) y 1 reboso, pero en el caso del filtro 6 y 9 existen dos rebosaderos que funcionaron como puntos de muestras.
- La mayoría de los filtros cuentan con compuertas de acceso a la parte trasera de los filtros, sin embargo solo 2 cuentan con estos accesos habilitados, por lo tanto en los filtros en los cuales las puertas de acceso no se encontraban selladas se procedió a abrir eliminando los excedentes acumulados de lodos en el interior y tomando muestras de los lodos en la parte trasera de la cama del filtro.

Cuadro No. 47: Resultados generales del estudio de comportamiento microbiológico de los filtros de cachaza y su relación con la temperatura y diseño^{1,2}.

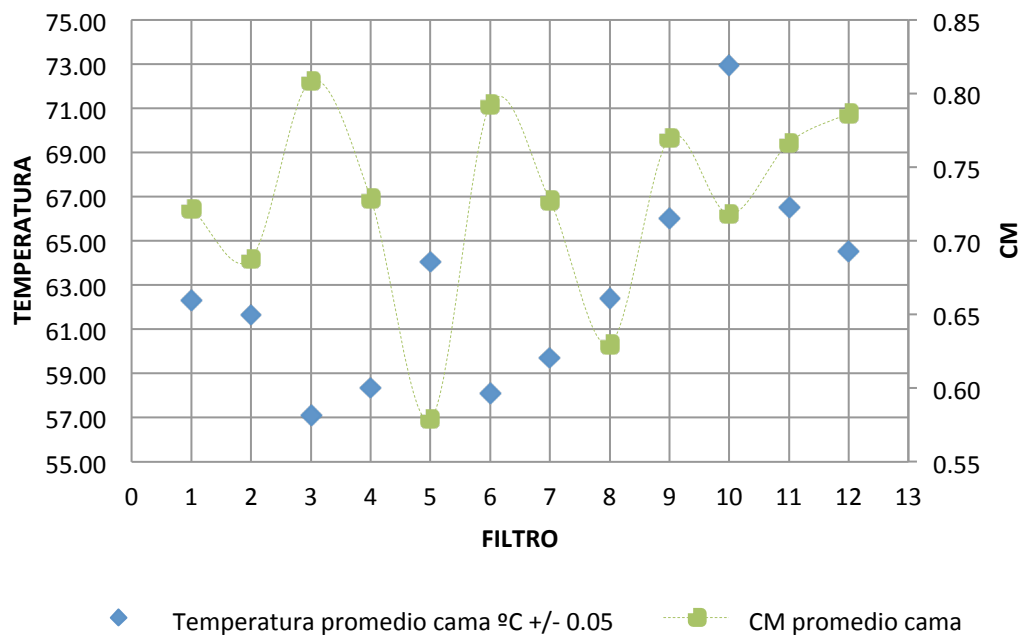
FILTRO	Temperatura Promedio Cama	CM promedio Cama	Distancia del Tanque Principal de Alimentación (tubería)	Relación CM/metro	Relación CM/Temperatura°C	Recuento Promedio log UFC/mL	Recuento Promedio log UFC/mL Jugos de Caña
	°C +/- 0.05	CM +/- 0.068	+/-0.05 m	+/-0.0536 m	+/-0.00148		
1	62.31	0.72	12.40	0.058	0.012		6/8
2	61.65	0.69	3.50	0.197			
3	57.11	0.81	22.40	0.036		4.021	
4	58.35	0.73	13.50	0.054			
5	64.06	0.58	51.50	0.011			
6	58.12	0.79	60.40	0.013		3.386	
7	59.72	0.73	61.50	0.012		3.935	
8	62.40	0.63	70.40	0.009		3.060	
9	66.03	0.77	63.50	0.012		3.621	
10	72.94	0.72	72.40	0.010			
11	66.52	0.77	73.50	0.010			
12	64.53	0.79	82.40	0.010		3.487	

¹Datos promedio obtenido de un total de 3240 muestras para CM, 48 muestras para UFC.

²La columna 6, dato proveído por el laboratorio de fábrica de IMSA para comparación de UFM/mL entre jugos de caña del área de molinos y los lodos de cachaza. Los jugos de caña con %Pol entre 2 y 15 presentan índices de logUFC/ml de entre 6 y 8, cuando se compara con los índices de logUFC/mL de los lodos de cachaza que tienen %Pol entre 0.5 y 2 se puede observar que la actividad microbiológica es significativamente alta en su sustrato que no contiene tanta sacarosa como los jugos de caña y sin embargo manifiestan un 50% de la actividad de aquel que sí.

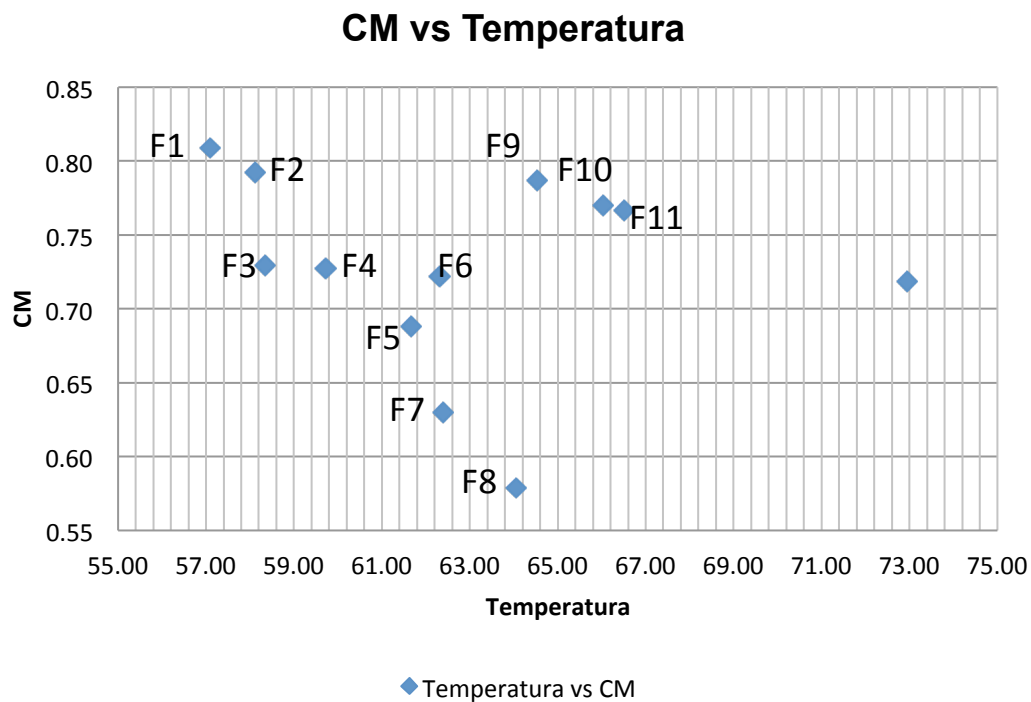
³ Se puede observar que aunque la distancia es un factor que puede contribuir a la variación de la temperatura, Sin embargo este no es tan determinante para el aumento o disminución del CM en cada filtro como sí lo es la cantidad de lodos que se suministran a cada filtro.

Gráfica No. 36: Comportamiento de la Actividad Microbiológica en relación a la variación de la temperatura según diseño del filtro No. 1.¹



¹En la gráfica se observa la variación que existe del índice CM respecto de la temperatura, a mayor temperatura, menor CM. La relación CM/°C expresada en la tabla No.1 se ve reflejada en este comportamiento. La temperatura que depende de los niveles de lodos en el filtro es entonces un factor de control determinante para la actividad microbiológica de cada filtro. Así como varía el volumen de lodos, así también la temperatura de cada filtro y estos volúmenes son específicos de cada filtro ya que los diseños de cada filtro son diferentes a los demás.

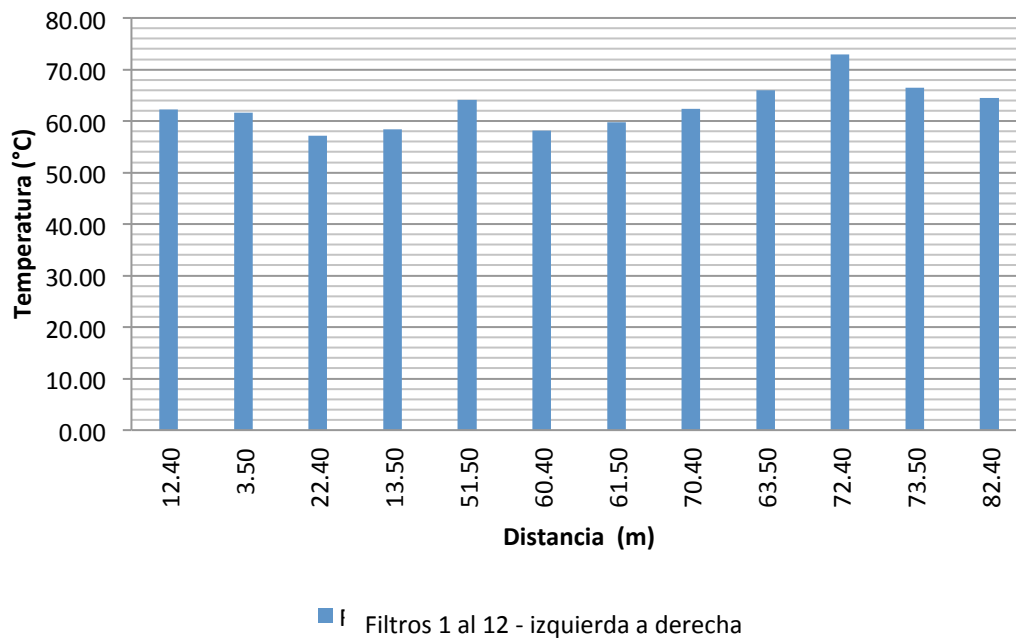
Gráfica No. 37: CM vs. Temperatura - Decaimiento de CM de la Actividad Microbiológica con el aumento de la temperatura.¹²



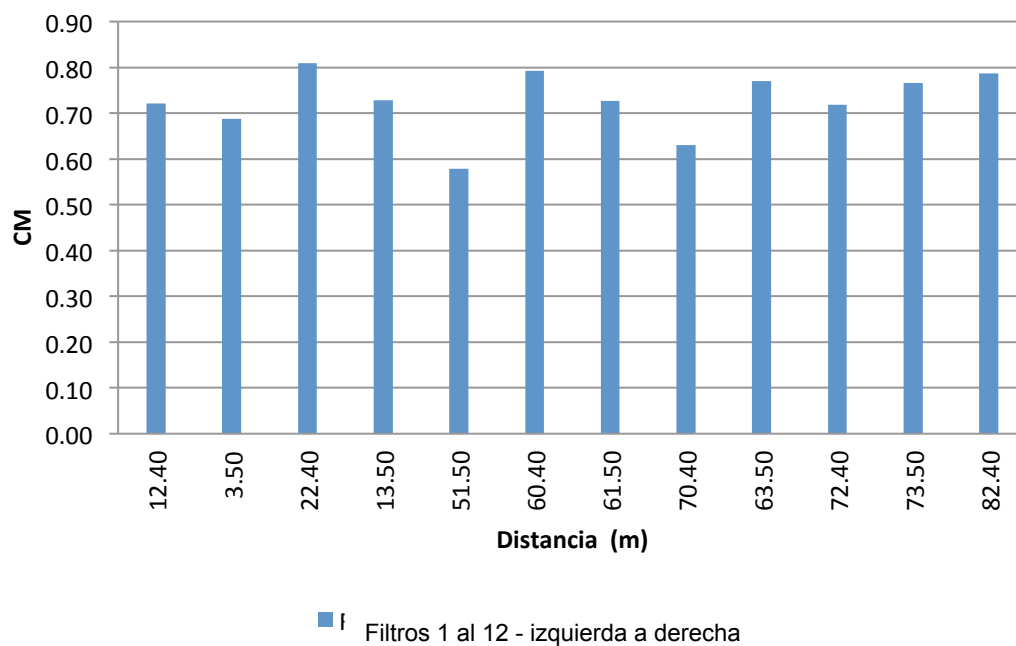
¹ La gráfica presenta la relación que existe entre la actividad microbiológica y la temperatura, sin embargo, es importante resaltar que existen algunos casos específicos que aunque varían, mantienen el mismo comportamiento, el caso de los filtros 3, 6, 9, 10, 11 y 12.

² Se puede observar que aquellos filtros que se encuentran en la misma línea de tubería, 3, 6 y 12 y los filtros 9 y 11. Se debe tomar en cuenta que los niveles que varían constantemente en todos los filtros, por su diseño, también contribuyen a la variación de la temperatura.

Gráfica No. 38: Variación de la temperatura respecto a la distancia del tanque principal de lodos, cachazón, respecto de cada filtro.



Gráfica No. 39: Variación del CM respecto de la distancia del tanque principal de lodos, cachazón, respecto de cada filtro.



^{1,2} Las distancias en metros son mediciones son aproximaciones, las dimensiones exactas son propiedad de IMSA.

Cuadro No. 48: Resultados promedio de prueba de fermentación espontánea - variación de pH

FILTRO	pHi +/- 0.0005	pHf	DpH	Prueba de fermentación	Punto de Muestra
1	8.045	8.262	-0.217	positiva	Tanque
	7.994	8.163	-0.169	positiva	Reboso
	7.813	8.001	-0.188	positiva	lateral izqui
	7.248	8.94	-1.692	positiva	lateral dere
2	8.046	8.303	-0.257	positiva	Tanque
	6.572	6.376	0.196	negativa	Reboso
	8.336	8.344	-0.008	positiva	lateral izqui
	8.348	8.348	8.312	negativa	lateral dere
3	7.996	8.194	-0.198	positiva	Reboso
	5.974	5.852	0.122	negativa	lateral izqui
	8.011	8.033	-0.022	positiva	atrás izqui
	8.157	8.056	0.101	negativa	atrás dere
4	6.34	5.908	0.432	negativa	Tanque
	7.175	8.224	-1.049	positiva	Reboso
	5.781	5.461	0.32	negativa	lateral izqui
	7.58	5.742	1.838	negativa	lateral dere
	7.837	7.938	-0.101	positiva	Reboso
	8.02	8.791	-0.771	positiva	Tanque
5	8.441	8.583	-0.142	positiva	tanque
	7.988	8.188	-0.2	positiva	Reboso
6	8.372	8.553	-0.181	positiva	Reboso
	8.045	5.833	2.212	negativa	lateral izqui
	7.785	8.999	-1.214	positiva	atrás izqui
	6.375	8.301	-1.926	positiva	atrás dere
7	6.707	7.073	-0.366	positiva	Tanque
	5.834	8.052	-2.218	positiva	Reboso
	6.492	5.877	0.615	negativa	Reboso
	8.179	8.064	0.115	negativa	atrás izqui
	8.003	6.831	1.172	negativa	atrás dere
	7.605	7.149	0.456	negativa	lateral izqui

Continuación - Cuadro No. 48: Resultados promedio de prueba de fermentación espontanea - variación de pH					
FILTRO	pHi +/- 0.0005	pHf	DpH	Prueba de fermentación	Punto de Muestra
8	8.15	8.397	-0.247	positiva	Tanque
	7.98	5.559	2.421	negativa	Reboso
	7.785	7.93	-0.145	positiva	lateral izqui
9	8.191	8.399	-0.208	positiva	Tanque
	5.522	5.155	0.367	negativa	Reboso
10	8.052	8.372	-0.32	positiva	Tanque
	5.999	6.128	-0.129	positiva	Reboso
11	8.153	8.451	-0.298	positiva	tanque
	6.402	5.851	0.551	negativa	Reboso
	7.15	7.728	-0.578	positiva	lateral izqui
	7.898	7.821	0.077	negativa	lateral dere
	7.892	7.835	0.057	negativa	atrás dere
	8.016	7.209	0.807	negativa	Reboso
12	8.701	8.471	0.23	negativa	Tanque
	8.052	8.256	-0.204	positiva	Reboso
	7.8	7.922	-0.122	positiva	lateral izqui
	7.84	6.004	1.836	negativa	atrás izqui

¹ Un resultado positivo únicamente indica que efectivamente existe actividad microbiológica, los resultados de dicha prueba únicamente establecen lo anterior, no se logró encontrar una correlación entre los valores de temperatura, volumen y C, sin embargo el objetivo de la prueba fue simple comprobar la existencia de microbiota respaldando la prueba principal de resazurina.

² Los valores son promedio de muestras medidas en triplicado, en total 144 muestras fueron tomadas

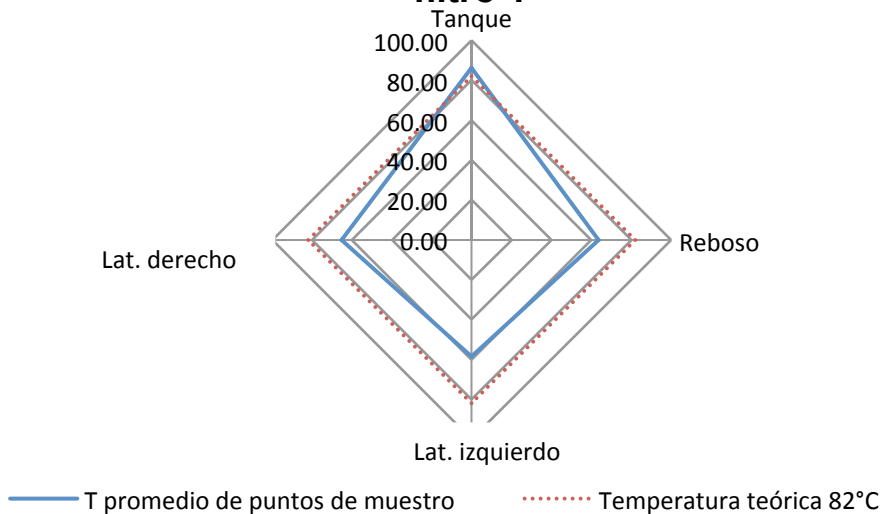
2. Resultados del estudio para cada filtro

Cuadro No. 49: Filtro No.1 - Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	lateral izquierdo frente	Lateral derecho frente
	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$			
Media	86.37	58.505	58.505	64.728
Error típico	1.326083271	1.84280214	1.84280214	2.0606
Mediana	87.625	55.6	55.6	68.6
Moda	90	69.4	69.4	45.6
Desviación estándar	5.930424676	8.24126172	8.24126172	8.982
Varianza de la muestra	35.16993684	67.9183947	67.9183947	80.676
Curtosis	1.946102588	0.43451771	0.43451771	0.2456
Coefficiente de asimetría	-1.704714347	0.88782642	0.88782642	-1.22
Rango	20.37	33.4	33.4	26.68
Mínimo	71.8	45.6	45.6	45.6
Máximo	92.17	79	79	72.28
Suma	1727.4	1170.1	1170.1	1229.8
Cuenta	20	20	20	19
Mayor (1)	92.17	79	79	72.28
Menor (1)	71.8	45.6	45.6	45.6

Gráfica No. 40: Filtro No.1 - Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

Temperatura promedio de puntos de muestra filtro 1



Gráfica No. 41: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.

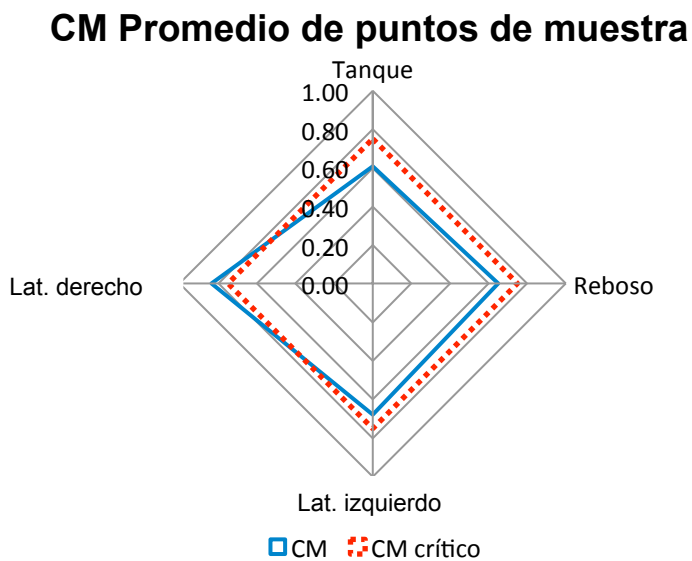
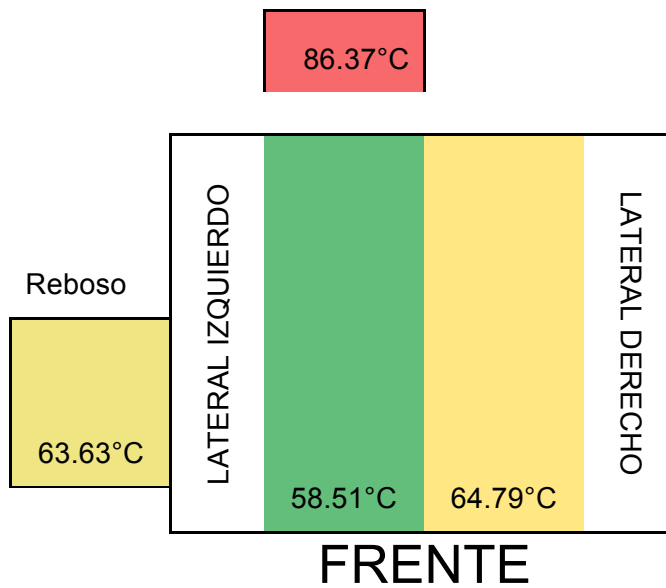


Figura No. 32: Filtro No. 1 - Mapa de calor



Cuadro No. 50: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.

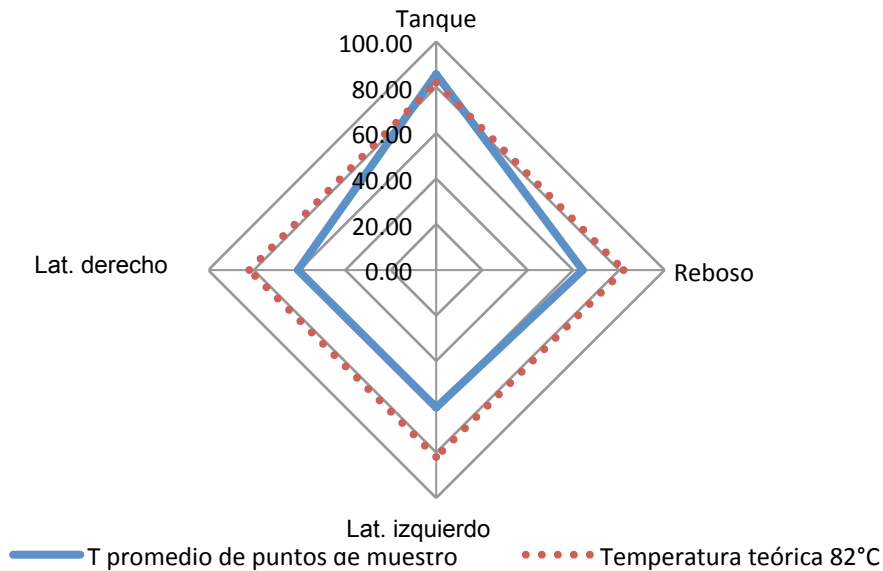
CM	Tanque de Alimentación	Robosadero	Lateral izquierdo frente	Lateral derecho frente
Media	0.607656379	0.65133845	0.67804623	0.83603396
Error típico	0.047737908	0.07461981	0.07379874	0.16592278
Mediana	0.537131912	0.52938433	0.57110241	0.57511178
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0.213490413	0.33370993	0.33003798	0.74202921
Varianza de la muestra	0.045578157	0.11136232	0.10892507	0.55060735
Curtosis	3.984535162	5.92026526	5.12717118	12.7659309
Coefficiente de asimetría	2.070220696	2.29547153	2.11099894	3.41069779
Rango	0.777810776	1.38320489	1.36715419	3.32548888
Mínimo	0.421229992	0.37735849	0.38109756	0.37821483
Máximo	1.199040767	1.76056338	1.74825175	3.7037037
Suma	12.15312758	13.0267689	13.5609245	16.7206792
Cuenta	20	20	20	20
Mayor (1)	1.199040767	1.76056338	1.74825175	3.7037037
Menor(1)	0.421229992	0.37735849	0.38109756	0.37821483

Cuadro No. 51: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

	Tanque	Robosadero	lateral izquierdo frente	Lateral derecho frente
	°C +/- 0.05°			
Media	85.687	64.11	60.2975	60.5505
Error típico	1.08873347	1.511	2.14315543	1.49840713
Mediana	86.295	66.5	56.7	59.35
Moda	#N/A	70	45.6	64.9
Desviación estándar	4.86896412	6.7575	9.58448246	6.70108041
Varianza de la muestra	23.7068116	45.664	91.8623039	44.9044787
Curtosis	-1.63669514	-0.652	-1.40731136	-1.61760269
Coefficiente de asimetría	-0.06273544	-0.673	-0.11516828	0.21160369
Rango	13.32	22.4	26.68	19.21
Mínimo	78.93	52	45.6	52.1
Máximo	92.25	74.4	72.28	71.31
Suma	1713.74	1282.2	1205.95	1211.01
Cuenta	20	20	20	20
Mayor (1)	92.25	74.4	72.28	71.31
Menor(1)	78.93	52	45.6	52.1

Gráfica No. 42: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

Temperatura promedio de puntos de muestra filtro 2



Gráfica No. 43: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.

CM Promedio de puntos de muestra

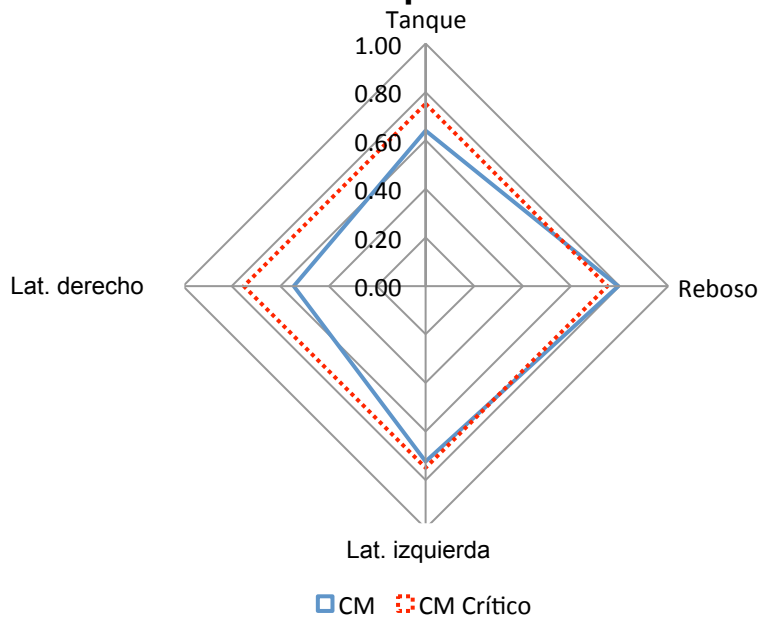
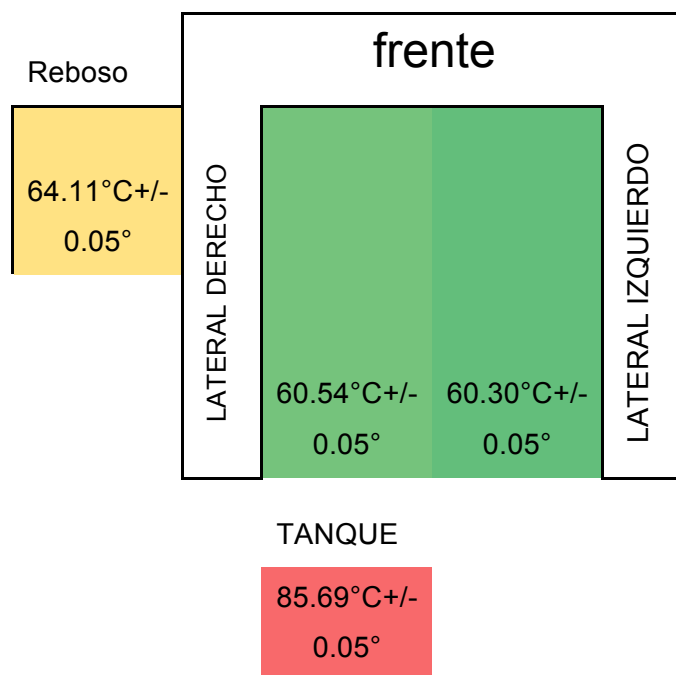


Figura No. 33: Mapa de calor.



Cuadro No. 52: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.

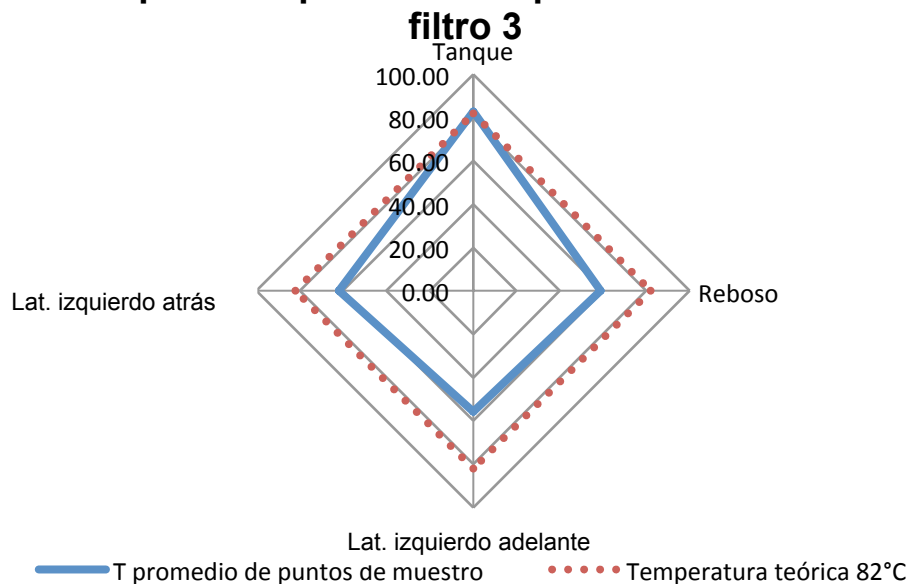
CM	Tanque de alimentación	Robosadero	lateral izquierdo frente	Lateral derecho frente
Media	0.54337466	0.79528665	0.72507602	0.54337466
Error típico	0.03945506	0.09874059	0.10540827	0.03945506
Mediana	0.51683576	0.65189048	0.54054307	0.51683576
Moda	0.52137643	#N/A	#N/A	0.52137643
Desviación estándar	0.17644838	0.44158133	0.47140012	0.17644838
Varianza de la muestra	0.03113403	0.19499407	0.22221808	0.03113403
Curtosis	8.94372827	9.40155734	4.99440342	8.94372827
Coeficiente de asimetría	2.66988349	2.7785499	2.31648064	2.66988349
Rango	0.78708842	1.98226099	1.78658072	0.78708842
Mínimo	0.39215686	0.42158516	0.3968254	0.39215686
Máximo	1.17924528	2.40384615	2.18340611	1.17924528
Suma	10.8674932	15.905733	14.5015204	10.8674932
Cuenta	20	20	20	20
Mayor (1)	1.17924528	2.40384615	2.18340611	1.17924528
Menor(1)	0.39215686	0.42158516	0.3968254	0.39215686

Cuadro No. 53: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. frente	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás.
	°C +/- 0.05°				
Media	82.902	58.89	55.81	61.8655	51.865
Error típico	0.72823854	1.43471802	1.3723	0.35721398	0.40966771
Mediana	82.33	58.65	55	61.415	51.68
Moda	#N/A	52	55	#N/A	#N/A
Desviación estándar	3.25678175	6.41625403	6.1373	1.59750949	1.83208969
Varianza de la muestra	10.6066274	41.1683158	37.666	2.55203658	3.35655263
Curtosis	-0.7011025	-1.80455005	0.6047	-0.99469246	-1.2280019
Coefficiente de asimetría	0.64192453	0.15757832	0.6086	0.16441269	0.0845391
Rango	11.06	16.6	23	5.65	5.59
Mínimo	78.93	52	45.6	59	48.98
Máximo	89.99	68.6	68.6	64.65	54.57
Suma	1658.04	1177.8	1116.2	1237.31	1037.3
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	89.99	68.6	68.6	64.65	54.57
Menor(1)	78.93	52	45.6	59	48.98

Gráfica No. 44: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

Temperatura promedio de puntos de muestra



Gráfica No. 45: Promedio de Cm de cuatro puntos de muestro filtros No. 3.

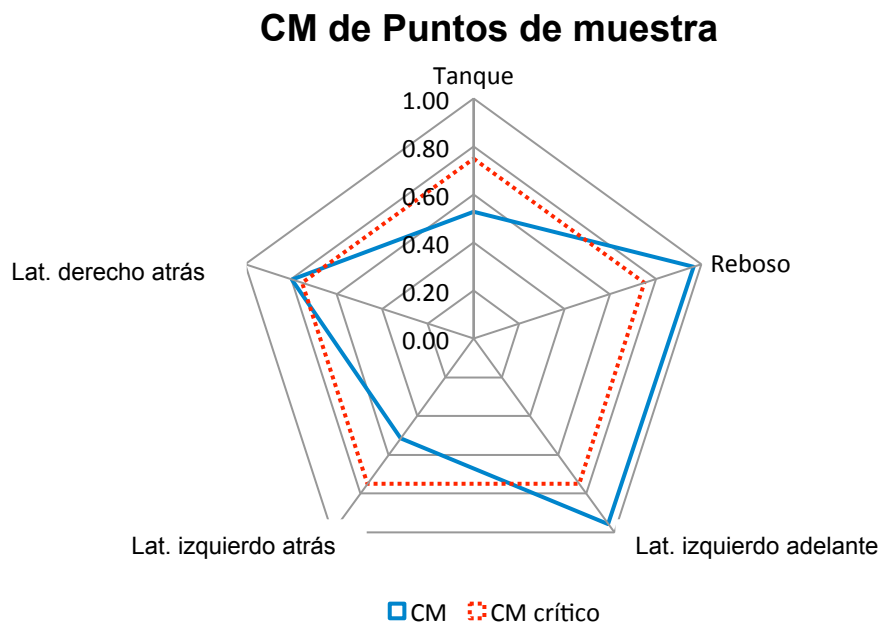
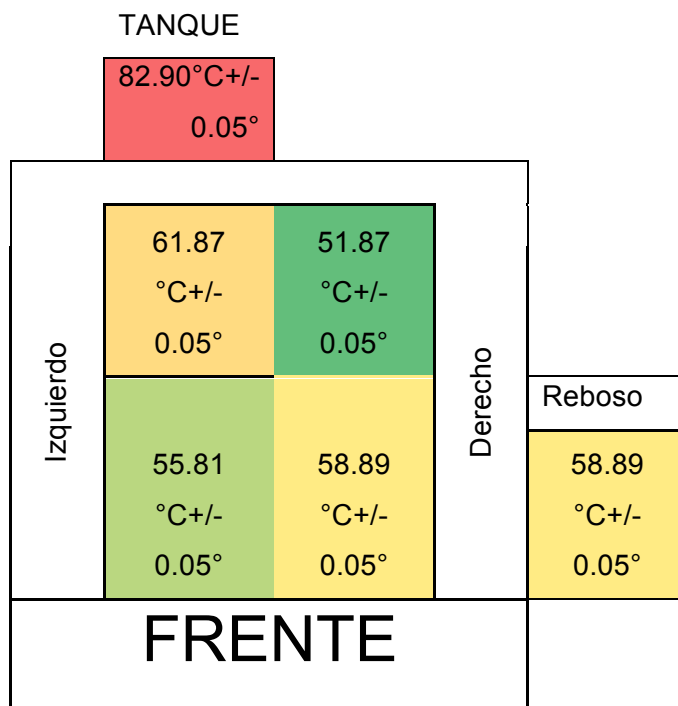


Figura No. 34: Map de calor de filtro No. 3.



Cuadro No. 54: Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.

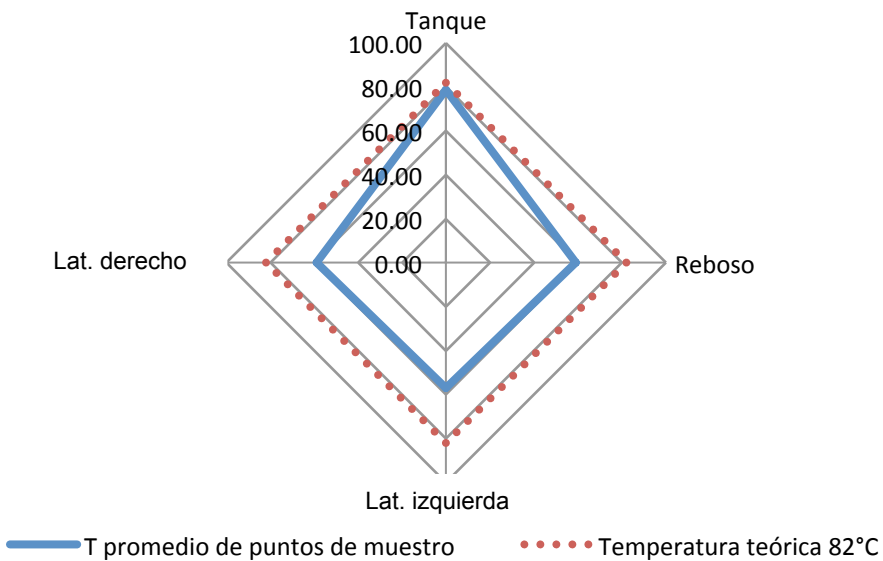
CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izquierdo frente	Lateral derecho frente	Lateral der. atrás.
Media	0.52984546	0.95762821	0.51546434	0.54337466	0.7955644
Error típico	0.01942029	0.09651409	0.02388272	0.03945506	0.1182636
Mediana	0.51573648	0.88293277	0.45485842	0.51683576	0.59566889
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	0.52137643	0.51975052
Desviación estándar	0.08685019	0.43162414	0.10680678	0.17644838	0.52889089
Varianza de la muestra	0.00754296	0.1862994	0.01140769	0.03113403	0.27972557
Curtosis	1.77212256	3.37834724	-0.37537921	8.94372827	4.40945539
Coeficiente de asimetría	0.9419449	1.66879199	0.88200696	2.66988349	2.11712528
Rango	0.37738124	1.74308728	0.35016907	0.78708842	2.05066014
Mínimo	0.39184953	0.50916497	0.39277298	0.39215686	0.40032026
Máximo	0.76923077	2.25225225	0.74294205	1.17924528	2.45098039
Suma	10.5969092	19.1525642	10.3092867	10.8674932	15.9112879
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	0.76923077	2.25225225	0.74294205	1.17924528	2.45098039
Menor (1)	0.39184953	0.50916497	0.39277298	0.39215686	0.40032026

Cuadro No. 55: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. frente	Lateral der. frente	Lateral der. atrás.
Media	78.595	59.017	57.124	58.909	51.865
Error típico	1.9756	0.84674364	1.25800163	1.0917	0.40966771
Mediana	78.195	59.645	56.685	60.55	51.68
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	8.8351	3.78675267	5.62595433	4.8821	1.83208969
Varianza de la muestra	78.06	14.3394958	31.6513621	23.835	3.35655263
Curtosis	3.0809	0.35979655	5.12134263	0.6561	-1.2280019
Coeficiente de asimetría	-1.638	-0.85503731	2.21234673	-1.173	0.0845391
Rango	35.94	14.32	22.59	17.01	5.59
Mínimo	54	50	52.01	47.94	48.98
Máximo	89.94	64.32	74.6	64.95	54.57
Suma	1571.9	1180.34	1142.48	1178.2	1037.3
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	89.94	64.32	74.6	64.95	54.57
Menor (1)	54	50	52.01	47.94	48.98

Gráfica No. 46: Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

Temperatura promedio de puntos de muestra filtro 4



Gráfica No. 47: Filtro No. 4 - Promedio de Cm de cuatro puntos de muestreo.

CM Promedio de puntos de muestra

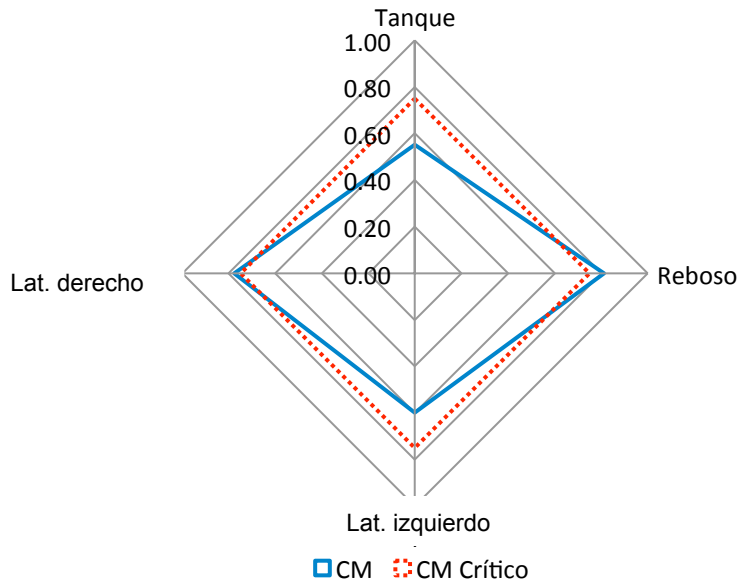
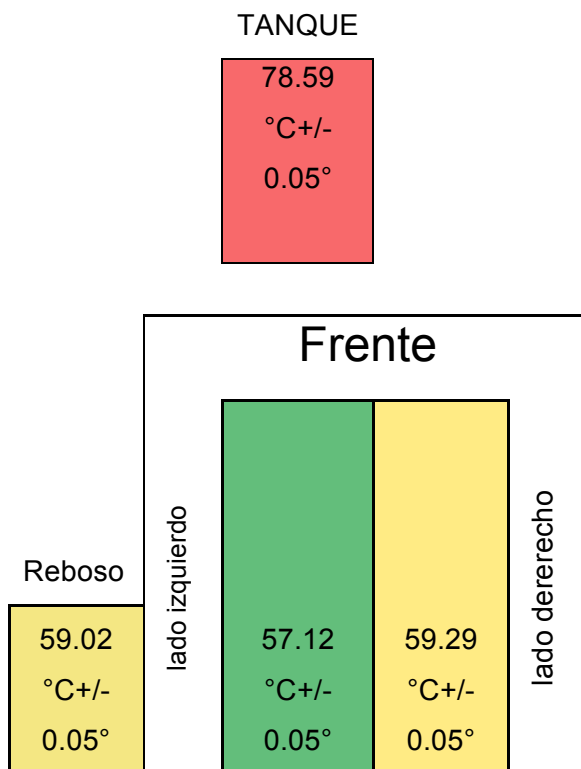


Figura No. 35: Filtro No. 4 - Mapa de calor °C +/- 0.05°.



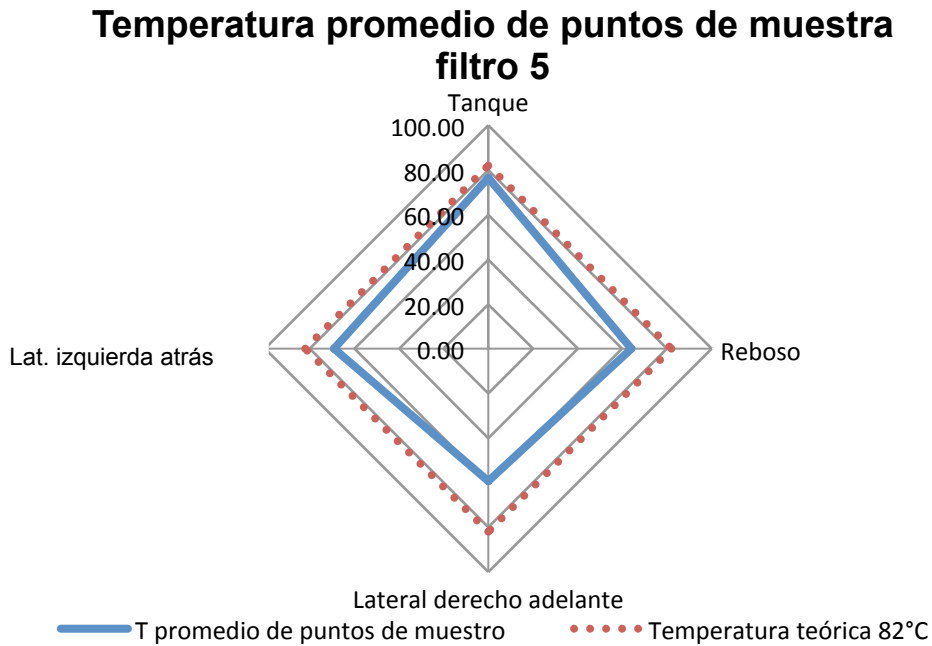
Cuadro No. 56: Filtro No. 4 - Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.

CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. frente	Lateral Der. frente	Lateral der. atrás.
Media	0.55205112	0.81152916	0.59865978	0.77673978	0.7955644
Error típico	0.03624867	0.10471342	0.04052438	0.06776617	0.1182636
Mediana	0.51350345	0.59529209	0.57413058	0.70128294	0.59566889
Moda	#N/A	#N/A	0.96525097	#N/A	0.51975052
Desviación estándar	0.16210898	0.46829266	0.18123052	0.30305954	0.52889089
Varianza de la muestra	0.02627932	0.21929801	0.0328445	0.09184508	0.27972557
Curtosis	2.77708448	2.23621687	-0.2891376	-0.60342684	4.40945539
Coeficiente de asimetría	1.64837555	1.63313737	0.67651018	0.55399528	2.11712528
Rango	0.64574568	1.73482288	0.60293212	1.06806611	2.05066014
Mínimo	0.36231884	0.40192926	0.36231884	0.37285608	0.40032026
Máximo	1.00806452	2.13675214	0.96525097	1.44092219	2.45098039
Suma	11.0410224	16.2305831	11.9731956	15.5347955	15.9112879
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	1.00806452	2.13675214	0.96525097	1.44092219	2.45098039
Menor (1)	0.36231884	0.40192926	0.36231884	0.37285608	0.40032026

Cuadro No. 57: Filtro No. 5 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral der. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás	Rebosadero o trasero
Media	76.533	64.05	59.3505	68.9855	81.1695	46.7285
Error típico	2.3758	0.81805096	0.6831288 2	0.1846725 1	0.2536475 7	1.092231
Mediana	79.235	65	59.41	69.085	81.33	47.18
Moda	#N/A	65	#N/A	#N/A	#N/A	47.18
Desviación estándar	10.625	3.6584351	3.0550449 6	0.8258805 5	1.1343464 4	4.8846055 4
Varianza de la muestra	112.89	13.3841474	9.3332997 4	0.6820786 8	1.2867418 4	23.859371 3
Curtosis	-1.101	-0.98752769	- 1.4338219 6	- 0.7405983 2	- 0.7019347 1	- 0.7682638 9
Coficiente de asimetría	-0.433	-0.44762623	- 0.0610421 1	- 0.6616038 1	- 0.4958050 4	- 0.0857883 5
Rango	32.3	12	8.63	2.63	3.76	16.16
Mínimo	58.6	58	55.04	67.32	79.08	38.73
Máximo	90.9	70	63.67	69.95	82.84	54.89
Suma	1530.7	1281	1187.01	1379.71	1623.39	934.57
Cuenta	20	20	20	20	20	20
Mayor (1)	90.9	70	63.67	69.95	82.84	54.89
Menor (1)	58.6	58	55.04	67.32	79.08	38.73

Gráfica No. 48: Filtro No. 5 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.



Gráfica No. 49: Filtro No. 5 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

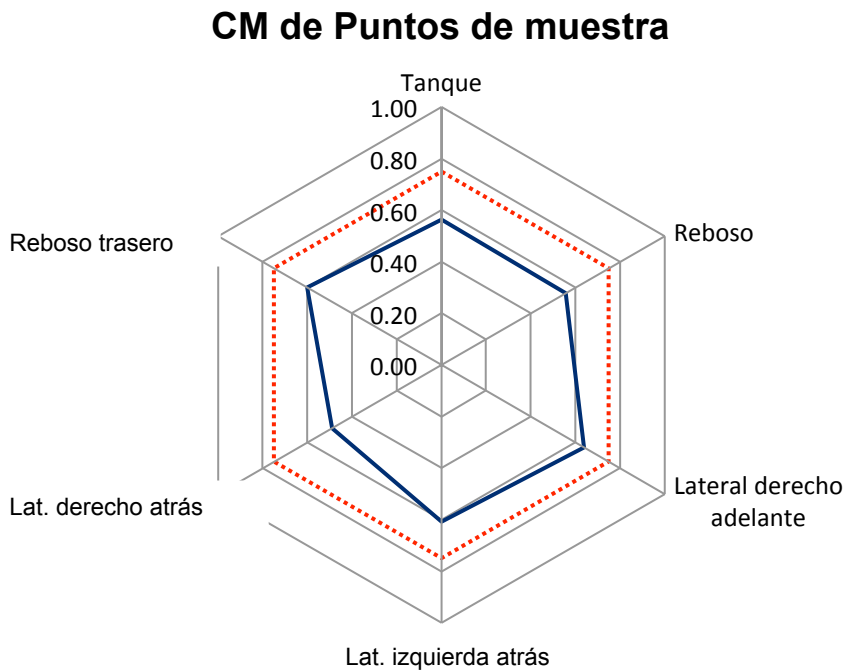
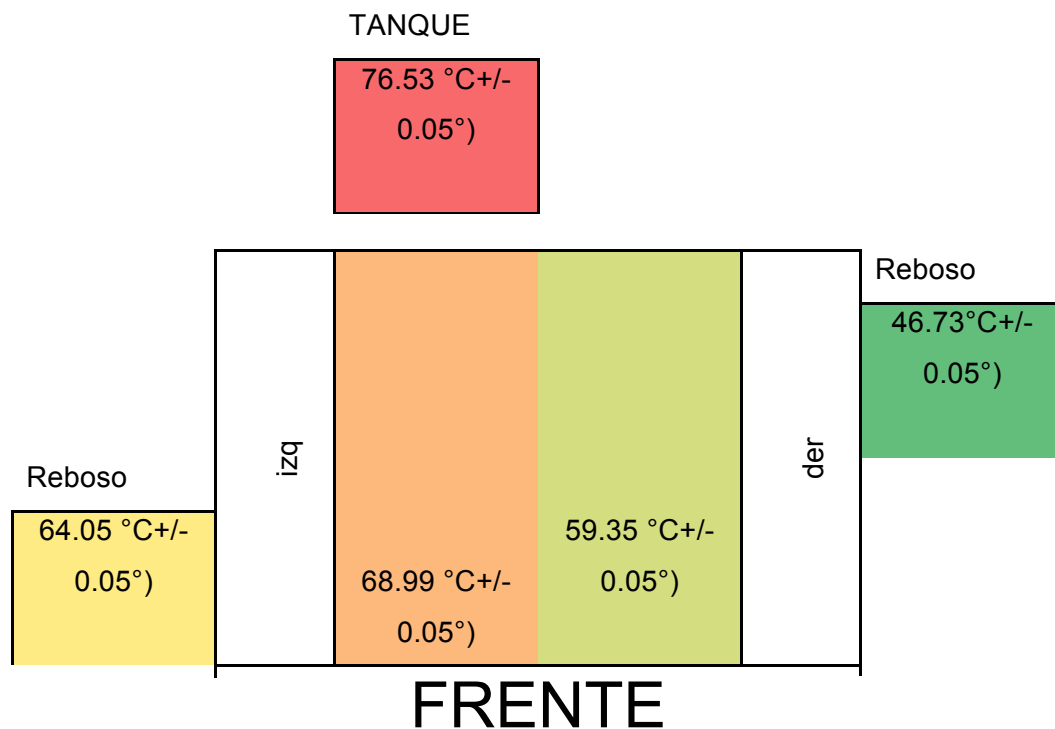


Figura No. 36: Filtro No. 5 - mapa de calor.



Cuadro No. 58: Filtro No. 5 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral der. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás	Rebosadero trasero
Media	0.56288509	0.55742799	0.63849989	0.60884008	0.48855912	0.61351949
Error típico	0.04062319	0.02943951	0.0627969	0.04065104	0.01819767	0.0575678
Mediana	0.51503347	0.52120792	0.59749438	0.58105929	0.47538182	0.52029136
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0.18167243	0.13165748	0.28083627	0.181797	0.08138244	0.25093224
Varianza de la muestra	0.03300487	0.01733369	0.07886901	0.03305015	0.0066231	0.06296699
Curtosis	1.61437669	-0.52304584	8.6894991	0.08410131	4.25780626	1.55029731
Coficiente de asimetría	1.57842738	0.7481452	2.63357785	0.99408193	1.76195757	1.58426699
Rango	0.64000479	0.43961581	1.25257998	0.62493891	0.34308531	0.85824052
Mínimo	0.37009623	0.38819876	0.39215686	0.39339103	0.40096231	0.36127168
Máximo	1.01010101	0.82781457	1.64473684	1.01832994	0.74404762	1.2195122
Suma	11.2577018	11.1485598	12.7699977	12.1768016	9.7711825	11.6568703

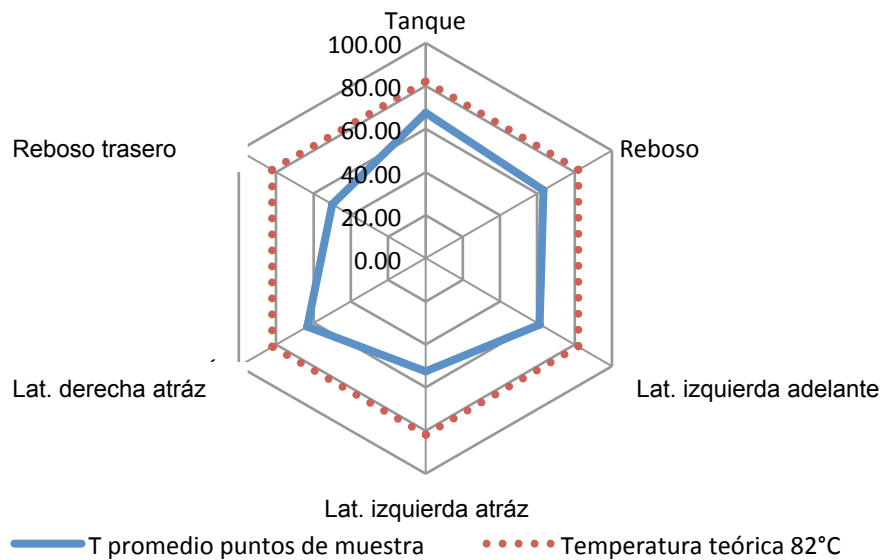
Continuación - Cuadro No. 58: Filtro No. 5 - Promedio de CM de puntos de muestreo						
CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral der. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás	Rebosadero trasero
Mayor (1)	1.01010101	0.82781457	1.64473684	1.01832994	0.74404762	1.2195122
Menor(1)	0.37009623	0.38819876	0.39215686	0.39339103	0.40096231	0.36127168

Cuadro No. 59: Filtro No. 6 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás	Rebosadero o trasero
Media	67.598	63.415	61.3725	52.6155	63.2815	49.937
Error típico	2.08292856	0.79470998	0.76192653	0.7510398	0.28279272	0.11441637
Mediana	70.635	64.3	60.8	52.285	63.435	49.815
Moda	69.25	#N/A	#N/A	#N/A	63.44	49.98
Desviación estándar	9.31513969	3.55405106	3.40743904	3.35875208	1.2646875	0.51168555
Varianza de la muestra	86.7718274	12.6312789	11.6106408	11.2812155	1.59943447	0.26182211
Curtosis	6.88810114	-1.24041691	0.10263564	11.3718403	-0.06388884	0.73495771
Coefficiente de asimetría	-2.77571858	-0.41659246	0.60485336	2.97446587	0.66938957	0.53346095
Rango	35.4	11.1	12.81	16.3	4.3	1.73
Mínimo	38	57	53.06	49	60.65	49.14
Máximo	73.4	68.1	65.87	65.3	64.95	50.87
Suma	1351.96	1268.3	1227.45	1052.31	1265.63	998.74
Cuenta	20	20	20	20	20	20
Mayor (1)	73.4	68.1	65.87	65.3	64.95	50.87
Menor (1)	38	57	53.06	49	60.65	49.14

Gráfica No. 50: Filtro No. 6 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

Temperatura promedio de puntos de muestra filtro 6



Gráfica No. 51: Filtro No. 6 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

CM de Puntos de muestra

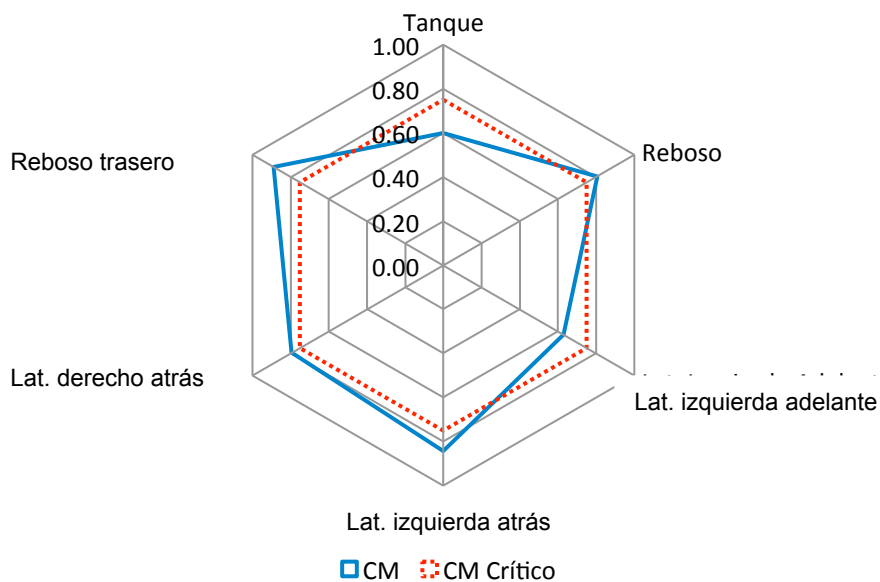
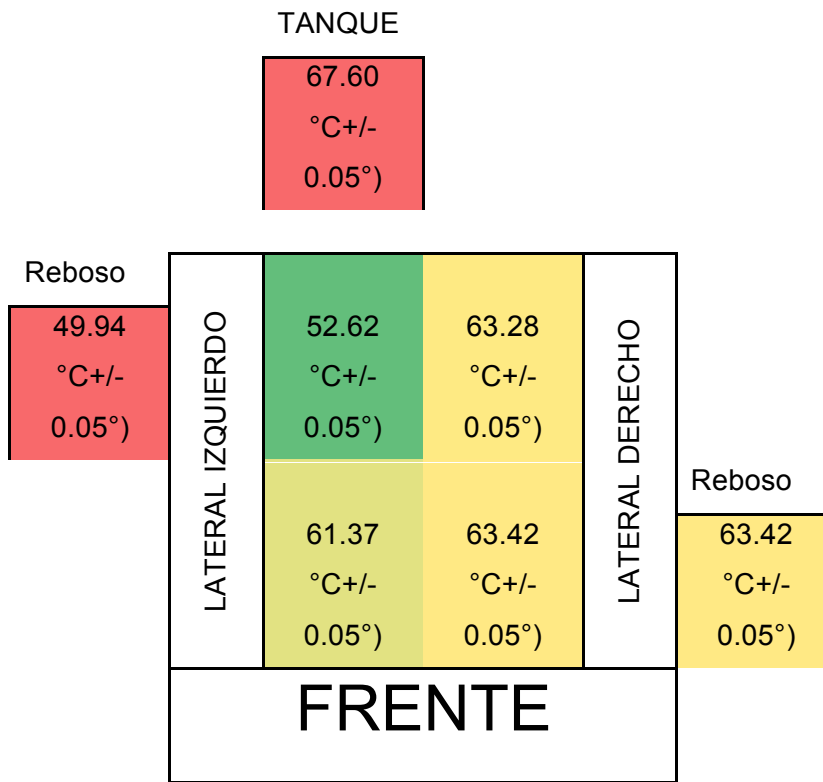


Figura No. 37: Filtro No. 6 - Mapa de calor.



Cuadro No. 60: Filtro No. 6 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

<i>CM</i>	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás	Rebosadero trasero
Media	0.60011167	0.80620768	0.62977369	0.8426524	0.79353873	0.89048474
Error típico	0.07367274	0.05236906	0.04009309	0.04933894	0.03223781	0.06864973
Mediana	0.43750191	0.79698668	0.58332823	0.7833856	0.7745938	0.8190673
Moda	0.46468401	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.82644628
Desviación estándar	0.32947451	0.23420154	0.17930175	0.22065045	0.14417188	0.30701091
Varianza de la muestra	0.10855345	0.05485036	0.03214912	0.04868662	0.02078553	0.0942557
Curtosis	2.17655797	0.56427768	7.2826203	0.94353939	0.95516975	3.70673362
Coefficiente de asimetría	1.76147468	0.19925425	2.40202915	0.59720119	0.89914732	1.98397866
Rango	1.12359299	0.85339317	0.81896552	0.70723778	0.58199294	1.18716888

Continuación - Cuadro No.60: Filtro No. 6 - Promedio de CM de puntos de muestreo						
CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás	Rebosadero trasero
Mínimo	0.37341299	0.43859649	0.43103448	0.56179775	0.59171598	0.5733945
Máximo	1.49700599	1.29198966	1.25	1.26903553	1.17370892	1.76056338
Suma	12.0022334	16.1241536	12.5954739	16.853048	15.8707746	17.8096948
Cuenta	20	20	20	20	20	20
Mayor (1)	1.49700599	1.29198966	1.25	1.26903553	1.17370892	1.76056338
Menor (1)	0.37341299	0.43859649	0.43103448	0.56179775	0.59171598	0.5733945

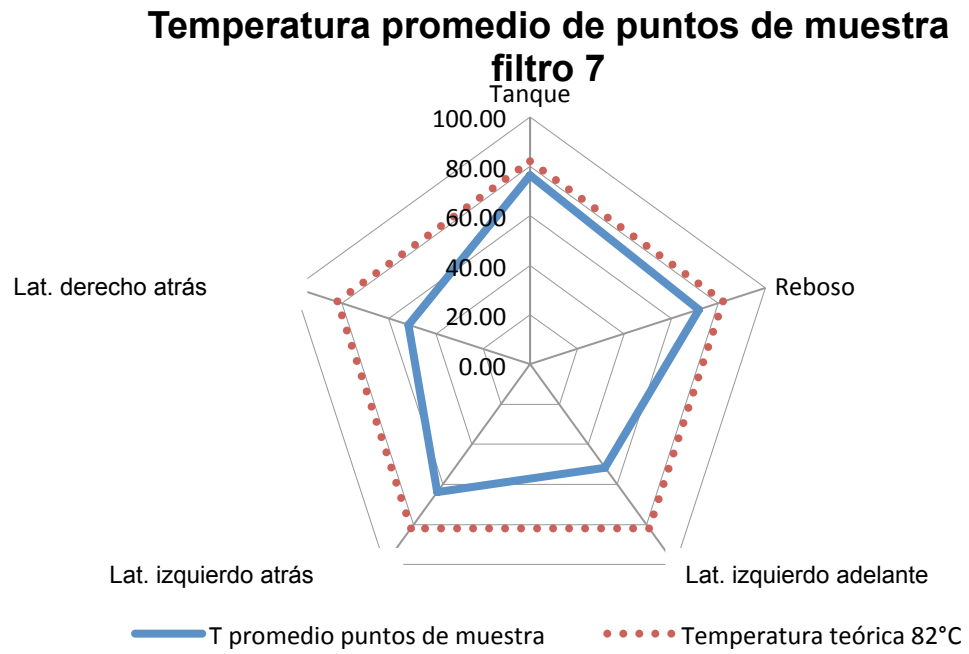
Cuadro No. 61: Filtro No. 6 - Logaritmo de unidades formadoras de colonias por mililitro en puntos de muestreo.

	Tanque	Reboso trasero	Reboso	Lat. Izq. adelante	Lat. derecho ATRÁS	Lat. izq ATRÁS
log UFC/mL	No se midió	4.05307844	3.47712125	3.14612804	3.58365867	4.02938378

Cuadro No. 62: Filtro No. 7 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	76.5145	71.7465	51.6115	63.855	51.6655
Error típico	1.6110326	1.14851993	0.5376358	0.65554818	0.52491727
Mediana	75.035	72.495	52.045	62.455	52.32
Moda	74.5	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	7.20475682	5.13633729	2.40438038	2.9317006	2.34750142
Varianza de la muestra	51.9085208	26.3819608	5.781045	8.59486842	5.51076289
Curtosis	0.29254714	0.74369653	-0.9040853	-1.03947272	-0.413542
Coefficiente de asimetría	0.7906572	-0.63305521	-0.48557405	0.59169151	-0.85120506
Rango	27.89	20.4	8.29	9.25	7.87
Mínimo	65.1	58.6	47.11	60.13	46.68
Máximo	92.99	79	55.4	69.38	54.55
Suma	1530.29	1434.93	1032.23	1277.1	1033.31
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	92.99	79	55.4	69.38	54.55
Menor (1)	65.1	58.6	47.11	60.13	46.68

Gráfica No. 52: Filtro No. 7 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.



Gráfica No. 53: Filtro no. 7 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

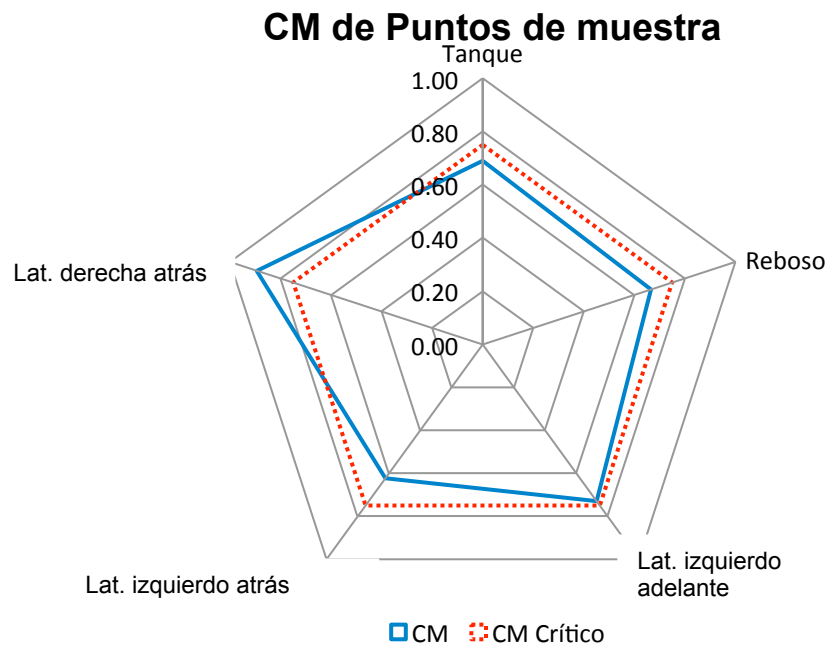
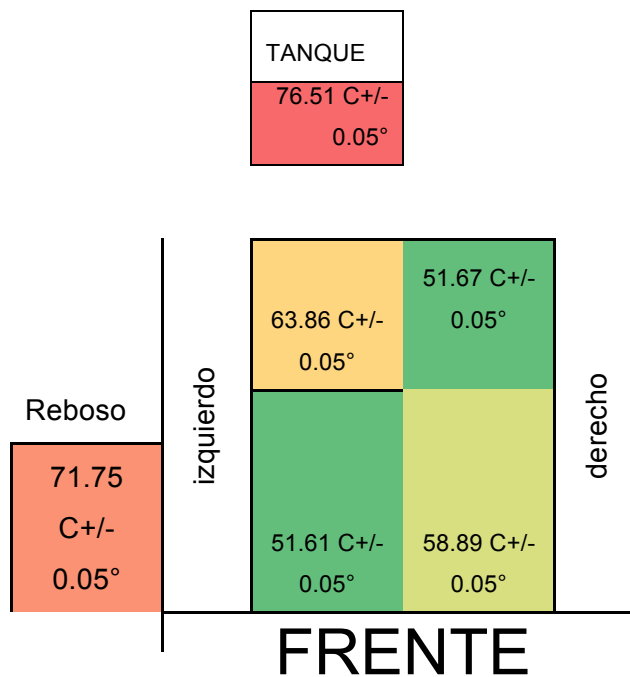


Figura No. 38: Filtro no. 7 - Mapa de calor.



Cuadro No. 63: Filtro no. 7 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

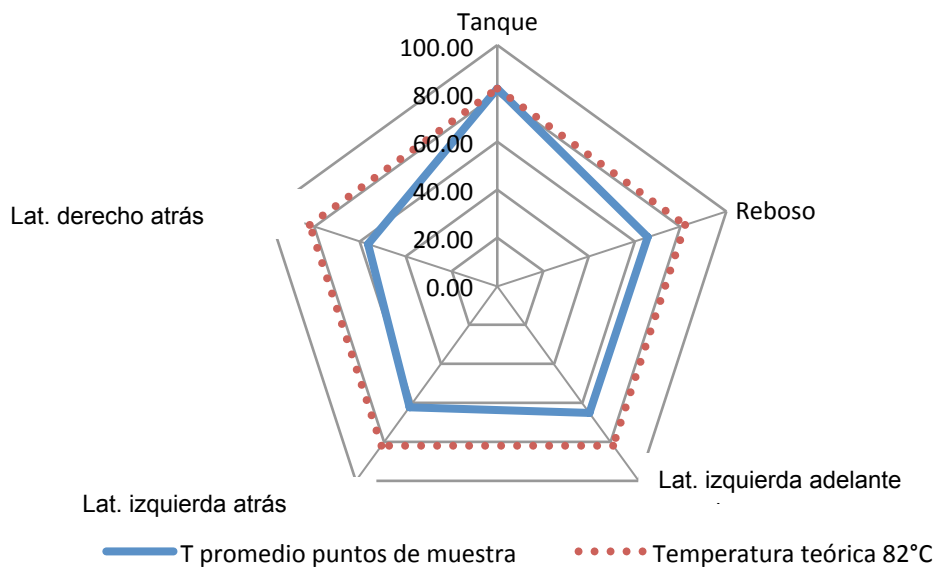
CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	0.68969777	0.6663	0.72956551	0.62249926	0.89186972
Error típico	0.04476476	0.0346	0.06055416	0.02989614	0.06159967
Mediana	0.60261508	0.6143	0.61814142	0.61101606	0.84341076
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0.20019408	0.1509	0.27080645	0.13369958	0.27548212
Varianza de la muestra	0.04007767	0.0228	0.07333614	0.01787558	0.0758904
Curtosis	-0.87070533	0.3444	0.88935595	3.07352965	-0.26577301
Coefficiente de asimetría	0.67857536	0.9889	1.34780259	1.5428186	0.63386985
Rango	0.65674554	0.5556	0.92045757	0.56047165	0.99425337
Mínimo	0.40257649	0.4525	0.47619048	0.45578851	0.51177073
Máximo	1.05932203	1.0081	1.39664804	1.01626016	1.5060241
Suma	13.7939555	12.661	14.5913102	12.4499851	17.8373944
Cuenta	20	19	20	20	20
Mayor (1)	1.05932203	1.0081	1.39664804	1.01626016	1.5060241
Menor (1)	0.40257649	0.4525	0.47619048	0.45578851	0.51177073

Cuadro No. 64: Filtro No. 8 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	82.046	65.6885	65.1185	62.155	56.6185
Error típico	2.07271134	1.24719544	0.36771004	0.35623654	0.41186883
Mediana	84.515	63.805	64.945	61.65	56.86
Moda	#N/A	#N/A	63.05	#N/A	#N/A
Desviación estándar	9.26944693	5.57762756	1.64444928	1.59313825	1.84193341
Varianza de la muestra	85.9226463	31.1099292	2.70421342	2.53808947	3.39271868
Curtosis	-1.32037288	-0.0992538	-1.41128631	-1.0882999	-1.17508536
Coefficiente de asimetría	-0.17378062	0.78466237	0.26318458	0.56790141	-0.39407941
Rango	26.63	19.78	4.73	4.92	5.47
Mínimo	68.16	59.22	63.05	60.05	53.47
Máximo	94.79	79	67.78	64.97	58.94
Suma	1640.92	1313.77	1302.37	1243.1	1132.37
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	94.79	79	67.78	64.97	58.94
Menor (1)	68.16	59.22	63.05	60.05	53.47

Gráfica No. 54: Filtro no. 8 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

Temperatura promedio de puntos de muestra filtro 8



Gráfica No. 55: Filtro No. 8 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

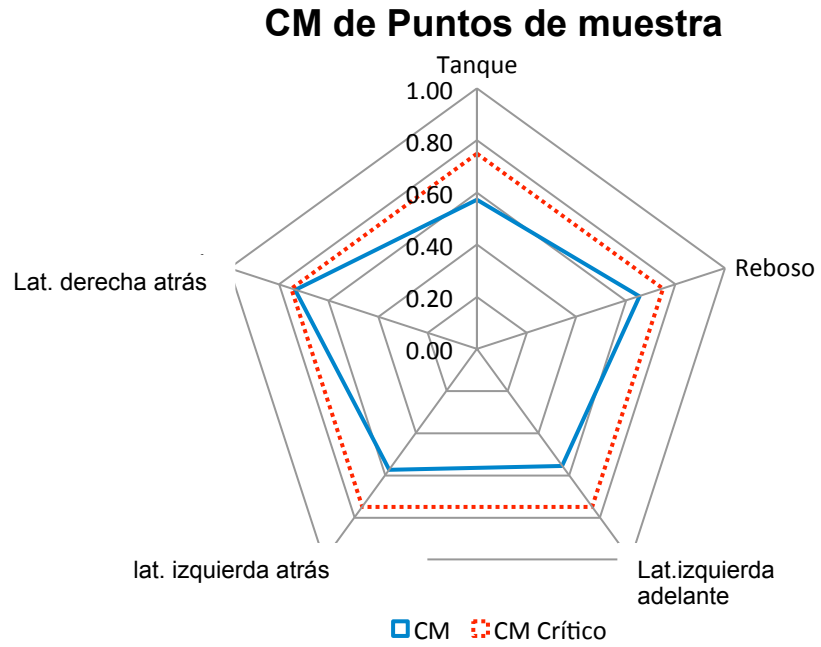
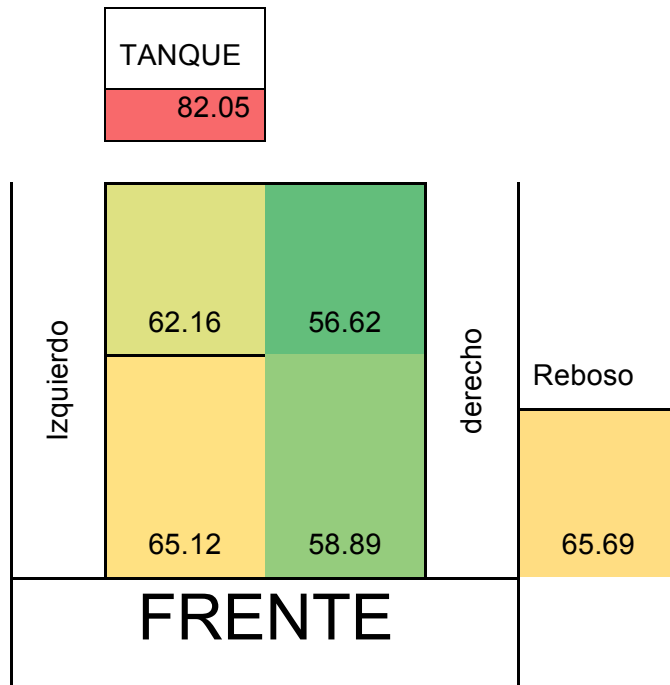


Figura No. 39: Filtro No. 8 - Mapa de calor.



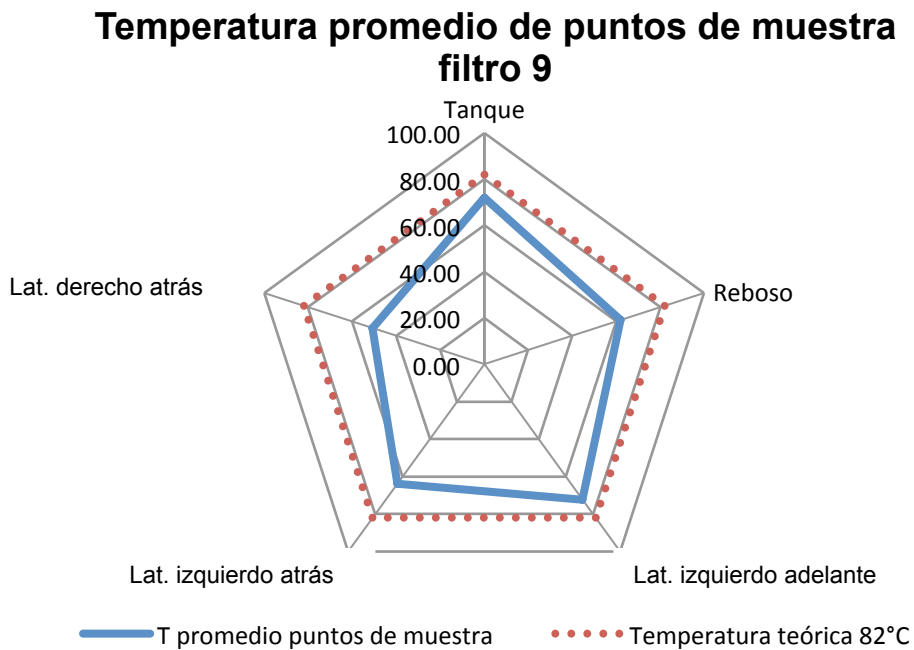
Cuadro No. 65: Filtro No. 8 - Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.

CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás	Rebosadero trasero
Media	0.57284426	0.65607974	0.5542	0.57460555	0.73442598	0.89048474
Error típico	0.02929131	0.04785701	0.0232	0.04156723	0.07177739	0.06864973
Mediana	0.54588341	0.58514252	0.5615	0.53421119	0.61920668	0.8190673
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.82644628
Desviación estándar	0.13099471	0.21402304	0.1038	0.1858943	0.32099823	0.30701091
Varianza de la muestra	0.01715962	0.04580586	0.0108	0.03455669	0.10303986	0.0942557
Curtosis	6.30983634	9.51656726	-0.885	4.81763879	3.86208762	3.70673362
Coefficiente de asimetría	2.01273433	2.79287772	-0.092	1.97027868	1.96547115	1.98397866
Rango	0.60868378	0.98915404	0.3603	0.7665428	1.25610585	1.18716888
Mínimo	0.405515	0.44762757	0.3717	0.40716612	0.46210721	0.5733945
Máximo	1.01419878	1.43678161	0.7321	1.17370892	1.71821306	1.76056338
Suma	11.4568852	13.1215948	11.083	11.492111	14.6885197	17.8096948
Cuenta	20	20	20	20	20	20
Mayor (1)	1.01419878	1.43678161	0.7321	1.17370892	1.71821306	1.76056338
Menor (1)	0.405515	0.44762757	0.3717	0.40716612	0.46210721	0.5733945

Cuadro No. 66: Filtro No. 9 - Promedio de temperatura de cuatro puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	72.058	61.961	72.336	63.782	50.7815
Error típico	2.465	1.01464796	0.89765056	0.6845	0.61236009
Mediana	73.425	60.375	71.185	62.965	51.095
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	11.024	4.5376436	4.01441534	3.061	2.73855758
Varianza de la muestra	121.53	20.5902095	16.1155305	9.3698	7.49969763
Curtosis	-0.654	-1.49508071	-0.63210942	-0.98	-1.47204194
Coefficiente de asimetría	0.3534	0.27017344	0.39995179	0.593	-0.06297328
Rango	36.31	12.9	13.65	9.36	8.23
Mínimo	56.3	56.1	66.04	60.06	46.64
Máximo	92.61	69	79.69	69.42	54.87
Suma	1441.2	1239.22	1446.72	1275.6	1015.63
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	92.61	69	79.69	69.42	54.87
Menor (1)	56.3	56.1	66.04	60.06	46.64

Gráfica No. 56: Filtro No. 9 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.



Gráfica No. 57: Filtro No. 9 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

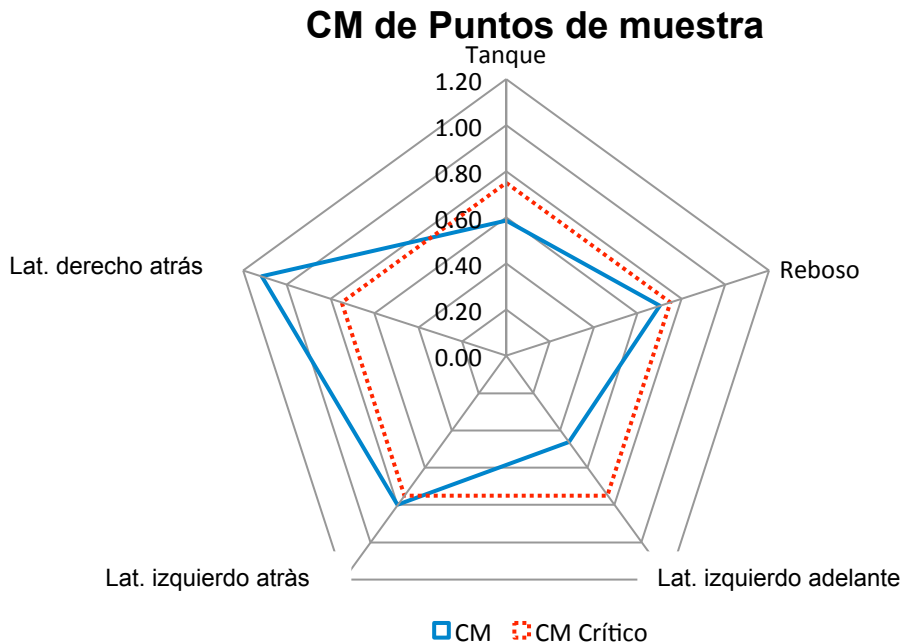
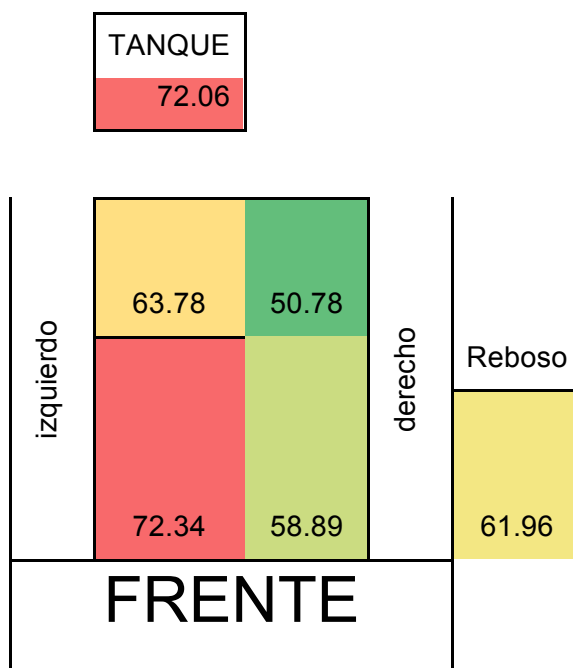


Figura No. 40: Filtro No. 9 - Mapa de calor.



Cuadro No. 67: Filtro No. 9 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

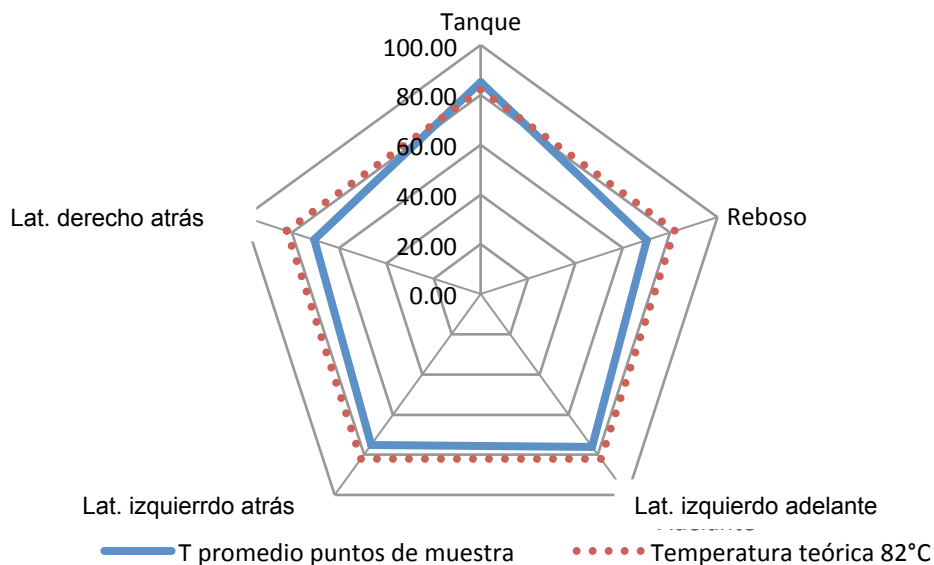
CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	0.58773784	0.70262316	0.46233541	0.80006059	1.11461053
Error típico	0.0323529	0.0360821	0.01348591	0.05093884	0.0919787
Mediana	0.55371054	0.63694371	0.45413298	0.75702353	1.04498799
Moda	#N/A	0.96711799	#N/A	0.93632959	#N/A
Desviación estándar	0.14468655	0.16136406	0.06031081	0.22780541	0.41134123
Varianza de la muestra	0.0209342	0.02603836	0.00363739	0.05189531	0.16920161
Curtosis	0.72679523	-1.21616204	0.60300459	0.0358576	1.63485046
Coficiente de asimetría	0.98471998	0.61861558	1.0444656	0.48637002	1.26166611
Rango	0.56439423	0.45587054	0.22650624	0.87173974	1.63761254
Mínimo	0.37369208	0.51124744	0.37735849	0.44404973	0.59453032
Máximo	0.9380863	0.96711799	0.60386473	1.31578947	2.23214286
Suma	11.7547567	14.0524632	9.24670818	16.0012119	22.2922106
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	0.9380863	0.96711799	0.60386473	1.31578947	2.23214286
Menor (1)	0.37369208	0.51124744	0.37735849	0.44404973	0.59453032

Cuadro No. 68: Filtro No. 10 - promedio de temperatura de puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	85.279	70.113	76.1185	75.0225	70.519
Error típico	1.82107052	1.8184	0.36761627	0.76563901	0.7011
Mediana	88.47	69.88	75.995	75.5	71.105
Moda	69.6	65.2	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	8.14407495	8.1323	1.64402995	3.42404174	3.1354
Varianza de la muestra	66.3259568	66.134	2.70283447	11.7240618	9.8306
Curtosis	0.37989927	2.9343	-1.13005927	-0.87682807	-1.175
Coefficiente de asimetría	-1.40215001	-1.365	-0.22960022	-0.38102516	-0.322
Rango	23.29	32.86	5.12	11.28	9.9
Mínimo	69.6	45.7	73.3	68.55	65.01
Máximo	92.89	78.56	78.42	79.83	74.91
Suma	1705.58	1402.3	1522.37	1500.45	1410.4
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	92.89	78.56	78.42	79.83	74.91
Menor (1)	69.6	45.7	73.3	68.55	65.01

Gráfica No. 58: Filtro No. 10 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

Temperatura promedio de puntos de muestra filtro 10



Gráfica No. 59: Filtro No. 10 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

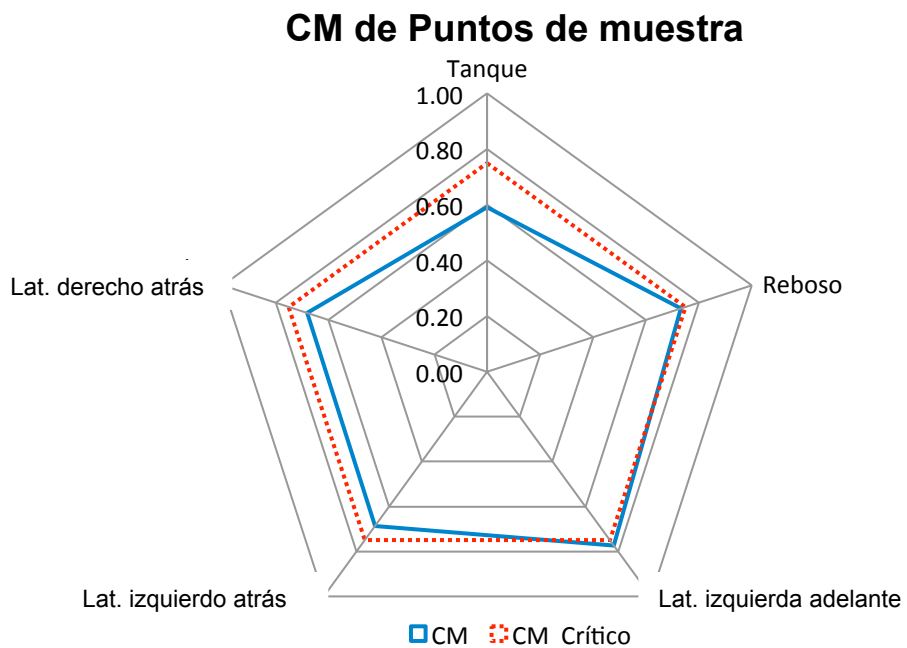
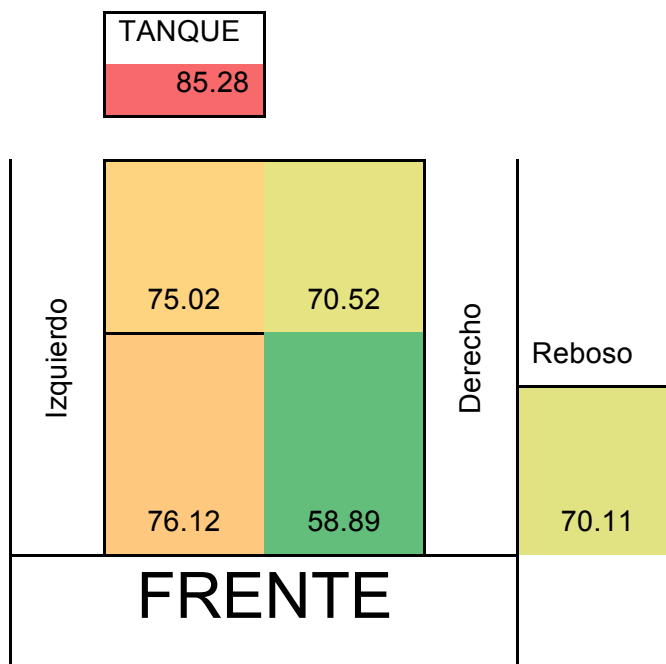


Figura No. 41: Filtro No. 10 - Mapa de calor.



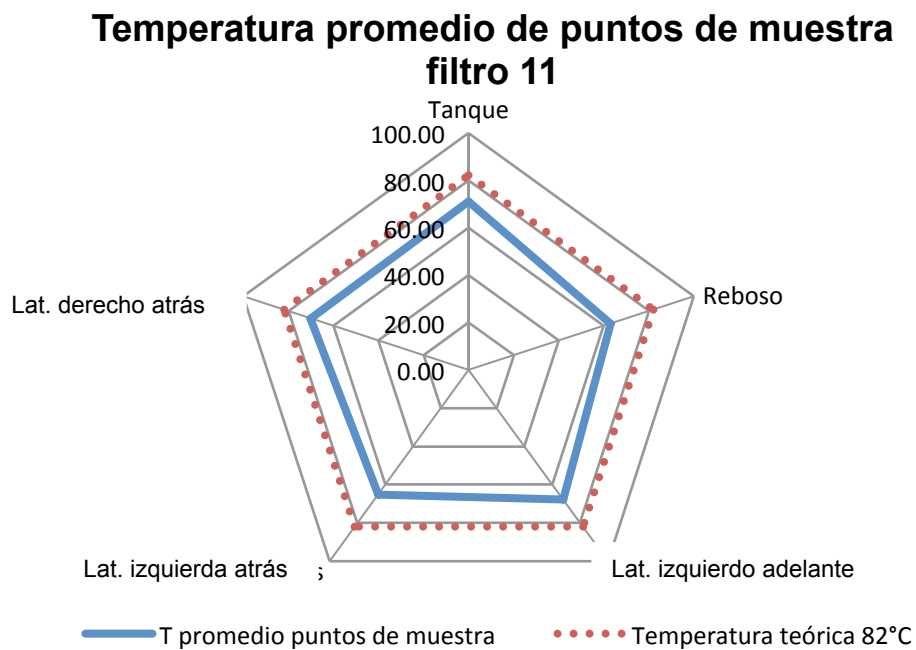
Cuadro No. 69: Filtro No. 10 - Promedio de CM de cuatro puntos de muestreo.

CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	0.59124985	0.73204196	0.77304977	0.68621485	0.68147594
Error típico	0.02059073	0.10053897	0.05971225	0.02520097	0.02873696
Mediana	0.60869346	0.58139535	0.70168956	0.67750802	0.67164287
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0.09208453	0.43823922	0.26704132	0.11270216	0.12851561
Varianza de la muestra	0.00847956	0.19205362	0.07131107	0.01270178	0.01651626
Curtosis	-0.48540825	12.9333297	0.32104953	-0.9582752	-0.4696895
Coeficiente de asimetría	-0.18750253	3.39429246	0.83805332	0.34497424	0.43576969
Rango	0.34137972	1.93786293	0.97567288	0.37898921	0.44034912
Mínimo	0.41390728	0.46598322	0.45289855	0.52029136	0.4995005
Máximo	0.75528701	2.40384615	1.42857143	0.89928058	0.93984962
Suma	11.824997	13.9087972	15.4609954	13.7242969	13.6295188
Cuenta	20	19	20	20	20
Mayor (1)	0.75528701	2.40384615	1.42857143	0.89928058	0.93984962
Menor (1)	0.41390728	0.46598322	0.45289855	0.52029136	0.4995005

Cuadro No. 70: Filtro No. 11 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	71.0845	63.12	67.6125	65.082	70.153
Error típico	1.59635497	1.7909	0.45212415	0.46071718	0.7173
Mediana	71.215	65.33	67.725	64.785	70.88
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	7.13911647	8.009	2.02196068	2.06038985	3.2078
Varianza de la muestra	50.9669839	64.145	4.088325	4.24520632	10.29
Curtosis	-0.19012601	-1.003	-1.20231592	-1.50992067	-1.336
Coeficiente de asimetría	0.59034204	-0.397	-0.28593493	0.1965729	-0.116
Rango	25.33	25.64	6.1	6.19	9.9
Mínimo	62.3	49	64.43	62.51	65.01
Máximo	87.63	74.64	70.53	68.7	74.91
Suma	1421.69	1262.4	1352.25	1301.64	1403.1
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	87.63	74.64	70.53	68.7	74.91
Menor (1)	62.3	49	64.43	62.51	65.01

Gráfica No. 60: Filtro No. 11 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.



Gráfica No. 61: Filtro No. 11 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

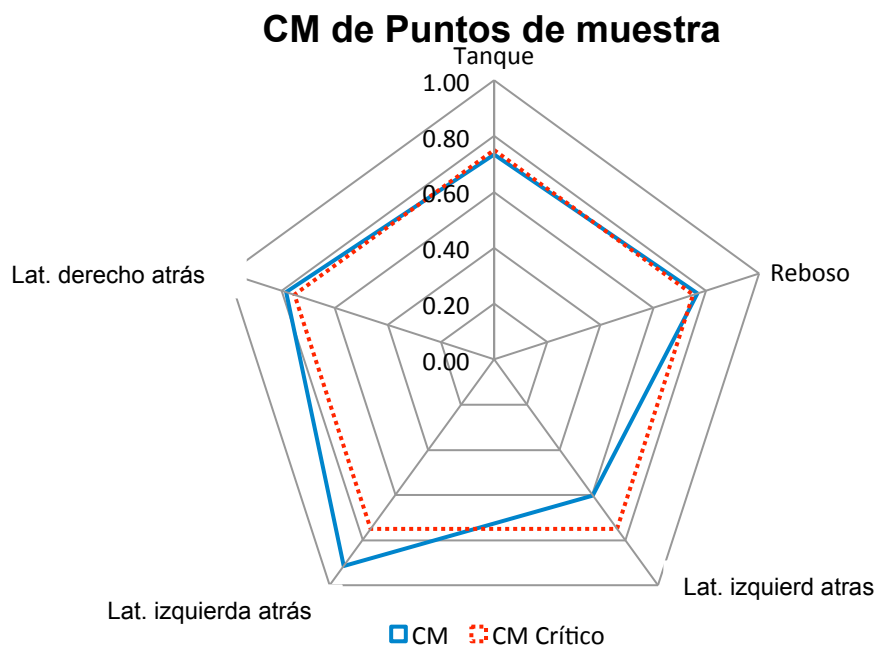
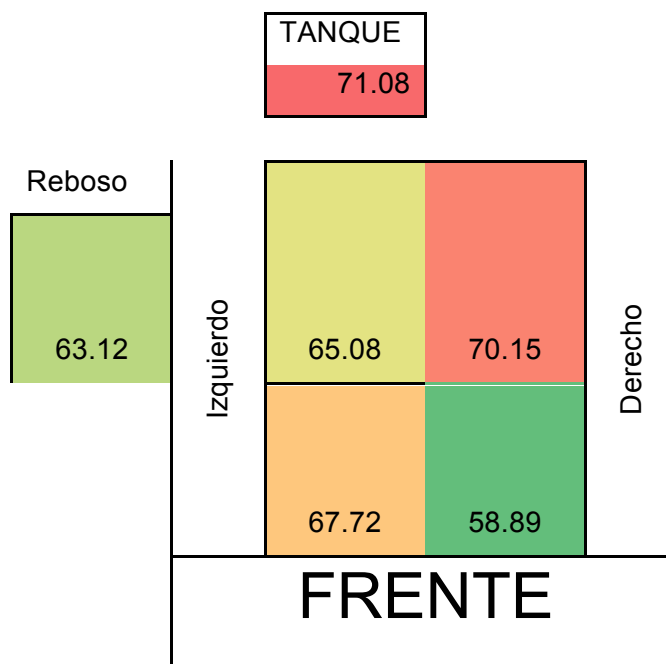


Figura No. 42: Filtro No. 11 - Mapa de calor.



Cuadro No. 71: Filtro No. 11 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

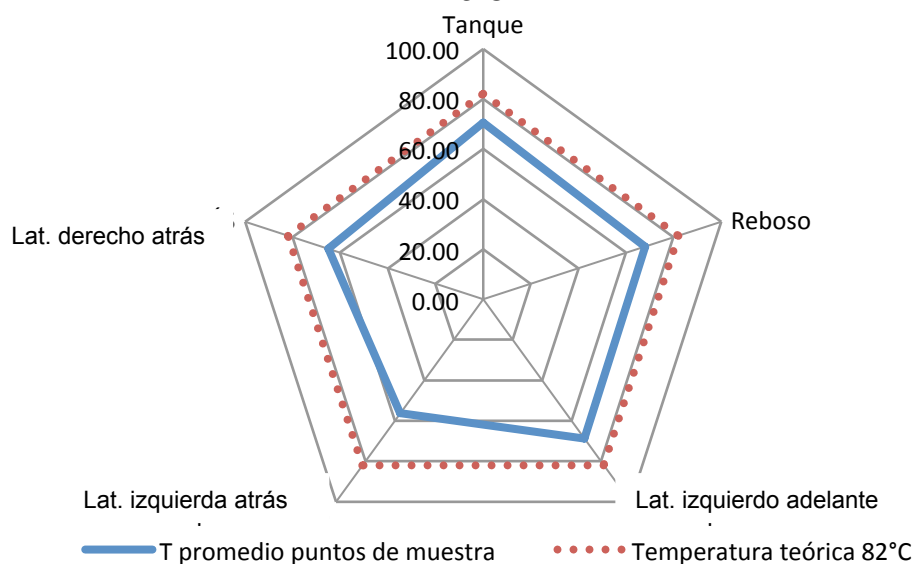
CM	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	0.73352418	0.7667485	0.60236667	0.91434671	0.78303847
Error típico	0.03724879	0.06634647	0.05476172	0.12700304	0.04410799
Mediana	0.75431942	0.66666667	0.50342746	0.70267767	0.74861036
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.79239303
Desviación estándar	0.16658164	0.28919757	0.24490188	0.56797488	0.19725693
Varianza de la muestra	0.02774944	0.08363523	0.05997693	0.32259546	0.0389103
Curtosis	0.09762467	7.83060647	1.64472076	7.46329609	1.87191252
Coficiente de asimetría	0.3037825	2.49993792	1.46306587	2.47299981	1.51974131
Rango	0.69474017	1.29685964	0.93115076	2.49863073	0.7253068
Mínimo	0.41390728	0.46992481	0.33467202	0.39154268	0.5733945
Máximo	1.10864745	1.76678445	1.26582278	2.89017341	1.2987013
Suma	14.6704836	14.5682215	12.0473334	18.2869343	15.6607695
Cuenta	20	19	20	20	20
Mayor (1)	1.10864745	1.76678445	1.26582278	2.89017341	1.2987013
Menor (1)	0.41390728	0.46992481	0.33467202	0.39154268	0.5733945

Cuadro No. 72: Filtro No. 12 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. Adelante	Lateral izq. Atrás	Lateral der. Atrás
Media	70.641	68.0665	68.362	56.207	65.079
Error típico	2.94147671	2.12308766	1.4134	2.11763859	0.72494352
Mediana	70.325	69.08	67.21	52.715	65.375
Moda	#N/A	70.8	#N/A	#N/A	#N/A
Desviación estándar	13.1546837	9.49473664	6.3211	9.47036769	3.24204598
Varianza de la muestra	173.045704	90.1500239	39.956	89.6878642	10.5108621
Curtosis	-0.86530484	0.12873172	-1.65	-1.07450398	-0.93227387
Coefficiente de asimetría	-0.19091505	0.07019274	0.0796	0.63479441	-0.22785693
Rango	41.66	40	17.54	27.82	10.93
Mínimo	49	49	59.7	45.61	59.06
Máximo	90.66	89	77.24	73.43	69.99
Suma	1412.82	1361.33	1367.2	1124.14	1301.58
Cuenta	20	20	20	20	20
Mayor (1)	90.66	89	77.24	73.43	69.99
Menor (1)	49	49	59.7	45.61	59.06

Gráfica No. 62: Filtro No. 12 - Promedio de temperatura de puntos de muestreo.

Temperatura promedio de puntos de muestra filtro 12



Gráfica No. 63: Filtro No. 12 - Promedio de CM de puntos de muestreo.

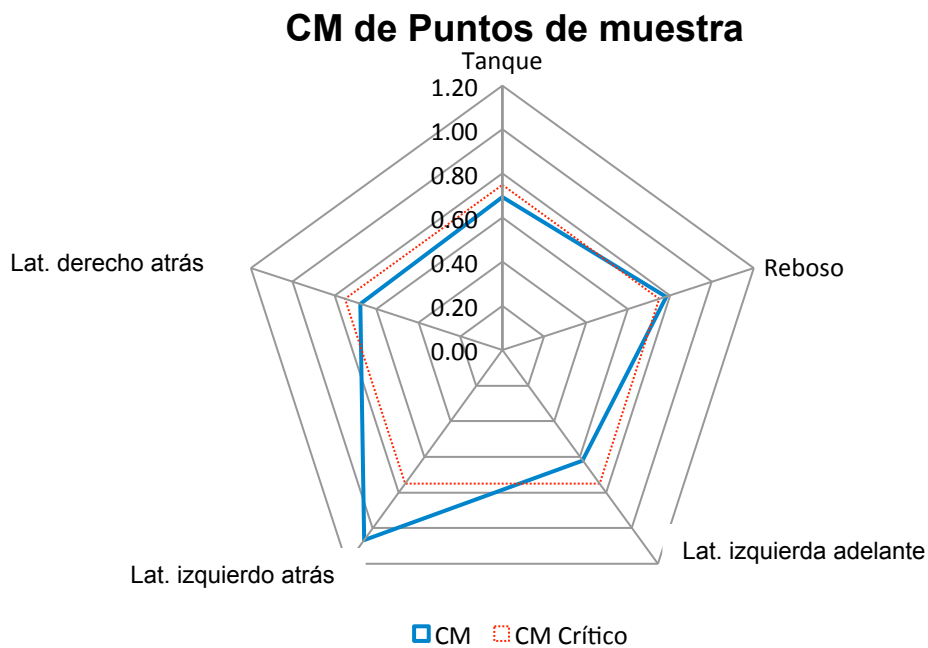
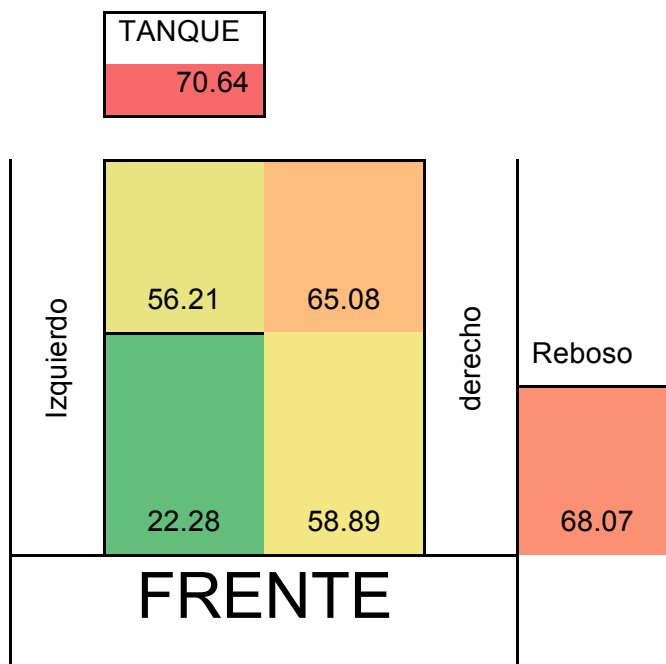


Figura No. 43: Filtro No. 12 - Mapa de calor.



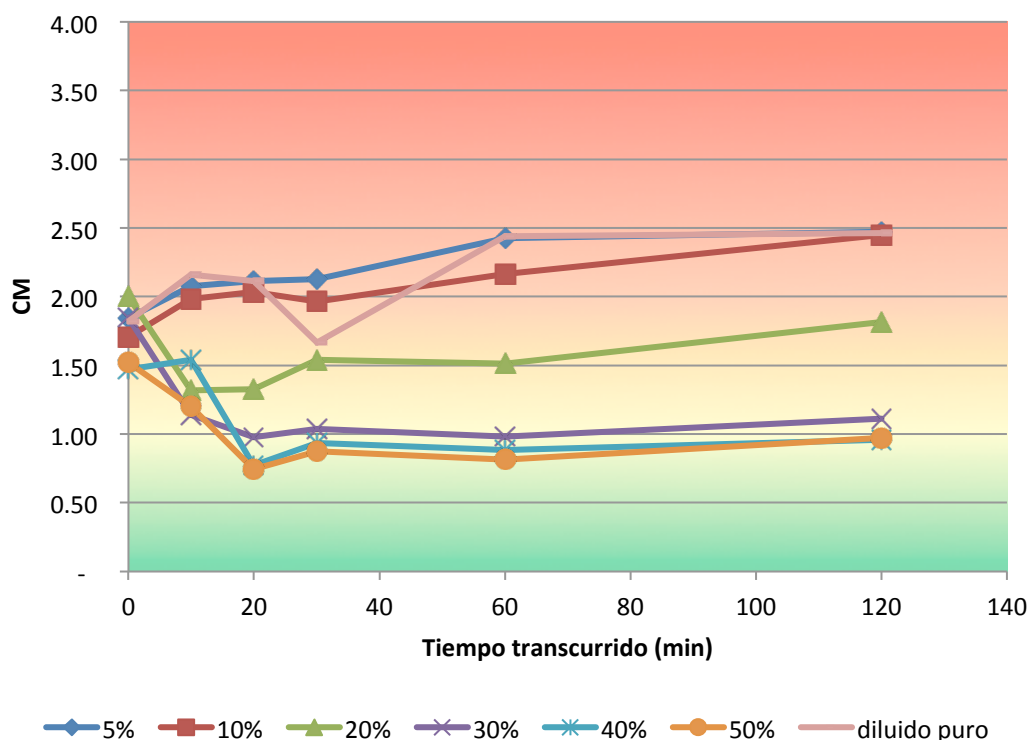
Cuadro No. 73: Filtro No. 12 - promedio de CM de puntos de muestreo.

<i>CM</i>	Tanque de alimentación	Robosadero	Lateral izq. adelante	Lateral izq. atrás	Lateral der. atrás
Media	0.73352418	0.7667485	0.60236667	0.91434671	0.78303847
Error típico	0.03724879	0.06634647	0.05476172	0.12700304	0.04410799
Mediana	0.75431942	0.66666667	0.50342746	0.70267767	0.74861036
Moda	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	0.79239303
Desviación estándar	0.16658164	0.28919757	0.24490188	0.56797488	0.19725693
Varianza de la muestra	0.02774944	0.08363523	0.05997693	0.32259546	0.0389103
Curtosis	0.09762467	7.83060647	1.64472076	7.46329609	1.87191252
Coficiente de asimetría	0.3037825	2.49993792	1.46306587	2.47299981	1.51974131
Rango	0.69474017	1.29685964	0.93115076	2.49863073	0.7253068
Mínimo	0.41390728	0.46992481	0.33467202	0.39154268	0.5733945
Máximo	1.10864745	1.76678445	1.26582278	2.89017341	1.2987013
Suma	14.6704836	14.5682215	12.0473334	18.2869343	15.6607695
Cuenta	20	19	20	20	20
Mayor (1)	1.10864745	1.76678445	1.26582278	2.89017341	1.2987013
Menor (1)	0.41390728	0.46992481	0.33467202	0.39154268	0.5733945

D. Módulo 4

Gráfica No. 64: Resultados de resazurina para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo crudo (para ver el patrón de color del CM ver Cuadro 23).

Promedio de CM en mezclas de jugo sulfitado con jugo crudo



Cuadro No. 74: Resultados tabulados de promedios de CM para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo crudo.

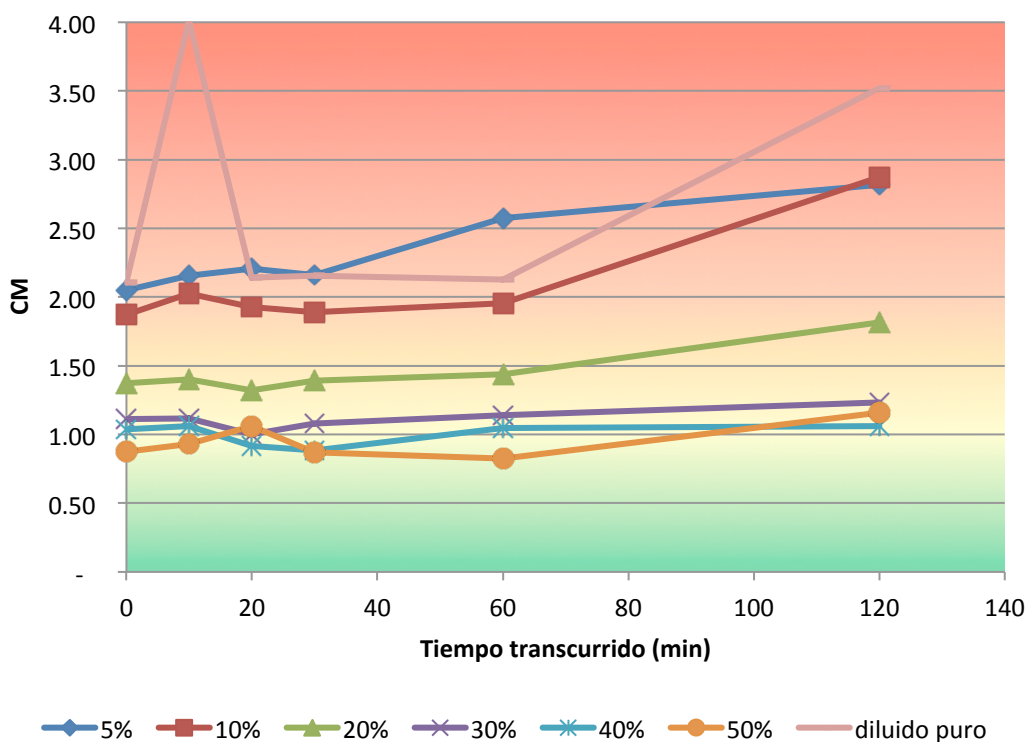
Análisis de jugo sulfitado en jugo crudo						
Dilución	CM					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
0%	1.82±0.69	2.16±0.79	2.12±0.99	1.67±0.92	2.44±1.34	2.46±0.90
5%	1.84±0.71	2.08±0.81	2.11±0.99	2.13±1.20	2.43±1.42	2.47±0.94
10%	1.71±0.70	1.98±0.84	2.04±0.91	1.96±0.92	2.16±1.15	2.45±0.94
20%	2.00±1.76	1.32±0.55	1.33±0.61	1.54±0.93	1.51±0.93	1.82±0.85
30%	1.85±1.83	1.14±0.44	0.98±0.61	1.04±0.28	0.98±0.38	1.11±0.52
40%	1.47±1.31	1.54±1.40	0.77±0.34	0.94±0.33	0.89±0.42	0.96±0.56
50%	1.52±1.49	1.20±0.75	0.74±0.34	0.87±0.37	0.81±0.32	0.97±0.50

Cuadro No. 75: Análisis con porcentajes de reducción de CM para jugo sulfitado como bacterisida a escala laboratorio en jugo crudo.

Porcentaje de reducción de CM de jugo sulfitado en jugo crudo						
Dilución	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	-1%	4%	0%	-28%	1%	-36%
10%	6%	8%	4%	-18%	19%	-35%
20%	-10%	39%	37%	8%	17%	0%
30%	-2%	47%	54%	38%	46%	39%
40%	19%	29%	63%	44%	51%	47%
50%	16%	44%	65%	47%	55%	47%

Gráfica No. 65: Resultados de resazurina para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo cristal (para ver patrón de color del CM ver Cuadro 25).

Promedio de CM en mezclas de jugo sulfitado con jugo cristal



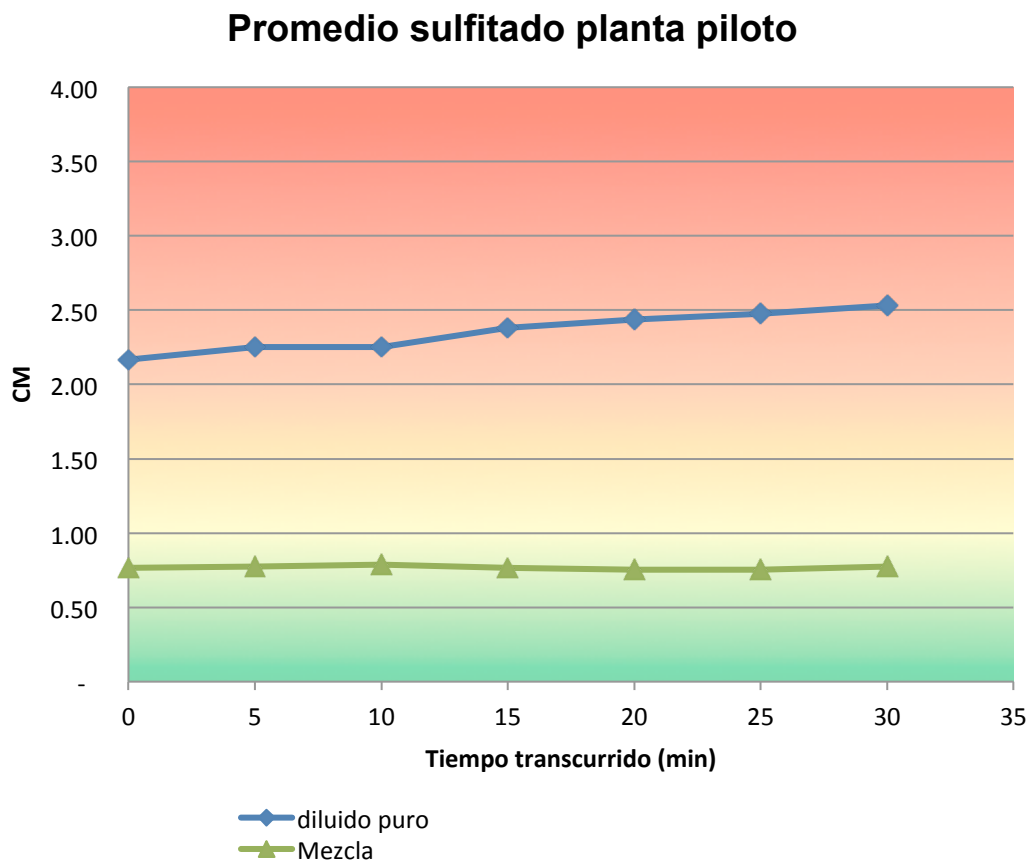
Cuadro No. 76: Resultados tabulados de resazurina para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo cristal.

Análisis de jugo sulfitado en jugo cristal						
Dilución	CM					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
0%	2.10±0.31	4.01±3.99	2.14±0.36	2.15±0.51	2.13±1.14	3.52±1.51
5%	2.05±0.36	2.15±0.47	2.21±0.49	2.16±0.50	2.57±0.72	2.82±0.63
10%	1.87±0.30	2.03±0.33	1.93±0.34	1.89±0.58	1.96±0.42	2.87±0.91
20%	1.37±0.09	1.40±0.20	1.32±0.25	1.39±0.34	1.44±0.33	1.82±0.51
30%	1.11±0.18	1.12±0.29	1.00±0.15	1.08±0.24	1.14±0.20	1.24±0.21
40%	1.04±0.26	1.06±0.32	0.92±0.14	0.88±0.19	1.05±0.24	1.06±0.36
50%	0.88±0.25	0.93±0.32	1.06±0.64	0.87±0.20	0.83±0.20	1.16±0.36

Cuadro No. 77: Análisis con porcentajes de reducción de CM para jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio en jugo crudo.

Porcentaje de reducción de CM de jugo sulfitado en jugo cristal						
Dilución	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	3%	46%	-3%	0%	-21%	20%
10%	11%	50%	10%	12%	8%	18%
20%	35%	65%	38%	35%	32%	48%
30%	47%	72%	53%	50%	46%	65%
40%	51%	74%	57%	59%	51%	70%
50%	58%	77%	50%	60%	61%	67%

Gráfica No. 66: Resultados de prueba de resazurina en jugo sulfitado como bactericida en escala piloto.



Cuadro No. 78: Resultados promedio de resazurina para jugo sulfitado como bactericida a escala piloto en jugo diluido (para ver patrón de color del CM ver el Cuadro 23)

Tándem B Ingenio Magdalena 2014							
Dilución	CM						
	Inicial	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
0%	2.17±0.40	2.25±0.43	2.25±0.54	2.38±0.43	2.44±0.52	2.48±0.62	2.53±0.57
Mezcla*	0.77±0.08	0.77±0.08	0.79±0.06	0.77±0.01	0.75±0.04	0.75±0.03	0.77±0.04

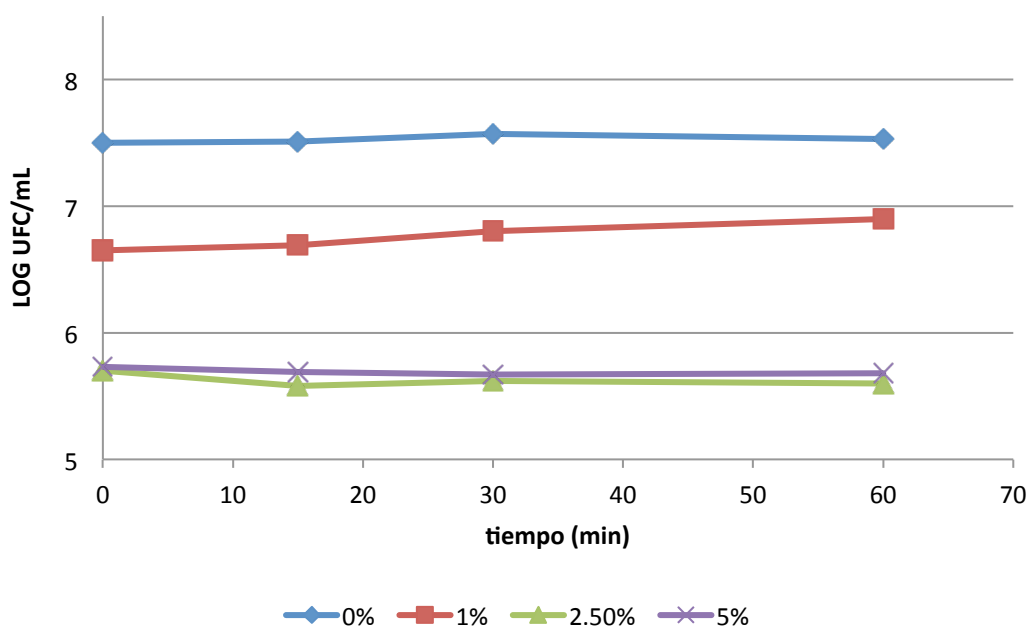
*50% v/v de jugo sulfitado en jugo crudo

Cuadro No. 79: Análisis con porcentajes de reducción de CM resazurina para el jugo sulfitado como bactericida a escala piloto en jugo diluido.

Ingenio Magdalena 12/05/2014							
	Porcentaje de reducción						
	Hora Inicial	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
Mezcla 50%	65%	66%	65%	68%	69%	70%	69%

Gráfica No. 67: Resultados de recuento de microbiota total en jugo crudo utilizando lechada como bactericida.

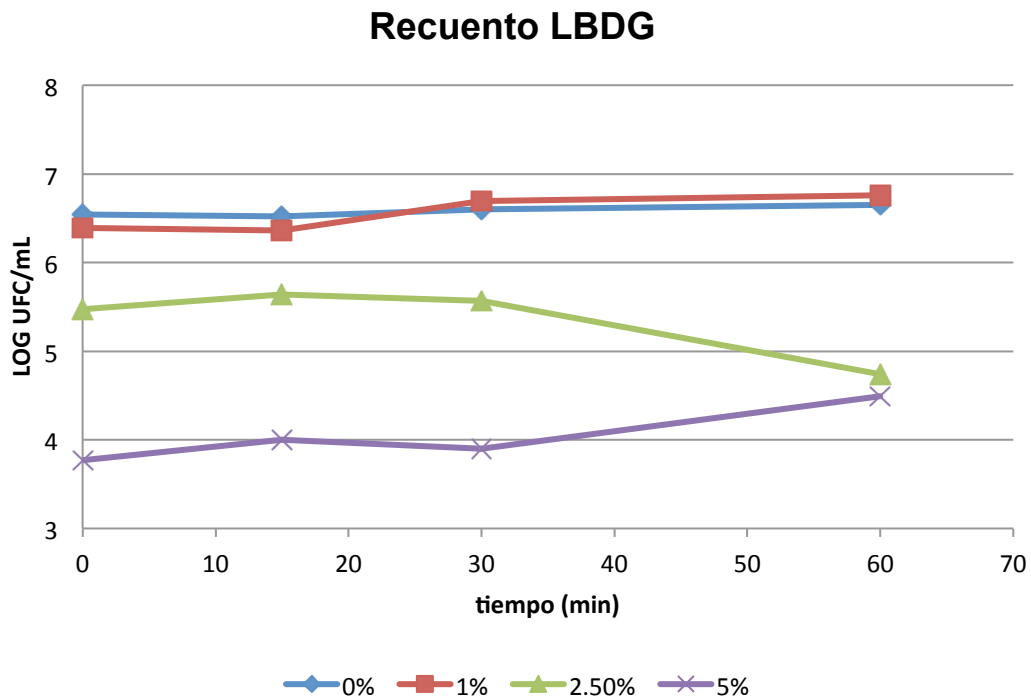
Recuento de microbiota total



Cuadro No. 80: Resultados tabulados del recuento de microbiota total en el jugo crudo utilizando lechada de cal como bactericida.

Recuento de Microbiota total para jugo alcalizado				
LOG UFC/mL	Inicial	15 min	30 min	60 min
0%	7.5	7.51	7.57	7.53
1%	6.65	6.69	6.8	6.9
2.50%	5.7	5.58	5.62	5.6
5%	5.73	5.69	5.67	5.68

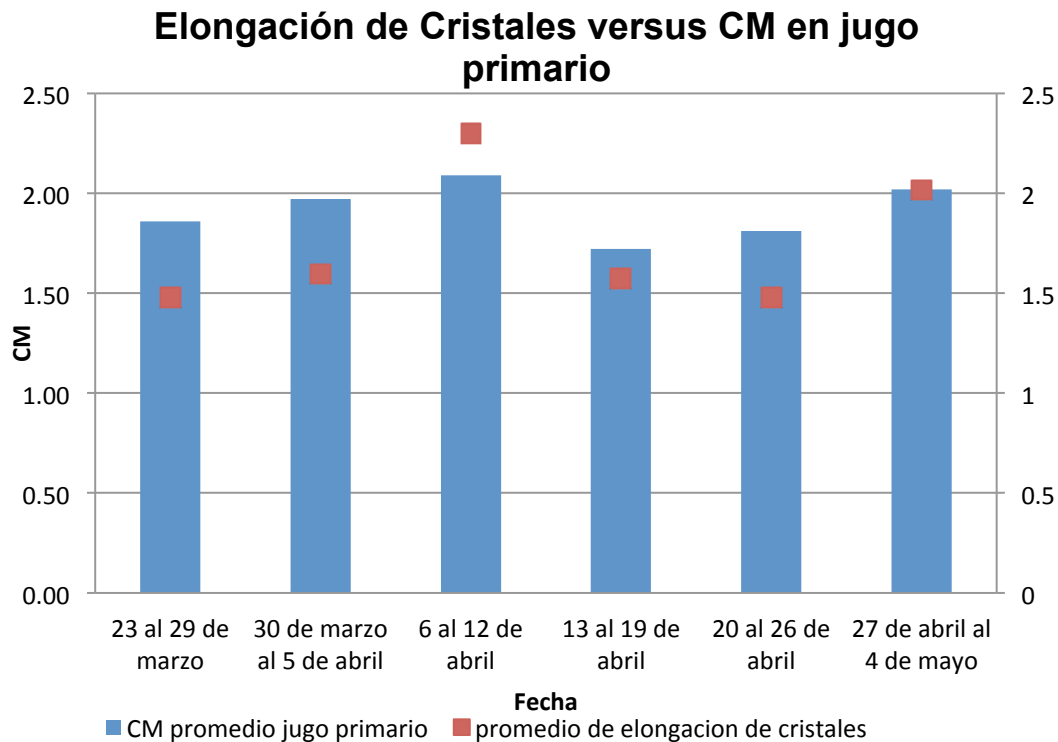
Gráfica No. 68: Resultados de recuento de LBDG (agar nutritivo para bacteria *Leuconostoc SP.*) en jugo crudo utilizando lechada como bactericida.



Cuadro No. 81: Resultados tabulados del recuento de LBDG en jugo crudo utilizando lechada de cal como bactericida.

Recuento de LBDG para jugo alcalizado				
LOG UFC/mL	Inicial	15 min	30 min	60 min
0%	6.54	6.52	6.6	6.65
1%	6.39	6.36	6.69	6.76
2.50%	5.47	5.64	5.57	4.74
5%	3.77	4	3.9	4.49

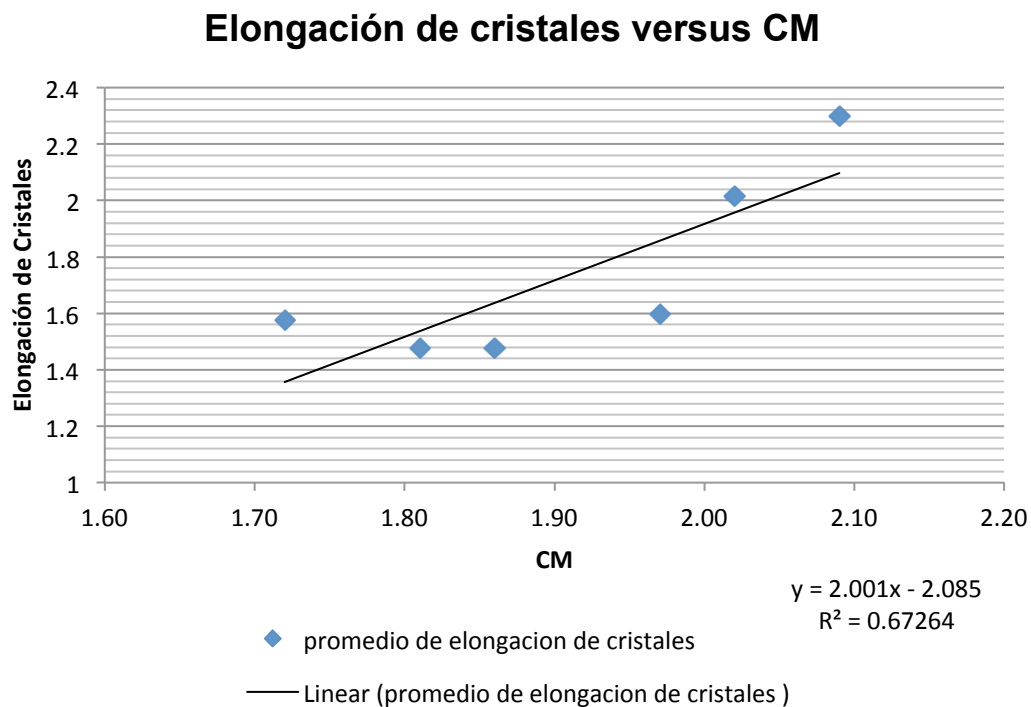
Gráfica No. 69: Relación de elongación de cristales en mada C vrs. Coeficiente Microbiológico, durante 6 semanas en el Ingenio Magdalena.



Cuadro No. 82: Datos pareados de CM con relación de elongación en cristales de masa C por semana para el Ingenio Magdalena.

Fechas	CM promedio jugo primario	promedio de elongación de cristales
23 al 29 de marzo	1.86	1.477
30 de marzo al 5 de abril	1.97	1.597
6 al 12 de abril	2.09	2.300
13 al 19 de abril	1.72	1.574
20 al 26 de abril	1.81	1.477
27 de abril al 4 de mayo	2.02	2.016

Gráfica No. 70: Regresión lineal para la relación entre elongación de cristales y CM de jugo primario.



Cuadro No. 83: Análisis de coeficiente de correlación.

	CM promedio en jugo primario	promedio de elongación de cristales
CM promedio jugo primario	1	
promedio de elongación de cristales	0.820	1

VIII. DISCUSIÓN

A. Módulo 1

1. Manejo de caña y bagacillo bajo conductores.

Para el diseño de un método factible, técnica y económicamente, para el manejo de caña barrida del patio y bagacillo debajo de los conductores en el Ingenio Magdalena; se evaluó primero cada tipo de caña y bagazo que se reincorpora actualmente al proceso de molienda.

Bagacillo debajo de conductores, en paredes, vigas y piso.

a. Impacto microbiológico en la sacarosa. Según investigaciones anteriores, este bagacillo es el que está en peores condiciones y representa un verdadero problema para el ingenio, por lo que sugieren no reincorporarlo. En la "Tabla 4" y "Gráfica 3" se puede observar una disminución significativa de sacarosa conforme pasa el tiempo. Además el porcentaje más alto inicial es de 13%, mientras que todos los demás están por debajo del 6% e incluso llegando hasta menos que 1%. Esto quiere decir que este bagazo ya lleva cierto tiempo atrapado en los conductores, por lo que los microorganismos han consumido la mayor parte de su sacarosa. En la "Gráfica 4" se percibe que al pasar las 2 horas, la mayoría del bagacillo tendrá menos de 4% de sacarosa. Además las purezas observadas en la tabla, son muy variables y se puede observar el decrecimiento de las mismas a partir del tiempo transcurrido en la mayoría de las pruebas. Existe un dato atípico en el caso del bagacillo bajo conductores mesa C, que contradice la tendencia de los demás, pero éste se considera que puede ser un error procedimental. Con base al Coeficiente Microbiológico (CM), la "Gráfica 5" muestra variaciones muy diversas: unos CM incrementan y otros decrecen con el tiempo. Esto se debe a que cada muestra (que fue tomada en diferentes puntos) se encuentra en una etapa diferente del ciclo de vida de los microorganismos, que este depende de muchos factores, entre ellos destaca el alimento (sacarosa) y cantidad de dextrana.

El estado en el que se encuentra cada muestra son resumidos por la "Gráfica 6", la cual muestra un 85% de los CM como críticos, y un 15% como bueno. Este 15% de "buenos" no son más que la fase final de los microorganismos, donde la dextrana es abundante y hay menos de 0.14% de sacarosa. Así que este indicador de CM

indica que ha bajado gracias a factores que los han llevado a descender su población en esa zona, factor como la poca sacarosa.

La "**Prueba en acumulaciones de bagacillo**" fue realizada justo después de la limpieza del conductor A, por lo que se tomó el coeficiente microbiológico de entrada del bagacillo. Según la "Tabla 6" y las gráficas 7 y 8, se observa el incremento del CM conforme pasa el tiempo, donde al comenzar, todas las muestras dieron un CM bueno, pero a la hora transcurrida se observa que todos están en entre buenos y alerta. A las 2 horas todos están en estado crítico. Esto sustenta las investigaciones anteriores realizadas en el ingenio, donde afirmaban que el máximo de tiempo admisible de reincorporación de bagacillo debe de ser a las 2 horas.

b. Temperaturas. Un factor que influye en este acelerado crecimiento de microorganismos es la temperatura. Las temperaturas de las paredes y vigas de los conductores son en promedio 33.5°C, según la Tabla 7. Dichas temperaturas contribuyen al crecimiento de microorganismos Mesófilos, según la tabla 1, los cuales son los más activos.

c. Viabilidad en calderas (humedad y tierra). La humedad admisible en calderas es de 51% y la tierra dificulta el proceso y daña poco a poco la maquinaria. En la Tabla 8 y la Gráfica 11 se observa que la humedad varía muy poco conforme a los 3 diferentes conductores, y que en promedio el bagacillo tiene en esa zona un 76% de humedad $\pm 3\%$. Ésta puede ser secada por varios métodos para llegar al 51% que exige la caldera para no tener bajas de presión y aprovechar el poder calorífico del bagacillo.

Ahora bien, los porcentajes de tierras sí varían con respecto a los diferentes conductores. En el conductor C (que es el más nuevo y está en una posición más alta) se encontró bagacillo que posee en promedio 10% de tierra, mientras en el A y B llega hasta 17% y 18%. En promedio, un 15% de tierra $\pm 7\%$ es la proporción que se encuentra en el bagacillo debajo de los conductores.

Con la información discutida anteriormente, podemos deducir que después de 2 horas de entrada y estancamiento de bagacillo en los conductores, llegan a tener menos de 4% de sacarosa y puede llegar a tener un coeficiente microbiológico crítico entre 3 CM y 5 CM o más. Dicho bagacillo posee una humedad entre 73% y 79%, con un porcentaje de tierra muy variable que en promedio está en 15%.

2. Caña barrida

a. Impacto microbiológico en la sacarosa. En la Tabla 9 y Gráfica 12, se presentan las variaciones de sacarosa conforme al tiempo, en las cuales tienden a la disminución de sacarosa. Los análisis tienen mayor porcentaje en comparación al del bagacillo debajo de los conductores (entre 13% y 23%) y presentan una media de CM mucho menor. El comportamiento del coeficiente microbiológico que presenta la gráfica 13 es el mismo caso de variación que el explicado anteriormente en el caso del bagacillo debajo de los conductores. En el caso de la caña barrida, después de más de 2 horas, el porcentaje de sacarosa sigue estando arriba del 10%, no tiene un descenso tan rápido como el bagacillo. Gracias a las Gráficas 14 y 15, es notable que el CM no está en tan mal estado en comparación con el bagacillo debajo de los conductores, ya que en el caso de la caña barrida, el 45% de los CM son aceptables, es decir entre bueno y alerta, mientras que el bagacillo presentaba la mayoría en estado crítico.

b. Viabilidad en calderas (humedad y tierra). Según la Tabla 11 y Gráfica 16, la humedad en época seca de la caña barrida está entre 62% y 72% de humedad, menor que la del bagacillo de los conductores. Esta humedad es de la caña barrida desfibrada para poder compararse con el bagazo habitual y el bagacillo de los conductores. Dicha humedad sigue estando arriba de la mínima aceptada en calderas, de 51%. Además parte de la humedad se debe a que todavía trae un porcentaje aceptable de sacarosa, como se analizó anteriormente.

La tierra que se encontró en esta caña es por el hecho de ser "barrida", ya que el procedimiento exige arrastrar todo lo que se encuentre en el patio donde esté la caña y acumularla. Los vehículos de carga frontal, conocidos en el ingenio como "payloaders", utilizan una viga de hierro para barrer dicha caña, por lo que además de movilizar la caña, la mezclan con mucha tierra. Es por eso que los porcentajes de tierra están en promedio en 13%, según la Tabla 11.

c. Chipeadora. Ya que la caña barrida no se encuentra en condiciones físicas para ingresar a las calderas, ésta debe ser pasada primero por la máquina "chipeadora" que posee el ingenio en el área de calderas. Esta máquina desfibra la caña y la deja como bagazo.

La caña barrida, con la información discutida anteriormente, tiene un porcentaje de sacarosa entre 13% y 23%, además que su disminución es lenta. Esto gracias a que a pesar de estar mucho tiempo en exposición, la corteza de la caña lo protege a pesar de estar quebrada, a diferencia del bagacillo que ya está defibrado. Su coeficiente microbiológico se mantiene variable entre aceptable (45%) e inaceptable (55%). La tierra puede ser un factor muy variable y alto, que dependen de qué tan abajo de la acumulación se encuentre la caña

3. Caña de la mesa

a. **Impacto en de reincorporación.** Este estudio se hizo para verificar la influencia de la caña barrida que se reincorpora en las mesas, y ésta en el jugo primario. Se puede observar, comparando la tabla 12 y 13, cómo afecta un alto CM en las mesas al jugo primario. Esto nos confirma la dependencia que hay cuando incorporamos bagacillo o caña barrida en las mesas, donde el bagazo que va hacia la zona de extracción se ve afectado ya que en el jugo primario se reflejan los altos coeficientes microbiológicos y tienen el mismo comportamiento.

4. Análisis de reincorporación a calderas

a. **Humedad y poder calorífico.** Ya que para la caña y bagacillo con alto coeficiente microbiológico se le está buscando alguna vía alterna, se analizó la reincorporación en el proceso de las calderas. Para efectos prácticos, se toman de referencia 1000 kg (1 tonelada) de bagacillo de los conductores o bagazo de caña barrida desfibrada para el análisis.

La Tabla 14 muestra las variaciones de poder calorífico a medida que cambia la humedad. La humedad no es el único factor que influye en el poder calorífico, pero sí es el factor que rige la mayor parte del mismo. Pequeñas variaciones pueden darse debido a altos porcentajes de tierra u otros componentes que traiga la caña.

La Gráfica 19 muestra la siguiente tendencia para el poder calorífico:

$$y = -3217.2x + 4491.8 \qquad \text{Ecuación 2}$$

De este modo se representa un descenso aproximado a medida que se aumenta la humedad, por lo tanto, a medida que disminuye, aumentará su poder calorífico. Si se

logra disminuir la humedad hasta el aceptable que es 51% de humedad, por medio de la ecuación tenemos:

$$y = -3217.2 * (0.51) + 4491.8 = 2851.03 \text{ BTU/lb}$$

Este es el menor poder calorífico que entra a las calderas (Dato teórico).

b. Bagacillo como combustible. Se sabe que si el bagacillo proveniente de los conductores se reincorpora al proceso de molienda, éste llegará a calderas después del mismo. Pero ante la demostración de no la necesidad de no reincorporar dicho bagacillo, la opción más viable es llevarlo directamente al proceso de calderas. Se analiza cuánta energía producen 1000 kg de bagacillo con el máximo de humedad permisible, de modo que dicho bagacillo que se extrae de los conductores pueda ser utilizado como sustituto de algún otro combustible que compra el ingenio, como búnker y carbón. Según la tabla 15, los 1000 kg de bagacillo pueden significar Q1,115 en compra de búnker y Q81 en compra de carbón.

c. Costo de Impacto Microbiológico. El reincorporar caña o bagacillo en mal estado, afecta principalmente en que se sube el Coeficiente Microbiológico de los jugos, por ende, pérdidas mayores de sacarosa. Según la Tabla 2, se pueden ver cómo afecta el aumento de CM en la pérdida de sacarosa.

Se realizó una prueba teórica con diferentes escenarios: optimista, medio y pesimista. Se tomó en cuenta el mismo flujo de 1000kg (1 ton) de bagacillo y el siguiente valor del precio del azúcar:

En la prueba se pudo observar que en un escenario muy optimista como el de la Tabla 17, que de hecho supera las expectativas de la caña, después de las 2 horas se puede obtener hasta Q250 por cada 1000 kg de bagacillo, mientras que en el pesimista de la tabla 19 se puede obtener lo sumo Q50, mientras los valores pueden llegar abajo de los 10 quetzales. En el escenario medio existe una pérdida de sacarosa de casi Q300 quetzales por cada 1000 kg de bagacillo.

Asumiendo que no se reincorpora dicho bagacillo, en un escenario "medio" (Tabla 18) con un incremento medio de CM, no vale la pena después de 2 horas transcurridas incorporar el bagacillo para obtener solamente Q37 en teoría, ya que al reincorporarlo contaminará los jugos y con un incremento de 0.25 en CM en los jugos (que son más de

10 000 kg), se puede llegar a perder hasta Q2,300 en sacarosa como se muestra en la Tabla 20.

Sabiendo que la capacidad máxima del ingenio es moler 42,300 toneladas en 1 día, asumiendo que se muelen 36,000, un pequeño incremento genera pérdidas mayores de sacarosa, por lo tanto menos ingresos al ingenio. Ahora bien, si el CM se mantiene bajo, si no se reincorpora el bagacillo con coeficientes microbiológicos críticos, estas pérdidas no ocurrirán.

d. Sistema de secado. El bagacillo bajo el sol se seca muy rápido, pero superficialmente. De la prueba realizada, según la gráfica 19 y tabla 20 se logró bajar en 2 horas hasta un 15% la humedad de una pequeña muestra de bagacillo. Se observó que se seca por completo la parte superficial, de 2 a 3 cm, pero que al mezclarlo se va secando otro pedazo y de esa forma se logra bajar el porcentaje de humedad. Este sistema ya es utilizado en calderas, ya que con los vehículos de carga frontal (payloaders) mueven el bagazo para que éste disminuya su porcentaje de humedad.

En la Gráfica 20 también se observó que el secado no es lineal, que tiene un comportamiento en base a un gradiente variado que disminuye a medida que se va acercando a la humedad del ambiente. Las fotografías de las pruebas están en anexos, desde la Figura 41 hasta la 45.

No se observaron diferencias notables con respecto a la variación de humedad de la caña barrida y del bagacillo debajo de los conductores.

B. Módulo 2

1. Clarificación y evaporación. El objetivo principal de este módulo de megaproyecto es determinar la relación entre la incidencia y los efectos de la actividad microbiológica en el proceso de clarificación y evaporación con jugos del Ingenio Magdalena, a escala de laboratorio; determinando de esta forma el impacto que la actividad microbiológica y la posible reducción de pérdidas en los procesos, aumentando en la productividad. Esto se llevó a cabo mediante la medición de muestras de jugo sulfitado crudo y cristal en una mezcla homogénea de jugos obtenidos de los tres diferentes tándem.

En el proceso de clarificación y evaporación de un ingenio es importante mantener un control estricto en las variables de pH y grados Brix; estas variables son útiles para mantener control sobre el proceso de producción. En este estudio se utilizaron para cumplir con los objetivos trazados los cuales fueron: Determinación de consumo de lechada, velocidad de sedimentación, formación de lodos y masa de incrustaciones.

Para la realización de la investigación se llevaron a cabo dos tipos de muestreo; el primero, para poder identificar la tendencia que existe entre las variables a correlacionar (para esto se tomaron 10 muestras de cada uno de los jugos sulfitados crudo y cristal). El segundo tipo de muestreo se llevó a cabo para determinar el cambio del mismo jugo a dos diferentes horas y así relacionar los resultados de las pruebas realizadas. Por lo que los resultados finales presentados anteriormente se determinaron a partir del segundo tipo de muestreo, evaluando el cambio durante el tiempo. El muestreo de cada uno de las variables medidas solamente se tomó una vez, debido a que se contaba con un uso restringiendo del potenciómetro en el Laboratorio de Fabrica del Ingenio Magdalena, limitado el estudio a una sola medición por muestra.

Los resultados presentados son ecuaciones desarrollados para poder predecir el impacto y efectos de la actividad microbiológica, por medio del coeficiente microbiológico (CM), para su utilización como herramienta para el Laboratorio de Fabrica e Ingenio Magdalena de forma general. Todos los ecuaciones desarrollados por medio de regresiones lineales se escalaron bajo las condiciones proporcionadas por el Ingenio a 150 días de Zafra y un flujo para el jugo crudo de $0.2281 \frac{m^3}{s}$ ($3,625 \frac{gal}{min}$) y de jugo cristal de $0.2208 \frac{m^3}{s}$ ($3,500 \frac{gal}{min}$).

Para poder alcanzar el primer objetivo se llevó a cabo la medición de las variables de pH y CM. En conjunto con la medición del pH, se llevó a cabo la alcalinización de las muestras de jugo sulfitado con lechada proveniente del Ingenio llevando a cabo una simulación apegada al proceso del mismo. Los resultados de pH, CM y volumen de lechada consumida, presentados en los cuadros 36, 50 y 51 en el área de apéndice, muestran que a un incremento de CM el pH del jugo disminuye lo cual confirma la información recabada en la literatura la cual presenta que cuando existe presencia de microorganismos en el jugo de caña estos como parte de su proceso metabólico liberan ácidos y por tanto disminuyen el pH de la solución en la cual se encuentren presentes. La disminución del pH en las muestras de jugo, como se puede observar en los cuadros

antes mencionados, incrementa el consumo de lechada debido a que en el proceso se desea la neutralización del jugo a un pH 7 o cercano al mismo. Por lo anteriormente propuesto, se determinó que existe una relación directa entre el incremento de lechada y el incremento de CM.

La lechada utilizada en la simulación del proceso se obtuvo del tanque de mezclado de lechada de cal del Ingenio, la cual maneja un rango de 5° a 7° baume por lo que se trabajó con un promedio de 6° baume.

Los resultados del pH, CM y volumen consumido de lechada, se utilizaron para poder describir el incremento del consumo de lechada por el aumento del CM; utilizando el segundo tipo de muestreo con el objetivo de relacionar los resultados obtenidos con deltas de los mismos y el cambio del CM en el tiempo, los resultados se presentan en los cuadros 52 y 53. Con los valores presentados en los cuadros se generó una ecuación, por medio de una regresión lineal, para describir el cambio de consumo de lechada por el cambio de CM, este análisis se utilizó tanto para el jugo crudo como cristal. Por medio de la ecuación desarrollado en el laboratorio se desarrolló una ecuación escalado con las condiciones mencionadas anteriormente, obteniendo el incremento de consumo de lechada por el incremento de CM para toda la Zafra. La ecuación desarrollada del jugo crudo para el consumo de lechada fue $Lechada\ de\ cal\ (m^3) = (369 \times CM) - 1 \times 10^{-13}$ con un $R^2 = 0.86439$ el cual muestra una dispersión de datos baja, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 4.143\%$ (0.04143); la ecuación desarrollada para el jugo cristal fue $Lechada\ de\ cal\ (m^3) = (225.75 \times CM)$ con un $R^2 = 0.56172$ el cual muestra una dispersión alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 12.52\%$ (0.1252). Se presenta en las gráficas 1 y 2, la ecuación desarrollada para el Ingenio Magdalena en el cual se observa el incremento de metros cúbicos de lechada por el incremento del CM; para esto se tomaron 4 puntos representativos de incremento de CM, 0.1, 0.5, 1.0 y 1.5, mostrando el incremento de lechada en el cuadro 55 del área de apéndice.

Para la cuantificación del incremento del consumo de lechada se obtuvo la cantidad de masa (kilogramo) consumida de cal (hidróxido de calcio) y el costo de la misma. Para la determinación de la masa de cal se utilizó el cuadro presentado en la Figura 9, el cual relaciona los grados baume con gramos por litro del mismo, esta relación se presenta en la literatura por la National Lime Association. El precio de la

tonelada métrica del hidróxido de calcio, para Ingenios puesto en Escuintla, fue de \$140.00 o Q1,085.00 (utilizando una tasa de cambio de 7.75 Q/\$), proporcionado por Horcalsa (Grupo Progreso). El desarrollo del ecuación para describir el incremento de la masa de cal por el aumento del CM, utilizó la ecuación del consumo de lechada como base para su desarrollo, la ecuación desarrollada del jugo crudo para el consumo de cal fue *Hidróxido de calcio (kg) = (19871 x CM) - 9 x 10⁻¹²* con un R² = 0.86439 igual al consumo de lechada, el cual muestra una dispersión de datos baja, y un error para la ecuación de regresión de E = ± 4.143% (0.04143); la ecuación desarrollada para el jugo cristal fue *Hidróxido de calcio (kg) = (12157 x CM) - 4 x 10⁻¹²* con un R² = 0.56172 igual al consumo de lechada, el cual muestra una dispersión alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de E = ± 12.52% (0.1252).

La ecuación para la determinación del incremento de costos en el proceso de alcalinización del jugo sulfitado se llevó a cabo de la misma forma que la ecuación de la masa de cal, partiendo del ecuación desarrollado para el incremento de la lechada por el aumento del CM. la ecuación determinado para el incremento de costos del jugo crudo fue *Incremento costos proceso de alcalización (Q) = (21560 x CM) - 3 x 10⁻¹¹* con un R² = 0.86439 igual al consumo de lechada, el cual muestra una dispersión de datos baja, y un error para la ecuación de regresión de E = ± 4.143% (0.04143); la ecuación determinado para el jugo cristal fue *Incremento costos proceso de alcalinización (Q) = (13190 x CM) - 9 x 10⁻¹²* con un R² = 0.56172 igual al consumo de lechada, el cual muestra una dispersión alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de E = ± 12.52% (0.1252).

Se presenta en las Gráficas 11 y 12 las ecuaciones desarrollado del incremento de kilogramos de cal y costos de operación para el proceso de alcalinización, con respecto al aumento del CM en Ingenio Magdalena. En el Cuadro 55, del área de apéndice, se muestra los resultados del incremento de CM para 4 puntos representativos, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 de CM, mostrando el comportamiento para ambos ecuaciones de forma numérica.

La teoría propone que la actividad microbiológica no solo disminuye el pH de la solución en la que se encuentre como producto de su metabolismo en la formación de ácidos, sino que algunos de estos ácidos pueden tener capacidad buffer. El consumo de lechada incrementa debido a un aumento del CM, como se presentó en las ecuaciones

desarrolladas anteriormente, confirmando lo propuesto por la teoría; tomando en cuenta que el jugo adquiere resistencia al cambio de pH por la capacidad buffer. Otro factor que influyó en el desarrollo de las ecuaciones fue la preparación de lechada, debido a que esta por datos proporcionados de operarios del Ingenio se maneja entre 5° y 7° Baume. Por lo que se tomó un promedio de 6° Baume para la realización de los cálculos de la determinación de la cal (hidróxido de calcio) utilizada.

La evaluación de los cambios de velocidad de sedimentación se desarrollaron mediante la medición del tiempo transcurrido para el desplazamiento de 10mL de lodos dentro de una probeta de 1000mL, para esto se utilizó una relación de 1/100 de floculante utilizado en el ingenio para el proceso de clarificación. Los datos de la relación de floculante se tomaron del megaproyecto “Investigación e implementación de procesos para mejorar la eficiencia y calidad en la industria azucarera de Guatemala” presentada en el año 2013. Se pudo observar la disminución de la velocidad de sedimentación en las pruebas por el aumento del CM, presentado en los cuadros 50 y 51. Para la determinación del volumen de lodos formados se midió los mL que éstos ocupaban luego de la clarificación (120s trascurridos luego de iniciado el proceso) de 1000mL de jugo sulfitado alcalizado, en el cual se presentó un aumento de lodos por aumento de CM presentado en los cuadros antes mencionados. Con los datos recabados se generó una ecuación para describir el comportamiento de la velocidad de sedimentación y otro para la formación de volumen de lodos, utilizando las mismas condiciones de las ecuaciones anteriores. La ecuación para el cambio de velocidad de sedimentación por el aumento del CM para el jugo sulfitado crudo fue $Velocidad\ de\ sedimentación\ (mL/s) = - (0.0664 \times CM) + 1.2449$ con un $R^2 = 0.39698$ el cual muestra una dispersión de datos alta, y un error para la regresión lineal de $E = \pm 16.25\%$ (0.1625); la ecuación desarrollada para el jugo sulfitado cristal fue $Velocidad\ de\ sedimentación\ (mL/s) = - (0.107 \times CM) + 1.6385$ con un $R^2 = 0.2807$ el cual muestra una dispersión alta de los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 23.50\%$ (0.2350). Se presenta en las gráficas 5 y 6, la ecuación desarrollada para el Ingenio Magdalena en el cual se observa la disminución de la velocidad de sedimentación en el proceso de clarificación, con respecto al aumento del CM. Tanto las gráficas como las ecuaciones desarrolladas no son aptas para describir el comportamiento de forma exacta, por lo que solamente se puede utilizar como un indicador de disminución de velocidad de sedimentación.

La ecuación para el incremento de volumen de lodos, del proceso de clarificación, por el aumento del CM en el jugo sulfitado crudo fue $Volumen\ de\ Lodos\ (m^3) = (4859 \times CM) - 2 \times 10^{-12}$ con un $R^2 = 0.9653$ el cual muestra una relación alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 0.87\%$ (0.0087); la ecuación para el jugo sulfitado cristal fue $Volumen\ de\ Lodos\ (m^3) = (15379 \times CM)$ con un $R^2 = 0.97437$ el cual muestra una relación alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 0.64\%$ (0.0064). Se presenta en las Gráficas 3 y 4 las ecuaciones desarrolladas del incremento de volumen de lodos en el proceso de clarificación, con respecto al aumento del CM en Ingenio Magdalena. En el cuadro 56, del área de apéndice, se muestra los resultados del incremento de CM para 4 puntos representativos, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 de CM, mostrando el comportamiento para ambas ecuaciones de forma numérica.

La teoría sugiere que cuando se tienen presentes microorganismos en el proceso de producción de azúcar estos secretan gomas llamadas dextranas, las cuales son otro producto, al igual que los ácidos formados, por el consumo de azúcares por parte de la actividad microbiológica. Las dextranas son polisacáridos los cuales no solo reducen la concentración de sacarosa en el jugo de la caña, sino que aumentan la viscosidad de éste disminuyendo la tasa de asentamiento de lodos y aumentando la formación de los mismos. En el proceso de clarificación este incremento en la viscosidad del jugo afecta la velocidad de sedimentación de los lodos o impurezas, impurezas que el floculante agregado en este proceso ayuda a atrapar y sedimentar. Este es un problema para la producción de azúcar debido a que el proceso no espera a que todos los lodos sedimenten por ser un proceso continuo. Parte de los lodos no pueden ser removidos y por esto son arrastrados con el jugo a otras partes del proceso de producción de azúcar como lo es al proceso de evaporación. Otro de los efectos de la formación de dextranas, sugerido por el aumento de CM, es el incremento de lodos formados; estos son los lodos que se sedimentan pero que no pueden compactarse en el fondo del tanque debido a que la viscosidad del jugo es mayor por las dextranas presentes. La formación de una mayor cantidad de lodos repercute en el proceso de filtros de cachaza; ya que al recibir un mayor flujo de lodos estos incrementan la velocidad de filtración disminuyendo el tiempo de los lodos en el proceso, lo cual se traduce a una menor extracción de azúcar de los lodos; generando pérdidas económicas. Disminuyendo la productividad

por la disminución en la producción de azúcar debido a la pérdida del mismo durante el proceso.

Observando la ecuación presentado para la disminución de velocidad de sedimentación debido al aumento del CM, este posee una alta dispersión de datos, por lo que se sugiere que la ecuación se utilice como una guía en cuanto a la determinación de la tendencia o comportamiento del mismo, ya que este no puede determinar la velocidad de sedimentación de una forma precisa. Para la ecuación de incremento de volumen de lodos a partir de un aumento en el CM presenta una tendencia lineal y apegada al ecuación desarrollado, por lo que este si puede ser utilizado como una herramienta para la evaluación del estado actual del proceso y su repercusión en la zafra.

Una de las fuentes de error, para esta parte de la investigación, algunas muestras de jugo sulfitado tomadas tenían tonalidad oscura por lo que dificultaba en algunas pruebas la medición del movimiento de lodos dentro de la probeta, afectando en la medición de la velocidad de sedimentación.

La determinación del incremento de incrustaciones en los evaporadores de calandria se determinó mediante la medición del diferencial de masa de tubos de calandria expuestos a un proceso de evaporación de jugo clarificado. Para poder determinar si efectivamente existía un incremento en las incrustaciones debido al aumento de CM se llevaron una serie de pruebas las cuales confirmaron este comportamiento; los resultados de las pruebas se presentan en los cuadro 27 al 32. Posteriormente, se evaluó el cambio de incrustaciones totales debido al cambio de CM, generando una ecuación al igual que para el consumo de lechada para el proceso desarrollado en el laboratorio, y utilizando las condiciones presentadas al principio para su escalamiento se ecuación el comportamiento para el incremento de incrustaciones totales debido al cambio del CM. La ecuación para el jugo crudo fue *Kilogramos Incrustaciones (kg) = (7412 x CM) - 1 x 10⁻¹¹* con un $R^2 = 0.99054$ el cual muestra una dispersión de datos baja, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 0.23\%$ (0.0023); la ecuación desarrollada para el jugo cristal fue *Kilogramos Incrustaciones (kg) = (9541.8 x CM) - 6 x 10⁻¹²* con un $R^2 = 0.73347$ el cual muestra una dispersión media en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 7.17\%$ (0.0717). Se presenta en las gráficas 10 y 11, la ecuación desarrollada para el Ingenio

Magdalena en el cual se observa el incremento de kilogramos o toneladas métricas por el incremento del CM; para esto se tomaron 4 puntos representativos de incremento de CM, 0.1, 0.5, 1.0 y 1.5, mostrando el incremento de lechada en el cuadro 58 del área de apéndice.

En la operación de evaporación es importante mencionar que en los primeros 2 evaporadores o efectos la presión que se maneja es una presión igual o cercana a la atmosférica y en el 3, 4 y 5 evaporador o efecto las condiciones de presión disminuyen, llevando las condiciones de operación a una alta temperatura y presión al vacío, para poder llevar a cabo lo que se denomina economía de evaporación de múltiple efecto. El desarrollo de esta operación a escala laboratorio sólo llevó a cabo la simulación de evaporación del 4 y 5 efecto a condiciones de vacío, ya que el equipo utilizado no permitió trabajar con el jugo del 3er. efecto a estas condiciones, debido al volumen del mismo, siendo este una fuente de error para el resultado del incremento de incrustaciones en este efecto. En las gráficas 7 y 8 se presenta el porcentaje de incrustaciones para cada uno de los evaporadores, como también las incrustaciones formadas para la Zafra 2014. Este resultado se pudo determinar por el desarrollo de la ecuación anterior. Observado el 3er. efecto en la gráfica 7 y 8 se puede observar una disminución en la tendencia de formación de incrustaciones, la cual presenta un aumento en las incrustaciones desde el 1er. al 5to efecto. Las incrustaciones para cada uno de los efectos determinado por el CM promedio durante la zafra, determinado para el jugo crudo fue de 4,198.4 kg para el 1er. efecto, 5,248.0 kg para el 2do. efecto, 3,816.7 kg para el 3er. efecto, 7,156.3 kg para el 4to. efecto y 9,446.4 kg para el 5to. efecto: para el jugo cristal fue de 5,438.8 kg para el 1er. efecto, 6,965.5 kg para el 2do. Efecto, 7,442.6 kg para el 3er. efecto, 10,018.9 kg para el 4to. efecto, 15,648.6 kg para el 5to. efecto; presentados en el Cuadro 57.

La formación de incrustaciones está relacionada por la disponibilidad de iones calcio en el jugo clarificado, el cual al estar en condiciones de temperatura y presión específicas en los evaporadores de calandria, se induce a la formación de incrustaciones en las paredes de los tubos. Estos iones calcio libres en el jugo de caña, provienen del proceso de clarificación debido al incremento en el consumo de lechada por la formación de ácidos buffer. La resistencia de estos ácidos al cambio de pH, obliga a agregar excedente de lechada asegurándose el Ingenio que el jugo esta alcalizado, ya que por ser el proceso continuo no se posee el tiempo necesario para agregar

lechada y esperar a que se lleve a una estabilización del pH. El excedente de cal agregado para la neutralización del jugo forma iones calcio libres, los cuales no se eliminan en la etapa de sedimentación de lodos en el proceso de clarificación, siendo estos arrastrados con el jugo clarificado al proceso de evaporación. Si este excedente de lechada no se agrega se puede obtener un jugo de caña ácido, el cual en el proceso de evaporación favorecería una hidrólisis ácida por la formación de dos monosacáridos no cristalizables a nivel industrial, los cuales son la glucosa y la fructosa.

Las incrustaciones pueden tener un impacto potencial en el incremento de consumo de vapor proveniente de la caldera, debido a la resistencia de transferencia de calor del vapor hacia el jugo; ya no solo se tiene la resistencia de tubo (calculada en el diseño del equipo), sino también la resistencia de las incrustaciones sobre el tubo de calandria. Esto se traduce a un incremento en los costos de operación y una disminución en la productividad, ya que se requiere de mayor cantidad de energía para una producción igual o menor de azúcar.

Dentro de las posibles fuentes de error en esta investigación se encuentra la falta de datos sobre el control del proceso de producción de azúcar en el Ingenio Magdalena debido a que los valores proporcionados de flujo de jugo de caña sulfitado para el jugo cristal es el promedio de dos valores de flujo que el Ingenio proporcionó, debido a que el sistema de control del flujo para el jugo cristal se encontraba dañado. Otra fuente de error mencionada anteriormente en la metodología fue el número de muestras tomadas para llevar a cabo el estudio, ya que se contaba con una restricción en el uso del potenciómetro en el Laboratorio de Fábrica, siendo limitado el número de muestras a trabajar. Por lo que solamente se tomó una muestra por cada medición y no se trabajó en triplicado. Este pudo ser una de las fuentes de error más importantes en la investigación, afectando la dispersión de los datos en las ecuaciones desarrollados como se pudo observar en la ecuación desarrollada para la velocidad de sedimentación.

Por medio de esta investigación se determinó que la falta de control microbiológico en los procesos anteriores a la clarificación tiene un impacto negativo en los procesos posteriores debido al efecto del CM. El consumo innecesario de lechada, la disminución en la velocidad de sedimentación, el incremento de lodos formados que sugiere pérdidas potenciales de azúcares en el proceso de filtración de cachaza y el

incremento en la formación de incrustaciones que sugiere un potencial incremento en los costos de operación, afectan de forma directa la productividad de Ingenio Magdalena. Debido a lo anterior y a las ecuaciones de presentados se muestra la importancia de un sistema de evaluación, control y corrección sobre la actividad microbiológica en los procesos de recepción y extracción para la producción de azúcar, mediante la evaluación del CM.

C. Módulo 3

Con el objetivo de caracterizar, es decir, conocer las características microbiológicas del sistema de filtración de lodos de cachaza del Ingenio Magdalena de Guatemala, se procedió a realizar una serie de estudios que permitieran conocer no solo su existencia sino la relevancia de la misma. De forma que se pueda en base a los resultados obtenidos establecer variables de control para la implementación de una logística de trabajo que permita minimizar tal impacto y así hacer más funcional el proceso de recuperación de azúcar almacenado en los lodos de desecho del proceso de clarificación.

Como se observó en las secciones anteriores, el área de recuperación de azúcar contenida en los lodos de desecho provenientes del área de clarificación del proceso de jugo de caña de azúcar, juega un papel importante en la eficiencia del proceso completo. Sacar el máximo rendimiento de la producción al menor costo es uno de los pilares de la ingeniería.

El área de recuperación fue diseñada con el objetivo de no perder el azúcar que va en porciones importantes en estos lodos llamados en el lenguaje azucarero de Guatemala, Cachaza; este es un sustrato con las condiciones necesarias para el desarrollo de microorganismos que consumen sacarosa, y ese precisamente es el problema, que las estructuras, equipos, tuberías y procesos fueron diseñados de forma que el impacto del consumo de sacarosa por parte de esta microbiota no puede ser regulado, en algunos casos ni siquiera se contempló su existencia y por lo tanto no puede ser medida la cantidad de pérdida de producto por este factor.

1. Infraestructura. Las características del proceso son especiales y eso hace a un más particular la clase de organismos que proliferan en el sustrato, en primer lugar este es un medio viscoso y lleno de materia suspendida, la cual se maneja a temperaturas de entre 60° a 90° Celsius, el sustrato una vez sale de los clarificadores se transfiere a una serie de tanques contenedores que no solo tiene diferentes tiempos de retención, volumen y diseño, sino también temperaturas.

Es por eso que la metodología de estudio debía contemplar el diseño del proceso, tomar en cuenta las tuberías, estructuras, los equipos y operaciones unitarias del mismo, el diseño experimental debía ser no solo práctico sino propio para el sistema. Se estudió de forma física y directa el área, se encontró que el sistema de filtración del Ingenio Magdalena de Guatemala es una derivación del sistema RAPIFLOC, diseñado por Dorr y Oliver en 1961, si se observa la figuracinco de la sección de justificación, se puede observar que los lodos de clarificación ingresan en un tanque tanquedenominado “cachazón”, aquí lo lodos ingresan a temperaturas muy cercanas al punto de ebullición del agua, sin embargo debido al volumen del mismo y a que aquí se reintegran los lodos de reboso de los filtros y se agrega el bagacillo la temperatura se mantiene alrededor de los 90 grados Celsius aproximadamente.

Como se observa en figura seis, la primera sección está conformada por seis filtros al igual que la segunda, en la sección primera dos grupos, el grupo uno conformado por los filtros uno y tres, el grupo dos conformado por los filtros 6, 8,10 y 12. La segunda sección organizada de la misma forma con los filtros dos y cuatro en el primer grupo y los filtros 5, 7, 9 y 11 en el segundo. Esta nomenclatura es propia de área y fue diseñada de forma que fuera posible identificar cada equipo por su posición física en el lugar.

Las tuberías que provienen del cachazón alimentan los tanques de alimentación o coaguladores, en este tanque ingresa también una tubería que dosifica coagulante a la mezcla de lodo y bagacillo con el fin de separar mejor la materia suspendida del jugo. Los lodos son dosificados a la cama o tanque de lodos, figura cinco de la sección de justificación, donde entran en contacto con el tambor del filtro.

Los jugos filtrados son extraídos por dos sistemas separados de vacíolos guales guían los jugos de bajo vacío y alto vacío a dos tanques para cada tipo de jugos, estos después son impulsados a por otro set de bombas a través de una misma tubería de

regreso a dos áreas, el área de clarificación de meladura tipo Cristal, donde solo se utiliza una pequeña porción para lavar las espumas de la meladura, y el resto hacia el área de torres de sulfitación donde iniciará su reproceso.

De las camas o tanques de almacenamiento de lodos de cada filtro existen salidas llamadas rebosos, donde, el excedente de lodos es devuelto al cachazón. Este sistema de tuberías hace que no solo se mantenga un volumen determinado en cada filtro sino que el sistema permanezca continuo. Ahora este volumen no es constante y depende del nivel de producción de la fábrica, a mayor producción mayor cantidad de lodos dosificados al área, depende también del día de la semana en el que se está y del horario pues esto determina también el grado de producción de la fábrica y si los equipos están funcionando o no.

2. Logística del área. Durante la zafra 2013-2014 el área trabajo durante los meses de noviembre a mayo siete días a la semana y 24 horas al día. El área es supervisada por los ingenieros del área de fábrica y laboratorio de análisis de calidad de fábrica a través de los supervisores quienes dirigen un grupo de cinco operarios quienes controlan, dan mantenimiento y limpian el área. Los horarios de trabajo consisten en tres turnos, de las seis a las 14 horas, de 14 a 22 horas y de 22 a seis horas.

Durante los dos primeros tercios de la zafra se designó el día lunes como día de mantenimiento para todas las áreas, el último tercio se trasladó hacia el día martes. Esto debido a la baja en la producción por la escasez de caña debido al fin de la temporada. Durante los días de mantenimiento la producción disminuye debido a que los tándem de molinos de extracción de jugos hacen paros, pero también otras áreas, esta baja en la producción significa disminución de los lodos dosificados al área, lo que permite parar algunos filtros para reparaciones y mantenimiento, sin embargo esto significa detener ciertos flujos y aumentar los tiempos de retención de lodos que se quedan almacenados en tanques de alimentación o coaguladores.

El mantenimiento, aunque designado para un solo día, no es dependiente de completamente del esta designación ya que de ser necesario el paro de un filtro, por reparación de alguna parte o dispositivo, este se lleva a cabo.

3. Sobre la limpieza del lugar. Este proceso se llevó a cabo dos veces por turno, a mitad y antes del final del periodo, la limpieza consiste en la remoción de excedentes de torta acumulados en esquinas y otros espacios sobre la estructura del filtro, limpieza de polvo y otros residuos por medio de lavado con agua caliente a presión. El lavado se realiza superficialmente y de forma aleatoria.

Debido al diseño mismo de los filtros, existen partes a las cuales el acceso para limpieza es complicado, el lavado superficial permite que se formen acumulaciones de lodos que al estar expuestos a temperaturas entre los 50°C y 60°C, oscuridad y humedades superiores al 75% provocan acumulación de lodos bioactivados que aumentan la actividad microbiológica. En la sección F del anexo, las fotografías siete y ocho nos muestran el estado actual de los filtros a causa de la logística de limpieza que se maneja actualmente.

4. Análisis actuales en el área por parte del laboratorio de IMSA. Hasta el momento el único control analítico que se posee es la medición de %Pol de muestras que se toman de lodos y torta de cada filtro y de los desechos de torta extraídos por una banda transportadora que recorre el centro del área y que por debajo de los filtros pasa recolectando tales desechos para llevarlos a un contenedor de salida.

Tal medición expresa una medida promedio de 1.4 de pol (dato proveído por laboratorio de fábrica de IMSA), la cual utilizan para comparación y aproximación de azúcar perdida en tortas de desecho de los lodos. Sin embargo esta medición con es directa y exacta, sino únicamente establece un porcentaje aproximado del grado de eficiencia de proceso de recuperación de azúcar. Por lo tanto actualmente el ingenio no posee una medición directa de la cantidad de sacarosa recuperada ni perdida que pueda examinar que el impacto de la microbiota en el área.

En base a lo anterior, se estableció una serie de métodos que permitan conocer la actividad microbiológica de cada filtro en base a su diseño y los factores que pueden controlarla, de forma que a partir de estos datos se pueda establecer a mediano plazo un sistema de control microbiológico como el que ya se ha establecido en el área de molinos y que opera de forma práctica y sencilla pero que ha sido determinante en el aumento de la eficiencia en tal área.

5. Primeros análisis. Como se puede observar en el área de Justificación, se realizaron 5 mediciones de temperatura y CM de forma preliminar para establecer bases de diseño para un método específico de estudio, las gráficas dos a cinco, nos indicaron las primeras bases. Por ejemplo si se observa la gráfica dos, se puede observar que existe una variación significativa de la temperatura de los tanques de ingreso o coaguladores que se mantienen temperaturas de entre 85 a 90 grados Celsius y los filtros poseen temperaturas entre los 50 y 70 grados centígrados, por lo que la microbiota cualquiera que fuera debería ser termófila, específicamente la de las camas de lodos de los filtros.

En base a estos datos, se concluyó que debido a la alta temperatura de los tanques de alimentación la microbiota de tales solo sería determinante en el caso que hubiera paro, ya que los lodos fríos que generalmente se quedan almacenados, luego del tiempo de enfriamiento proporcionan un medio en el cual la actividad microbiológica prolifera. La temperatura tan alta de los coaguladores hace casi imposible que exista una microbiota activa en el sustrato.

Tales conclusiones se vieron respaldadas por las mediciones de CM por medio de la prueba de resazurina, esta prueba indica que hay mayores actividades microbiológicas en las camas de los filtros que en los tanques de ingreso. Únicamente en aquellos tanques que tiene temperaturas cercanas a los setentas poseen CM. Si se observa la gráfica tres de la sección de Justificación, se puede ver que existen puntos atípicos de medición, dos claros, primero el punto atípico refleja la actividad en un tanque que sufrió paro por manteamiento, los lodos estancados revelaron actividades microbiológicas sumamente altas. Estos lodos estancados constituyen un reactor en el cual proliferan los microorganismos. Esto es importantísimo de tomar en cuenta pues de ser devuelto a las camas de los filtros aumentarían la microbiota ya existente y aumentando el consumo de sacarosa por parte de los microorganismos.

La misma gráfica revela un punto importante para la prueba de análisis, si se compara con la gráfica dos, se puede ver que existen algunas inconsistencias con los resultados, más adelante se prueba que a medida que aumenta la temperatura disminuye el CM, no fue hasta que se probó esto que las inconsistencias en los valores de estos primeros resultados cobraron sentido, además en base a observaciones se determinó que la prueba de Resazurina pierde sus propiedades y se degrada a altas

temperaturas (80-100°C) proveyendo lecturas inexactas, los colores varían en tonos no definidos y además la alta concentración de coagulante provoca que se torne difícil leer las pruebas. Se crean grumos seccionados y repartidos a lo largo de todo el tubo de ensayo, en ocasiones los lodos se separan en dos porciones provocando dos o más lecturas diferentes.

Aunque al principio esto no fue obvio, si permitió establecer que las mediciones de los tanques de ingreso o coaguladores deberían ser relegados y analizados desde otro punto de vista, el de sus operación y limpieza.

Por otro lado, se observa la gráfica cuatro de la sección de justificación ofreció información importante sobre la actividad de los filtros y de cuáles deberían analizarse de forma más específica. Nos indicó que en base al diseño específico de cada uno debería establecerse puntos de muestreo específico. Si se observa la gráfica se puede ver que existen algunas mediciones atípicas, sin embargo estas son congruentes con las mediciones posteriores, hasta este punto todo indicó que el CM de los filtros dependería meramente de tres factores, diseño, volumen y tiempo de residencia.

Por otro lado se analizaron los jugos filtrados, esto con el fin de analizar los mismos comportamientos, se puede observar la gráfica cinco, justificación, donde a medida que varía la temperatura así se comporta también el coeficiente de actividad microbiológica CM. Estas muestras se tomaron en las salidas de jugo filtrado que se localizan en los clarificadores de meladura tipo Cristal, aquí el jugo se utiliza para remover espumas, sin embargo la medición en este lugar solo es consecuencia del comportamiento en el filtro, por lo que se concluyó que al mejorar el estado de los jugos en el filtro, automáticamente los jugos filtrados en cualquier otro punto del proceso también lo harían. Por lo que se eliminó este punto de muestreo.

6. Métodos de análisis. Con base en lo anterior se estableció la prueba de Resazurina como método principal acompañada de la medición de temperatura y las pruebas de recuento en placa de anaerobios y cambio de pH o Fermentación espontánea como secundarias y de respaldo de los resultados de CM y temperatura, ya que son pruebas mucho más complejas y solo pueden ser realizadas dentro de laboratorio y no in situ como las primeras.

La actividad microbiológica se midió en puntos de muestra específicos para cada filtro, las figuras siete de la sección de resultados generales del estudio, se muestra un esquema general desde una vista superior de un filtro, allí se pueden observar los puntos posibles de muestreo, los cuales dependen de la calidad de acceso que se tiene para cada uno en cada filtro. El primer punto de muestreo es el reboso de exceso de lodos de la cama del filtro, segundos en importancia los laterales frontales y traseros y por último los accesos a la parte trasera de la cama del filtro por medio de compuertas.

Algunos filtros cuentan con dos rebosaderos que solo funcionan en tiempo de producción alta, cuando el volumen de lodos sobrepasa el nivel normal de cada filtro, el resto de tiempo estos rebosos permanecen sin uso o recubiertos por una capa de lodo seca. Capa en muchos casos fluye de vuelta a la cama del filtro contaminando el resto de jugos. En las fotografías siete y ocho de la sección F del anexo se pueden observar estos puntos.

Los accesos laterales frontales y traseros se convirtieron en puntos importantes a la hora de analizar como varían las temperaturas de los filtros a medida que el lodo avanza a través guiado por las corrientes de convección que se forman debido a la variación misma de temperaturas.

Debido a que dos filtros poseen puertas de acceso traseras habilitadas, solo estos se muestrearon en estos puntos, sin embargo nos permitieron analizar dos aspectos, como afecta la distribución de los lodos a lo largo de la cama y la limpieza. Lo primero nos indica que la variación de los diseños de cada filtro hace que el volumen contenido varía por lo tanto la cantidad que se almacena y la cantidad de sólidos precipitados también, esto provoca diferentes variaciones de temperatura y por lo tanto distinto CM. Por otro lado la falta de limpieza por la dificultad del acceso crea acumulaciones de lodos, lo que crea que proliferen a parte de los termófilos, mesófilos que forman colonias, estas son fáciles de reconocer puesto que al proliferar crean una biopelícula,

un tipo de proteína que se manifiesta como ligas para protegerlos de la intemperie y de otras condiciones que les puedan ser perjudiciales. Por otro lado la acumulación de suciedad entre otros incrementa la actividad microbiológica y esto hace que disminuya más la cantidad de azúcar que se quiera recuperar.

7. Análisis de resultados. La tabla uno de la sección de resultados del módulo 3 nos muestra los resultados finales del estudio y caracterización del área de filtros de lodos de cachaza de Ingenio Magdalena, en base a 20 muestreos realizados a lo largo de la zafra 2013-2014, durante los meses de Enero a Mayo. Se establecieron las temperaturas promedio de cada cama o tanque de lodos de los filtros y su coeficiente microbiológico promedio. Esto se calculó con base en las temperaturas promedio de cada uno de los puntos muestreados de cada filtro. Por lo tanto muestra un promedio real de la totalidad del filtro, del volumen promedio que contienen.

Como se puede observar las temperaturas se mantienen entre los 55° y los 75°, bajos en comparación a lo que expresa Hugot en la teoría, sin embargo, ya que el diseño no es específicamente el que Hugot presenta pueda que esta variación sea debido no solo al diseño sino a la cantidad de producto que se maneja continuamente. En relación a los CM promedio estos en comparación con los obtenidos en el área de molinos donde la cantidad de azúcar contenida en el sustrato o jugo es mucho mayor estos valores sería relativamente altos. Si se observa la tabla No. 44 se puede observar la clasificación de los CM del área de molinos de Ingenio Magdalena, donde se cataloga un CM de 1.75 como bueno o aceptable, sin embargo se trata de jugos con hasta 12 de pol, mientras que en lodos con 1.4 promedio de pol un 0.7 de CM significaría una actividad microbiológica alta.

Lo anterior, es respaldado por los resultados de las pruebas de aerobios para la determinación de Unidades Formadoras de Colonias por mililitro, las cuales se realizaron 2 veces en filtros 3, 6, 7, 8, 9 y 12. En estos filtros se obtuvo un LogUFC/mL promedio de entre 3 y 4 con %Pol de 0.5 a 2, lo cual es alto tomando en cuenta que para los jugos de caña del área molinos se ha probado que existe un promedio de LogUFC/mL de 6 a 8, en jugos con %Pol de 12 a 14.

Por lo tanto se analizamos el CM promedio de cada filtro encontramos que la variación de temperatura determina en gran medida como se comporta la microbiota. Se

encontró que la relación de cambio es un aumento o disminución de 0.012 ± 0.00148 en el CM por cada grado Celsius que el sustrato varía.

La gráfica que nos muestra esta relación CM vs temperatura de forma más clara. La gráfica presenta la relación que existe entre la actividad microbiológica y la temperatura, sin embargo, es importante resaltar que existen algunos casos específicos que aunque varían, mantienen el mismo comportamiento, el caso de los filtros 3, 6, 9, 10, 11 y 12. Se puede observar que aquellos filtros que se encuentran en la misma línea de tubería, 3, 6 y 12 y los filtros 9 y 11. Los niveles que varían constantemente en todos los filtros, por su diseño, por lo que también esto contribuye a la variación de la temperatura

Podemos apreciar como la distancia que los lodos deben recorrer desde el tanque cachazón hasta cada filtro provoca un decaimiento en la temperatura de los mismos. Si se analizan las gráficas ocho y nueve de la sección de resultados, este fenómeno se puede asociar con las variaciones de CM promedio de los filtros a lo largo del tándem.

La Tabla de resultados, nos muestra de forma clara esta variación del CM respecto de la temperatura, cada vez que existe un pico positivo de la temperatura en promedio el CM baja considerablemente, mientras que si observamos los filtros que poseen temperaturas bajas estos tienen actividades microbiológicas significativamente más altas que los demás que No.

En la sección de resultados se nos muestra los resultados individuales para cada filtro de acuerdo a sus puntos de muestreos, Se elaboraron mapas de calor para las áreas muestreadas de cada uno y gráficas de variación de manera que es más fácil identificar en cada uno los puntos críticos que determinan el aumento de la actividad microbiológica y que por lo tanto se deben tomar en cuenta para tener bajo control.

Cuando se examina detenidamente cada filtra, las conclusiones anteriores cobran mayor respaldo, es decir, se hace evidente que el diseño de cada filtro tiene un rol importante en el comportamiento de la actividad microbiológica.

A medida que aumenta la capacidad de almacenamiento, es decir, a mayor volumen contenido mayor es la acumulación de sólidos en el fondo del tanque del filtro, esto favorece a la disminución de temperatura en estos suelos artificiales y por lo tanto se forman capas donde los microorganismos pueden más fácilmente proliferar. Por otro

lado donde ingresa la tubería de alimentación también tiene mucho que ver en esto, pues si la entrada esta exactamente en la parte central inferior del tanque las acumulaciones se realizaran en las partes alejadas del rebosadero donde no hay mucho movimiento por corrientes de convección. Si el ingreso de la tubería se encuentra en los laterales del tanque, las acumulaciones se darán en el lado opuesto al ingreso y aún más en la parte opuesta al reposo.

En la sección E de gráficos del ANEXO se pueden observar las variaciones de temperatura y de CM de cada uno de los puntos muestreados en cada filtro, el comportamiento antes descrito encuentra su origen aquí, es exactamente el mismo. Los datos contenidos en las tablas de la sección A del ANEXO, establecen que mientras no se regulen las temperaturas y controle los volúmenes de cada filtro la actividad microbiológica seguirá teniendo un gran impacto en la recuperación de azúcar. Una mejora relevante económicamente que solo será medible en el momento que se implemente un plan de mejoramiento que contemple primero el control de temperatura de los lodos en los filtros, dos, el control de la limpieza del lugar en una forma más funcional y detallada y finalmente de la agregación de bactericidas que regulen la actividad microbiológica en las áreas a las que la temperatura y el mantenimiento no puede alcanzar, como las partes traseras e inaccesibles del equipo y los lechos acumulados en el fondo de los tanques.

Respecto a los resultados de las mediciones de pH o prueba de fermentación espontanea, estas se pueden observar en la tabla dos de la sección de resultados. Se realizaron 5 pruebas, en las que se observó cómo cambiaba el pH a durante un intervalo específico de tiempo, esto debido al aumento de la actividad microbiológica. De existir un cambio en el pH la actividad sería tal que cambiaría las propiedades del sistema creado. Sin embargo los resultados no fueron concluyentes, a pesar de que los resultados reflejan actividad no se puede vincular a una razón específica sino que solo respaldan la existencia de ciertos microorganismos que consumen el sustrato. La variación de pH no es determinante por lo que los resultados no se colocaron en la sección específica sino en el anexo, con el fin de que los mismos no sesguen los otros resultados sino que quede establecido que aunque los datos reflejan actividad microbiológica, se debe estudiar más a fondo como se relaciona con las características del sistema.

Por lo tanto, se recomienda lo siguiente de acuerdo a los resultados obtenidos, se diseñe un sistema de control microbiológico en base al control de la temperatura de los lodos, esto debido a la naturaleza termófila de la microbiota. Se recomienda la implementación de otros controles por medio de bactericidas, los análisis de las poblaciones termófilas y los posibles métodos de eliminación por medio de bactericidas extienden el campo de estudio de este proyecto y proveen otros temas de investigación en el futuro.

Se recomienda la implementación de una variación del sistema de control microbiológico ya en funcionamiento el área de molinos para el área de filtración por medio de test de Resazurina. Un sistema que permita un control diario, idealmente, o semanal durante al menos una zafra. Los datos obtenidos permitirían establecer luego un sistema que no solo evalúe sino que controle por medio de variación de variables como Temperatura, pH y flujo.

Se recomienda revisar los sistemas de control automatizado, especialmente aquellos que involucran el control de los volúmenes de lodos en los filtros, ya que la temperatura de los mismos juega un papel determinante en la cantidad de actividad microbiológica y variaciones constantes del nivel de los lodos en cada filtro produce variaciones térmicas que favorecen la reproducción de la microbiota.

Finalmente, se recomienda revisar el sistema de limpieza del área, ya que implementar cualquiera de las recomendaciones anteriores sería inútil pues las condiciones actuales no permitirían tales mejoras. Se debe iniciar por revisar la forma de lavado, debe implementarse un método de lavado propio para cada filtro, ya que como se ha revisado anteriormente se debe trabajar cada filtro individualmente, especialmente la limpieza. El lavado debe iniciar en la parte superior y terminar en la parte inferior sin repetir, de manera que el agua escurrida resbale hacia lavando y no contaminando el resto del equipo. Además, la remoción de restos de la torta y acumulados de lodo debe mejorarse intensificando su eliminación y sobre todo debe mejorarse el acceso a la parte trasera de los filtros para incluir esta área que hasta no se ha tomado en cuenta.

Las posibilidades de mejora en el proceso de recuperación de azúcar en el área de filtrados están a la disposición, específicamente en el área de control microbiológica, las bases para el desarrollo de futuros proyectos en esta área ya están disponibles, la

bases para un proyecto específico en esta área ofrecen un abanico de posibilidades inmenso que puede generar para IMSA aumento de la productividad y para la comunidad académica desarrollo de investigación.

D. Módulo 4

El primer objetivo de este trabajo fue analizar el uso de jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción, para lo cual se realizó inicialmente la metodología descrita en la Figura 9. Los coeficientes microbiológicos obtenidos por medio de pruebas de resazurina en un lapso de dos horas, para cada una de las muestras con diluciones desde 5 a 50% v/v de jugo sulfitado en jugo diluido (crudo o cristal) y 100mL de jugo diluido como muestra testigo, se describen en el Cuadro 17 (ANEXO) para la primer corrida, a partir del cual se realizó la Figura 20 (ANEXO).

Se obtuvo estados críticos para el CM de las diluciones arriba del 20% en la hora inicial, sin embargo puede notarse que con el transcurso del tiempo el CM de las diluciones mejoró con respecto al porcentaje de dilución obteniendo una reducción de aproximadamente 40% en CM, comparado con los datos de CM en el transcurso del tiempo de la muestra testigo de jugo diluido y los resultados de desviación estándar para la mezcla del 20% de jugo sulfitado en jugo crudo da un rango de 0.55 a 1.76, lo cual puede verse afectado por malas mediciones de la prueba de resazurina o bien el jugo diluido estaba con CM inicial crítico, ver Cuadro 9.

Durante los análisis con la prueba de resazurina se presentaron inconvenientes con las muestras de jugo sulfitado puro ya que estos mostraron cambios de coloración con tonalidades en rojo, amarillo y verde en distintas ocasiones, reduciendo la confianza de la prueba de resazurina aplicada para el jugo sulfitado debido a los altibajos presentados en el CM en un período de tiempo para la misma muestra.

En la primer corrida no se pudo comparar la variación de CM en el tiempo de las muestras testigo de jugo sulfitado y diluido con los resultados de las mezclas, ya que sólo se había tomado una prueba inicial de las muestras testigo. Dado a esto se decidió modificar la metodología realizando el mismo número de pruebas de resazurina para las mezclas y las muestras testigo.

Como resultado del análisis de las pruebas de resazurina para jugo sulfitado como bactericida en jugo diluido crudo a escala laboratorio se obtuvo los datos del Cuadro 8 y

la Figura 13, los cuales muestran un efecto bactericida significativo en la dilución de 30% v/v, el mismo muestra un efecto positivo en el paso del tiempo de contacto. El resultado obtenido del análisis de las pruebas de resazurina para jugo sulfitado como bactericida en jugo diluido cristal a escala laboratorio se muestra en el Cuadro 10 y la Figura 14, los cuales presentan un efecto bactericida de 40% en reducción de CM para la dilución de 20% v/v, desde la hora inicial lo cual presentó desviaciones estándar en un rango de 0.09 a 0.51 lo cual le da validez al análisis por medio de la prueba de resazurina ver Cuadro 11.

La concentración más efectiva en todos los casos fue de 50% v/v con desviaciones estándar entre 0.32 y 1.59 para mezclas con jugo crudo, y un rango de 0.2 a 0.64 para mezclas con jugo cristal, sin embargo no es aconsejable recircular 50% de jugo sulfitado en escala industrial ya que para ello sería necesario un análisis de rediseño en el área de extracción del ingenio aumentando un 50% su capacidad en desde el área de extracción hasta el área de sulfitación, sin embargo esto no afecta el flujo inicial ni final de producción; así mismo debe realizarse un análisis de costos para la implementación de la recirculación y a su vez realizar un análisis de reducción de costos en bactericidas con lo cual evaluar el proyecto por medio de un estudio de factibilidad.

Por lo anterior debe evaluarse el diseño para una recirculación de jugo sulfitado al área de extracción utilizándolo como un bactericida previo que reduzca la cantidad de bactericida utilizado con un flujo apropiado para lograr una dilución entre 20 y 30% v/v de jugo sulfitado en jugo diluido.

Como siguiente objetivo se tuvo el análisis a escala piloto de la recirculación del jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción, evaluando el CM por medio de pruebas de resazurina para la mezcla con jugo diluido en tres puntos del sistema durante 30 minutos.

Para las diferentes corridas realizadas en escala piloto se decidió utilizar una mezcla de 50% v/v, esto se escogió por medio de los resultados obtenidos en las pruebas con jugo sulfitado como bactericida a escala laboratorio, las cuales proporcionaron resultados positivos para todas las diluciones por lo que se seleccionó la dilución que presentó la mayor reducción de CM. Sin embargo una recirculación con 50% de jugo afectaría el proceso de producción al modificar el área de recirculación

para duplicar su capacidad, así como también afectaría positivamente en una reducción para la cantidad de bactericidas y azufre a utilizar al realizar la mezcla; por lo que debe considerarse una dilución entre 20 y 30% al aplicarlo en la industria para reducir el tamaño de ampliación en las capacidades de los equipos. Para ampliar los detalles ver la Figuras 13 y 14.

Uno de los problemas presentados en escala piloto resultó en la regulación de los flujos debido a que durante las pruebas se interrumpía el flujo debido a la obstrucción en las válvulas de salida del flujo de jugo diluido y jugo sulfitado; por lo que fue necesario realizar un chequeo constante en las mangueras para evitar que variara la concentración de la mezcla.

Para obtener un flujo controlado en los tanques (cubetas) de jugo sulfitado y mezcla, se realizó una calibración de flujo por vueltas de apertura en las distintas válvulas utilizadas, midiendo el tiempo que se tomó en obtenerse aproximadamente 500mL de jugo; con estos resultados se obtuvo un caudal promedio para distintas aperturas; los resultados de la calibración se presentan en los Cuadros 29 al 33 (ANEXOS).

Durante las corridas se reguló a la misma apertura las válvulas de jugo sulfitado y jugo diluido, para obtener la mezcla al 50% v/v, sin embargo para tener un volumen constante en la cubeta de mezclado se debió reducir a la mitad el flujo de salida de la mezcla durante 5 minutos, cuando se logró regular los flujos se procedió a iniciar la corrida regulando el flujo de salida de la mezcla para obtener la misma cantidad de los flujos de entrada con lo que se logró la solución del problema de variación de concentración de la mezcla.

Los resultados obtenidos por medio de las pruebas de resazurina en jugo sulfitado como bactericida a escala piloto se muestran en el Cuadro 12 con los cuales se realizó la Figura 15, donde puede observarse una efectividad reductora de CM de hasta 70% lo cual confirma el resultado obtenido en las pruebas a escala laboratorio, así mismo se obtuvo un rango de 0.01 a 0.08 en las desviaciones estándar lo cual sustenta la confiabilidad de los resultados.

Durante la realización del estudio con pruebas de resazurina, se observó una posible deficiencia en la medición de los resultados de CM por los distintos operarios,

sin embargo por medio de entrevistas se analizó un riesgo de contratación a un operario que puede padecer Daltonismo; por lo que debido a que la prueba de resazurina se basa en cambios en tonalidades de color puede llegar a ocasionar problema aunque el porcentaje de hombres que lo padecen es de 4 a 7% y mujeres 0.4%.

Se realizó una evaluación de la efectividad de la prueba de resazurina en el jugo alcalizado por medio de muestreos, determinando el coeficiente microbiológico en esa área y comparándolo por medio de un análisis de conteos microbiológicos.

Como se mencionó anteriormente se obtuvo resultados con distintas tonalidades de colores amarillo, rojo y verde el cual puede observarse en la Figura 41, lo cual se debe a que la presencia de un ion positivo reacciona el oxígeno con carga negativa en la glucolisis produciendo óxidos de los compuestos acelerando la reacción por lo que la prueba da un falso positivo al variar dependiendo de la concentración de lechada o el porcentaje de sulfitación de los jugos por lo que la prueba de resazurina no es confiable en los análisis con compuestos con alta electronegatividad.

En el análisis por conteo microbiológico para Microbiota total y LBDG se utilizó la metodología descrita en la Figura 11, en la cual se realizaron diluciones de lechada en jugo diluido en el laboratorio de fábrica del Ingenio Magdalena, donde se realizaron pruebas de resazurina en las distintas diluciones simultáneamente con el análisis de conteo microbiológico, así también se evaluó la posibilidad de utilizar la lechada de cal como bactericida.

En la primer prueba realizada se utilizó diluciones de 0.05, 0.1, 0.15 y 0.2%; de lo cual se obtuvo los resultados en los Cuadros 37 y 39, con los que se realizaron las Figuras 35 y 37; donde puede observarse el conteo para microbiota total y LBDG respectivamente, donde ambas figuras muestran un cambio poco significativo de las unidades formadoras de colonias en razón del tiempo para las diluciones por lo que se decidió aumentar la cantidad de lechada para la próxima prueba, con diluciones de 1, 2.5 y 5% v/v de lechada de cal en jugo diluido.

En la segunda corrida se obtuvo resultados variables donde no se logró obtener una relación entre la cantidad de lechada y la reducción de unidades formadoras de colonias en el tiempo; por lo cual se decidió aumentar el rango de la concentración en las diluciones a 1, 2.5 y 5% v/v de lechada de cal en jugo diluido para la tercer corrida,

obteniendo resultados con un cambio en la reducción de UFC que se observan en los Cuadros 14 y 15, y Figuras 16 y 17; así también se tiene que para las diluciones desde 1.5% v/v de lechada se pasa a un rango de pH entre 10 y 10.9 lo cual es bastante básico, sin embargo no son concluyentes debido a que no presentan un comportamiento relacionado a la concentración de lechada utilizada ya que no se puede realizar un análisis estadístico ya que cada muestra es distinta; así mismo debe tenerse en cuenta que la metodología utilizada es la misma que se utiliza en el Ingenio Magdalena para realizar pruebas de conteo para verificar la efectividad de los bactericidas, sin embargo en la metodología no se toma en cuenta los cambios de temperatura que sufre el jugo durante el muestreo y análisis, por lo que esto puede afectar significativamente a los resultados obtenidos; así mismo el efecto de utilizar lechada antes del proceso de sulfatación puede tener consecuencias contraproducentes y se debe evaluar químicamente. Por ello no se puede asegurar que la lechada de cal pueda ser utilizada como bactericida; así mismo es recomendable realizar un análisis con al menos 10 corridas a las mismas condiciones de concentración en diluciones y medición de temperatura y pH constantes, ampliando con ello la base de datos para comparación. Al mismo tiempo se descarta la prueba de resazurina para los análisis con jugo sulfitado y alcalizado debido a la reacción provocada por los compuestos debido a su electronegatividad.

Al evaluar las consecuencias de actividad microbiológica en muestras de masa final del proceso de cristalización utilizando la medición de elongación de cristales y comparándola con el CM promedio en jugo primario, fue necesaria la realización de una nueva metodología para la preparación de muestras la cual se puede ver en la Figura 12, esto se debió a que era muy difícil realizar la medición de cristales puesto que se encontraban sobrepuestos uno sobre otro al observarlo en el microscopio, el cual a simple vista se puede observar en la Figura 44, por lo que se realizó varias pruebas visuales con el microscopio hasta llegar a una dilución de 6 gramos de masa C con 3 mL de glicerina lo que permitió realizar las mediciones la cual se muestra a simple vista en la Figura 45.

Se realizó un análisis de masa C de 50 muestras siendo recolectadas por el Ingenio con instrucciones de obtener varias muestras por día almacenándolas en un frasco estéril; sin embargo se corre el riesgo de tener una sola muestra al día lo cual produce un error al compararlo con el CM promedio diario de jugo primario. Para la

preparación de las muestras fue necesario el uso de un baño térmico y agitación, debido a la viscosidad. Fue necesaria la calibración (ver Figura 42) del microscopio con lente milimetrado del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

A continuación, se realizó la preparación de la muestra por el nuevo método para luego realizar las mediciones en el microscopio donde se observó el efecto de la higroscopicidad del azúcar por exposición prolongada al medio ambiente como puede verse en la Figura 46 contrastándola con la muestra sin efecto en la Figura 47. La muestra ya preparada en el portaobjetos no debe permanecer sin ser analizada por más de 20 minutos.

Durante la medición de tamaños para el análisis de elongación de cristales en masa C se observó tanto muestras con relación de elongación en un rango de 1.33 a 1.55 como se observaría en la Figura 47 así como también muestras con relación de elongación entre 2.01 a 2.83 como puede observarse en la Figura 48.

Los resultados obtenidos para el análisis de elongación de cristales se pueden observar en el Cuadro 15 del cual se obtuvo la Figura 18, donde puede apreciarse el seguimiento durante 6 semanas comparando la relación de elongación con el promedio semanal del CM en jugo primario, debido a que la primer semana de recolección de datos tuvo una relación de elongación alto por motivos de operación se decidió omitir dicha semana para obtener un análisis sin puntos atípicos que afectaran los resultados; así mismo puede observarse que ambos comportamientos presentan una posible relación de 0.673 obtenida por medio de regresión lineal (ver Figura 19); al mismo tiempo debe tenerse en cuenta que el jugo pasa por varios procesos antes de llegar al proceso de cristalización por lo cual la elongación también se ve afectada por deficiencias operativas como por ejemplo variaciones en la temperatura y presión en los tachos, por lo que debe realizarse más estudios expandiendo el tiempo de recolección de muestras y las distintas masas de cristales.

IX. CONCLUSIONES

A. Módulo 1

1. Influencia en la reincorporación

a. Bagacillo debajo de los conductores. La reincorporación del bagacillo debajo de los conductores al proceso de molienda puede generar un alto impacto microbiológico en base a los datos anteriores, ya que llegar a tener menos de 4% de sacarosa y un CM crítico entre 3 y 5, después de 2 horas de exposición.

b. Caña barrida. Según los datos obtenidos, la caña barrida puede ser viable reincorporarla al proceso de molienda, ya que posee un porcentaje de sacarosa en los jugos de 13% a 23%, y en este estudio un 45% de las muestras de CM fueron aceptables.

2. Condiciones de caña y bagacillo factibles económicamente para traslado a otro proceso.

a. Bagacillo debajo de los conductores. Las condiciones habituales del bagacillo acumulado en las vigas y paredes es crítica ante la reincorporación de la molienda, ya que se acumula muy lentamente y tiende a tener incluso menos del 4% de sacarosa, mientras que el bagacillo que se acumula en el piso llega a tener un CM crítico y bajas importantes en el porcentaje de sacarosa a las 2 horas de exposición, según el estudio. Con esto se sustenta la conclusión de Ortiz mencionada en antecedentes del alto impacto después de 2 horas de exposición.

b. **Caña barrida.** Después de 4 horas de exposición se considera que la caña barrida puede llegar a tener un impacto microbiológico significativo, ya que llega a coeficientes microbiológicos superiores 3, lo cual no se considera en el método actual, por lo que es necesario reincorporar la caña lo antes posible para evitar dicho impacto.

3. Definir método más adecuado para manejo de caña y bagacillo.

a. Bagacillo debajo de conductores. Ante el alto impacto microbiológico en molienda, se considera factible económicamente trasladar el bagacillo a calderas para aprovechamiento del poder calorífico del mismo y producir energía eléctrica, ya que al

51% de humedad puede llegar a producir 2600 BTU/L, de los cuales puede representar un ahorro de hasta Q1000 en consumo de búnker (según la Tabla 15).

b. Caña barrida. El método actual del manejo de la caña barrida se considera adecuado pero es indispensable controlar el tiempo de las acumulaciones para perder la menor cantidad de sacarosa posible y evitar aumentos en el CM de los jugos.

4. Proponer metodología de secado y transporte

a. Bagacillo debajo de conductores. Se considera viable económicamente el traslado y logística del bagacillo, aprovechando los recursos que ya posee el ingenio, como el uso del pickup y movimiento de bagacillo expuesto al sol con el payloader.

b. Caña barrida. No se sugiere un método de secado debido a que se considera viable su reincorporación al proceso de molienda.

B. Módulo 2

1. Se determinó la relación entre el consumo de lechada (cal y agua) en la alcalinización del jugo sulfitado curo y cristal con respecto a la variación del CM, para el jugo sulfitado crudo fue $Lechada\ de\ cal\ (m^3) = (369 \times CM) - 1 \times 10^{-13}$ con un $R^2 = 0.86439$ el cual muestra una dispersión de datos baja, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 4.143\%$ (0.04143); la ecuación desarrollada para el jugo sulfitado cristal fue $Lechada\ de\ cal\ (m^3) = (225.75 \times CM)$ con un $R^2 = 0.56172$ el cual muestra una dispersión alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 12.52\%$ (0.1252) por lo que únicamente puede ser utilizada para determinar la tendencia.

2. Se determinó la relación entre el consumo de cal (hidróxido de calcio) en la alcalinización del jugo sulfitado crudo y cristal con respecto a la variación del CM, para el jugo sulfitado crudo fue $Hidróxido\ de\ calcio\ (kg) = (19871 \times CM) - 9 \times 10^{-12}$ con un $R^2 = 0.86439$ igual al consumo de lechada, el cual muestra una dispersión de datos baja, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 4.143\%$ (0.04143); para el jugo sulfitado cristal fue $Hidróxido\ de\ calcio\ (kg) = (12157 \times CM) - 4 \times 10^{-12}$ con un $R^2 = 0.56172$ igual al consumo de lechada, el cual muestra una dispersión alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 12.52\%$ (0.1252) por lo que únicamente puede ser utilizada para determinar la tendencia.

3. Se determinó la relación del incremento de costos de alcalinización en el proceso de clarificación con respecto al aumento del volumen de lechada de cal por el aumento del CM, para el jugo sulfitado crudo fue $\text{Incremento costos proceso de alcalización (Q)} = (21560 \times \text{CM}) - 3 \times 10^{-11}$ con un $R^2 = 0.86439$ igual al consumo de lechada, el cual muestra una dispersión de datos baja, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 4.143\%$ (0.04143); para el jugo sulfitado cristal fue $\text{Incremento costos proceso de alcalinización (Q)} = (13190 \times \text{CM}) - 9 \times 10^{-12}$ con un $R^2 = 0.56172$ igual al consumo de lechada, el cual muestra una dispersión alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 12.52\%$ (0.1252) por lo que únicamente puede ser utilizada para determinar la tendencia.

4. Se determinó la relación entre el cambio de la velocidad de sedimentación en el proceso de clarificación con respecto a la variación del CM no es posible utilizarlas dado a que no describen el comportamiento real. Ya que para el jugo sulfitado crudo fue $\text{Velocidad de sedimentación (mL/s)} = - (0.0664 \times \text{CM}) + 1.2449$ con un $R^2 = 0.39698$ el cual muestra una dispersión de datos alta, y un error para la regresión lineal de $E = \pm 16.25\%$ (0.1625); la ecuación desarrollada para el jugo cristal fue $\text{Velocidad de sedimentación (mL/s)} = - (0.107 \times \text{CM}) + 1.6385$ con un $R^2 = 0.2807$ el cual muestra una dispersión alta de los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 23.50\%$ (0.2350). Ecuaciones las cuales por su alta dispersión de datos no pueden ser utilizados como herramienta de proyección, sin embargo pueden ser utilizadas para determinar el comportamiento de la velocidad de sedimentación para ambos jugos.

5. Se determinó la relación entre el cambio del volumen de lodos en el proceso de clarificación con respecto a la variación del CM, para el jugo sulfitado crudo fue $\text{Volumen de Lodos (m}^3\text{)} = (4859 \times \text{CM}) - 2 \times 10^{-12}$ con un $R^2 = 0.9653$ el cual muestra una relación alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 0.87\%$ (0.0087); la ecuación para el jugo sulfitado cristal fue $\text{Volumen de Lodos (m}^3\text{)} = (15379 \times \text{CM})$ con un $R^2 = 0.97437$ el cual muestra una relación alta en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 0.64\%$ (0.0064).

6. Se determinó la relación de masa de incrustaciones en los evaporadores de calandria debido al exceso de cal añadida con respecto al CM, para el jugo clarificado crudo fue $\text{Kilogramos Incrustaciones (kg)} = (7412 \times \text{CM}) - 1 \times 10^{-11}$ con un $R^2 = 0.99054$ el cual muestra una dispersión de datos baja, y un error para la ecuación de regresión

de $E = \pm 0.23\%$ (0.0023); para el jugo cristal fue *Kilogramos Incrustaciones (kg) = (9541.8 x CM) - 6 x 10⁻¹²* con un $R^2 = 0.73347$ el cual muestra una dispersión media en los datos, y un error para la ecuación de regresión de $E = \pm 7.17\%$ (0.0717).

7. Se determinó la masa de incrustaciones por efecto en la zafra 2014 para el jugo clarificado crudo fue de 4,198.4 kg para el 1er. efecto, 5,248.0 kg para el 2do. efecto, 3,816.7 kg para el 3er. efecto, 7,156.3 kg para el 4to. efecto y 9,446.4 kg para el 5to. efecto; para el jugo clarificado cristal fue de 5,438.8 kg para el 1er. efecto, 6,965.5 kg para el 2do. Efecto, 7,442.6 kg para el 3er. efecto, 10,018.9 kg para el 4to. efecto, 15,648.6 kg para el 5to. efecto.

8. El efecto del CM en la resistencia del cambio de pH y la disminución del mismo, el aumento de la viscosidad por la presencia de gomas en el jugo, el incremento de lodos en los filtros de cachaza y el incremento en la masa de incrustaciones genera un impacto negativo en la productividad del Ingenio debido a que el proceso requiere de mayor cantidad de insumos necesarios para poder llevarse a cabo. Ya que el incremento de kg de hidróxido de calcio y lo que podría ser un incremento de vapor en los evaporadores de calandria por la resistencia de transferencia de calor es un incremento en los insumos de operación. El aumento de lodos y el consumo de los azúcares por medio de los microorganismos una disminución en la formación de productos por la pérdida de los mismos durante el proceso.

C. Módulo 3

1. El crecimiento de los microorganismos se da en dos lugares, tanque de abastecimiento de filtro y bandeja de filtro, pero su impacto es mayor para el proceso en este último puesto que provee las condiciones necesarias para que se forme una microbiota.

a. La distancia del tanque de alimentación a cada filtro permite que los lodos disminuyan su temperatura.

b. Se encontró que la logística de limpieza de los equipos actualmente no toma en cuenta el aspecto de control microbiológico. Permite que se formen acumulaciones de lodos y biopelículas que contribuyen a la proliferación de microorganismos termófilos que consumen el azúcar que se desea recuperar.

c. Se encontró que la variación constante del volumen de lodos de los filtros provocan tiempos de residencia diferentes, eso aunado a la variación de temperatura debido a la distancia recorrida por los lodos en la tubería produce variaciones en la temperatura contribuyen también al aumento de la actividad microbiológica, tabla No.1 de resultados.

d. La acumulación de lodos durante el proceso y luego de mantenimiento o paro de operación en tanques de ingreso que luego son reincorporados directamente a las camas de los filtros pueden llegar a actuar como agentes de proliferación de microorganismos que aumentan el consumo de azúcar.

2. Se determinó que las actividades microbiológicas de los 12 filtros de cachaza de IMSA y su relación con la variación de temperatura del fluido es de $0.012 \pm 0.00148 \text{ CM}/^{\circ}\text{C}$ puede llegar a afectar de forma importante el contenido de sacarosa. Al disminuir la temperatura en tal grado la cantidad de microorganismos. Mayor actividad microbiológica, mayor consumo de azúcar y menor recuperación de azúcar que se procesa.

a. Como se puede observar en la tabla No. 1 de la sección de resultados el logaritmo de unidades formadoras de colonias es superior a 3, lo cual en comparación con la cantidad en jugos de caña del área de molinos donde se tienen polarimetrías de aproximadamente 14, es alta. En lodos con polarimetrías menores a 1 se posee alta actividad microbiológica.

b. Los resultados de las pruebas de cultivo de microorganismos termófilos respaldan el hecho que la actividad microbiana es tal que las concentraciones de sacarosa de los lodos se puede tener pérdidas importantes. Especialmente cuando se tiene una POL de aproximadamente 1.4.

c. Los resultados expresados en la tabla No.2 de resultados de resultados de prueba de fermentación espontanea respaldan las pruebas de Resazurina y UFC al establecer que la actividad microbiológica es positiva.

3. Las variables de control que se encontraron imprescindibles en la aplicación de un sistema integrado de control microbiológico como una opción para mejorar el proceso al menor costo, son las siguientes:

a. Volumen de lodos acumulados en camas de filtros.

- b. Tiempo de residencia de lodos en filtros.
- c. Temperaturas de lodos en tanques de ingreso y filtros.
- d. Coeficiente Microbiológico de lodos de Filtros.

D. Módulo 4

1. El análisis de los resultados de jugo sulfitado como bactericida en jugo diluido, tanto cristal como crudo, y a escala laboratorio, muestran que para obtener un porcentaje de reducción de 50% de CM en jugo crudo y cristal, se necesita utilizar un 20% v/v de jugo sulfitado; los resultados obtenidos en jugo crudo usando jugo sulfitado como bactericida, con una mezcla de 50% v/v, a escala piloto, muestran una efectividad reductora de CM de hasta 70%, confirmando el resultado obtenido en las pruebas de laboratorio. Hay que tener en cuenta que este procedimiento debería hacerse cuando los niveles de CM se encuentran entre los rangos aceptables, el jugo sulfitado disminuirá el CM pero el efecto de la actividad microbiológica previa no es reversible.

2. La prueba de resazurina, en las condiciones evaluadas, no proporciona resultados congruentes al utilizarse para analizar jugo sulfitado puro o jugo con lechada de cal, ya que dependiendo de la concentración de lechada o el porcentaje de sulfitación de los jugos, la presencia de un ion positivo reacciona con el oxígeno con carga negativa en la resazurina produciendo óxidos de los compuestos utilizados acelerando la reacción dando como resultados falsos positivos de la prueba.

3. Los resultados del uso de lechada de cal como bactericida en todas las concentraciones evaluadas en jugo diluido no son concluyentes debido a que no puede realizarse una relación usando un análisis estadístico o gráfico, con los resultados obtenidos de conteo microbiológico para distintas diluciones, por lo que la lechada de cal no debería ser utilizada como bactericida.

4. Se realizó un análisis de regresión lineal para establecer las consecuencias de los CM con el crecimiento desproporcionado de cristales de sacarosa en masa final, obteniendo un R^2 de 0.673 y un coeficiente de correlación de 0.82, lo que indica que hay correlación no lineal debido a otros factores no evaluados.

X. RECOMENDACIONES

A. Módulo 1

1. Realizar pruebas en el ingenio con un escenario sin reincorporación de bagacillo, otro con la metodología propuesta y compararlo con el actual, para poder observar las diferencias de la productividad y comprobar el estudio a gran escala.
2. Reincorporar en menos de 4 horas la caña barrida para evitar aumentos de CM.
3. Debido al impacto negativo del alto porcentaje de tierra en las calderas, se sugiere mezclar el bagacillo debajo de los conductores con el bagazo ordinario para diluir dicho porcentaje.
4. Adaptar el secado superficial con ayuda del sol en el área de calderas para aprovechar el poder calorífico del bagacillo en un nivel óptimo.
5. Invertir en mejoras en los conductores A y B, con refuerzos y aislamientos que permitan que no se caiga tanto bagacillo, por lo tanto se deja de perder tanta sacarosa en el proceso.
6. Analizar otras alternativas viables del bagacillo en mal estado, como la utilización como abono u otro uso.

B. Módulo 2

1. Utilizar las ecuaciones desarrolladas en este trabajo de investigación como una herramienta de evaluación, proyectando los efectos del CM en los procesos de clarificación y evaporación del Ingenio Magdalena.
2. Llevar a cabo un estudio más detallado de la capacidad buffer del jugo sulfitado crudo y cristal para diferentes CM. Tomando una muestra de jugo uniforme de los tres tándem, trabajándola conforme a la muestra de 2000mL descrita en la metodología; midiendo el cambio de pH por la utilización de 1 ml de lechada para llevar a cabo la determinación de la resistencia del jugo a cambiar su pH.

Llevar a cabo un estudio más detallado de las pérdidas de azúcar en el proceso de filtros de cachaza por el incremento de lodos a causa del incremento del CM, llevando a cabo la medición de la cantidad de flujo de lodos, el CM de los mismos y el análisis de la cachaza o lodos secos desechados. Con el fin de determinar las pérdidas de azúcar

por el incremento de lodos en el proceso a causa del incremento del CM; determinando de esta forma las pérdidas económicas en esta sección del proceso.

3. Desarrollar el método para la determinación de las incrustaciones, y de esta forma, un análisis de los efectos de incrustaciones en el proceso de evaporación, analizando específicamente la resistencia de transferencia de calor del vapor al jugo de caña. Dado la resistencia de las incrustaciones puede tener un impacto potencial en el incremento de consumo de vapor proveniente de la caldera, requerido un incremento de energía para el proceso que se traduce a un incremento en los costos de operación.

4. Instalar un nuevo sistema de control de flujo para el jugo cristal y un sistema auxiliar para corroborar la mediciones de los mismos, ya que iniciada la zafra no puede ser posible el cambio del mismo porque se traduciría a parar la producción; tomando en cuenta que para poder controlar un proceso es necesario llevar a cabo su medición adecuada. Para que de esta forma se pueda determinar de forma exacta y precisa la productividad que el Ingenio Magdalena posee.

5. Al Ingenio Magdalena y cualquier otro Ingenio que posea un proceso similar, se recomienda implementar un sistema de evaluación y corrección de la actividad microbiológica, en los procesos de recepción y extracción de jugo mediante el coeficiente microbiológico. Disminuyendo de esta forma los efectos en los procesos posteriores (clarificación y evaporación), con el objetivo de incrementar la productividad.

6. Secar los fragmentos de los tubos de los evaporadores de calandria en un horno, cuando se quiera desarrollar nuevamente la metodología presentada para simular las condiciones de los evaporadores con el objetivo de determinar la formación de incrustaciones.

C. Módulo 3

1. Se recomienda analizar detalladamente la logística de limpieza del área de filtros, es necesaria la implementación de una metodología que permita:

- a. Reducir la cantidad de restos de lodos acumulados en las paredes de los equipos de filtrado que regresan a las bandejas de lodos y contaminan el producto que se filtra.

- b. Aumentar la cantidad de lavados con agua caliente para cada filtro, iniciando el lavado en la parte superior del filtro y tanque de ingresos de lodos de Cachaza, para luego terminar lavando el filtro y su cama de lodos.
- c. Mantener un estricto control y remoción de los lodos acumulados dentro del equipo, especialmente en la parte trasera de los filtros.
- d. Se recomienda habilitar puertas de acceso a la parte trasera como las que existen en el filtro tres en el resto de los filtros, con el fin de permitir la limpieza completa de los filtro.
- e. En la Figura No.4 de la sección de resultados se pueden observar los puntos críticos de los equipos que deben limpiarse con más constancia.
- f. Se recomienda Analizar el sistema de control automatizado de nivel de lodos, pues es necesario para controlar la temperatura y por ende la actividad microbiológica, crear sistemas en los cuales la cantidad de lodos sea tal que la temperatura se homogénea en todo el filtro y por lo tanto la microbiota no impacte significativamente la cantidad de sacarosa que se desea recuperar.

2. Recomendaciones, complementar el sistema de control microbiológico en molinos, agregando un análisis semanal mínimo del área de filtros, con el fin de estabilizar las temperaturas en los filtros, normalizar la actividad microbiológica y disminuir su impacto.

3. Se recomienda analizar la utilización un bactericida que pueda complementar el método por temperatura, este puede consistir en la aplicación de un bactericida específico del mercado o la redirección de un caudal suficiente de jugos del área de sulfatación, incluso, la aplicación de una medida significativa de lechada de cal.

4. Se recomienda el aprovechamiento de los resultados de este estudio en proyectos futuros, específicamente en el desarrollo de logística de control y caracterización de la microbiota termófila del área.

5. Se recomienda específicamente en el desarrollo del sistema de control y caracterización de la microbiotatermófila del área a través de un proyecto que incluyaestudiantes de Ingeniería química, Industrial y licenciatura en Microbiología o Bioquímicos

D. Módulo 4

1. Para la ampliación y respaldo del estudio de jugo sulfitado como bactericida, es aconsejable realizar un análisis de conteo microbiológico y del área a modificar, proponiendo un diseño de recirculación del jugo sulfitado al área de extracción realizando un estudio de factibilidad económica y técnica.

2. Realizar una prueba de daltonismo a los aspirantes al empleo de medición de CM debido a que la prueba de resazurina se basa en cambios en tonalidades de color, lo cual puede llegar a ocasionar una deficiencia en la medición de resultados, tomando en cuenta que el porcentaje de hombres que lo padecen es de 4 a 7% y mujeres 0.4%.

3. Realizar un análisis de conteo microbiológico con la mayor cantidad posible de corridas para ampliar el estudio de la lechada de cal como bactericida en jugo diluido.

4. Realizar un estudio de elongación de cristales variando los factores de presión, concentración y temperatura en los tachos, correspondientes a las muestras a analizar, comparando los promedios de CM de jugo primario y el coeficiente de elongación de cristales, así mismo realizar la mayor cantidad posible de muestreos durante los diferentes períodos de la zafra y tomando en cuenta las tres masas de cristales.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, C. 2008. *Establecimiento de un sistema de control microbiológico para la industria azucarera*. Megaproyecto Universidad del Valle. Guatemala. 431 págs.
2. Antier P. 1996. *Microbiological Control in a Cane sugar Mill: implications on Sugar Quality and on losses*. Proceeding of the South African Sugar Technologist Association. V 7 p. 185 – 188.
3. Antier P. 1996. *Microbiological Control in Cane Sugar Mill: implications on Sugar Quality and on losses*. Proceeding of the South African Sugar Laboratories, s.f. 8 p.
4. Antier, P. 1996. *Microbiological control in a cane sugar mill: implications on sugar quality and losses*. Proc s afr sug technol ass 70: 185-187.
5. ASAZGUA. 2012. Asociación de Azucareros de Guatemala. <http://www.azucar.com.gt/index.html>
6. Australia. *Proceedings*. Mackay, ASSCT, V.1, p.384-385.
7. *Bacteriological Analytical Manual*. Online Enero 2001.
8. Broadfoot, R. 2001. *Aspects of sucrose losses: impact on profitability, competitiveness and the environment*. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 24, Brisbane, Australia. Proceedings. Mackay, ASSCT, 2001. v.1, p.339-340.
9. Bunkerworld. 2014. *Fuel Prices*. Bunker. <http://www.bunkerworld.com/prices/>
10. Candeias, L. P., MacFarlane, D. P., McWhinnie, S. L., Maidwell, N. L., Roeschlaub, C. A., Sammes, P. G., & Whittlesey, R. (1998). *The catalysed NADH reduction of resazurin to resorufin*. *J. Chem. Soc.*, 2333-2334.
11. Carneiro Borra, R., Andrade Lotufo, M., Gagioti, S. M., de Mesquita Barros, F., & Andrade, P. M. (2009). *A simple method to measure cell viability in proliferation and cytotoxicity assays*. *Braz Oral Res*, 255-262.
12. Castro Reyes, José T. (2000) *Control de las variables que determinan el tamaño del cristal en la fabricación de azúcar*. Azucarera el Palmar. Pp. 1-8.
13. Cengicaña (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña). 2012, *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala*. Guatemala; Artemis Edinter.
14. Cerutti de Guglielmone G.I., Diez O.A., Cárdenas G.J., Oliver G. 2000. *Determinación de contenidos microbianos y cuantificación de dextranas en la Industria Azucarera Tucumana*. Revista Industrial y Agrícola de Tucumán. V77 #2, p. 19 – 27.

15. Chase, Richard; Jacobs, Robert. 2011. *Estados Unidos de Norteamérica. Administración de Operaciones, Producción y Cadena de Suministros*. McGrawHill Education. Decimotercera edición. Página 110 y 111.
16. Chen, James. 2000. *Manual del azúcar de caña*. México. 1179.
17. Clarke M. 1996. *Dextran in sugar factories: causes and control*. Sugar Processing Research Institute, Inc. Presentation at the Congress of the Association of Sugar Technologist, Acapulco, México. p. 1-30.
18. D'Angelo, Paz, Cárdenas. 2006. Posibilidades del secado de bagazo en la industria azucarera de México. Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo, vol. 2, núm. 2, 2006, pp. 41-46, Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica.
19. Day D., Cuddihy J. 1995. *Biocide usage at Louisiana Factories*. Midland Research Laboratories, Inc. L.A, USA.
20. *DESARROLLO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL MICROBIOLÓGICO EN LA INDUSTRIA AZUCARERA*. Wellmann, Bernaon. 2013, Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ingeniería. (Tesis de Ingeniería Química).
21. Donald Mitchell. Feb 2004. *Sugar Policies: Opportunity for Change*, World Bank Policy Research Working Paper 3222. 16.
22. Draycott Philip. (2006). *Sugar Beet*. Blackwell. UK. Pp. 216-356
23. Duarte E., Guillermo A., Polanco N., López M. 1982. *Análisis microbiológico de productos azucareros*. Editorial científico-técnica. Ciudad de la Habana. 28 p.
24. E. HUGOT, *Handbook of cane sugar engineering*, 3ª. Edición revisada, 1986.
25. Eggleston, G. 2002. *Deterioration of cane juice-sources and indicators*. *Food Chemistry*, 78, 95-103.
26. Flores, Silverio. 1976, *Manual de caña de azúcar*, Guatemala, INTECAP. 172 págs.
27. Francisco, G.; Li, Z. *et al.* 2003 *Phenyl thiazolyl urea and carbamate derivatives as new inhibitors*.
28. Hernández M.T., Dauval C., Pérez M.E. 1978. *Acción de L. mesenteroides y otros microorganismos sobre los componentes del jugo de caña*. Centro Azúcar (Cuba) V5 no 1. Ene-Abr p 69-87.
29. Hernández, MT. 1986. *Microbiología de la producción azucarera*. Producciones microbianas derivadas, Universidad central de las villas, Cuba, 385.

30. Honig P. 1969. *Principios de Tecnología Azucarera. Tomo I: Propiedades de los Azúcares y no Azúcares*. Págs. 21 - 41. Tomo III: Parte 3: Microbiología Azucarera. p. 315 - 454. Compañía Editorial Continental S.A. México, España y Argentina.
31. Honig P. 1969. *Principios de Tecnología Azucarera. Tomo I: Propiedades de los Azúcares y no Azúcares*. Págs. 21- 41. Tomo III: Parte 3: Microbiología Azucarera. P. 315-454. Compañía Editorial Continental S.A. México, España y Argentina.
<http://www.unavarra.es/genmic/micind-2-4.htm>
32. Hugot, E. (1972). *Handbook of Cane Sugar Engineer*. Amsterdam: Elsevier.
33. IDENTIFICACIÓN Y RESISTENCIA A BIOCIDAS DE ESPECIES BACTERIANAS PREDOMINANTES EN JUGOS MEZCLADOS DE SEIS INGENIOS GUATEMALTECOS, OSBEL NUÑEZ, CRISTINNE FABIÁN Y RODOLFO ESPINOSA, OPTIMISA, Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y CENGICAÑA
34. Ingenio Magdalena Web Oficial, 2014. Guatemala. Productos. *El Proceso de Energía*. http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/proceso_energia.pdf
35. Investment Mine. 2014. *Coal Prices and Coal Prices Charts*.
<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/coal/>
36. Isaacs, C. (2006). *Misión Tecnológica a la Industria Azucarera de Guatemala*. Santiago de Cali, Colombia.
37. Ishihara, Shinobu. (2014) *Ishihara's Test Chart Book: 38 Plates Original Edition*. India. Pp. 48. Ingenio Magdalena Web Oficial, 2014. Guatemala. Somos Magdalena. Visión y Mision. http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page_mision
38. ISO Sugar (International Sugar Organization). 2014. *Sugar daily prices, October 2014*.
<http://www.isosugar.org/prices.aspx>
39. Kirk, R. 1962. *Enciclopedia de tecnología química*. México; Ed. Hispanoamérica.
40. Leather, T.D y Côte, G.I. 2008. *Biofilm formation by exopolysaccharide mutants of *leuconostoc mesenteroides* strain nrrl b1335*. *Appl microbiol biotechnol* 78:1025-1031.
41. Lima, José. (2009) *Evaluación del efecto que generan dos procesos de producción de azúcar blanco (proceso blanco directo y proceso blanco cristal) sobre el color del azúcar producida en un ingenio azucarero guatemalteco*. Universidad del San Carlos de Guatemala. Guatemala. Págs. 68
42. Love. (2002). *Dynamic modeling and optional control of sugar crystallization in a multi-compartment continuous vacuum pan*. PhD thesis, Univ, Natal.
43. Magdalena. (2013). *Proceso de azúcar de Magdalena*. Guatemala. Págs. 4.
44. Manso Hernández, William. 2014. *Las calderas de los ingenios azucareros y la austeridad económica*. LAICA. Costa Rica.

file:///C:/Users/admin/Downloads/William%20MANSO%20ingenio.pdf

45. Martínez, R. (2013). *Evaluación de la actividad microbiológica y/o sus efectos en el área de clarificación y tratamiento de lodos en tres ingenios de Guatemala*. Guatemala.
46. Meade, G., Spencer, G. (1963). *Spencer-Meade Cane Sugar Handbook*. J. Wiley.
47. Mena, J. (2014). *Comunicación personal*. (N. Mellado Tobar, Entrevistador)
48. Méndez Cutzal, José C. (2013) *Evaluación de un sistema de dosificación de bactericidas a través del monitoreo del coeficiente microbiológico de los jugos*. Ingenio Magdalena. Guatemala. Págs. 7
49. Mirón, D. (1998). *Conozca la Industria Azucarera en Guatemala*. Artemis Edinter.
50. Mirón, Danilo. 1998. *Conosca la industria azucarera en Guatemala*. 1ª Ed. Guatemala, Artemis Edinter, 109 págs.
51. Mora, Z. (1994) *Impacto de la microbiología en la fabricación del azúcar: estudio del impacto de las microfloras contaminantes durante la etapa de molienda de caña y sus efectos en el proceso de elaboración de azúcar*. Colombia: programa fondo de nuevos desarrollos. Asocaña y Cenicaña. Editorial Orstom, 195pp .
52. Morel du Boil, P. G. (1991). *The role of oligosaccharides in crystal elongation. Proceedings of the 1991 South African Sugar Technologists Meeting* (pp. 171-178). Mount Edgecombe: South African Sugar Technologists' Association .
53. Nuñez O, M Maldonado, 1987 *Método de la resazurina. Aplicación en la industria azucarera*. CAI Camilo Cienfuegos. Cuba.
54. Nuñez, O. (2014). *Comunicación personal*. (N. Mellado Tobar, Entrevistador)
55. Núñez, O. y Maldonado, M. 1987. *Método de la Resazurina. Aplicación en la industria azucarera*. CAI Camilo Cienfuegos. La Habana, Cuba. [web en línea] en:<http://www.uh.cu/infogral/areasuh/vri/archivos/CAR/seminario2004/PDF/CALIDAD/MACU.Crudo/Mac4-80.pdf>
56. Ozores Belmonte, Marta Isabel. 2012. *Cromatografía de Líquidos HPLC. Laboratorio de Técnicas Instrumentales UVA*. Valladolid, España. <http://laboratoriotecnicasinstrumentales.es/analisis-quimicos/cromatografa-de-liquidos-hplc>
57. P. A. Quintana-Hernández, D. A. Moncada-Abaunza, E. Bolaños-Reynoso, L. I. Salcedo-Estrada.(2005) *Evaluación del crecimiento de cristales de azúcar y determinación del factor de forma de área superficial*. vol. 4. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. México. pp. 123-129.
58. Pascual Anderson y Calderon y Pascual. 2000. *Microbiología Alimentaria: metodología analítica para alimentos y bebidas*, p.13, 2ª. Ed.

59. Pisabarro, Antonio. 2012. *Factores ambientales que afectan el crecimiento: temperatura. Microbiología Industrial*. GENMIC. Universidad Pública de Navarra. Pamplona, España.
60. Portal CENGICANA <http://www.cengicana.org/> 2014
61. Pulido M.L., Ferrer V. 1977. *Programa coordinado de tratamiento químico para centrales. Congreso de Asociación de Técnicos azucareros, San Juan de Puerto Rico*. Buckman Laboratorios.
62. Rampersad, S. N. 2012. *Multiple Applications of Alamar Blue as an Indicator of Metabolic Function and Cellular Health in Cell Viability Bioassays. Sensors*, 12347-12360.
63. Ravelo, S. B., Ramos, E. L., & Mejiras, R. 1991. *Sugar cane deterioration and its implications in the factory. International Sugar Journal*, 93, 82-86.
64. Rein, P. 2007. *Cane Sugar Engineering*. Berlin.
65. *RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL MICROBIOLÓGICO EN INGENIOS DE GUATEMALA* Autor: Lic. Osbel Núñez Jiménez *, OPTIMISA-ZAROTECH, Guatemala, 2006.
66. Rivera P. Méndez J. C., 2012. *Monitoreo de la Actividad Microbiológica en los jugos de molinos, utilizando la prueba de resazurina*, Ingenio Magdalena S.A. Guatemala,
67. Rodríguez, A. 2014. Comunicación personal. (N. Mellado Tobar, Entrevistador)
68. Russell, A. D. 2003. *Review: similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. J of antimicrob chemotherapy* (52): 750-763
69. Sandra Herrera. 1999. *Azúcar y Transformación del Colonato como Práctica Económica-Social y Referente Identitario en Mozos de Rancherías de la Costa Sur de Guatemala*, tesis, USAC. 6-7
70. Serrano, G. 2006. *Determinación de las poblaciones microbiológicas en el proceso de extracción de jugo de caña de azúcar en el Ingenio Manuelita S.A.* Trabajo de graduación Pontificia Universidad Javierana. Bogotá. 173 págs.
71. Siap, 2012. México. <http://w4.siap.gob.mx/sispro/Integra/Caracteristicas/CanaAzu.html>
72. Subiróz Ruiz, Fermín (200). *El cultivo de la caña de azúcar*. San José, Costa Rica: Ed. EUNED.
73. *The Sugar Engineers*. 2014. Sugar Tech. <http://www.sugartech.co.za/clarifier/>
74. Universidad de Valencia. 2011. *Introducción a la Cromatografía*. Revisado en línea el 12 de septiembre de 2013 en: <http://ocw.uv.es/ocw-formacio-permanent/2011-1->

35_Manual.pdf

75. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina. *Poder Calorífico del Bagazo de la Caña de Azúcar*. <http://www.herrera.unt.edu.ar/revistacet/anteriores/nro24/pdf/n24ext02.pdf>
76. Urda, P. (2008). *El tuning en el embellecimiento y personalización de vehículos*. España. Págs. 272
77. Vander poel P.W., Schiweck H., Schwartz T. 1998. *Sugar technology: Beet and Cane Sugar Manufacture*. p. 993 – 1007.
78. Vila, A. 2003. *El Impacto Social de la Agroindustria Azucarera en Guatemala*. Trabajo de graduación Universidad Francisco Marroquín. Guatemala. 67 págs.
79. Zepeda Guardado, E. R. 2012. *Propuesta de alternativas para la reducción de pérdidas desacarosa en un ingenio azucarero*. Universidad de El Salvador. (Tesis de Ingeniería Química).

XII. ANEXOS

1. Datos originales

Cuadro No. 84: Cuadro utilizado para comparación y efectos del CM en mesas y en jugo primario.

Tipo de caña		Origen del tándem	CM caña	Resultado CM Caña	CM Jugo primera extracción	Resultado CM jugo primera extracción.
Mecanizada	Manual					
	Mesa	A	1.58	ALERTA	2	MALO
	Mesa	A	1.3	BUENO	1.58	ALERTA
	Mesa	A	1.2	BUENO	1.43	BUENO
	Mesa	C	1.43	BUENO	1.28	BUENO
	Mesa	A	1.47	BUENO	1.46	BUENO
	Mesa	C	1.47	BUENO	1.33	BUENO
	Mesa	C	1.25	BUENO	1.25	BUENO
	Mesa	C	1.18	BUENO	1.28	BUENO
	Mesa	A	1.23	BUENO	2.07	MALO
	Mesa	A	1.44	BUENO	1.5	BUENO
	Mesa	C	1.18	BUENO	1.25	BUENO
	Mesa	A	1.67	ALERTA	1.67	ALERTA
	Mesa	C	1.36	BUENO	1.54	ALERTA
	Mesa	A	1.62	ALERTA	2	MALO
	Mesa	C	1.25	BUENO	1.25	BUENO
	Mesa	A	1.61	ALERTA	1.71	ALERTA
	Mesa	C	1.43	BUENO	1.82	MALO
	Mesa	A	1.9	MALO	1.71	ALERTA
	Mesa	C	2	MALO	1.58	ALERTA
	Mesa	A	2.2	MALO	2.5	MALO
	Mesa	C	4	CRÍTICO	1.58	ALERTA
	Mesa	A	1.6	ALERTA	1.25	BUENO
		C	1.25	BUENO	2.14	MALO
	Mesa	A	1.62	ALERTA	1.51	ALERTA
	Mesa	C	1.62	ALERTA	1.23	BUENO
	Mesa	A	1.67	ALERTA	2.07	MALO
	Mesa	C	1.54	ALERTA	1.11	BUENO
	Mesa	A	5	CRÍTICO	1.77	MALO
	Mesa	C	1.31	BUENO	1.2	BUENO
	Mesa	A	1.39	BUENO	1.43	BUENO
	Mesa	C	1.43	BUENO	1.3	BUENO
	Mesa	A	1.3	BUENO	1.46	BUENO
	Mesa	C	1.58	ALERTA	1.46	BUENO
	Mesa	A	1.54	ALERTA	1.43	BUENO
	Mesa	C	1.71	ALERTA	1.31	BUENO

Continuación - Cuadro No.84: Cuadro utilizado para comparación y efectos del CM en mesas y en jugo primario.						
Tipo de caña		Origen del tándem	CM caña	Resultado CM Caña	CM Jugo primera extracción	Resultado CM jugo primera extracción.
Mecanizada	Manual					
	Mesa	A	1.67	ALERTA	2.3	MALO
	Mesa	C	1.33	BUENO	1.43	BUENO
	Mesa	A	1.82	MALO	1.5	BUENO
	Mesa	C	1.62	ALERTA	1.43	BUENO
	Mesa	A	1.61	ALERTA	1.43	BUENO
	Mesa	C	1.33	BUENO	1.43	BUENO
	Mesa	A	1.15	BUENO	1.5	BUENO
	Mesa	C	1.15	BUENO	1.4	BUENO
	Mesa	A	2	MALO	2.07	MALO
	Mesa	C	2.5	MALO	1.47	BUENO
	Mesa	C	1.31	BUENO	1.23	BUENO
	Mesa	A	2	MALO	2.22	MALO
	Mesa	C	1.62	ALERTA	1.43	BUENO
	Mesa	A	1.22	BUENO	1.5	BUENO
	Mesa	C	1.76	MALO	1.5	BUENO
	Mesa	A	1.82	MALO	2.14	MALO
	Mesa	A	1.62	ALERTA	1.33	BUENO
	Mesa	C	1.67	ALERTA	1.5	BUENO
	Mesa	A	1.47	BUENO	1.58	ALERTA
	Mesa	C	1.63	ALERTA	1.28	BUENO
	Mesa	A	2.07	MALO	1.94	MALO
	Mesa	C	1.67	ALERTA	2.22	MALO
	Mesa	A	1.62	ALERTA	LAVADO	LAVADO
	Mesa	C	1.39	BUENO	1.46	BUENO
	Mesa	A	1.55	ALERTA	1.46	BUENO
	Mesa	C	1.2	BUENO	1.2	BUENO
	Mesa	A	1.23	BUENO	1.28	BUENO
	Mesa	C	1.54	ALERTA	1.5	BUENO
	Mesa	A	1.88	MALO	LAVADO	LAVADO
	Mesa	C	1.47	BUENO	1.54	ALERTA
		A	1.71	ALERTA	LAVADO	LAVADO
	Mesa	C	1.25	BUENO	1.25	BUENO
	Mesa	A	1.76	MALO	1.58	ALERTA
	Mesa	C	1.43	BUENO	1.36	BUENO

Continuación - Cuadro No.84: Cuadro utilizado para comparación y efectos del CM en mesas y en jugo primario.						
Tipo de caña		Origen del tándem	CM caña	Resultado CM Caña	CM Jugo primera extracción	Resultado CM jugo primera extracción.
Mecanizada	Manual					
	Mesa	A	2	MALO	2.4	MALO
	Mesa	A	1.47	BUENO	1.47	BUENO
	Mesa	C	1.31	BUENO	1.4	BUENO
	Mesa	A	1.5	BUENO	1.5	BUENO
	Mesa	A	2.07	MALO	1.94	MALO
	Mesa	C	1.33	BUENO	1.28	BUENO
	Mesa	A	1	BUENO	1.43	BUENO
	Mesa	C	1.22	BUENO	1.37	BUENO
	Mesa	A	1.47	BUENO	1.43	BUENO
	Mesa	C	1.54	ALERTA	1.36	BUENO
	Mesa	A	1.5	BUENO	lavado	LAVADO
	Mesa	C	1.33	BUENO	1.33	BUENO
	Mesa	A	1.46	BUENO	1.31	BUENO
	Mesa	C	1.5	BUENO	1.25	BUENO
	Mesa	A	1.8	MALO	1.43	BUENO
	Mesa	C	1.8	MALO	1.36	BUENO
	Mesa	A	1.09	BUENO	1.72	ALERTA
	Mesa	C	1.77	MALO	1.43	BUENO
	Mesa	A	2.5	MALO	1.39	BUENO
	Mesa	C	2.5	MALO	1.3	BUENO
	Mesa	A	2.5	MALO	LAVADO	LAVADO
	Mesa	C	2.5	MALO	1.36	BUENO
	Mesa	C	1.33	BUENO	1.47	BUENO
	Mesa	A	1.4	BUENO	1.4	BUENO
	Mesa	C	1.33	BUENO	1.47	BUENO
	Mesa	A	1.5	BUENO	1.4	BUENO
	Mesa	C	1.46	BUENO	1.31	BUENO
	Mesa	A	7.58	CRÍTICO	2.07	MALO
	Mesa	C	4.31	CRÍTICO	1.47	BUENO
	Mesa	A	2.3	MALO	1.52	ALERTA
	Mesa	C	2.3	MALO	1.57	ALERTA
	Mesa	A	1.85	MALO	1.77	MALO
	Mesa	C	1.85	MALO	LAVADO	LAVADO

Continuación - Cuadro No.84: Cuadro utilizado para comparación y efectos del CM en mesas y en jugo primario.						
Tipo de caña		Origen del tándem	CM caña	Resultado CM Caña	CM Jugo primera extracción	Resultado CM jugo primera extracción.
Mecanizada	Manual					
	Mesa	A	1.23	BUENO	LAVADO	LAVADO
	Mesa	C	1.05	BUENO	1.43	BUENO
	Mesa	A	1.37	BUENO	1.46	BUENO
	Mesa	C	1.54	ALERTA	1.4	BUENO
	Mesa	A	1.25	BUENO	1.72	ALERTA
	Mesa	C	1.25	BUENO	1.43	BUENO
	Mesa	A	1.67	ALERTA		
	Mesa	C	1.67	ALERTA		

Cuadro No. 85: Flujo de jugo sulfitado clarificado crudo y cristal en el Ingenio Magdalena.

Jugo sulfitado clarificado crudo	Jugo sulfitado clarificado cristal
$0.2281 \frac{m^3}{s} (3,625. \frac{gal}{min})$	$0.2208 \frac{m^3}{s} (3,500. \frac{gal}{min})$

Cuadro No. 86: Precio del hidróxido de calcio para ingenios proporcionado por Horcasa (Grupo Progreso) y la tasa de cambio de dólar utilizada.

\$ cal	Tasa de cambio (Q/\$)	Q cal
140.00	7.75	1,085.00

Cuadro No. 87: Grados Brix presentados para cada uno de los efectos del proceso de evaporadores.

	Jugo crudo		Jugo cristal	
	No. Vaso	Brix	No. Vaso	Brix
PRE	38	29.66	39	25.55
DUP	16	46.67	26	34.65
TER	22	52.33	6-7	46.43
CUA	02	54.30	13	53.67
MELADURA	-	65.64	-	60.46

Cuadro No. 88: Hora inicial y final de la reacción de la prueba de resazurina a las 0 horas para 10 muestras de 1000mL jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	t inicial	t final	t inicial	t final
	± 0 h : 01 min	± 0 h : 01 min	± 0 h : 01 min	± 0 h : 01 min
1	12:00	13:52	12:00	12:25
2	8:49	10:10	8:49	9:57
3	14:00	10:00	14:40	5:49
4	16:03	18:12	16:03	19:37
5	10:06	14:06	11:00	14:20
6	13:50	15:03	13:50	14:55
7	11:24	13:55	11:24	14:03
8	17:40	21:59	17:40	23:40
9	14:25	18:41	14:25	18:45
10	10:05	20:57	10:34	20:34

Cuadro No. 89: pH inicial y final a las 0 horas para 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final
	± 0.001	± 0.001	± 0.001	± 0.001
1	5.34	7.044	5.427	7.06
2	4.725	7.056	4.75	7.019
3	4.45	7.008	4.8	7.018
4	5.08	7.026	5.334	7.026
5	4.911	7.018	5.13	7.037
6	5.806	7.097	5.951	7.016
7	4.605	7.103	4.63	7.033
8	4.92	7.029	5.946	7.1
9	4.817	7.011	5.078	7.026
10	4.61	7.021	4.89	7.012

Cuadro No. 90: Volumen de lechada (cal y agua) utilizada para la neutralización de 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

	Crudo	Cristal
No.	Vol.	Vol.
	± 0.05mL	± 0.05mL
1	6.6	8.4
2	8.6	11
3	20	13
4	10	12.5
5	9.8	10.5
6	8	10
7	9.2	12
8	8.4	13
9	10	11
10	10.5	10

Cuadro No. 91: Volumen de lodos y tiempo de sedimentación de 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	Vol.	t	Vol.	t
	± 3 ml	± 0min:00s:01cs	± 3 ml	± 0min:00s:01cs
1	150	0:08:33	135	0:05:13
2	140	0.003842593	170	0.004224537
3	330	0.050844907	355	0:31:54
4	160	0:16:13	200	0:15:02
5	190	0:14:01	195	0:07:00
6	130	0.005868056	155	0:05:32
7	165	0.00494213	185	0.007175926
8	135	0:10:57	245	0.005856481
9	200	0:24:04	210	0:16:00
10	265	0:32:00	260	0:28:00

Cuadro No. 92: Masa inicial y final, a las 0 horas, del tubo de calandria del 1er. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
1	4.5521	4.5526	4.5817	4.582
2	4.5521	4.5532	4.5799	4.5809
3	4.5495	4.5552	4.5831	4.587
4	4.5535	4.5543	4.5883	4.5902
5	4.5485	4.5503	4.5694	4.5703
6	4.5511	4.5515	4.551	4.5522
7	4.5529	4.5545	4.5785	4.5802
8	4.5528	4.5533	4.5781	4.5813
9	4.5581	4.56	4.579	4.5801
10	4.5518	4.5541	4.5784	4.5811

Cuadro No. 93: Masa inicial y final, a las 0 horas, del tubo de calandria del 2do. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
1	3.4661	3.467	4.6076	4.6089
2	3.1325	3.1332	4.606	4.6072
3	3.1319	3.1383	4.6089	4.613
4	3.1316	3.1328	4.6089	4.6126
5	3.1311	3.1328	4.6055	4.6067
6	3.1333	3.1341	3.1329	3.1345
7	3.1347	3.1363	4.6063	4.6082
8	3.1346	3.1357	4.6056	4.609
9	3.1418	3.1439	4.6055	4.6073
10	3.1325	3.1353	4.607	4.6093

Cuadro No. 94: Masa inicial y final, a las 0 horas, el tubo de calandria del 3er. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
1	3.4661	3.467	4.1506	4.1513
2	3.4636	3.4657	4.15	4.1508
3	3.4648	3.4715	4.1499	4.1542
4	3.4683	3.4696	4.1513	4.1544
5	3.4617	3.4636	4.1471	4.1484
6	3.4644	3.4649	3.4665	3.4682
7	3.4689	3.4717	4.152	4.1529
8	3.4671	3.4678	4.1485	4.1526
9	3.4752	3.4775	4.1534	4.1556
10	3.4636	3.468	4.1498	4.1521

Cuadro No. 95: Masa inicial y final, a las 0 horas, del tubo de calandria del 4to. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
1	2.981	2.9821	4.1137	4.1148
2	2.9854	2.9872	4.1175	4.1183
3	2.9819	2.9908	4.1165	4.1229
4	2.9869	2.9892	4.1237	4.1271
5	2.9793	2.9819	4.1141	4.1157
6	2.9834	2.9842	2.9844	2.986
7	2.9923	2.9955	4.1198	4.1215
8	2.986	2.9874	4.1201	4.124
9	2.9971	3.001	4.1156	4.1191
10	2.9799	2.9858	4.1168	4.1201

Cuadro No. 96: Masa inicial y final, a las 0 horas, del tubo de calandria del 5to. efecto en el proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
1	3.3376	3.3395	2.6389	2.6403
2	3.3398	3.3422	4.6555	4.6572
3	3.3378	3.3496	2.6388	2.6467
4	33.3387	33.3418	2.6389	2.6448
5	3.3382	3.3421	3.5239	3.5259
6	3.3412	3.3427	3.3418	3.3447
7	3.3426	3.3465	4.6432	4.6471
8	3.3407	3.3657	2.6298	2.6362
9	3.3404	3.3462	2.63375	2.63895
10	3.3407	3.3482	2.6395	2.6444

Cuadro No. 97: Grados Brix, a las 0 horas, de los 5 efectos del proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado crudo.

No.	Crudo					
	Brix 0	Brix 1	Brix 2	Brix 3	Brix 4	Brix 5
	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°
1	16.2	23.9	31.6	41.6	56.2	67.1
2	14.3	20.3	32.3	43.2	54.3	62.1
3	15.9	23.5	34.1	44.3	56.1	67.8
4	15.1	21.9	30.3	37.6	52.3	65.9
5	16.3	21.3	29.7	35.6	53.2	66.4
6	15.2	21.6	29.8	38.7	51.9	71.9
7	13.2	19.7	33.4	40.5	51.8	65.4
8	12	22.5	33.8	40.6	52.1	65.4
9	13.6	19.5	31	41	56	69
10	16.6	25	35.1	45.7	58.2	66.5

Cuadro No. 98: Grados Brix, a las 0 horas, de los 5 efectos del proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL de jugo sulfitado cristal.

No.	Cristal					
	Brix 0	Brix 1	Brix 2	Brix 3	Brix 4	Brix 5
	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°
1	20.6	24.3	30.6	41.4	53.1	67.4
2	16.9	23.8	33.9	43.6	52.1	70
3	15.3	25.6	31.6	44.5	53.2	69
4	20.2	29.1	33.2	43.8	54.9	65.9
5	16.1	25.6	32.5	42.9	56.6	69.8
6	15.9	29.5	29.5	41.3	52.8	65.9
7	16.3	22.3	33.2	41.3	54.1	68
8	15	32.5	32.5	40.8	51.9	66.7
9	15.4	23.5	30.9	40	51.1	64.4
10	16	24	31.6	43.4	54.6	68

Cuadro No. 99: Hora inicial y final de la reacción de la prueba de resazurina a las 0 y 4 horas para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

t	Crudo		Cristal	
	t inicial	t final	t inicial	t final
	± 0 h : 01 min	± 0 h : 01 min	± 0 h : 01 min	± 0 h : 01 min
0	10:06	14:06	11:00	14:20
4	14:25	18:41	14:25	18:45
0	12:00	13:52	12:00	12:25
4	16:03	18:12	16:03	19:37
0	13:50	15:03	13:50	14:55
4	17:40	21:59	17:40	23:40
0	8:49	10:10	8:49	9:57
4	11:24	13:55	11:24	14:03
0	10:05	20:57	10:34	20:34
4	14:00	10:00	14:40	5:49

Cuadro No. 100: pH inicial y final a las 0 y 4 horas para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

t	Crudo		Cristal	
	pH inicial	pH final	pH inicial	pH final
	± 0.001	± 0.001	± 0.001	± 0.001
0	4.911	7.018	5.13	7.037
4	4.817	7.011	5.078	7.026
0	5.34	7.044	5.427	7.06
4	5.08	7.026	5.334	7.026
0	5.806	7.097	5.951	7.016
4	4.92	7.029	5.946	7.1
0	4.725	7.056	4.75	7.019
4	4.605	7.103	4.63	7.033
0	4.61	7.021	4.89	7.012
4	4.45	7.008	4.8	7.018

Cuadro No. 101: Volumen de lechada (cal y agua) utilizada a las 0 y 4 horas para la neutralización de 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

t	Crudo	Cristal
	Vol.	Vol.
	± 0.05mL	± 0.05mL
0	9.8	10.5
4	10	11
0	6.6	8.4
4	10	12.5
0	8	10
4	8.4	13
0	8.6	11
4	9.2	12
0	10.5	10
4	20	13

Cuadro No. 102: Volumen de lodos y tiempo de sedimentación a las 0 y 4 horas para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

t	Crudo		Cristal	
	Vol.	t	Vol.	t
	± 3 ml	± 0min:00s:01cs	± 3 ml	± 0min:00s:01cs
0	190	0:14:01	195	0:07:00
4	200	0:24:04	210	0:16:00
0	150	0:08:33	135	0:05:13
4	160	0:16:13	200	0:15:02
0	130	0.005868056	155	0:05:32
4	135	0:10:57	245	0.005856481
0	140	0.003842593	170	0.004224537
4	165	0.00494213	185	0.007175926
0	265	0:32:00	260	0:28:00
4	330	0.050844907	355	0:31:54

Cuadro No. 103: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del primer efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

t	Crudo		Cristal	
	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
0	4.5485	4.5503	4.5694	4.5703
4	4.5581	4.56	4.579	4.5801
0	4.5521	4.5526	4.5817	4.582
4	4.5535	4.5543	4.5883	4.5902
0	4.5511	4.5515	4.551	4.5522
4	4.5528	4.5533	4.5781	4.5813
0	4.5521	4.5532	4.5799	4.5809
4	4.5529	4.5545	4.5785	4.5802
0	4.5518	4.5541	4.5784	4.5811
4	4.5495	4.5552	4.5831	4.587

Cuadro No. 104: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tugo de calandria del 2do. efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

t	Crudo		Cristal	
	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
0	3.1311	3.1328	4.6055	4.6067
4	3.1418	3.1439	4.6055	4.6073
0	3.4661	3.467	4.6076	4.6089
4	3.1316	3.1328	4.6089	4.6126
0	3.1333	3.1341	3.1329	3.1345
4	3.1346	3.1357	4.6056	4.609
0	3.1325	3.1332	4.606	4.6072
4	3.1347	3.1363	4.6063	4.6082
0	3.1325	3.1353	4.607	4.6093
4	3.1319	3.1383	4.6089	4.613

Cuadro No. 105: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del 3er. efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

t	Crudo		Cristal	
	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
0	3.4617	3.4636	4.1471	4.1484
4	3.4752	3.4775	4.1534	4.1556
0	3.4661	3.467	4.1506	4.1513
4	3.4683	3.4696	4.1513	4.1544
0	3.4644	3.4649	3.4665	3.4682
4	3.4671	3.4678	4.1485	4.1526
0	3.4636	3.4657	4.15	4.1508
4	3.4689	3.4717	4.152	4.1529
0	3.4636	3.468	4.1498	4.1521
4	3.4648	3.4715	4.1499	4.1542

Cuadro No. 106: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del 4to. efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

	Crudo		Cristal	
t	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
0	2.9793	2.9819	4.1141	4.1157
4	2.9971	3.001	4.1156	4.1191
0	2.981	2.9821	4.1137	4.1148
4	2.9869	2.9892	4.1237	4.1271
0	2.9834	2.9842	2.9844	2.986
4	2.986	2.9874	4.1201	4.124
0	2.9854	2.9872	4.1175	4.1183
4	2.9923	2.9955	4.1198	4.1215
0	2.9799	2.9858	4.1168	4.1201
4	2.9819	2.9908	4.1165	4.1229

Cuadro No. 107: Masa inicial y final, a las 0 y 4 horas, del tubo de calandria del 5to. efecto en el proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

	Crudo		Cristal	
t	Masa inicial	Masa final	Masa inicial	Masa final
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
0	3.3382	3.3421	3.5239	3.5259
4	3.3404	3.3462	2.63375	2.63895
0	3.3376	3.3395	2.6389	2.6403
4	33.3387	33.3418	2.6389	2.6448
0	3.3412	3.3427	3.3418	3.3447
4	3.3407	3.3657	2.6298	2.6362
0	3.3398	3.3422	4.6555	4.6572
4	3.3426	3.3465	4.6432	4.6471
0	3.3407	3.3482	2.6395	2.6444
4	3.3378	3.3496	2.6388	2.6467

Cuadro No. 108: Grados Brix, a las 0 y 4 horas, de los 5 efectos del proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado crudo.

Crudo						
t	Brix 0	Brix 1	Brix 2	Brix 3	Brix 4	Brix 5
	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°
0	16.3	21.3	29.7	35.6	53.2	66.4
4	13.6	19.5	31	41	56	69
0	16.2	23.9	31.6	41.6	56.2	67.1
4	15.1	21.9	30.3	37.6	52.3	65.9
0	15.2	21.6	29.8	38.7	51.9	71.9
4	12	22.5	33.8	40.6	52.1	65.4
0	14.3	20.3	32.3	43.2	54.3	62.1
4	13.2	19.7	33.4	40.5	51.8	65.4
0	16.6	25	35.1	45.7	58.2	66.5
4	15.9	23.5	34.1	44.3	56.1	67.8

Cuadro No. 109: Grados Brix, a las 0 y 4 horas, de los 5 efectos del proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL de jugo sulfitado cristal.

Cristal						
t	Brix 0	Brix 1	Brix 2	Brix 3	Brix 4	Brix 5
	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°	±0.05°
0	16.1	25.6	32.5	42.9	56.6	69.8
4	15.4	23.5	30.9	40	51.1	64.4
0	20.6	24.3	30.6	41.4	53.1	67.4
4	20.2	29.1	33.2	43.8	54.9	65.9
0	15.9	29.5	29.5	41.3	52.8	65.9
4	15	32.5	32.5	40.8	51.9	66.7
0	16.9	23.8	33.9	43.6	52.1	70
4	16.3	22.3	33.2	41.3	54.1	68
0	16	24	31.6	43.4	54.6	68
4	15.3	25.6	31.6	44.5	53.2	69

Cuadro No. 110: Diferencial de tiempo para la prueba de resazurina y el CM a las 0 horas, de 10 muestras de 1000mL para el jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	Δt	CM	Δt	CM
	$\pm 0 \text{ h} : 01 \text{ min}$	± 0.01	$\pm 0 \text{ h} : 01 \text{ min}$	± 0.01
1	1:52	1.88	0:25	0.43
2	1:21	1.35	1:08	1.14
3	20:00	20.00	15:09	15.15
4	2:09	2.15	3:34	3.57
5	4:00	4.00	3:20	3.33
6	1:13	1.23	1:05	1.08
7	2:31	2.65	2:39	2.65
8	1:18	1.31	6:00	6.00
9	4:16	4.28	4:20	4.34
10	10:52	10.86	10:00	10.00

Cuadro No. 111: Diferencial de masa para los 5 efectos del proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL a las 0 horas, de jugo sulfitado crudo.

No.	Crudo				
	$\Delta \text{ Masa } 1$	$\Delta \text{ Masa } 2$	$\Delta \text{ Masa } 3$	$\Delta \text{ Masa } 4$	$\Delta \text{ Masa } 5$
	$\pm 0.0001 \text{ g}$	$\pm 0.0001 \text{ g}$	$\pm 0.0001 \text{ g}$	$\pm 0.0001 \text{ g}$	$\pm 0.0001 \text{ g}$
1	0.0005	0.0009	0.0009	0.0011	0.0019
2	0.0011	0.0007	0.0021	0.0018	0.0024
3	0.0057	0.0064	0.0067	0.0089	0.0118
4	0.0008	0.0012	0.0013	0.0023	0.0031
5	0.0018	0.0017	0.0019	0.0026	0.0039
6	0.0004	0.0008	0.0005	0.0008	0.0015
7	0.0016	0.0016	0.0028	0.0032	0.0039
8	0.0005	0.0011	0.0007	0.0014	0.0025
9	0.0019	0.0021	0.0023	0.0039	0.0058
10	0.0023	0.0028	0.0044	0.0059	0.0075

Cuadro No. 112: Diferencial de masas para los 5 efectos del proceso de evaporación para 10 muestras de 800mL a las 0 horas, de jugo sulfitado cristal.

No.	Cristal				
	Δ Masa 1	Δ Masa 2	Δ Masa 3	Δ Masa 4	Δ Masa 5
	± 0.0001 g	± 0.0001 g	± 0.0001 g	± 0.0001 g	± 0.0001 g
1	0.0003	0.0013	0.0007	0.0011	0.0014
2	0.0010	0.0012	0.0008	0.0008	0.0017
3	0.0039	0.0041	0.0043	0.0064	0.0079
4	0.0019	0.0037	0.0031	0.0034	0.0059
5	0.0009	0.0012	0.0013	0.0016	0.0020
6	0.0012	0.0016	0.0017	0.0016	0.0029
7	0.0017	0.0019	0.0009	0.0017	0.0039
8	0.0032	0.0034	0.0041	0.0039	0.0064
9	0.0011	0.0018	0.0022	0.0035	0.0052
10	0.0027	0.0023	0.0023	0.0033	0.0049

Cuadro No. 113: Velocidad de sedimentación de 10 muestras de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

No.	Crudo		Cristal	
	v	v	v	v
	mL/s	\pm mL/s	mL/s	\pm mL/s
1	1.20	0.36	1.95	0.58
2	2.03	0.61	1.77	0.53
3	0.14	0.04	0.32	0.10
4	0.62	0.19	0.67	0.20
5	0.71	0.21	1.43	0.43
6	1.27	0.38	1.88	0.56
7	1.50	0.45	1.02	0.31
8	0.95	0.28	1.27	0.38
9	0.42	0.12	0.63	0.19

10	0.31	0.09	0.36	0.11
----	------	------	------	------

Cuadro No. 114: Diferencial de tiempo para la prueba de resazurina y el CM a las 0 y 4 horas, de 5 muestras dobles de sulfitado crudo y 1000mL para el jugo cristal.

No.	Crudo				
	Δ pH	Δ CM	Δ Vol.	Δ v	
	± 0.001	± 0.01	± 4 mL	mL/s	\pm mL/s
1	0.094	0.28	10	0.30	0.25
2	0.26	0.27	10	0.58	0.41
3	0.886	0.08	5	0.32	0.48
4	0.12	1.30	25	0.53	0.76
5	0.16	9.14	65	0.18	0.10

Cuadro No. 115: Diferencial es de pH, CM, volumen de lodos y velocidad de sedimentación para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo.

t	Crudo		Cristal	
	Δ t	CM	Δ t	CM
	± 0 h : 01 min	± 0.01	± 0 h : 01 min	± 0.01
0	4:00	4.00	3:20	3.33
4	4:16	4.28	4:20	4.34
0	1:52	1.88	0:25	0.43
4	2:09	2.15	3:34	3.57
0	1:13	1.23	1:05	1.08
4	1:18	1.31	6:00	6.00
0	1:21	1.35	1:08	1.14
4	2:31	2.65	2:39	2.65
0	10:52	10.86	10:00	10.00
4	20:00	20.00	15:09	15.15

Cuadro No. 116: Diferencial de pH, CM, volumen de lodos y velocidad de sedimentación para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado cristal.

Cristal					
No.	Δ pH	Δ CM	Δ Vol.	Δ v	
	± 0.001	± 0.01	± 4 mL	mL/s	\pm mL/s
1	0.052	1.01	15	0.80	0.47
2	0.093	3.14	65	1.28	0.62
3	0.005	4.92	90	0.61	0.68
4	0.12	1.51	15	0.75	0.61
5	0.09	5.15	95	0.04	0.14

Cuadro No. 117: Diferencial de la masa de los 5 efectos del proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL, a las 0 y 4 horas, de jugo sulfitado crudo.

Crudo					
t	Δ Masa 1	Δ Masa 2	Δ Masa 3	Δ Masa 4	Δ Masa 5
	± 0.0001 g	± 0.0001 g	± 0.0001 g	± 0.0001 g	± 0.0001 g
0	0.0018	0.0017	0.0019	0.0026	0.0039
4	0.0019	0.0021	0.0023	0.0039	0.0058
0	0.0005	0.0009	0.0009	0.0011	0.0019
4	0.0008	0.0012	0.0013	0.0023	0.0031
0	0.0004	0.0008	0.0005	0.0008	0.0015
4	0.0005	0.0011	0.0007	0.0014	0.0025
0	0.0011	0.0007	0.0021	0.0018	0.0024
4	0.0016	0.0016	0.0028	0.0032	0.0039
0	0.0023	0.0028	0.0044	0.0059	0.0075
4	0.0057	0.0064	0.0067	0.0089	0.0118

Cuadro No. 118: Diferencial de masa para los 5 efectos del proceso de evaporación para 5 muestras dobles de 800mL, a las 0 y 4 horas, de jugo sulfitado cristal.

Cristal					
t	Δ Masa 1	Δ Masa 2	Δ Masa 3	Δ Masa 4	Δ Masa 5
	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g	±0.0001 g
0	0.0009	0.0012	0.0013	0.0016	0.0020
4	0.0011	0.0018	0.0022	0.0035	0.0052
0	0.0003	0.0013	0.0007	0.0011	0.0014
4	0.0019	0.0037	0.0031	0.0034	0.0059
0	0.0012	0.0016	0.0017	0.0016	0.0029
4	0.0032	0.0034	0.0041	0.0039	0.0064
0	0.0010	0.0012	0.0008	0.0008	0.0017
4	0.0017	0.0019	0.0009	0.0017	0.0039
0	0.0027	0.0023	0.0023	0.0033	0.0049
4	0.0039	0.0041	0.0043	0.0064	0.0079

Cuadro No. 119: Velocidad de sedimentación, a las 0 y 4 horas, para 5 muestras dobles de 1000mL de jugo sulfitado crudo y cristal.

t	Crudo		Cristal	
	v	v	v	v
	mL/s	± mL/s	mL/s	± mL/s
0	0.71	0.21	1.43	0.43
4	0.42	0.12	0.63	0.19
0	1.20	0.36	1.95	0.58
4	0.62	0.19	0.67	0.20
0	1.27	0.38	1.88	0.56
4	0.95	0.28	1.27	0.38
0	2.03	0.61	1.77	0.53
4	1.50	0.45	1.02	0.31
0	0.31	0.09	0.36	0.11

4	0.14	0.04	0.32	0.10
---	------	------	------	------

Cuadro No. 120: Incremento en el consumo de hidróxido de calcio para el jugo sulfitado crudo y cristal.

CM	Crudo					Cristal				
	Lechada	Lechada	Oxido de calcio	Oxido de calcio	Costo	Lechada	Lechada	Oxido de calcio	Oxido de calcio	Costo
	m ³	gal	kg	lb	Q	m ³	gal	kg	lb	Q
0.1	36.9	9,748.09	1,986.69	4,380.79	2,155.56	22.58	5,963.83	1,215.44	2,680.14	1,318.76
0.5	184.5	48,740.47	9,933.45	21,903.96	10,777.79	112.88	29,819.16	6,077.23	13,400.73	6,593.80
1	369	97,480.94	19,866.90	43,807.93	21,555.58	225.75	59,638.32	12,154.46	26,801.46	13,187.59
1.5	553.51	146,221.42	29,800.35	65,711.90	32,333.38	338.63	89,457.48	18,231.69	40,202.19	19,781.39

Cuadro No. 121: Incremento del volumen de lodos y decremento en la velocidad de sedimentación para el jugo sulfitado crudo y cristal.

CM	Crudo				Cristal			
	v		Vol.		v		Vol.	
	m ³ /s	gal/min	m ³	gal	m ³ /s	gal/min	m ³	gal
0.1	6.96 x 10 ⁻⁹	0.007	486	128,360	0.00000109	0.017	1,538	406,267
0.5	6.8 x 10 ⁻⁹	0.0068	2,429	641,804	0.00000105	0.0163	7,689	2,031,336
1	6.6 x 10 ⁻⁹	0.0066	4,859	1,283,609	0.000001	0.0153	15,379	4,062,673
1.5	6.4 x 10 ⁻⁹	0.0064	7,288	1,925,414	0.00000095	0.0143	23,068	6,094,010

Cuadro No. 122: Incrustaciones por número de evaporadores para la Zafra 2014.

Efectos	Crudo			Cristal		
	kg	t	%	kg	t	%
1	4,198.4	4.1984	14.0	5,438.8	5.4388	11.9
2	5,248.0	5.2480	17.5	6,965.5	6.9655	15.3
3	3,816.7	3.8167	12.7	7,442.6	7.4426	16.3
4	7,156.3	7.1563	23.9	10,018.9	10.0189	22.1
5	9,446.4	9.4464	31.6	15,648.6	15.6486	34.4
Total	29,865.9	29.8659	100	45,514.5	45.5145	100

Cuadro No. 123: Incremento de incrustaciones totales debido al cambio de CM (coeficiente microbiológico) para jugo sulfitado crudo y cristal.

CM	Crudo		Cristal	
	kg	t	kg	t
0.1	741.1	0.7411	954.1	0.9541
0.5	3,705.9	3.7059	4,770.9	4.7709
1.0	7,411.9	7.4119	9,541.8	9.5418
1.5	11,117.9	11.1179	14,312.7	14.3127

Figura No. 44: Libras de hidróxido de calcio por galón de solución.

Milk-of-lime Suspensions		Lime Content*				% Solids Ca(OH) ₂ in Water
Specific Gravity at 15 C.	Degrees Baumé (Bur. Stds. Scale)	Grams CaO per liter	Grams Ca(OH) ₂ per liter	Lbs. CaO per U.S. gal.	Lbs. CaO per cu. ft.	
1.010	1.44	11.7	15.5	.097	.07	1.6
1.020	2.84	24.4	32.2	.203	1.5	3.2
1.030	4.22	37.1	49.0	.309	2.3	4.8
1.040	5.58	49.8	65.8	.415	3.1	6.3
1.050	6.91	62.5	82.6	.520	3.9	7.9
1.060	8.21	75.2	99.4	.626	4.7	9.4
1.070	9.49	87.9	116	.732	5.5	10.8
1.080	10.74	100	132	.833	6.3	12.3
1.090	11.97	113	149	.941	7.1	13.7
1.100	13.18	126	166	1.05	7.9	15.2
1.110	14.37	138	182	1.15	8.7	16.4
1.120	15.54	152	201	1.27	9.5	18.0
1.130	16.68	164	217	1.37	10.3	19.3
1.140	17.81	177	234	1.47	11.1	20.5
1.150	18.91	190	251	1.58	11.9	21.8
1.160	20.00	203	268	1.69	12.7	23.1
1.170	21.07	216	285	1.80	13.5	24.4
1.180	22.12	229	303	1.91	14.3	25.6
1.190	23.15	242	320	2.02	15.1	27.0
1.200	24.17	255	337	2.12	15.9	28.0
1.210	25.16	268	354	2.23	16.7	29.2
1.220	26.15	281	371	2.34	17.6	30.4
1.230	27.11	294	388	2.45	18.4	31.6
1.240	28.06	307	406	2.56	19.2	32.8
1.250	29.00	321	424	2.67	20.0	33.8

(National Lime Association)

Cuadro No. 124: DATOS DE FILTROS DE VACÍO PARA CACHAZA INGENIO MAGDALENA – 4
Muestras obtenidos preliminarmente para determinación de posibles puntos críticos de análisis en estudio microbiológico de Tándem.

DATOS DE FILTROS DE VACÍO PARA CACHAZA INGENIO MAGDALENA											
DATOS EVALUADOS		Temperatura (°C)		Actividad microbiológica en tanque - Prueba de resazurina				Actividad microbiológica en Filtro - Prueba de resazurina			
# CORRIDA	# Filtro	Tanque de ingreso	Temp. CAMA	t ₀	t _f	Δt	CM Tanque	t ₀	t _f	Δt	CM Cama
1	1	90	67	9.25	18.67	9.42	0.53	9.25	19	9.75	0.51
	2	89	70	9.25	11.33	2.08	2.4	9.25	19	9.75	0.51
	3	87	52	9.25	19	9.75	0.51	9.25	15	5.75	0.87
	4	86	58	9.33	18	8.67	0.58	9.33	11.67	2.34	2.14
	5	86	58	9.33	18	8.67	0.58	9.33	11.67	2.34	2.14
	6	38	65	9.36	18	8.64	0.58	9.36	12.83	3.47	1.44
	7	89	73	9.58	18.92	9.34	0.54	9.58	18	8.42	0.59
	8	76	79	9.83	18.67	8.84	0.57	9.83	15	5.17	0.97
	9	88	69	9.83	18.82	8.99	0.56	9.83	15	5.17	0.97
	10	85	66	9.92	18	8.08	0.62	9.92	12	2.08	2.4
	11	87	66	9.92	18	8.08	0.62	9.92	12.75	2.83	1.77
	12	80	49	11.8	15	3.2	1.56	11.8	15	3.2	1.56
DATOS EVALUADOS		Temperatura (°C)		Actividad Microbiológica en tanque - Prueba de resazurina				Actividad Microbiológica en Filtro - Prueba de resazurina			
# CORRIDA	# Filtro	Tanque de ingreso	Temp. CAMA	t ₀	t _f	Δt	CM Tanque	t ₀	t _f	Δt	CM Cama
2	1	90	66	14.37	16.5	2.13	2.35	14.45	19	4.55	1.1
	2	89	72	14.5	18.67	4.17	1.2	14.55	19.33	4.78	1.05
	3	80	52	14.58	17.25	2.67	1.87	14.63	20	5.37	0.93
	4	87	57	14.72	20.33	5.61	0.89	14.67	20.67	6	0.83
	5	87	65	14.83	21	6.17	0.81	14.9	21.33	6.43	0.78
	6	73.4	57	14.82	20.67	5.85	0.85	14.85	21	6.15	0.81
	7	87	79	15	20.33	5.33	0.938086	15	20.33	5.33	0.938086
	8	83.3	69	15.4	21	5.6	0.892857	15.4	21	5.6	0.892857
	9	58.6	66	15.34	20.67	5.33	0.938086	15.34	20.67	5.33	0.938086
	10	85.4	66	15.6	22.83	7.23	0.691563	15.6	22.83	7.23	0.691563
	11	73.4	49	15.88	22.83	6.95	0.719424	15.88	22.83	6.95	0.719424
	12	87	89	16.03	23.23	7.2	0.694444	16.03	23.23	7.2	0.694444

Continuación - Cuadro No.124: DATOS DE FILTROS DE VACÍO PARA CACHAZA INGENIO MAGDALENA – 4 Muestreros obtenidos preliminarmente para determinación de posibles puntos críticos de análisis en estudio microbiológico de Tándem.											
DATOS DE FILTROS DE VACÍO PARA CACHAZA INGENIO MAGDALENA											
DATOS EVALUADOS		Temperatura (°C)		Actividad Microbiológica en tanque - Prueba de resazurina				Actividad Microbiológica en Filtro - Prueba de resazurina			
# CORRIDA	# Filtro	Tanque de ingreso	Temp. CAMA	t ₀	t _f	Δt	CM Tanque	t ₀	t _f	Δt	CM Cama
3	1	71.8	73.7	8.65	19.67	11.02	0.45	8.65	13.13	4.48	1.12
	2	68	62.5	8.82	23.23	14.41	0.35	8.77	13.13	4.36	1.15
	3	83.3	58.4	8.92	22.83	13.91	0.36	8.82	13.13	4.31	1.16
	4	58.6	62.4	9.1	16.5	7.4	0.68	8.98	13.13	4.15	1.2
	5	85.4	80.5	9.33	17.92	8.59	0.58	9.38	13.13	0.87	5.75
	6	43.9	68.1	9.25	13.12	3.87	1.29	9.25	10.17	0.92	5.43
	7	84.5	72.3	9.58	22	12.42	0.4	9.55	10.25	0.7	7.14
	8	75	61.5	9.67	13.18	3.51	1.42	9.65	13.13	3.48	1.44
	9	70.5	57.8	9.8	22.5	12.7	0.39	9.83	15	5.17	0.97
	10	87.2	65.2	9.92	22	12.08	0.41	10	15	5	1
	11	74.4	51.9	10.1	20	9.9	0.51	10.05	14.67	4.62	1.08
	12	76.4	61.2	10.22	20	9.78	0.51	10.25	14.67	4.42	1.13
DATOS EVALUADOS		Temperatura (°C)		Actividad Microbiológica en tanque - Prueba de resazurina				Actividad Microbiológica en Filtro - Prueba de resazurina			
# CORRIDA	# Filtro	Tanque de ingreso	Temp. CAMA	t ₀	t _f	Δt	CM Tanque	t ₀	t _f	Δt	CM Cama
4	1	85.6	65.1	10	14.33	4.33	1.15	10.08	21.75	4.25	1.18
	2	84.5	67.5	10.2	14.75	4.55	1.1	10.22	14.33	4.11	1.22
	3	80.5	55.3	10.37	23.1	12.73	0.39	10.63	15.43	4.8	1.04
	4	82.5	58.3	10.53	24.33	13.8	0.36	10.58	14.33	3.75	1.33
	5	79.8	74.9	10.7	16.42	5.72	0.87	10.77	23.92	13.15	0.38
	6	70.9	67.8	10.83	16.43	5.6	0.89	10.8	17.33	6.53	0.77
	7	70.02	72.4	10.97	19.6	8.63	0.58	11	19.5	8.5	0.59
	8	68.6	68.7	11.12	21	9.88	0.51	11.18	19.75	8.57	0.58
	9	74.7	66.4	11.27	24.65	13.38	0.37	11.3	20.83	9.53	0.52
	10	69.6	45.7	11.33	20	8.67	0.58	11.35	12	0.65	7.69
	11	65.2	50.6	11.48	11.83	0.35	14.29	11.53	13.08	1.55	3.23
	12	70.3	57.4	11.57	17.33	5.76	0.87	11.6	17.33	5.73	0.87

Cuadro No. 125: Resultados de medición de Actividad Microbiológica en salidas de jugo filtrado de lodos de cachaza en clarificadores de meladura Cristal de IMSA.

Clafiricador De meladura	Temperatura (°C)	Actividad microbiológica en tanque - Prueba de resazurina			
	Entrada	t ₀	t _f	Δt	CM
1	61.5	11.67	18.83	7.16	0.7
2	61.4	11.72	18.83	7.11	0.7
3	61.4	11.77	19.5	7.73	0.65

Cuadro No. 126: Clasificación del Coeficiente Microbiológico (CM)

CM	Resultado de Actividad Microbiológica
Menor que 1.75	BUENO
de 1.75 a 2.00	ALERTA
de 2.00 a 2.50	MALO
Mayores a 2.50	CRÍTICO

Fuente: Instructivo de control Microbiológico en jugos de molinos a través del test de resazurina, O. Núñez 2011

Cuadro No. 127: Datos de siembras para recuento de microorganismos termófilos en los filtros de cachaza.

RECUENTO DE TERMOFILOS EN FILTROS DE CACHAZA								
siembra 10/04/2014				siembra 8/05/2014				
Muestra	ufc/mL	log UFC/mL	Descripción	filtro	No. Mx	ufc/mL	log UFC/mL	Descripción
f12 atrás	7.00E+02	2.84509804		3	1	7.20E+03	3.8573325	Lateral izquierdo atrás
f12 adelante	1.30E+03	3.11394335			2	3.60E+03	3.5563025	lateral izquierdo adelante
F6 ATRÁS	1.00E+03	3	atrás derecho		3	1.02E+05	5.01029996	derecho atrás
F6 BANDEJA REBOSO	1.40E+03	3.14612804	Lateral izq. Adelante		4	1.20E+04	4.07918125	Reboso
F7 ATRÁS	2.90E+03	3.462398		6	1	1.13E+04	4.05307844	Reboso trasero
F7 ADELANTE	2.56E+04	4.40823997			2	3.00E+03	3.47712125	Reboso
F8 ATRÁS	1.10E+03	3.04139269			3	-	#¡VALOR!	
F8 ADELANTE	1.20E+03	3.07918125			4	1.80E+03	3.25527251	
F3 ATRÁS	4.00E+03	3.60205999		9	5	1.47E+04	4.16731733	Atrás dere
F5 ATRÁS	1.30E+03	3.11394335			1	1.07E+04	4.02938378	Atrás izq
F5 REBOSO	2.00E+03	3.30103			2	3.40E+03	3.53147892	
F10 (DETENIDO)	1.00E+03	3		12	3	2.00E+03	3.30103	
					1	3.40E+03	3.53147892	
					2	2.05E+04	4.31175386	
					3	4.30E+03	3.63346846	

Cuadro No. 128: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 1.

No.	Tanque				Robosadero				Lateral izquierdo frente				Lateral derecho frente			
	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM
1	90	9.25	18.67	0.53	67	9.25	18.67	0.53	69.4	11.28	19.3	0.62	71.68	11.25	21	0.51
2	86.95	14.5	18.67	1.2	66	14.45	19	1.1	55.6	11.54	21	0.51	71.69	10.73	20.3	0.52
3	87.68	8.65	19.67	0.45	73.7	8.65	13.13	1.12	51	10.37	18	0.77	72.28	9.52	19.93	0.48
4	89.14	10	14.33	1.15	65.1	10.08	21.75	0.43	55	11.05	19.34	0.56	71.52	10.08	20	0.5
5	85.6	11.71	23.17	0.44	65.1	11.93	21.4	0.53	53.3	11.4	19.81	0.57	71.31	10.18	21	0.46
6	87.21	12.95	22.73	0.51	55	9.59	17.3	0.65	62	9.54	21.56	0.49	71.41	9.88	18.67	0.57
7	86.7	13.34	21.25	0.63	53.3	10.31	16.78	0.77	52.1	12.86	19.87	0.48	72.03	9.4	22	0.4
8	90	13.34	22.45	0.55	66	10.84	23.64	0.39	45.6	12.69	15.72	1.75	45.6	12.03	14.93	1.72
9	87.94	11.03	22.9	0.42	52.1	10.02	18.34	0.6	69.4	12.42	21.2	0.59	56.7	10.53	15.92	0.93
10	74.1	13.81	20.88	0.71	66	12.47	22	0.52	55.6	10.02	20.53	0.62	68.6	12.64	18.4	0.87
11	87.07	13.47	22.05	0.58	56	12.82	21	0.61	58	10.81	18.77	0.57	45.6	14.11	15.46	3.7
12	87.57	10.96	22.2	0.44	66.5	10.14	22	0.42	51	12.82	16.37	0.9	56.7	14.13	18.64	1.11
13	89.43	11.39	21.83	0.48	66.9	12.97	21	0.62	55	10.96	19.11	0.79	68.6	10.37	19.23	0.56
14	92.17	11.77	22.16	0.48	45.6	12.59	15.43	1.76	53.3	9.47	15.92	1.01	64.9	10.85	19.45	0.58
15	89.65	12.93	20.35	0.67	56.7	10.47	17.2	0.74	56	12.47	20.49	0.45	70	9.28	22.5	0.38
16	86.7	12.37	21.97	0.52	68.6	12.08	23	0.46	52.1	10.12	16.67	1.19	63.3	11.26	18.92	0.65
17	92.13	13.9	23.1	0.54	64.9	9.34	22	0.39	63.3	13	23.03	0.39	52.1	12.72	18.51	0.86
18	74.1	12.93	20.25	0.68	70	11.16	21	0.51	66.5	10.09	22.91	0.5	65.5	11.9	18.7	0.74
19	71.8	12.98	20.5	0.66	73.7	9.29	19.5	0.49	66.9	10.21	22.54	0.4	71	13.71	22	0.6
20	91.46	13.45	23.78	0.48	74.4	9.25	22.5	0.38	79	11.1	23.33	0.38	71	12.41	21.3	0.56

Cuadro No. 129: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 2.

mX	Tanque				Robosadero				Lateral izquierdo frente				Lateral derecho frente			
	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	Tf +/- 0.05*	CM	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	
1	89	9.25	11.33	2.4	70	9.25	11.33	2.4	45.6	9.77	12.06	2.18	62	11.16	15.4	1.18
2	88.54	14.5	18.67	1.2	72	14.55	19.33	1.05	56.7	9.95	21	0.45	52.1	13.77	22.11	0.6
3	92.11	8.82	23.23	0.35	62.5	8.77	13.13	1.15	68.6	10.07	18	0.62	68.6	11.22	22.49	0.44
4	88.05	10.2	14.75	1.1	67.5	10.22	14.33	1.22	45.6	10.18	19.34	0.54	64.9	12.21	20.05	0.64
5	85.08	9.38	23.15	0.36	67.5	9.54	21.2	0.43	56.7	9.88	19.81	0.52	71.31	10.47	20.44	0.5
6	90.49	10.03	22.15	0.41	68.6	12.86	20.53	0.65	68.6	9.4	21.56	0.43	68	10.43	22.69	0.41
7	92.25	13.51	22.78	0.54	64.9	9.34	18.77	0.53	72.28	12.03	19.87	0.48	56.7	13.5	23.09	0.52
8	82.46	11.11	22.8	0.43	70	11.16	16.37	0.96	71.52	10.53	19	0.72	68.6	12.77	21.35	0.58
9	90.97	10.17	21.21	0.45	52	9.29	19.11	0.51	71.31	11	21.2	0.47	56	11.31	22.19	0.46
10	92.13	10.4	21.69	0.44	74.4	9.25	15.92	0.75	71.41	11.56	20.53	0.52	64.9	10.41	23.16	0.39
11	79.29	10.9	23.06	0.41	56	12.82	20.49	0.65	72.03	13.55	18.77	0.69	70	13	22.59	0.52
12	87.51	11.15	20.22	0.55	66.5	10.14	22	0.42	45.6	10.57	16.37	1.77	52.1	11.65	21.02	0.53
13	79.78	11.82	23.18	0.44	53.3	12.9	21	0.62	56.7	9.95	19.11	0.59	63.3	11.22	21.96	0.47
14	84.7	13.57	20.52	0.72	62	9.93	19.93	0.5	68.6	13.49	15.92	0.84	55	12.14	20.17	0.62
15	81.94	10.67	22.42	0.43	52.1	12.2	20	0.64	56	12.47	20.49	0.71	53.3	10.33	22.92	0.4
16	78.93	11.99	21.12	0.55	68.6	11.56	19.93	0.6	52.1	10.43	16.67	1.19	64.9	10.17	22.05	0.42
17	89.33	9.94	21.76	0.42	64.9	13.55	20	0.78	63.3	13.68	23.03	0.4	55	11.99	21.51	0.53
18	80.4	12.51	20.16	0.65	56	11.93	18	0.82	55	10.09	22.91	0.54	55	13.98	20.68	0.75
19	79.69	13.41	23.08	0.52	66.5	11.44	18.67	0.69	55	12.03	22.54	0.4	53.3	9.95	22.54	0.4
20	81.09	10.23	22.19	0.42	66.9	13.3	22.5	0.54	53.3	10.53	23.33	0.44	56	12.82	22.58	0.51

Cuadro No. 130: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 3.

PUNTO	Tanque			Robosadero					Lateral izquierdo frente					Lateral izquierdo ATRÁS					Lateral derecho ATRÁS				
	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM
1	87	9.25	19	0.51	52	9.25	18	0.57	50.2	12.1	15	1.72	63.3	9.96	21.27	0.44	48.98	11.13	14	1.74			
2	80	14.5	21	0.77	52	9.33	22.67	0.37	58.2	11.59	15.93	1.15	61.01	11.17	22.64	0.44	51.12	11.06	17	0.84			
3	83.3	8.92	20.39	0.44	52	14.63	19	1.14	68.6	10.07	18	0.63	59	12.87	19.6	0.74	51.92	9.96	19.3	0.54			
4	80.5	10.37	19	0.58	55.3	10.63	14.43	1.32	45.6	10.18	14	1.31	61.06	12.42	20.24	0.64	49.71	9.95	14	1.23			
5	84.9	10.67	22	0.44	63.3	11.72	16.89	0.97	56.7	9.88	16.81	0.72	61.45	10.93	22.11	0.45	50.71	12.84	20.3	0.67			
6	79.8	13.34	23	0.52	63.5	12.4	18.43	0.83	55	9.4	18.56	0.55	61.41	12.4	20.09	0.65	50.92	11.89	19.8	0.63			
7	80.4	13.63	22	0.6	67.7	11.68	25.16	0.37	55	12.03	16.87	1.03	59.95	11.96	18.92	0.72	54.15	10.53	22.13	0.43			
8	79.69	12.31	21.9	0.52	53.3	12.74	15.37	1.9	53.3	10.53	16	0.91	64.65	9.73	22.46	0.39	51.27	11.34	17.4	0.83			
9	81.09	12.21	21.65	0.53	52	10.33	13	1.87	62	11	18.2	0.69	61.33	9.97	21.95	0.42	49.37	10.63	12.67	2.45			
10	81.94	13.99	22.03	0.62	63.3	9.25	14.92	0.88	54	11.56	16.65	0.98	63.77	11.99	21.09	0.55	52.58	9.92	17.4	0.67			
11	78.93	11.65	20.3	0.58	55	12.82	19.49	0.75	52	10.57	14.92	1.15	63.74	11.11	22.68	0.43	49.99	10.46	14	1.41			
12	87.51	13.85	21.7	0.64	53.3	10.53	13.5	1.68	45.6	13.55	15.77	2.25	63.85	11.86	20.83	0.56	54.52	12.17	20.47	0.6			
13	79.78	11.72	21.76	0.5	64.9	11	20	0.56	56.7	9.95	18.08	0.62	61.13	9.74	20.94	0.45	51.44	9.49	20	0.48			
14	84.7	11.29	23.2	0.42	62	11.56	18.93	0.68	68.6	13.49	18	1.11	60.36	9.62	21	0.44	52.21	9.92	20.55	0.47			
15	79.71	11.6	22.06	0.48	52.1	13.55	18	1.12	56	12.47	17.49	1	59.83	11.1	20.45	0.53	54.57	12.81	21.3	0.59			
16	82.72	12.74	23	0.49	62	10.57	18.93	0.6	52.1	10.43	16.3	0.85	61.07	12.23	21.54	0.54	53.79	10.47	20.09	0.52			
17	83.17	10.33	23.09	0.39	52.1	10.17	17.47	0.68	63.3	13.68	20.03	0.79	63.29	9.2	21.44	0.41	49.7	12.19	23	0.46			
18	89.99	13.37	22.15	0.57	68.6	11.99	17	1	55	10.09	19.91	0.51	63.83	10.96	22.18	0.45	53.08	12.38	22	0.52			
19	86.13	12.94	22.67	0.51	66.5	13.98	17.67	1.36	55	12.03	19.54	0.67	61.86	12.96	21.16	0.61	52.8	9.64	21.34	0.43			
20	86.78	12.13	22.19	0.5	66.9	14	21.5	0.67	53.3	10.53	20.33	0.51	61.42	10.92	21.73	0.46	54.47	9.14	21.63	0.4			

Cuadro No. 131: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 4.

mx	Tanque				Robosadero				Lateral izquierdo frente				Lateral derecho frente			
	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM
1	86	9.33	18	0.58	50	9.33	11.67	2.14	69.6	14.7	23	0.6	47.94	15.08	18.55	1.44
2	87	14.72	20.33	0.89	57	14.67	20.67	0.83	54.95	12.38	22	0.68	48.19	15.75	19.97	1.18
3	58.6	9.1	16.5	0.68	62.4	8.77	13.13	1.15	52.01	11.29	18.69	0.79	52.94	15.36	20.04	1.07
4	82.5	10.53	24.33	0.36	56.3	10.22	14.33	1.22	52.05	11.94	19.2	0.63	53.19	10.37	19.07	0.57
5	75.3	11.8	20.49	0.58	52.1	9.54	21.56	0.42	74.6	13.9	21.1	0.55	57.94	9.11	22.52	0.37
6	75.2	11.87	21.9	0.5	62.64	10.67	19.87	0.54	59.95	8.48	20.87	0.72	58.19	15.74	20.69	1.01
7	54	11.24	16.2	1.01	62.68	10.68	19	0.6	57.01	9.65	21.58	0.38	61.35	14.29	19.79	0.91
8	80.78	12.73	22.07	0.54	60.55	11.91	21.2	0.54	57.05	8.7	14.83	0.97	61.01	12.69	22.53	0.51
9	76.34	10.85	21.45	0.47	60.6	9.12	21.56	0.4	53.44	10.65	18.78	0.5	61.62	14.67	21.54	0.73
10	78.12	10.31	23.1	0.39	60.88	9.4	19.87	0.48	57.35	10.64	17	0.79	61.97	12.84	20.25	0.67
11	84.34	12.41	22.47	0.5	62	9.83	19	0.55	56.58	8.22	20.16	0.53	60.09	8.92	18.29	0.53
12	85.31	12.27	22.89	0.47	63.33	12.23	21.2	0.56	52.73	10.59	22.02	0.36	59.99	13.41	18.21	1.04
13	78.27	11.38	20.95	0.52	55.38	9.55	16	0.78	57.45	13.02	18.86	0.6	57.78	10.24	21.69	0.44
14	84.35	12.04	21.95	0.5	64.32	12.47	22	0.52	53.75	8.18	18.2	0.97	57.27	14.84	20.86	0.83
15	77.92	12.94	22.37	0.53	56.27	9.64	17	0.68	57.51	9.48	19.63	0.44	61.38	9.18	21.88	0.39
16	76.23	12.94	20	0.71	59.55	11.45	19.93	0.59	52.59	8.5	20.26	0.46	63.35	10.48	19.05	0.58
17	89.94	11.66	23.12	0.44	58.69	11.52	15	1.44	56.79	10.96	21.36	0.39	62.3	15.96	20.17	1.19
18	86.19	12.05	21.17	0.55	55.14	10.06	13.13	1.63	55.35	13.41	22.61	0.43	64.95	10.1	18.72	0.58
19	77.88	9.65	22.48	0.39	59.74	10.85	17.33	0.77	57.24	8.07	20.58	0.7	63.99	14.97	20.56	0.89
20	77.62	11.26	22.43	0.45	58.77	10.32	22.5	0.41	54.48	12.72	18.18	0.49	62.73	12.43	21.03	0.58

Cuadro No. 132: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 5.

No. de muestra	Tanque				Robosadero				Lateral derecho adelante				Lateral izquierdo ATRÁS				Lateral derecho ATRÁS				Reboso trasero			
	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM
1	86	9.33	18	0.5	58	9.33	20	0.4	57.8	9.33	21.2	0.4	69	10.8	19.4	0.5	81.8	13.6	20.3	0.7	40.3	9.52	23.0	0.3
2	87	14.8	22.6	0.6	65	14.9	21.3	0.7	55.7	14.9	21.3	0.7	65.0	9.35	20.1	0.4	82.8	9.77	20.4	0.4	48.4	15.9	22.1	0.8
3	58.6	9.33	14.7	0.9	68.1	9.25	22	0.3	55.5	9.25	22	0.3	65.9	11.1	19.1	0.6	82.2	11.9	21.4	0.5	46.1	10.8	20.8	0.5
4	79.8	10.7	20	0.5	67.8	10.8	17.3	0.7	63.1	10.8	21.9	0.4	65.6	11.1	19.7	0.5	81.1	10.0	22.3	0.4	48.7	13.2	22.1	0.5
5	65.9	11.5	16.5	1.0	70	12.1	23.0	0.4	55.1	12.1	20	0.6	65.5	10.1	20.1	0.5	81.0	10.4	20.0	0.5	39.5	9.23	20.5	0.4
6	70.8	13.1	24	0.4	65.6	11.1	20.4	0.5	59.9	11.1	22.4	0.4	65.7	12.3	18.0	0.8	79.3	10.2	22.3	0.4	51.9	8.61	22.4	0.3
7	90.9	9.49	23	0.3	65	12.8	22.3	0.5	55.3	12.8	22.3	0.5	65.4	12.0	16.9	1.0	79.6	12.5	22.2	0.5	45.4	15.9	20.2	1.1
8	61	12.3	17.8	0.9	64.5	9.74	21	0.4	61.8	9.74	20.7	0.4	68	9.68	20.4	0.4	81.5	9.87	22.3	0.4	47.1	9.93	20.6	0.4
9	78.0	10.1	21.3	0.4	66.7	12.5	21.5	0.5	58.8	12.5	19	0.7	68.2	11.1	19.9	0.5	81.3	10.5	22.1	0.4	41.1	10.7	21.4	0.4
10	70.6	9.23	1	1	64.0	11.7	21.6	1	58.2	11.7	21.1	0.5	68.0	11.5	19.2	0.6	81.2	9.39	20.7	0.4	48.3	13.0	22.1	0.5
11	81.7	10.9	20.0	0.5	58.7	10.8	18	0.7	59.9	10.8	18	0.7	69.8	10.2	20.6	0.4	79.8	12.1	21.1	0.5	38.7	11.8	21.4	0.5
12	90.2	10.3	23	0.3	67.4	9.63	22.5	0.3	62.9	9.63	21.7	0.4	68.4	9.89	17.6	0.6	82.6	9.15	20.0	0.4	53.3	12.6	21.8	0.5
13	61.5	10.1	20.2	0.5	66.4	9.45	21.1	0.4	55.0	9.45	20.3	0.4	67.3	12.7	18.2	0.9	81.7	9.39	21.8	0.4	48.7	11.3	21.8	0.4
14	80.9	11.5	20.9	0.5	58.8	12.3	19.6	0.6	62.8	12.3	19.7	0.6	68.8	12.2	20.1	0.6	80.9	10.1	20.3	0.4	40.1	15.4	22.6	0.6
15	81.3	11.0	21.6	0.4	65.1	12.7	20.4	0.6	63.4	12.7	20.1	0.6	68.7	12.5	18.0	0.9	82.6	12.8	21.1	0.5	47.0	16	20.1	1.2
16	82.5	9.19	20.4	0.4	59.3	9.6	20	0.4	60.7	9.6	18.0	0.5	65.6	10.8	22.1	0.4	79.0	12.0	22.4	0.4	54.3	12.4	21.2	0.5
17	74.1	12.6	21.8	0.5	63.4	11.8	21.5	0.5	56.9	11.8	16.9	0.9	67.5	11.6	20.0	0.6	79.6	11.1	20.8	0.5	47.1	15.2	20.4	0.9
18	88.7	12.2	23	0.4	66.6	12.4	22.8	0.4	58.7	12.4	20.4	0.6	69.8	9.52	21.9	0.4	81.9	9.31	20.3	0.4	48.8	10.5	21.1	0.4
19	78.6	9.56	20.0	0.4	61.5	11.7	20.4	0.5	63.6	11.7	19.9	0.6	65.0	9.55	20.4	0.4	81.3	9.28	20.3	0.4	44.1	9.49	20.6	0.4
20	59.9	10.2	19	0.5	58.5	12.9	19	0.8	61.3	12.9	16	1.6	69.8	9.54	22.2	0.3	81.5	12.4	20.6	0.6	54.8	10.1	22.5	0.4

Cuadro No. 133: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 6.

cm	Tanque			Robosadero			Lateral izquierdo frente			Lateral izquierdo ATRÁS			Lateral derecho ATRÁS			Reboso trasero								
	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM					
1	38.0	9.4	12.7	1.5	65.0	9.4	18.0	0.6	59.6	12.0	16.0	1.3	65.3	11.8	17.3	0.9	63.3	10.7	16.1	0.9	50.8	9.3	15.2	0.9
2	73.4	14.8	20.7	0.9	57.0	14.8	20.0	1.0	53.1	9.7	18.0	0.6	53.5	12.7	18.6	0.8	61.1	9.0	17.2	0.6	49.5	9.3	15.7	0.8
3	43.9	9.3	13.1	1.3	68.1	9.3	13.1	1.3	65.2	10.2	20.0	0.5	52.9	11.1	15.6	1.1	62.6	9.8	15.1	1.0	50.1	9.1	17.8	0.6
4	70.9	10.8	16.4	0.9	67.8	10.8	16.4	0.9	59.7	11.2	16.9	0.9	52.0	9.7	16.2	0.8	61.0	9.4	17.2	0.7	49.6	9.2	16.2	0.7
5	65.9	11.6	16.5	1.0	63.3	10.3	16.9	0.8	56.5	9.7	18.6	0.6	49.0	11.2	18.1	0.7	63.7	9.7	15.0	1.0	50.6	9.4	15.5	0.8
6	70.8	12.2	24.0	0.4	65.6	10.9	18.4	0.7	61.4	10.3	20.2	0.5	54.4	12.0	16.1	1.2	62.9	10.5	16.9	0.8	49.8	9.2	17.0	0.6
7	70.5	11.0	23.0	0.4	60.0	11.6	23.0	0.4	58.5	9.5	17.0	0.7	50.5	9.3	14.9	0.9	63.4	10.2	15.4	1.0	49.6	9.8	15.3	0.9
8	69.3	10.5	22.9	0.4	64.5	11.9	18.0	0.8	65.9	11.1	18.8	0.6	51.8	9.6	18.5	0.6	64.0	10.1	17.3	0.7	50.4	9.1	16.3	0.7
9	71.4	11.1	22.7	0.4	66.7	12.4	17.0	1.1	60.0	9.2	20.8	0.4	50.7	10.5	18.0	0.7	64.9	9.7	18.2	0.6	50.0	9.6	16.2	0.8
10	70.9	12.3	23.0	0.5	64.1	10.2	16.0	0.9	65.1	12.7	20.0	0.7	53.0	12.6	17.1	1.1	62.4	10.1	16.5	0.8	50.9	9.5	14.3	1.0
11	69.1	12.4	21.3	0.6	58.8	9.2	14.0	1.1	64.8	12.3	19.5	0.7	51.3	11.0	18.7	0.7	63.4	9.3	16.0	0.8	49.3	9.1	15.0	0.8
12	69.4	9.8	22.7	0.4	67.4	11.0	22.0	0.5	59.5	9.6	18.6	0.6	53.2	9.0	16.8	0.6	63.9	10.7	16.5	0.9	49.6	11.5	17.6	0.8
13	69.3	11.7	22.8	0.5	66.4	10.3	20.0	0.5	59.8	10.3	19.5	0.5	53.1	13.0	16.9	1.3	64.9	9.8	17.4	0.7	49.6	10.5	18.5	0.6
14	69.6	10.8	24.2	0.4	58.8	10.1	15.3	1.0	58.6	11.2	20.0	0.6	50.2	9.9	17.0	0.7	63.1	9.7	16.9	0.7	50.0	10.6	13.4	1.8
15	72.1	10.7	23.1	0.4	65.2	11.5	18.0	0.8	63.9	10.4	20.4	0.5	53.7	11.9	16.5	1.1	63.4	10.9	17.1	0.8	49.7	12.1	18.4	0.8
16	69.3	12.1	24.0	0.4	59.3	10.8	17.5	0.7	62.3	9.8	20.2	0.5	52.5	11.3	17.5	0.8	64.8	10.9	15.2	1.2	50.7	9.3	16.6	0.7
17	71.6	12.8	24.1	0.4	63.4	9.9	17.5	0.7	65.0	12.5	19.0	0.8	49.4	9.7	17.4	0.7	64.3	10.6	17.9	0.7	49.4	12.5	16.8	1.2
18	72.1	10.7	23.2	0.4	66.7	12.6	17.0	1.1	64.1	10.7	19.0	0.6	51.3	9.6	18.2	0.6	60.7	9.9	16.3	0.8	49.1	12.9	16.0	1.6
19	72.8	11.4	23.7	0.4	61.6	12.2	17.7	0.9	60.2	9.7	18.7	0.6	53.9	12.0	17.2	1.0	62.9	10.2	17.2	0.7	50.2	9.5	15.6	0.8
20	71.9	12.4	23.2	0.5	58.6	9.2	17.9	0.6	64.3	10.1	18.4	0.6	50.6	10.1	17.7	0.7	65.0	9.3	15.1	0.9	49.9	11.9	17.5	0.9

Cuadro No. 134: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 7.

	Tanque				Robosadero				Lateral izquierdo frente				Lateral izquierdo ATRÁS				Lateral derecho ATRÁS				
	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	°C +/- 0.05°	Ti +/- 0.05°	Tf +/- 0.05°	CM	
mx.																					
1	89	9.58	18.92	0.54	73	9.58	18	0.59	55.4	12.36	21.85	0.53	64.1	12.56	20.62	0.62	52.19	15.05	20.68	0.89	
2	87	15	20.33	0.94	79	15	20.33	0.94	53.23	14.48	22.92	0.59	69.38	14.68	21.85	0.7	53.35	16.54	20.72	1.2	
3	84.5	9.58	22	0.4	72.3				52	11.61	21.23	0.52	68.12	11.81	21.4	0.52	54.55	12.94	20.51	0.66	
4	70.02	10.97	19.6	0.58	72.4	11	19.5	0.59	52.09	12.99	20.94	0.63	62.29	13.19	20.18	0.72	51.09	14.41	21.28	0.73	
5	74.5	15.21	21.69	0.77	58.6	14.77	21.08	0.79	47.86	11.48	16	1.11	61.02	11.68	21.62	0.5	48.25	13.1	20.85	0.65	
6	65.1	11.99	20.55	0.58	66.1	11.32	18	0.75	53.36	11.14	21.37	0.49	60.97	11.34	22.31	0.46	53.24	13.26	23.03	0.51	
7	74.5	12.65	20.04	0.68	67.61	11.53	21.6	0.5	53.42	13.22	22.05	0.57	61.48	13.42	23.15	0.51	49.12	15.67	20.2	1.1	
8	80.01	13.45	22.38	0.56	67.79	14.43	22.86	0.59	51.06	14.14	20.76	0.76	65.31	14.34	23.02	0.58	53.54	16.52	20.2	1.36	
9	70.7	14.9	20.39	0.91	74.87	13.05	20.78	0.65	51.69	15.14	21.5	0.79	68.64	15.34	20.26	1.02	54.32	17.29	20.61	1.51	
10	72.23	15.32	20.04	1.06	69.98	14.65	21.61	0.72	48.38	11.72	15.3	1.4	65.8	11.92	20.75	0.57	53.02	14.75	22.11	0.68	
11	73.79	11.49	20.14	0.58	69.97	13.44	23.12	0.52	53.12	12.93	21.29	0.6	65.32	13.13	21.15	0.62	50.3	15.1	20.07	1.01	
12	78.52	13.74	21.23	0.67	78.83	14.66	22.79	0.62	51.03	12.45	22.95	0.48	61.82	12.65	20.55	0.63	53.34	13.99	22.22	0.61	
13	74.85	13	22.39	0.53	77.52	12.79	21.21	0.59	48.91	12.16	16.9	1.05	62.07	12.36	20.21	0.64	47.49	14.1	20.51	0.78	
14	70.11	13.32	22.87	0.52	72.59	11.73	20.51	0.57	54.43	14.03	20.65	0.76	62.49	14.23	20.04	0.86	53.82	15.95	20.3	1.15	
15	75.51	15.93	22.07	0.81	76.16	11.63	22.68	0.45	53.52	13.16	21.15	0.63	60.92	13.36	21.99	0.58	46.68	16.21	22.97	0.74	
16	92.99	13.3	23.3	0.5	66.38	14.91	20.45	0.9	48.45	13.37	19.5	0.82	65.9	13.57	20.59	0.71	53.17	16.32	22.58	0.8	
17	75.22	11.71	21.41	0.52	67.93	13.04	18	1.01	53.74	14.13	22.32	0.61	61.26	14.33	22.64	0.6	49.39	17.09	21.65	1.1	
18	77.53	15.54	20.35	1.04	72.63	12	20.14	0.61	47.11	11.75	15.7	1.27	62.42	11.95	22.37	0.48	52.29	13.8	23.2	0.53	
19	67.5	15	20.08	0.98	72.92	12.76	20.23	0.67	50.13	11.94	22.03	0.5	67.66	12.14	21.99	0.51	52.35	14.89	20.34	0.92	
20	76.71	12.48	20.53	0.62	78.35	14.4	22.69	0.6	53.3	13.26	22.76	0.53	60.13	13.46	21.4	0.63	51.81	14.88	20.24	0.93	

Cuadro No. 135: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 8.

mX	Tanque			Robosadero			Lateral izquierdo frente			Lateral izquierdo ATRÁS			Lateral derecho ATRÁS							
	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	$T_f \pm 0.05^{\circ}$	CM	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	$T_f \pm 0.05^{\circ}$	CM	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	$T_f \pm 0.05^{\circ}$	CM	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	$T_f \pm 0.05^{\circ}$	CM	$^{\circ}\text{C} \pm 0.05^{\circ}$	$T_f \pm 0.05^{\circ}$	CM					
1	76	9.83	18.92	0.55	79	9.25	19	0.51	66.3	14.33	22.85	0.59	62.5	16.33	20.59	1.17	55.4	18.33	22.98	1.08
2	83.3	15.4	20.33	1.01	69	15.4	21	0.89	65.17	9.21	21.65	0.4	64.59	11.21	20.8	0.52	58.86	13.21	20.39	0.7
3	75	9.67	22	0.41	61.5	9.65	13.13	1.44	67.58	12.46	22.89	0.48	64.18	14.46	23.6	0.55	56.68	16.46	21.55	0.98
4	68.6	11.12	19.6	0.59	68.7	11.18	19.75	0.58	64.44	9.45	20.22	0.46	60.05	11.45	18.3	0.73	54.44	13.45	22.27	0.57
5	94.79	13.64	23.15	0.53	59.8	15.64	25	0.53	63.94	14.89	22.03	0.7	60.8	16.89	22.93	0.83	57.47	18.89	21.8	1.72
6	68.16	14.99	22.55	0.66	63.82	16.99	24.34	0.68	66.81	11.66	21.49	0.51	64.97	13.66	23.5	0.51	58.62	15.66	22.83	0.7
7	93.63	15.8	22.92	0.7	68.26	17.8	24.01	0.81	66.98	12.77	20.2	0.67	64.63	14.77	22.76	0.63	54.07	16.77	20.58	1.31
8	87.43	12.71	22.35	0.52	67.2	14.71	23.68	0.56	67.78	11.05	21.57	0.48	61.67	13.05	21.65	0.58	56.37	15.05	20.51	0.92
9	84.79	13.08	22.89	0.51	60.47	15.08	24.11	0.55	67.44	14.6	23.5	0.56	60.12	9	20.05	0.45	53.47	11	21.82	0.46
10	69.82	15.63	23.16	0.66	68.1	17.63	24.28	0.75	63.11	12.55	20.12	0.66	61.94	9.62	21.9	0.41	58.42	11.62	21.98	0.48
11	84.77	14.38	22.75	0.6	61.22	16.38	23.83	0.67	66.18	9.43	22.88	0.37	63.9	10.71	21.84	0.45	56.95	12.71	21.98	0.54
12	72.69	15.5	23.7	0.61	63.79	17.5	25.15	0.65	63.39	12.37	21.96	0.52	61.45	10.32	22.37	0.41	57.37	12.32	20.02	0.65
13	93.38	14.76	22.9	0.61	71.87	16.76	24.19	0.67	65.97	12.98	20.59	0.66	61.09	10.33	18.34	0.62	54.51	12.33	21.14	0.57
14	85.61	13.54	23.41	0.51	59.31	15.54	24.45	0.56	64.02	12.53	20.8	0.6	60.95	11.98	18.62	0.75	58.8	13.98	21.46	0.67
15	77.91	11.91	22.73	0.46	61.41	13.91	23.86	0.5	64.72	15.17	23.6	0.59	60.72	10.07	21.47	0.44	56.77	12.07	20.11	0.62
16	84.26	13	22.31	0.54	73.45	15	23.8	0.57	63.7	10.31	18.3	0.63	62.18	11.67	20.31	0.58	57.69	13.67	22.82	0.55
17	94	11.37	23.46	0.41	62.31	13.37	24.54	0.45	63.05	10.47	22.93	0.4	60.88	11.91	20.8	0.56	53.64	13.91	22.71	0.57
18	85.22	11.42	22.26	0.46	62.47	13.42	23.31	0.51	63.55	10.21	20.15	0.5	61.63	9.57	20.87	0.44	58.94	11.57	21.18	0.52
19	69.07	14.98	23.72	0.57	59.22	16.98	24.75	0.64	65.19	12.34	21.25	0.56	63.67	11.44	23.6	0.41	55.68	13.44	21.55	0.62
20	92.49	14.45	23.68	0.54	72.87	16.45	24.97	0.59	63.05	14.82	21.65	0.73	61.18	9.12	20.42	0.44	58.22	11.12	21.51	0.48

Cuadro No. 136: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 9.

mX	Tanque			Robosadero			Lateral izquierdo frente			Lateral izquierdo ATRÁS			Lateral derecho ATRÁS					
	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM			
1	88	9.83	18.82	69	9.83	15	70.91	9.64	22.09	0.4	68.82	11.83	23.09	0.44	53.91	12.83	20.24	0.67
2	58.6	15.34	20.67	66	15.34	20.67	71.32	10.68	21.09	0.48	69.42	17.34	21.14	1.32	48.05	18.34	21.89	1.41
3	70.5	9.8	22.5	57.8	9.83	15	79.69	10.9	21.84	0.46	68.32	11.83	22.5	0.47	46.76	12.83	19	0.81
4	74.7	11.27	24.65	66.4	11.3	20.83	68.79	12.12	21.39	0.54	64.29	13.3	23.2	0.51	53.17	14.3	22.71	0.59
5	56.3	12.97	22.87	60.4	14.12	22.73	78.09	10.9	23.03	0.41	60.52	16.12	22.54	0.78	48.46	17.12	23.2	0.82
6	74.8	12.04	22.75	56.1	12.94	22.41	74.36	11.24	21.16	0.5	65.08	14.59	20.03	0.94	54.57	15.69	22.57	0.73
7	76.7	13.72	23.8	57.01	14.43	21.89	73.96	12.63	20.91	0.6	62.76	15.84	21.91	0.82	51.35	16.84	23.12	0.8
8	57.65	12.88	22.25	56.45	13.21	22.01	71.05	9.98	21.6	0.43	62.53	13.63	20.59	0.72	53.41	14.63	19.45	1.04
9	65.66	12.95	21.24	68.68	14.46	23.06	67.16	11.08	22.74	0.43	60.92	14.99	22.7	0.65	47.87	15.99	20.29	1.16
10	68.46	12.71	21.73	65.26	14.14	22.3	79.18	10.42	21.44	0.45	60.39	15.72	22.6	0.73	50.84	16.72	21.47	1.05
11	92.61	13.01	23.4	63.2	13.4	23.18	67.23	10.92	22.95	0.42	67.69	15.39	23.45	0.62	46.64	16.39	21.1	1.06
12	72.61	13.59	22.5	58.52	14.37	20.02	66.04	10.7	22.15	0.44	62.03	15.96	21.3	0.94	51.42	16.96	19.2	2.23
13	59.02	13.12	19	59.53	14.55	21.83	73.66	11.32	21.04	0.51	61.57	16.32	21.31	1	47.58	17.32	22.45	0.97
14	61.94	14.05	20.4	65.24	14.79	21.37	74.16	9.56	22.81	0.38	63.17	16.3	21.24	1.01	52.95	17.3	22.54	0.95
15	74.24	14.15	23.19	65.8	14.9	22.76	70.95	10.53	21.22	0.47	60.82	15.45	20.46	1	52.36	16.45	19.98	1.42
16	75.7	14.16	21.13	68.84	15.06	20.89	72.47	11.57	22.45	0.46	64.19	16.86	23.9	0.71	50.02	17.86	20.59	1.83
17	62.68	13.41	20.5	59	14.16	22.87	77.69	10.49	22.66	0.41	64.69	14.5	21.95	0.67	54.87	15.5	19.47	1.26
18	91.46	12.33	21.47	60.35	13.43	21.33	68.46	11.44	20	0.58	60.06	15.39	22.03	0.75	49.49	16.39	20.88	1.11
19	83.59	12.64	21.13	56.62	13.2	21.04	70.94	12.02	23.02	0.45	61.2	14.8	21.37	0.76	53.59	15.8	22.05	0.8
20	75.94	13.18	22.4	59.02	14.68	20.04	70.61	9.6	21.66	0.41	67.17	16.05	20.32	1.17	48.32	17.05	20.25	1.56

Cuadro No. 137: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 10.

Mx	Tanque			Robosadero			Lateral izquierdo frente			Lateral izquierdo ATRÁS			Lateral derecho ATRÁS						
	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM				
1	85.4	9.92	18	66	9.92	12	2.4	75.3	10.65	21.35	0.47	74.3	13.52	20.86	0.68	73.4	14.02	21.81	0.64
2	87.2	15.6	22.83	65.2	15.6	22.83	0.69	73.3	16.27	21.69	0.45	69.74	15.48	21.04	0.9	65.01	15.98	21.45	0.91
3	69.6	9.92	22	65.2	10	15	1	77.68	10.59	21.69	0.92	74.31	12.97	21.54	0.58	71.83	13.47	23.48	0.5
4	69.6	11.33	20	45.7				73.87	11.94	21.42	0.46	76.88	12.28	20.88	0.58	74.91	12.78	21.75	0.56
5	70.5	13.49	20.99	65.7	14.49	23.21	0.57	76.89	15.03	22.37	0.48	71.92	15.28	22.67	0.68	67.56	15.78	21.1	0.94
6	69.7	15.79	23.9	60.5	16.79	22.25	0.92	78.2	17.34	20.58	0.9	70.44	14.14	23	0.56	66.43	14.64	21.24	0.76
7	89.16	14.05	22.19	78.4	15.05	23.65	0.58	77.64	15.79	21.5	1.2	79.55	15.3	21.56	0.8	73.29	15.8	22.5	0.75
8	92.53	11.9	20.19	77.39	12.9	21.24	0.6	77.11	13.52	22.61	0.73	76.04	14.71	21.9	0.7	71.55	15.21	23.66	0.59
9	92.52	15.79	22.7	78.56	16.79	22.07	0.95	76.13	17.43	21.26	0.65	77.96	13.37	19.21	0.86	73.37	13.87	21.38	0.67
10	88.58	11.4	21.17	77.98	12.4	22.4	0.5	74.31	13.22	20.93	1.43	70.57	14.75	21.71	0.72	69.28	15.25	22.63	0.68
11	89.23	13.13	22.17	68.22	14.13	22.81	0.58	76.9	14.76	21.43	0.61	76.78	13.39	21.58	0.61	68.63	13.89	21.96	0.62
12	88.02	13.6	21.71	67.08	14.6	23.14	0.59	77.84	15.46	20.83	0.82	78	12.49	20.16	0.65	70.9	13.49	23.28	0.51
13	88.36	13.07	22.34	74.07	14.07	23.89	0.51	78.42	14.72	20.07	1.08	77.59	13.23	20.74	0.67	72.78	14.23	21.2	0.72
14	90.38	11.52	22.38	71.54	12.52	23.25	0.47	75.56	13.34	20.01	0.95	74.11	12.88	19.28	0.78	67.84	13.88	21.87	0.63
15	89.4	14.09	20.71	78.04	15.09	21.05	0.84	73.46	15.81	20.8	0.67	79.83	13.82	22.52	0.57	67.18	14.82	20.94	0.82
16	89.8	12.56	20.89	66.16	13.56	23.93	0.48	78.25	14.34	20.84	0.99	68.55	15.87	21.98	0.82	74.19	16.87	23.9	0.71
17	86.33	14	21.19	76.16	15	22.06	0.71	75.63	15.58	22.93	0.58	76.23	15.98	22	0.83	74.58	16.98	23	0.83
18	88.78	13.11	21.23	74.34	14.11	23.55	0.53	74.7	14.64	21.61	0.83	79.54	12.35	21.96	0.52	71.31	13.35	22.24	0.56
19	92.89	11.01	22	77.93	12.01	21.74	0.51	75.32	12.7	22.87	0.61	73.15	12.26	21.56	0.54	65.48	13.26	23.04	0.51
20	87.6	11.37	21.43	68.08	12.37	22.64	0.49	75.86	13.12	20.75	0.62	74.96	14.17	21.54	0.68	70.86	15.17	22	0.73

Cuadro No. 138: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 11.

mx	Tanque			Robosadero			Lateral izquierdo frente			Lateral izquierdo ATRÁS			Lateral derecho ATRÁS							
	C +/- 0.05	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	*C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	*C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	*C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM				
1	66.00	9.92	18.00	0.62	66.00	9.92	12.75	1.77	65.6	8.74	23.68	0.33	62.8	11.04	23.81	0.39	66.08	14.02	22.74	0.57
2	73.40	15.60	22.83	0.69	49.00	15.88	22.83	0.72	69.65	14.68	22.6	0.36	62.74	16.98	23.37	0.78	65.01	15.98	19.64	0.74
3	74.40	9.92	22.00	0.41	51.90	10.05	14.67	1.08	70.26	8.46	18.63	1.27	67.13	10.76	21.63	0.46	71.83	13.47	20.38	0.72
4	65.20	11.33	20.00	0.58	50.60				64.49	10.31	18.9	0.48	62.56	12.61	20.8	0.61	74.91	12.78	20.22	0.67
5	62.3	12.63	19.16	0.77	51.60	12.73	20.58	0.64	69.19	11.65	21.92	0.43	66.4	13.95	21.41	0.67	67.56	15.78	19.63	1.30
6	69	10.76	19.83	0.55	56.7	10.86	21.5	0.47	66.12	9.27	22.22	0.47	63.2	11.57	21.96	0.48	66.43	14.64	22.20	0.66
7	62.61	13.63	20.36	0.74	58.79	13.73	22.61	0.56	67.5	12.48	19.03	0.51	68.7	14.78	18.9	1.21	73.29	15.80	22.89	0.71
8	87.63	12.75	20.6	0.64	74.64	12.85	21.26	0.59	64.63	11.76	21.17	0.58	63.98	14.06	19.27	0.96	71.55	15.21	21.22	0.83
9	63.11	11.97	20.33	0.60	70.4	12.07	20.93	0.56	67.74	10.61	23.27	0.43	66.14	12.91	22.63	0.51	73.37	13.87	22.30	0.59
10	74.65	12.22	20.7	0.59	66.74	12.32	21.35	0.55	70.53	11.03	21.48	0.46	63.67	13.33	18.03	1.06	69.28	15.25	19.49	1.18
11	63.57	14.09	20.01	0.84	64.66	14.19	21.69	0.67	67.56	13.01	23.54	0.40	67.43	15.31	19.38	1.23	68.63	13.89	20.23	0.79
12	63.25	13.69	19.85	0.81	69.21	13.79	21.69	0.63	64.43	12.41	17.88	1.03	66.39	14.71	22.16	0.67	70.90	13.49	19.80	0.79
13	73.95	14.73	20.98	0.80	71.56	14.83	23.00	0.61	68.42	13.36	17.8	0.93	67.45	15.66	23.7	0.62	72.78	14.23	21.81	0.66
14	76.52	14.12	20.08	0.84	60.5	14.22	20.10	0.85	65	12.45	21.5	0.61	62.51	14.75	17.7	1.69	67.84	13.88	22.02	0.61
15	73.65	12.15	20.76	0.58	66.47	12.25	20.00	0.65	67.71	10.92	19.5	0.71	67.8	13.22	19.01	0.86	67.18	14.82	19.32	1.11
16	79.11	14.78	19.29	1.11	69.01	14.88	22.00	0.70	69.17	13.48	19.43	0.59	64.46	15.78	17.51	2.89	74.19	16.87	23.00	0.82
17	66.98	13.93	19.86	0.84	74.09	14.03	19.16	0.97	66.5	13	23.59	0.49	62.89	15.30	23.62	0.60	74.58	16.98	23.58	0.76
18	75.09	14.03	20.52	0.77	60.31	14.13	19.83	0.88	69.18	12.47	23.28	0.49	66.67	14.77	21.58	0.73	71.31	13.35	22.00	0.58
19	82.24	14.12	19.66	0.90	69.43	14.22	20.36	0.81	70.07	12.88	18.05	0.90	63.61	15.18	19.45	1.17	65.48	13.26	19.57	0.79
20	69.03	14.56	19.64	0.98	60.79	14.66	20.6	0.84	68.5	13.3	21.51	0.58	65.11	15.60	23.14	0.66	70.86	15.17	21.64	0.77

Cuadro No. 139: Resultados de mediciones de temperatura y CM para Filtro 12.

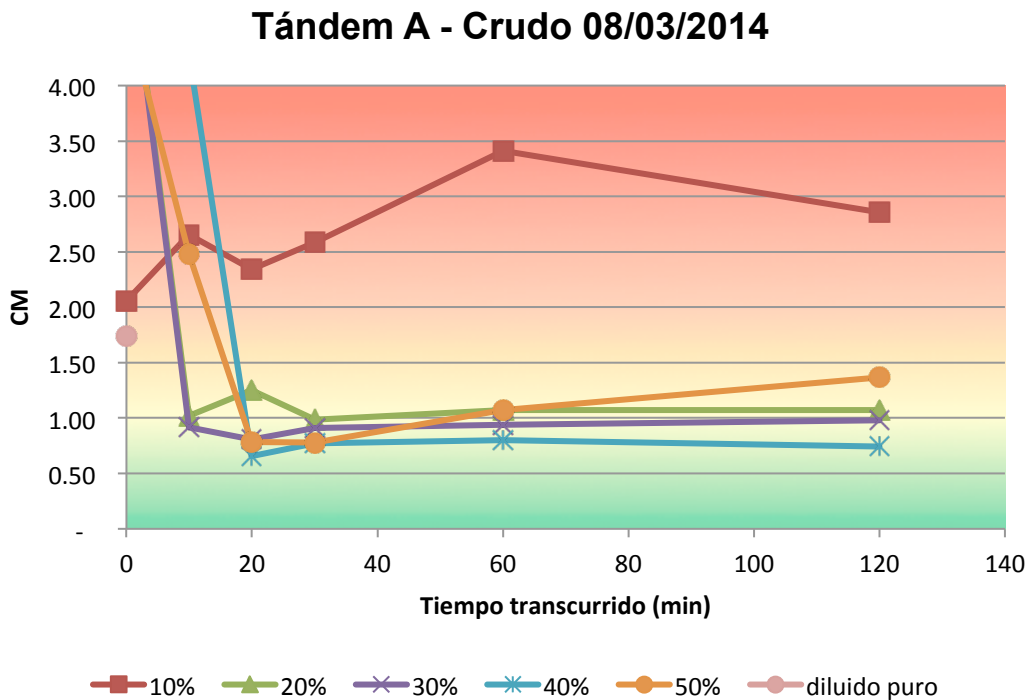
Mx	Tanque			Robosadero			Lateral izquierdo frente			Lateral izquierdo ATRÁS			Lateral derecho ATRÁS							
	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM	°C +/- 0.05*	Ti +/- 0.05*	Tf +/- 0.05*	CM				
1	85.4	9.92	18	0.62	66	9.92	12	2.4	75.3	10.65	21.35	0.47	74.3	13.52	20.86	0.68	73.4	14.02	21.81	0.64
2	87.2	15.6	22.83	0.69	65.2	15.6	22.83	0.69	73.3	16.27	21.69	0.45	69.74	15.48	21.04	0.9	65.01	15.98	21.45	0.91
3	69.6	9.92	22	0.41	65.2	10	15	1	77.68	10.59	21.69	0.92	74.31	12.97	21.54	0.58	71.83	13.47	23.48	0.5
4	69.6	11.33	20	0.58	45.7				73.87	11.94	21.42	0.46	76.88	12.28	20.88	0.58	74.91	12.78	21.75	0.56
5	70.5	13.49	20.99	0.67	65.7	14.49	23.21	0.57	76.89	15.03	22.37	0.48	71.92	15.28	22.67	0.68	67.56	15.78	21.1	0.94
6	69.7	15.79	23.9	0.62	60.5	16.79	22.25	0.92	78.2	17.34	20.58	0.9	70.44	14.14	23	0.56	66.43	14.64	21.24	0.76
7	89.16	14.05	22.19	0.61	78.4	15.05	23.65	0.58	77.64	15.79	21.5	1.2	79.55	15.3	21.56	0.8	73.29	15.8	22.5	0.75
8	92.53	11.9	20.19	0.6	77.39	12.9	21.24	0.6	77.11	13.52	22.61	0.73	76.04	14.71	21.9	0.7	71.55	15.21	23.66	0.59
9	92.52	15.79	22.7	0.72	78.56	16.79	22.07	0.95	76.13	17.43	21.26	0.65	77.96	13.37	19.21	0.86	73.37	13.87	21.38	0.67
10	88.58	11.4	21.17	0.51	77.98	12.4	22.4	0.5	74.31	13.22	20.93	1.43	70.57	14.75	21.71	0.72	69.28	15.25	22.63	0.68
11	89.23	13.13	22.17	0.55	68.22	14.13	22.81	0.58	76.9	14.76	21.43	0.61	76.78	13.39	21.58	0.61	68.63	13.89	21.96	0.62
12	88.02	13.6	21.71	0.62	67.08	14.6	23.14	0.59	77.84	15.46	20.83	0.82	78	12.49	20.16	0.65	70.9	13.49	23.28	0.51
13	88.36	13.07	22.34	0.54	74.07	14.07	23.89	0.51	78.42	14.72	20.07	1.08	77.59	13.23	20.74	0.67	72.78	14.23	21.2	0.72
14	90.38	11.52	22.38	0.46	71.54	12.52	23.25	0.47	75.56	13.34	20.01	0.95	74.11	12.88	19.28	0.78	67.84	13.88	21.87	0.63
15	89.4	14.09	20.71	0.76	78.04	15.09	21.05	0.84	73.46	15.81	20.8	0.67	79.93	13.82	22.52	0.57	67.18	14.82	20.94	0.82
16	89.8	12.56	20.89	0.6	66.16	13.56	23.93	0.48	78.25	14.34	20.84	0.99	68.55	15.87	21.98	0.82	74.19	16.87	23.9	0.71
17	86.33	14	21.19	0.7	76.16	15	22.06	0.71	75.63	15.58	22.93	0.58	76.23	15.98	22	0.83	74.58	16.98	23	0.83
18	88.78	13.11	21.23	0.62	74.34	14.11	23.55	0.53	74.7	14.64	21.61	0.83	79.54	12.35	21.96	0.52	71.31	13.35	22.24	0.56
19	92.89	11.01	22	0.45	77.93	12.01	21.74	0.51	75.32	12.7	22.87	0.61	73.15	12.26	21.56	0.54	65.48	13.26	23.04	0.51
20	87.6	11.37	21.43	0.5	68.08	12.37	22.64	0.49	75.86	13.12	20.75	0.62	74.96	14.17	21.54	0.68	70.86	15.17	22	0.73

Módulo 4

Cuadro No. 140: Resultados de resazurina para las pruebas de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo del Tándem A.

Ingenio Magdalena 8/03/2014						
Tándem A Crudo		CM				
Dilución v/v	inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
10%	2.05	2.65	2.34	2.59	3.41	2.86
20%	5.45	1.02	1.25	0.98	1.07	1.07
30%	5.45	0.91	0.81	0.91	0.94	0.98
40%	4.05	4.29	0.66	0.77	0.80	0.74
50%	4.69	2.48	0.79	0.78	1.07	1.36
Diluido puro	1.73					

Gráfica No. 71: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem A.

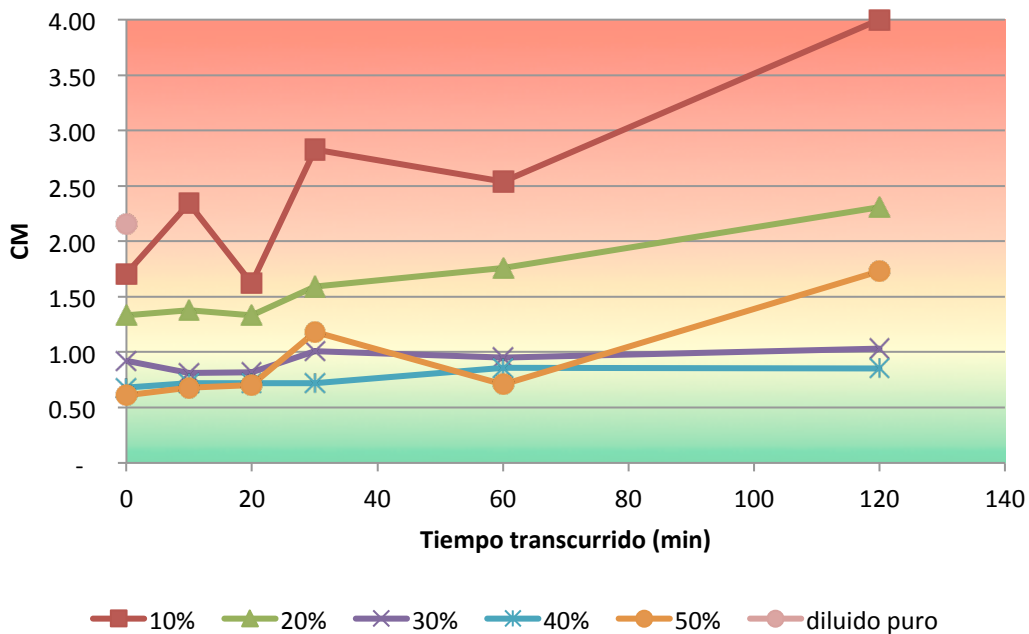


Cuadro No. 141: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem A.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo cristal						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
10%	1.70	2.34	1.62	2.83	2.54	4.00
20%	1.33	1.38	1.33	1.59	1.76	2.31
30%	0.92	0.81	0.82	1.01	0.95	1.03
40%	0.68	0.72	0.72	0.72	0.86	0.85
50%	0.61	0.68	0.70	1.18	0.71	1.73
0%	2.16					

Gráfica No. 72: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem A.

Tándem A - Cristal 08/03/2014

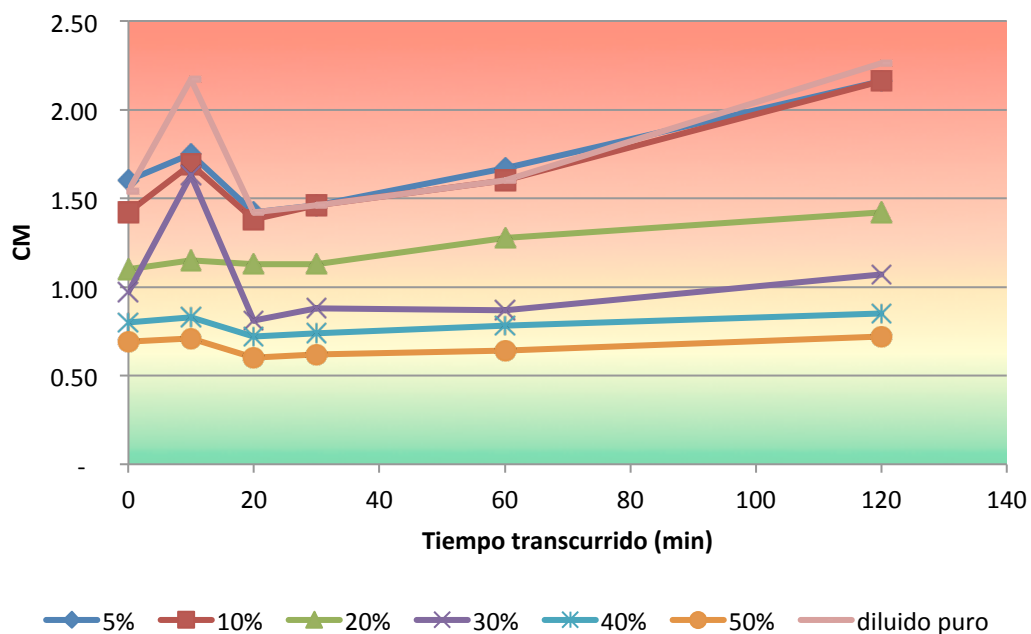


Cuadro No. 142: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem B.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	1.60	1.75	1.42	1.46	1.67	2.16
10%	1.42	1.69	1.38	1.46	1.60	2.16
20%	1.10	1.15	1.13	1.13	1.28	1.42
30%	0.97	1.63	0.81	0.88	0.87	1.07
40%	0.80	0.83	0.72	0.74	0.78	0.85
50%	0.69	0.71	0.60	0.62	0.64	0.72
0%	1.54	2.17	1.42	1.46	1.60	2.26

Gráfica No. 73: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem B.

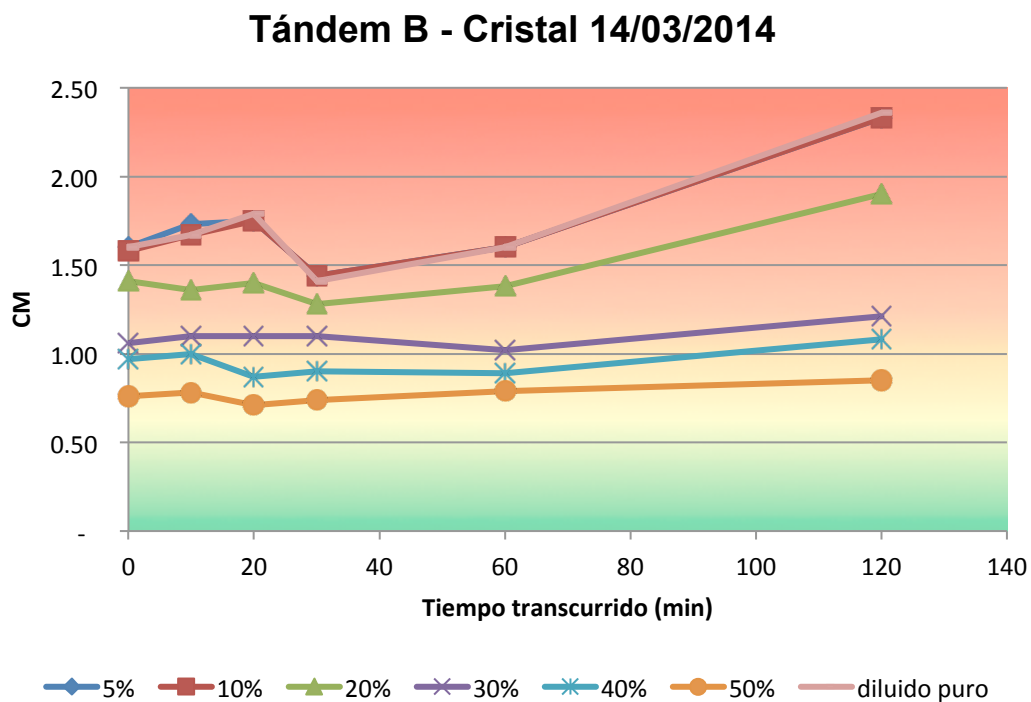
Tándem B - Crudo 14/03/2014



Cuadro No. 143: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem B.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo cristal						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	1.60	1.73	1.75	1.44	1.60	2.33
10%	1.58	1.67	1.75	1.44	1.60	2.33
20%	1.41	1.36	1.40	1.28	1.38	1.90
30%	1.06	1.10	1.10	1.10	1.02	1.21
40%	0.97	1.00	0.87	0.90	0.89	1.08
50%	0.76	0.78	0.71	0.74	0.79	0.85
0%	1.60	1.67	1.79	1.41	1.60	2.36

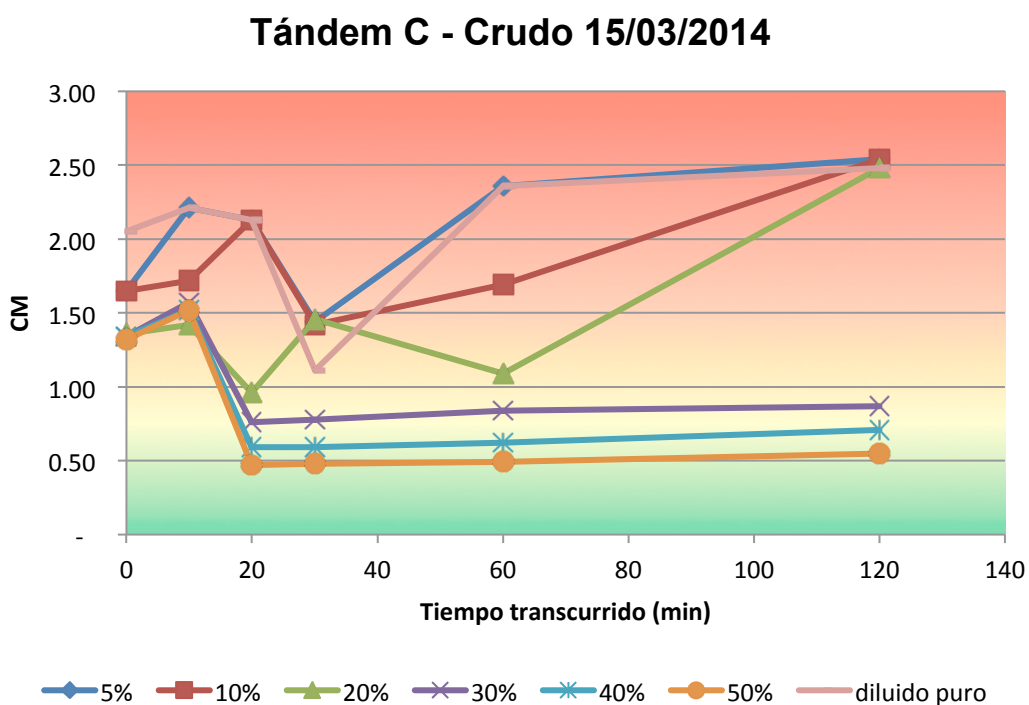
Gráfica No. 74: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem B.



Cuadro No. 144: Datos de CM para las pruebas de jugo crudo del Tándem C utilizando jugo sulfitado como bactericida.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	1.65	2.21	2.13	1.44	2.36	2.54
10%	1.65	1.72	2.13	1.42	1.69	2.54
20%	1.36	1.42	0.96	1.46	1.09	2.48
30%	1.34	1.57	0.76	0.78	0.84	0.87
40%	1.34	1.52	0.59	0.59	0.62	0.71
50%	1.32	1.52	0.47	0.48	0.49	0.55
0%	2.05	2.21	2.13	1.11	2.36	2.48

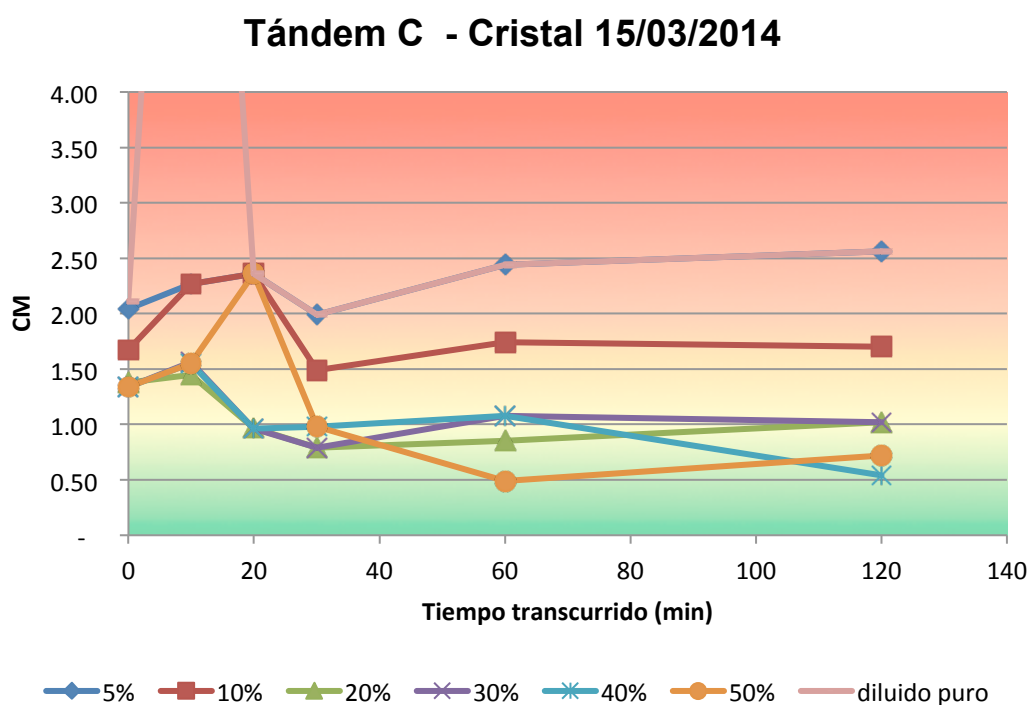
Gráfica No. 75: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem C.



Cuadro No. 145: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem C.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo cristal						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	2.04	2.27	2.36	1.99	2.44	2.56
10%	1.67	2.27	2.36	1.49	1.74	1.70
20%	1.38	1.45	0.97	0.79	0.85	1.02
30%	1.34	1.56	0.96	0.79	1.08	1.02
40%	1.34	1.55	0.96	0.98	1.08	0.54
50%	1.34	1.55	2.36	0.98	0.49	0.72
0%	2.11	11.11	2.36	1.99	2.44	2.56

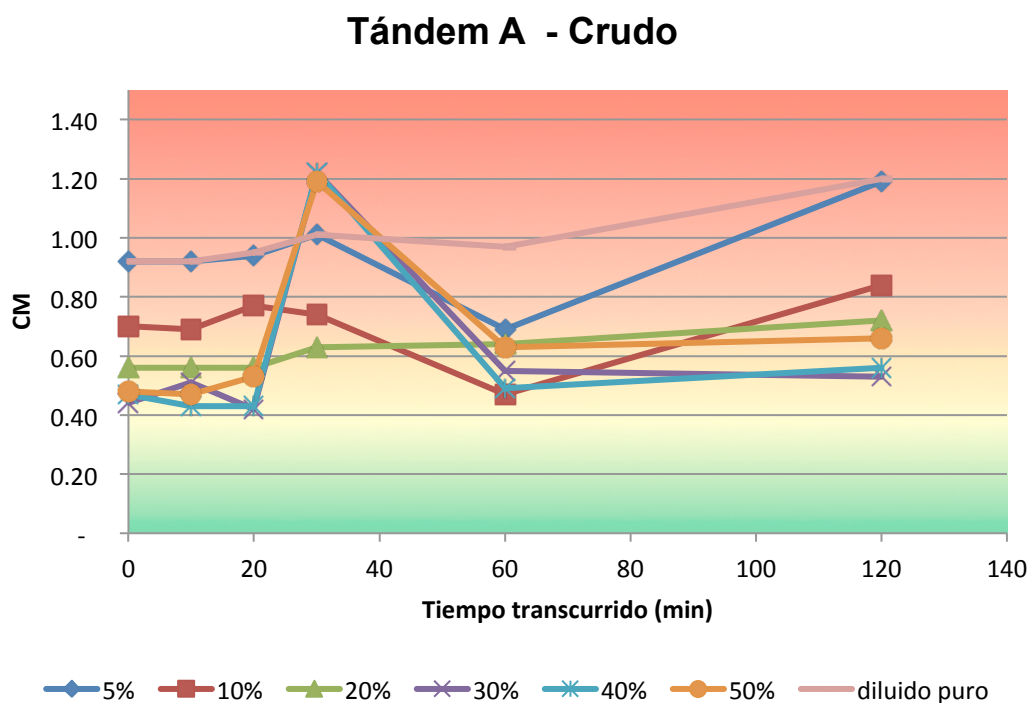
Gráfica No. 76: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem C.



Cuadro No. 146: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem A.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	0.92	0.92	0.94	1.01	0.69	1.19
10%	0.70	0.69	0.77	0.74	0.47	0.84
20%	0.56	0.56	0.56	0.63	0.64	0.72
30%	0.44	0.51	0.42	1.22	0.55	0.53
40%	0.47	0.43	0.43	1.22	0.49	0.56
50%	0.48	0.47	0.53	1.19	0.63	0.66
0%	0.92	0.92	0.95	1.01	0.97	1.20

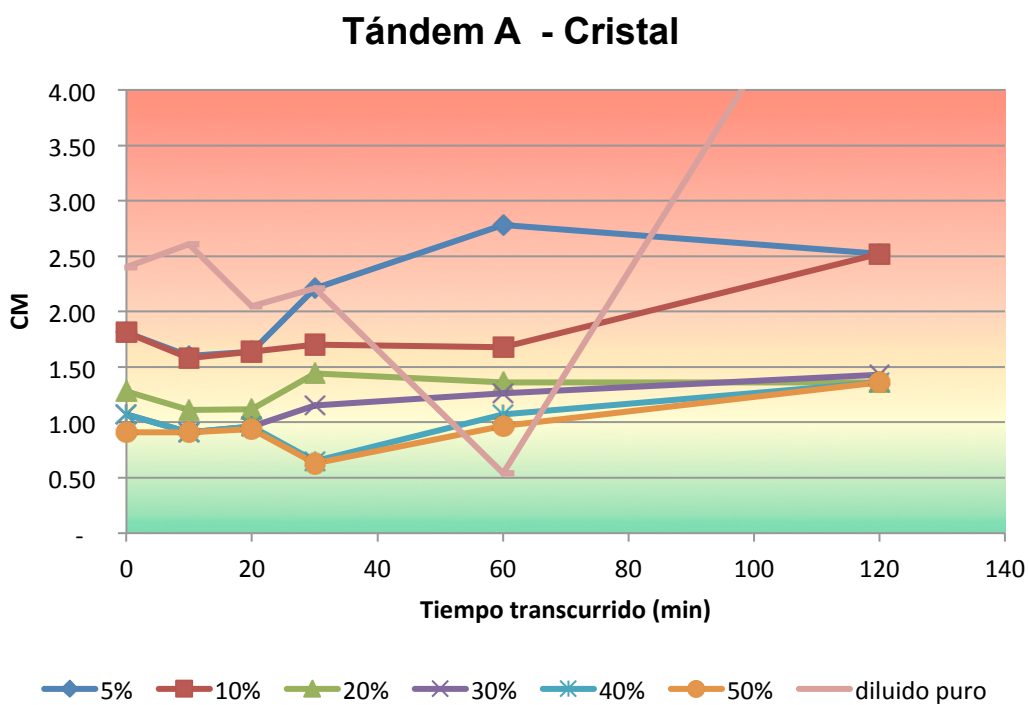
Gráfica No. 77: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem A.



Cuadro No. 147: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem A.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo cristal						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	1.81	1.60	1.64	2.21	2.78	2.52
10%	1.81	1.58	1.64	1.70	1.68	2.52
20%	1.28	1.11	1.12	1.44	1.36	1.36
30%	1.07	0.91	0.96	1.15	1.26	1.43
40%	1.07	0.91	0.96	0.65	1.07	1.36
50%	0.91	0.91	0.94	0.63	0.97	1.36
0%	2.40	2.61	2.05	2.21	0.54	6.00

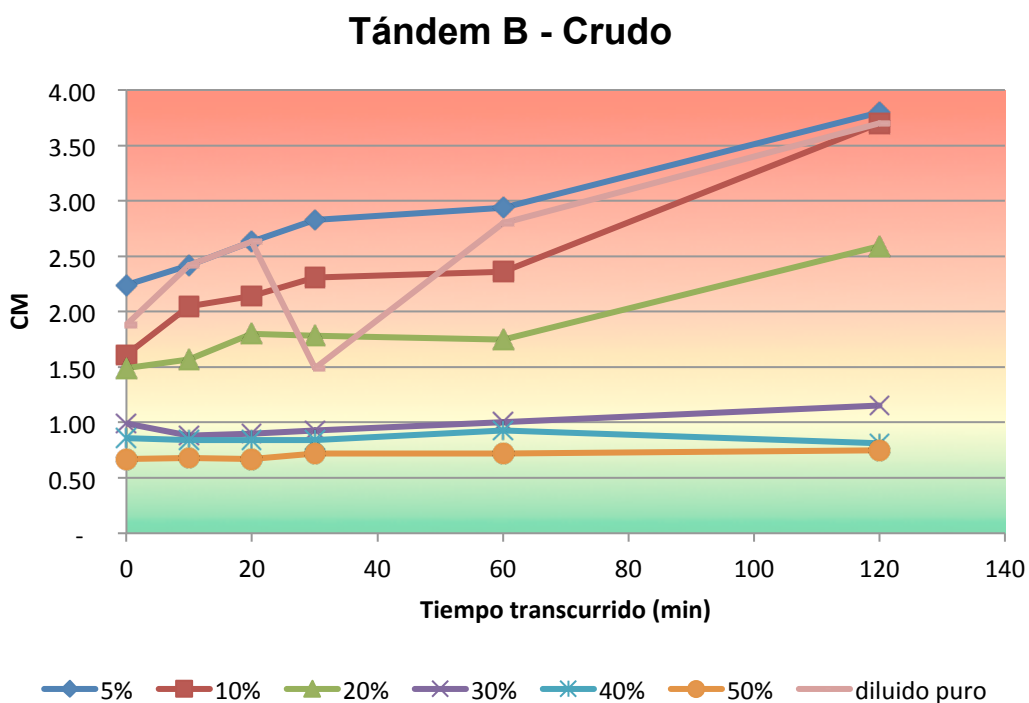
Gráfica No. 78: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem A.



Cuadro No. 148: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem B.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	2.24	2.42	2.63	2.83	2.94	3.80
10%	1.61	2.05	2.14	2.31	2.36	3.70
20%	1.49	1.57	1.80	1.78	1.75	2.59
30%	0.99	0.88	0.90	0.93	1.00	1.15
40%	0.86	0.84	0.84	0.84	0.93	0.81
50%	0.67	0.68	0.67	0.72	0.72	0.75
0%	1.88	2.42	2.63	1.49	2.80	3.70

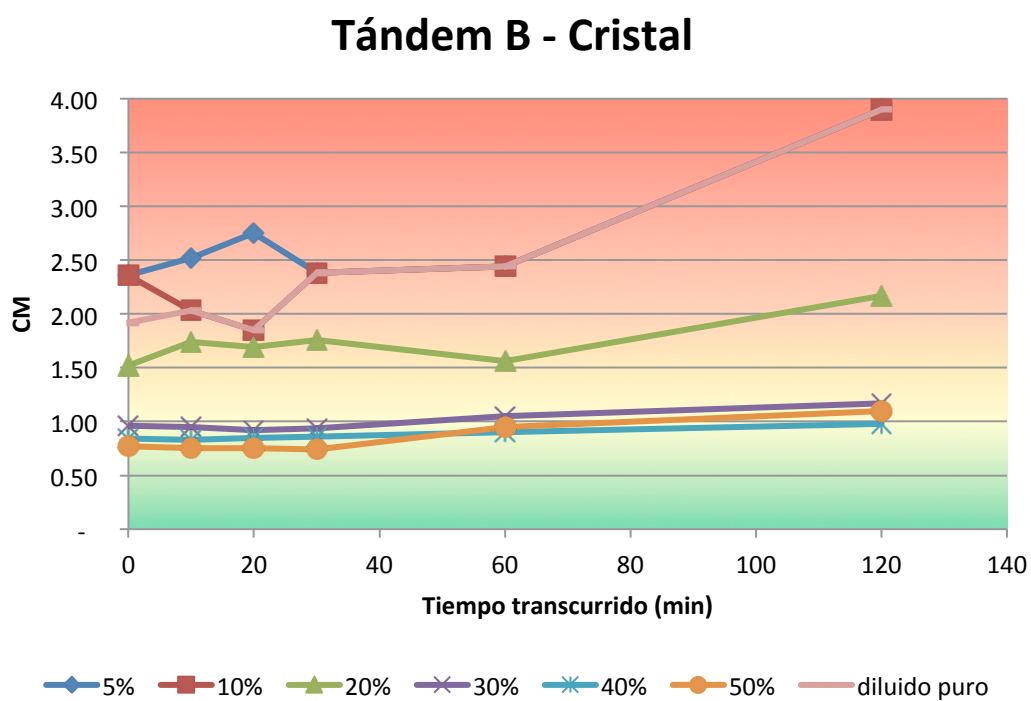
Gráfica No. 79: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem B.



Cuadro No. 149: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem B.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo cristal						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	2.36	2.52	2.75	2.38	2.44	3.90
10%	2.36	2.03	1.85	2.38	2.44	3.90
20%	1.52	1.74	1.69	1.76	1.56	2.17
30%	0.96	0.95	0.92	0.94	1.05	1.17
40%	0.84	0.83	0.85	0.86	0.90	0.98
50%	0.77	0.75	0.75	0.74	0.95	1.10
0%	1.92	2.03	1.85	2.38	2.44	3.90

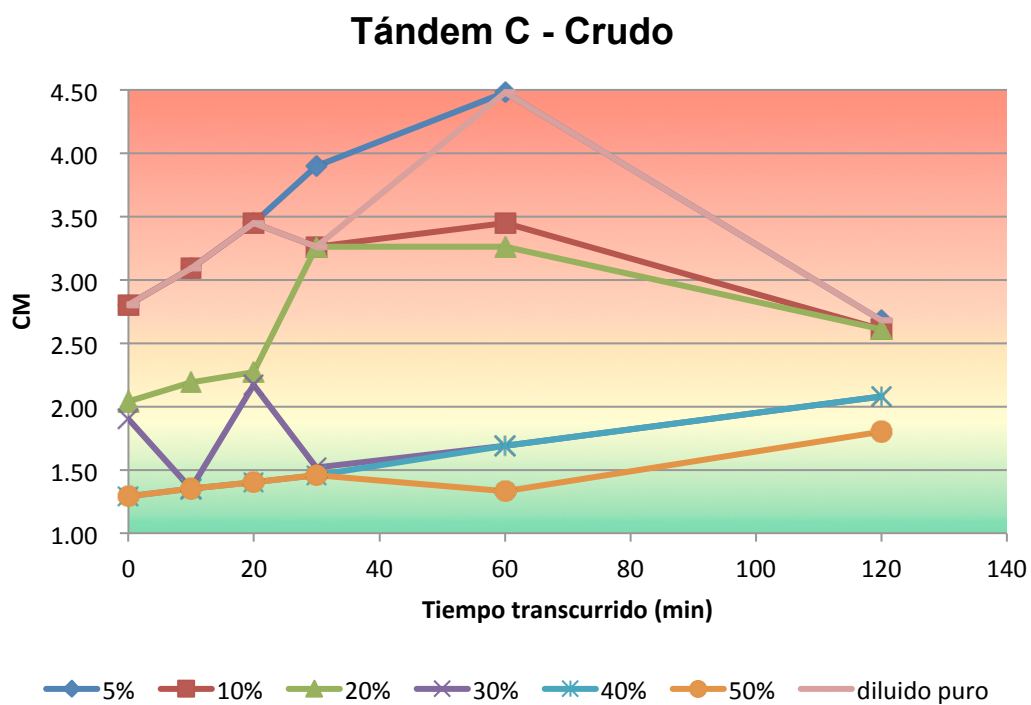
Gráfica No. 80: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem B.



Cuadro No. 150: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem C.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	2.80	3.09	3.45	3.90	4.48	2.68
10%	2.80	3.09	3.45	3.26	3.45	2.61
20%	2.04	2.19	2.27	3.26	3.26	2.61
30%	1.90	1.35	2.17	1.52	1.69	2.08
40%	1.29	1.35	1.40	1.46	1.69	2.08
50%	1.29	1.35	1.40	1.46	1.33	1.80
0%	2.80	3.09	3.45	3.26	4.48	2.68

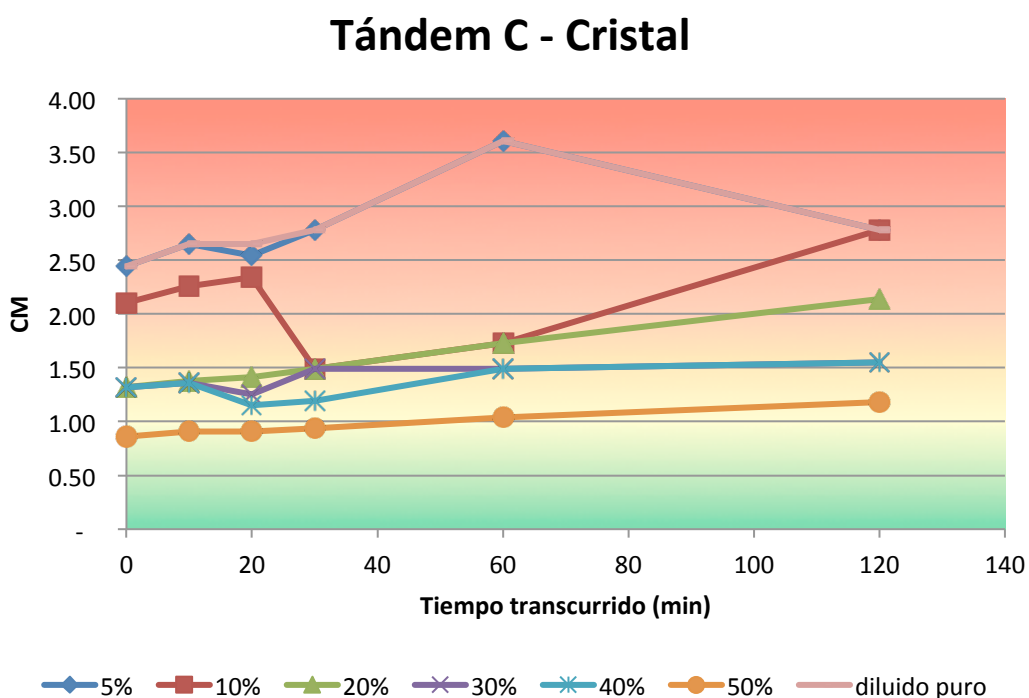
Gráfica No. 81: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem C.



Cuadro No. 151: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo cristal del Tándem C.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo cristal						
Dilución v/v	Tiempo					
	Inicial	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h
5%	2.44	2.65	2.54	2.78	3.61	2.78
10%	2.10	2.26	2.34	1.49	1.73	2.78
20%	1.32	1.38	1.41	1.49	1.73	2.14
30%	1.32	1.36	1.25	1.49	1.49	1.55
40%	1.32	1.36	1.15	1.19	1.49	1.55
50%	0.86	0.91	0.91	0.94	1.04	1.18
0%	2.44	2.65	2.65	2.78	3.61	2.78

Gráfica No. 82: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo cristal del Tándem C.



Cuadro No. 152: Datos de calibración de la válvula de émbolo para el flujo de salida de la mezcla a una apertura de 1.5 vueltas.

Calibración válvula de émbolo 1/2*(totalmente abierta)		
Volumen mL	tiempo (segundos)	Caudal
500	7.48	66.84491979
500	6.9	72.46376812
500	7.21	69.3481276
500	6.59	75.87253414
500	6.49	77.04160247
500	6.32	79.11392405
	Promedio mL/s	73.45

Cuadro No. 153: Datos de calibración de la válvula de émbolo para el flujo de salida de la mezcla a una apertura de 1.5 vueltas.

Calibración válvula de émbolo 1/2*(1 vuelta)		
Volumen mL	Tiempo (segundos)	Caudal
500	7.38	67.75067751
500	6.53	76.56967841
500	6.6	75.75757576
500	7.3	68.49315068
	Promedio mL/s	72.14

Cuadro No. 154: Datos de calibración de la válvula de émbolo para el flujo de salida de la mezcla a una apertura de 1.5 vueltas.

Calibración válvula de émbolo 1/2*(1 vuelta)		
Volumen mL	tiempo (segundos)	Caudal
500	9.06	55.18763797
500	9.3	53.76344086
500	9.65	51.8134715
500	10	50
	promedio mL/s	52.69

Cuadro No. 155: Datos de calibración de la válvula de émbolo para los flujos de salida de jugo sulfitado y diluido a una apertura de 1 vuelta.

Calibración válvula de émbolo 3/8 (1 vuelta)		
Volumen mL	tiempo (segundos)	Caudal
500	64.25	7.782101167
500	69.77	7.166403899
500	67.93	7.36051818
	promedio mL/s	7.44

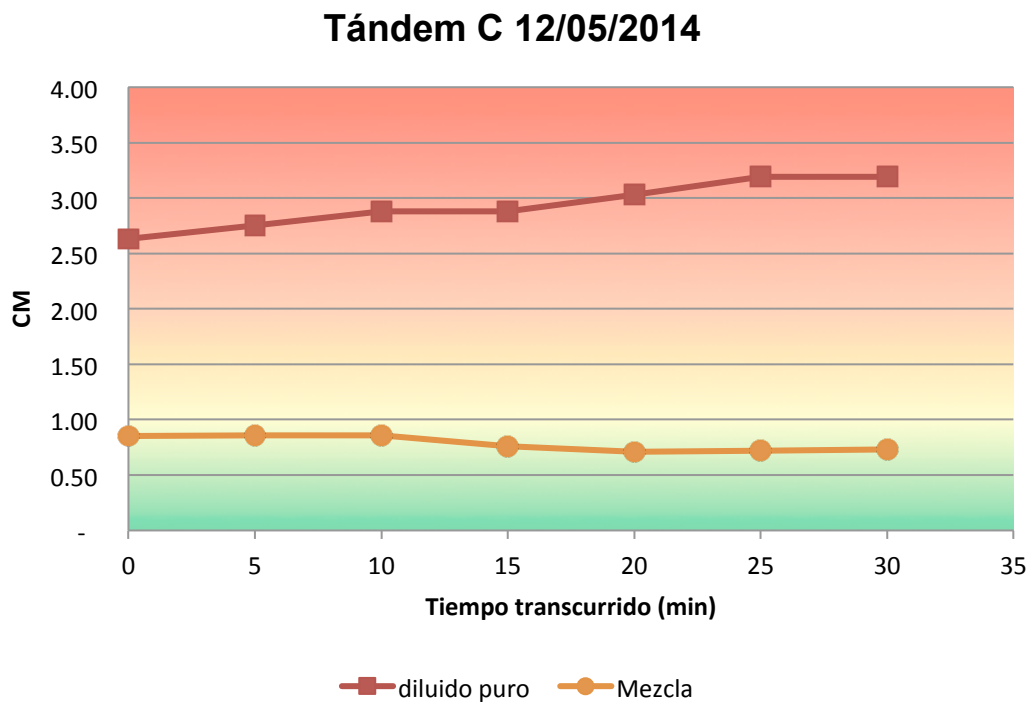
Cuadro No. 156: Datos de calibración de la válvula de émbolo para los flujos de salida de jugo sulfitado y diluido a una apertura de 1/2 vuelta.

Calibración válvula de émbolo 3/8 (1 /2 vuelta)		
Volumen mL	tiempo (segundos)	Caudal
500	29.53	16.93193363
500	30.07	16.62786831
500	31.21	16.02050625
	promedio mL/s	16.53

Cuadro No. 157: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como bactericida previo en jugo crudo del Tándem C en escala piloto.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo							
Dilución	Tiempo						
	inicial	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
0%	2.63	2.75	2.88	2.88	3.03	3.19	3.19
Mezcla 50%	0.85	0.86	0.86	0.76	0.71	0.72	0.73

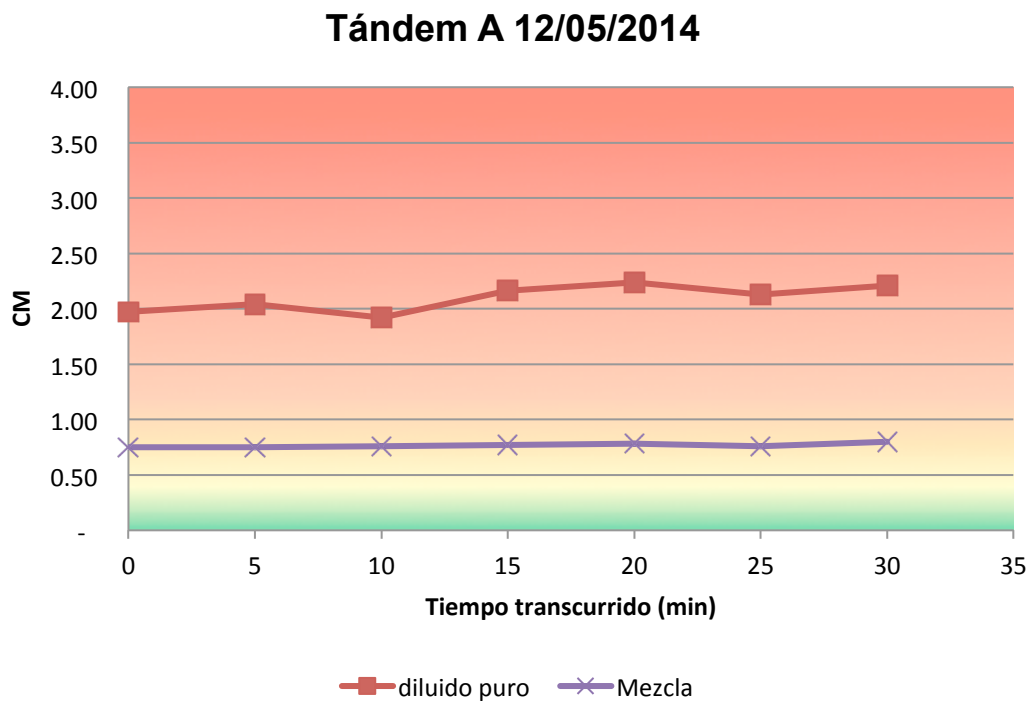
Gráfica No. 83: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem C a escala piloto.



Cuadro No. 158: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como bactericida previo en jugo crudo del Tándem A en escala piloto.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo							
Dilución v/v	Tiempo						
	inicial	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
0%	1.97	2.04	1.92	2.16	2.24	2.13	2.21
Mezcla 50%	0.75	0.75	0.76	0.77	0.78	0.76	0.80

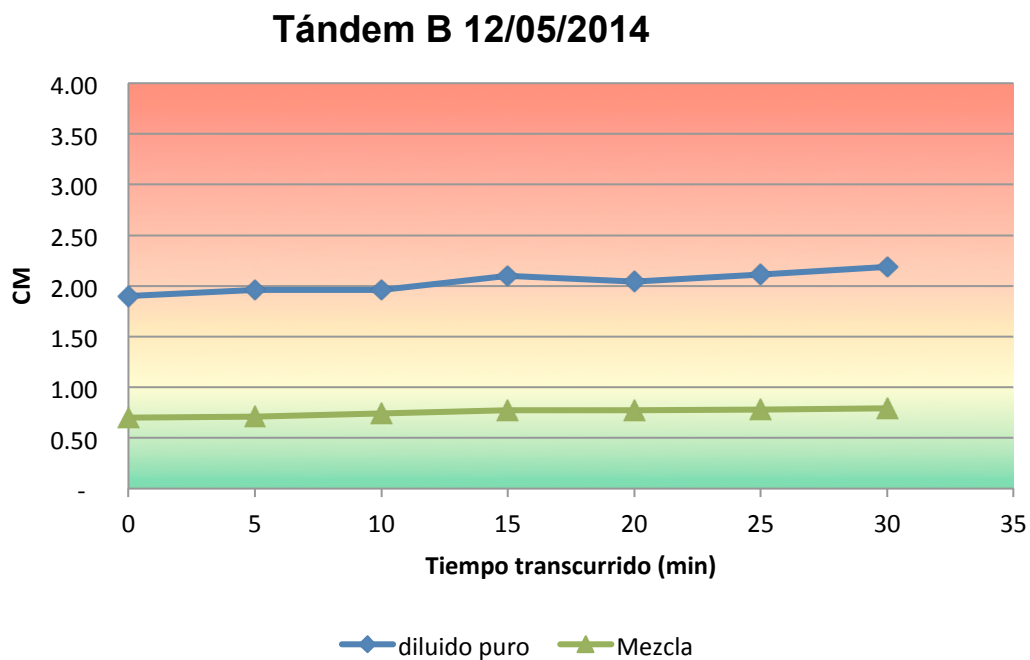
Gráfica No. 84: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem A a escala piloto.



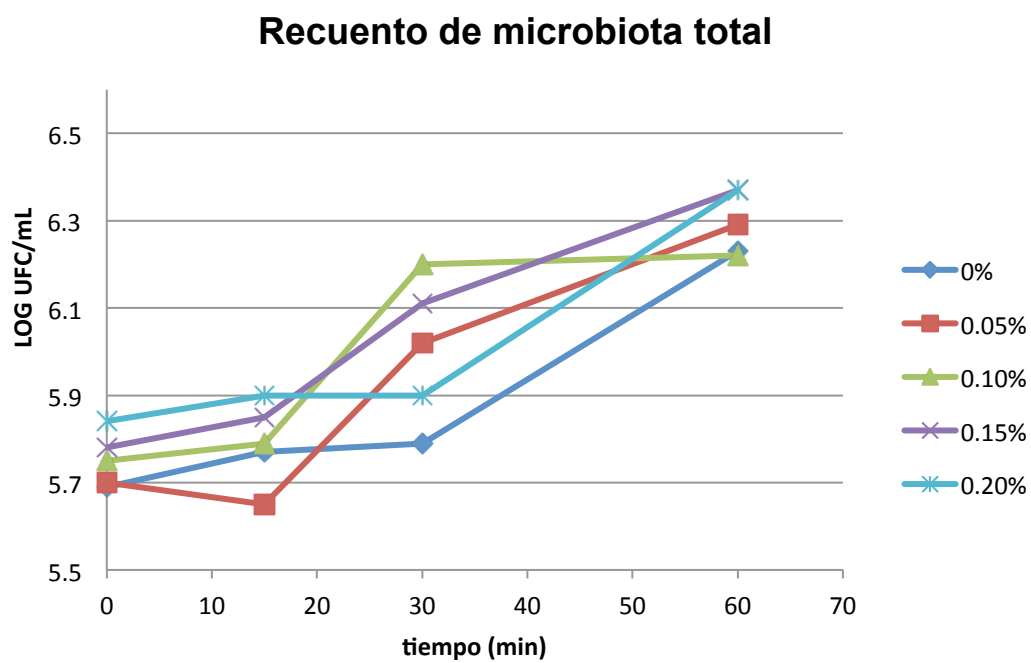
Cuadro No. 159: Datos de CM para las pruebas de jugo sulfitado como Bactericida previo en jugo crudo del Tándem B en escala piloto.

CM de jugo sulfitado como bactericida en jugo crudo							
Dilución v/v	Tiempo						
	Inicial	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
0%	1.90	1.96	1.96	2.10	2.04	2.11	2.19
Mezcla 50%	0.70	0.71	0.74	0.77	0.77	0.78	0.79

Gráfica No. 85: Concentración microbiológica con el tiempo para diluciones de jugo sulfitado en jugo crudo del Tándem B a escala piloto.



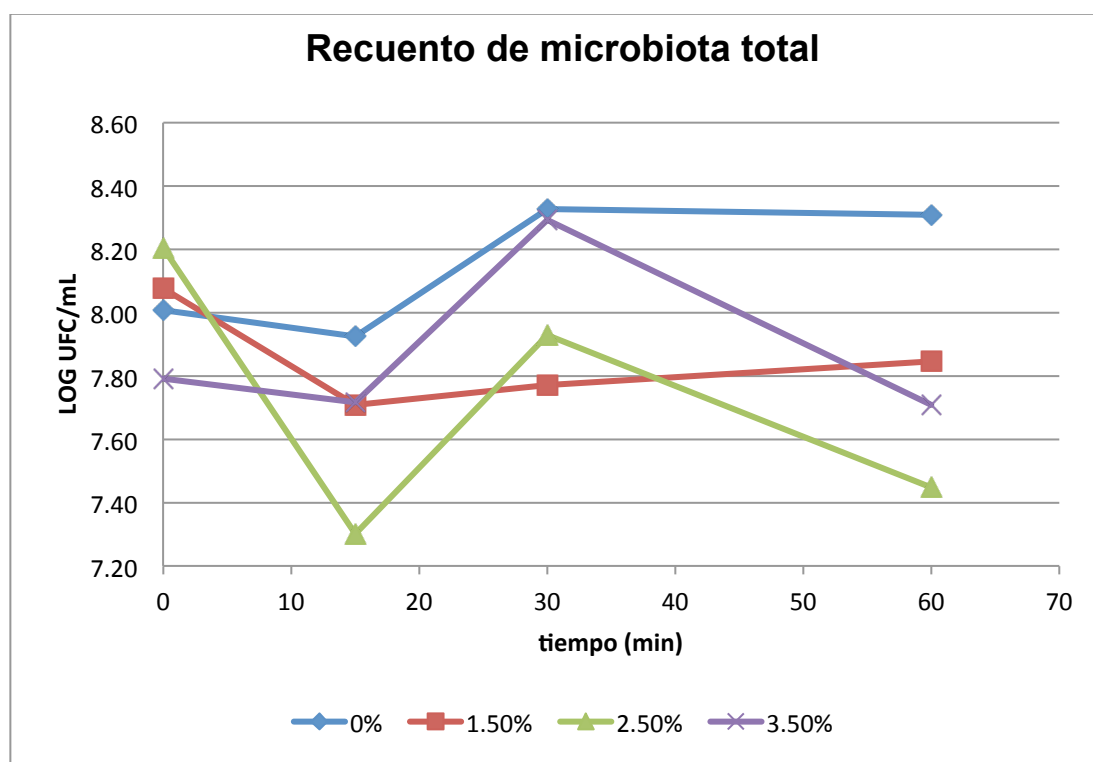
Gráfica No. 86: Resultados de recuento de microbiota total para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - primer corrida.



Cuadro No. 160: Resultados tabulados de recuento de microbiota total para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - primer corrida.

Recuento de Microbiota total para jugo alcalizado primer corrida				
LOG UFC/mL	Inicial	15 min	30 min	60 min
0%	5.69	5.77	5.79	6.23
0.05%	5.7	5.65	6.02	6.29
0.10%	5.75	5.79	6.2	6.22
0.15%	5.78	5.85	6.11	6.37
0.2%	5.84	5.9	5.9	6.37

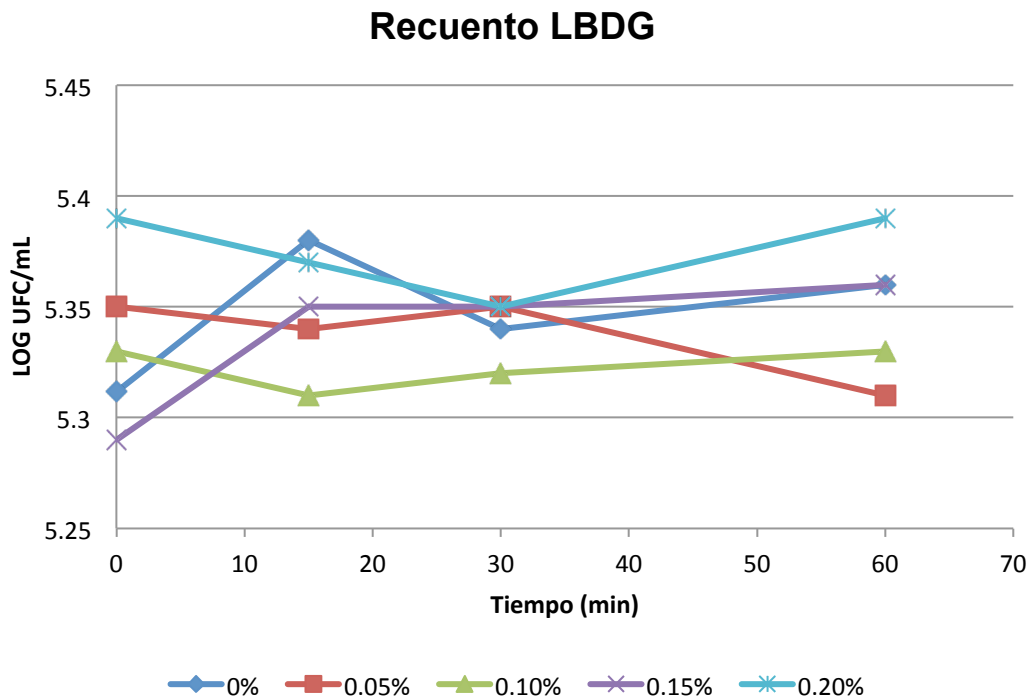
Gráfica No. 87: Resultados de recuento de microbiota total para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - segunda corrida.



Cuadro No. 161: Resultados tabulados de recuento de microbiota total para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - segunda corrida.

Recuento de Microbiota total para jugo alcalizado segunda corrida				
LOG UFC/mL	Inicial	15 min	30 min	60 min
0%	8.01	7.92	8.33	8.31
1.5%	8.08	7.71	7.77	7.85
2.50%	8.2	7.3	7.93	7.45
3.5%	7.79	7.72	8.29	7.71

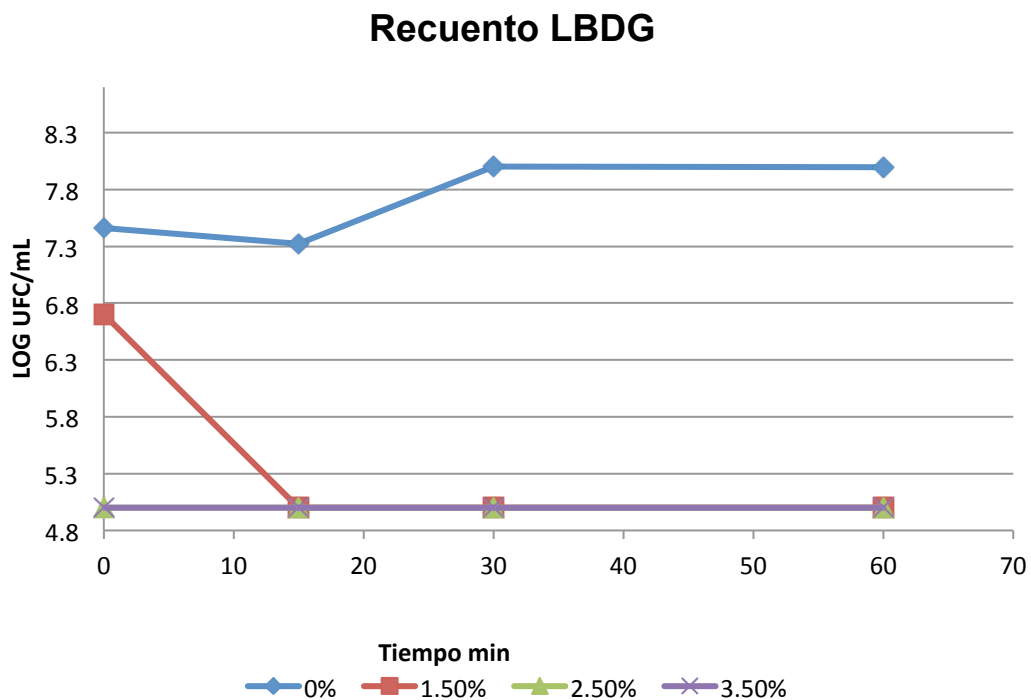
Gráfica No. 88: Resultados de recuento de LBDG (agar nutritivo para leuconostoc) para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - primer corrida.



Cuadro No. 162: Resultados tabulados de recuento de LBDG (agar nutritivo para leuconostoc) para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - primer corrida.

Recuento de LBDG total para jugo alcalizado primer corrida				
LOG UFC/mL	Inicial	15 min	30 min	60 min
0%	5.31	5.38	5.34	5.36
0.05%	5.35	5.34	5.35	5.31
0.10%	5.33	5.31	5.32	5.33
0.15%	5.29	5.35	5.35	5.36
0.2%	5.39	5.37	5.37	5.39

Gráfica No. 89: Resultados de recuento de LBDG (agar nutritivo para leuconostoc) para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - segunda corrida.



Cuadro No. 163: Resultados tabulados de recuento de LBDG (agar nutritivo para leuconostoc) para varias diluciones de lechada en jugo diluido del Tándem C - segunda corrida.

Recuento de LBDG total para jugo alcalizado segunda corrida				
LOG UFC/mL	Inicial	15 min	30 min	60 min
0%	7.46	7.32	8	8
1.5%	6.7	5	5	5
2.5%	5	5	5	5
3.5%	5	5	5	5

Cuadro No. 164: Rangos de pH para las diluciones en el análisis de lechada de cal como bactericida en jugo diluido.

% LECHADA DE CAL	≈pH del jugo
0-1%	5.2-6.7
1.5%	10.0-10.9
2.5-3.5%	10.1-11.8
4.5-5.0%	11.1-12.04

Cuadro No. 165: Datos de medición de elongación de cristales del 16 al 20 de marzo del 2014.

	16-marzo-2014		17-marzo-2014		18-marzo-2014		19-marzo-2014		20-marzo-2014	
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5	
	Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
1	22	13	35	25	15	12	26	20	48	45
2	13	11	14	12	13	6	20	7	9	4
3	15	8	11	8	14	8	18	12	14	8
4	18	12	17	14	18	14	5	4	8	5
5	10	6	20	20	10	5	14	13	10	5
6	9	4	14	5	16	12	27	25	36	21
7	10	4	26	14	7	4	31	25	9	5
8	20	17	19	12	25	15	13	9	11	5
9	17	17	17	13	24	15	25	23	8	4
10	25	19	11	9	13	8	17	9	29	16
11	15	10	6	3	18	16	17	10	19	12
12	10	7	13	11	12	12	10	3	13	10
13	33	27	11	9	26	21	7	4	17	15
14	29	27	12	11	9	5	14	12	13	6
15	17	8	9	2	13	5	13	6	23	17
16	7	4	15	5	19	11	6	5	19	11
17	16	4	5	4	14	9	15	9	15	9
18	17	7	11	9	22	14	15	12	9	3
19	30	15	3	2	24	17	15	11	5	2
20	33	24	10	6	21	20	18	14	19	16
21	13	9	17	12	17	14	20	20	5	3

Continuación - Cuadro No. 165: Datos de medición de elongación de cristales del 16 al 20 de marzo del 2014.										
16-marzo-2014		17-marzo-2014		18-marzo-2014		19-marzo-2014		20-marzo-2014		
Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
22	16	13	15	11	22	11	18	10	16	16
23	25	20	14	3	11	4	23	20	14	10
24	17	15	10	4	11	10	4	3	23	22
25	6	5	16	11	9	6	5	3	9	4
26	15	6	14	11	7	5	9	5	34	20
27	11	7	19	18	24	22	21	18	28	15
28	21	10	19	13	21	16	10	7	20	11
29	13	9	18	13	19	14	29	17	19	12
30	18	8	12	9	13	13	28	21	19	13
31	9	3	29	15	11	2	17	10	17	8
32	25	15	7	3	25	23	15	12	8	4
33	12	6	21	18	28	14	20	18	22	16
34	14	8	19	17	21	7	13	7	13	9
35	20	7	14	13	21	11	17	15	17	7
36	21	7	17	12	20	6	19	10	18	6
37	15	10	14	4	11	5	17	17	16	9
38	11	9	22	19	10	8	20	15	15	5
39	5	5	8	5	21	20	23	21	14	5
40	10	6	16	12	6	6	11	5	8	3
Promedio	16.575	10.55	15	10.425	16.525	11.15	16.625	12.175	16.725	10.425
Promedio total	1.571		1.439		1.482		1.366		1.604	

Cuadro No. 166: Datos de medición de elongación de cristales del 21 al 25 de marzo del 2014.

	21-marzo-2014		22-marzo-2014		23-marzo-2014		24-marzo-2014		25-marzo-2014	
	Muestra 6		Muestra 7		Muestra 8		Muestra 9		Muestra 10	
	Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
1	25	20	40	29	25	22	31	31	23	18
2	17	11	17	10	17	13	20	14	13	4
3	15	10	11	6	13	10	21	15	29	27
4	7	6	13	7	8	3	19	10	10	9
5	21	10	6	2	5	4	11	8	13	10
6	24	18	17	17	20	13	17	10	21	15
7	17	10	25	17	16	15	9	6	12	7
8	8	6	17	12	14	12	12	10	11	9
9	20	15	25	15	11	5	12	8	16	8
10	14	9	12	4	18	15	13	9	20	7
11	15	12	5	2	12	6	6	3	22	8
12	23	18	14	9	7	4	5	5	20	9
13	34	18	21	17	6	3	11	6	25	23
14	15	11	14	10	11	8	9	7	25	14
15	15	8	7	4	11	7	25	22	21	18
16	15	15	7	3	21	8	5	4	8	3
17	9	5	19	13	8	7	7	7	20	12
18	15	10	6	4	16	15	16	13	23	20
19	15	9	16	8	18	14	17	14	20	15
20	14	9	28	22	16	10	9	7	14	9
21	14	12	14	7	15	7	5	3	13	9
22	14	6	19	16	13	9	24	19	10	9
23	6	3	16	10	17	13	10	6	22	19
24	20	10	18	12	27	24	22	12	22	8
25	21	12	3	1	7	5	13	12	18	17
26	26	19	14	10	11	9	13	9	15	12
27	15	14	24	12	8	3	8	4	33	16
28	21	19	19	12	27	17	7	5	20	15
29	21	13	9	6	19	15	17	16	13	10
30	20	10	12	6	26	18	7	2	18	11
31	11	8	14	5	24	21	6	6	9	3
32	24	14	7	5	8	4	14	6	9	6

Continuación - Cuadro No.166: Datos de medición de elongación de cristales del 21 al 25 de marzo del 2014.										
21-marzo-2014		22-marzo-2014		23-marzo-2014		24-marzo-2014		25-marzo-2014		
Muestra 6		Muestra 7		Muestra 8		Muestra 9		Muestra 10		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
33	19	15	19	11	6	4	16	9	24	19
34	9	6	20	6	18	16	16	11	15	13
35	14	13	15	12	10	7	19	15	14	5
36	15	14	11	7	12	7	13	11	23	12
37	6	4	15	12	23	17	19	14	15	12
38	19	10	14	12	24	19	15	9	16	10
39	25	24	14	10	18	14	16	14	11	6
40	13	8	7	3	6	3	16	5	6	5
Promedio	16.775	11.6	15.1	9.65	14.8	10.65	13.775	9.925	17.3	11.55
Relación de elongación	1.446		1.565		1.39		1.388		1.498	

Cuadro No. 167: Datos de medición de elongación de cristales del 26 al 30 de marzo del 2014.

26-marzo-2014		27-marzo-2014		28-marzo-2014		29-marzo-2014		30-marzo-2014		
Muestra 11		Muestra 12		Muestra 13		Muestra 14		Muestra 15		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
1	13	10	19	12	20	12	23	11	30	19
2	20	15	18	16	25	11	26	17	11	8
3	16	15	25	21	15	14	11	4	13	11
4	22	20	10	9	14	11	12	4	21	15
5	9	2	5	4	17	10	16	8	19	13
6	10	5	10	8	15	9	10	5	21	11
7	21	10	20	13	23	20	10	7	11	5
8	13	10	11	4	12	5	7	4	20	8
9	15	8	4	4	10	7	10	6	25	21
10	18	15	11	6	9	6	42	32	34	24
11	27	25	21	11	14	5	19	13	25	12
12	19	16	20	11	8	6	18	15	15	9
13	15	10	10	5	5	5	16	6	16	8

Continuación - Cuadro No.167: Datos de medición de elongación de cristales del 26 al 30 de marzo del 2014.										
26-marzo-2014		27-marzo-2014		28-marzo-2014		29-marzo-2014		30-marzo-2014		
Muestra 11		Muestra 12		Muestra 13		Muestra 14		Muestra 15		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
14	21	13	7	5	6	4	8	6	19	15
15	19	15	20	9	25	13	18	8	26	20
16	20	18	11	6	11	5	17	16	24	15
17	18	18	9	8	10	2	6	3	20	17
18	11	6	9	7	15	9	14	9	11	9
19	9	3	17	17	14	13	9	6	25	21
20	30	21	14	10	11	8	25	22	28	18
21	8	4	36	15	10	3	16	11	18	16
22	4	2	35	17	8	6	18	16	32	25
23	15	13	23	19	20	13	32	25	14	13
24	14	14	19	10	24	10	14	13	24	18
25	7	4	20	17	13	9	24	18	30	21
26	13	6	5	3	21	12	19	16	15	6
27	13	4	23	16	20	15	23	15	7	2
28	8	5	15	12	10	3	17	11	23	20
29	10	6	11	10	15	9	7	2	20	9
30	4	2	7	5	7	4	10	2	23	20
31	28	14	28	12	16	16	9	4	18	12
32	7	3	17	13	13	5	18	14	22	14
33	20	9	13	12	24	5	23	15	23	15
34	21	14	9	8	25	22	24	18	23	10
35	16	15	10	6	20	12	15	13	29	18
36	14	8	19	16	17	14	23	14	33	22
37	22	13	12	9	13	7	16	15	23	10
38	22	15	8	3	21	14	13	7	19	14
39	24	15	18	9	31	27	14	12	19	16
40	8	5	9	4	29	11	17	14	12	6
Promedio	15.6	10.65	15.2	10.05	15.9	9.8	16.72 5	11.42 5	21.02 5	14.15
Relación de elongación	1.465		1.512		1.622		1.464		1.486	

Cuadro No. 168: Datos de medición de elongación de cristales del 31 de marzo al 04 de abril del 2014.

	31-marzo-2014		01-abril-2014		02-abril-2014		03-abril-2014		04-abril-2014	
	Muestra 16		Muestra 17		Muestra 18		Muestra 19		Muestra 20	
	Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
1	27	17	27	17	26	19	20	12	19	16
2	24	12	23	9	19	17	12	8	17	7
3	19	14	10	6	16	14	15	9	14	8
4	20	17	28	15	16	9	19	8	13	6
5	13	7	24	23	10	4	13	9	11	6
6	16	15	7	4	21	9	8	2	20	17
7	22	7	14	9	16	8	24	17	15	5
8	19	13	15	11	11	4	21	16	8	7
9	19	18	4	1	24	14	22	12	12	7
10	8	6	16	11	14	10	21	11	14	9
11	4	3	5	2	16	14	16	10	10	15
12	8	7	18	11	7	4	18	14	23	13
13	7	3	22	15	12	7	14	7	24	19
14	19	11	25	14	10	4	12	10	18	9
15	29	20	25	18	7	2	11	7	12	4
16	18	9	11	9	19	17	8	5	25	22
17	26	25	14	9	14	6	5	1	25	13
18	19	13	14	14	25	12	16	9	23	9
19	20	16	7	4	17	14	17	10	19	14
20	12	5	19	17	12	8	5	2	25	18
21	7	4	4	3	23	13	23	17	14	4
22	13	8	7	6	35	27	21	16	8	4
23	23	17	7	3	18	16	22	21	12	5
24	22	15	9	2	14	9	4	2	11	4
25	9	6	30	23	20	15	17	7	22	7
26	3	2	20	10	13	10	15	11	20	8
27	16	9	23	19	9	5	13	6	23	13
28	11	5	24	22	12	6	21	14	22	12
29	27	24	28	17	16	13	15	5	19	5
30	27	22	16	12	23	11	14	6	20	9
31	12	8	9	7	8	6	11	7	23	13
32	15	5	16	10	8	4	17	11	25	19
33	22	21	16	5	7	4	25	8	20	10
34	13	10	25	15	21	12	11	6	24	12
35	11	6	28	27	22	13	13	11	17	10

Continuación - Cuadro No. 168: Datos de medición de elongación de cristales del 31 de marzo al 04 de abril del 2014.										
31-marzo-2014		01-abril-2014		02-abril-2014		03-abril-2014		04-abril-2014		
Muestra 16		Muestra 17		Muestra 18		Muestra 19		Muestra 20		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
36	15	9	9	7	22	21	10	7	17	7
37	11	4	18	10	15	12	9	2	9	3
38	12	5	14	12	26	22	20	15	12	7
39	9	3	9	6	24	22	14	7	4	3
40	19	9	20	13	10	9	7	2	8	7
Promedios	16.15	10.75	16.5	11.2	16.45	11.15	14.975	9	16.925	9.65
Relación de elongación	1.502		1.473		1.475		1.664		1.754	

Cuadro No. 169: Datos de medición de elongación de cristales del 05 al 09 de abril del 2014.

05-abril-2014		06-abril-2014		07-abril-2014		08-abril-2014		09-abril-2014		
Muestra 21		Muestra 22		Muestra 23		Muestra 24		Muestra 25		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
1	29	18	20	9	25	21	23	9	23	5
2	9	4	20	6	25	15	13	3	23	13
3	8	7	9	2	20	15	6	3	20	20
4	22	8	20	6	20	6	5	3	11	4
5	11	3	17	4	14	5	31	11	9	5
6	17	7	19	13	14	7	22	3	10	3
7	14	7	16	4	17	11	16	4	25	13
8	9	3	14	8	9	4	16	3	18	5
9	8	6	20	7	15	8	24	15	14	12
10	20	16	29	13	35	21	35	7	15	5
11	8	4	29	12	17	5	16	4	21	8
12	19	7	22	9	20	5	17	3	12	7
13	21	9	18	4	18	8	19	8	16	6
14	24	15	10	5	20	12	16	6	17	7
15	3	2	19	16	12	6	10	2	22	11
16	6	4	22	5	13	5	14	5	15	4
17	4	1	22	3	19	12	19	5	18	8
18	3	3	16	13	25	15	23	7	14	5
19	32	18	10	3	23	8	23	9	15	5

Continuación - Cuadro No. 169: Datos de medición de elongación de cristales del 05 al 09 de abril del 2014.										
05-abril-2014		06-abril-2014		07-abril-2014		08-abril-2014		09-abril-2014		
Muestra 21		Muestra 22		Muestra 23		Muestra 24		Muestra 25		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
20	30	12	15	3	21	15	22	4	16	12
21	23	13	25	13	16	16	15	11	30	16
22	12	7	16	11	14	12	22	14	26	12
23	19	6	20	10	10	8	7	5	8	4
24	14	10	18	4	21	13	20	12	12	5
25	6	6	19	7	19	12	18	5	9	4
26	18	5	20	7	18	14	21	10	27	22
27	13	9	28	14	17	11	16	7	24	11
28	19	16	24	9	15	10	23	11	18	12
29	19	11	9	3	21	20	5	2	15	7
30	11	6	20	9	19	12	9	4	12	4
31	14	13	17	3	20	9	30	9	25	13
32	19	11	29	12	17	6	26	7	24	16
33	16	5	23	14	10	3	23	9	26	7
34	13	10	28	7	9	6	22	5	26	15
35	34	15	29	10	23	12	17	4	14	6
36	30	20	5	3	32	20	22	7	9	3
37	27	18	28	13	15	5	21	8	16	9
38	22	10	26	5	28	14	25	10	16	8
39	7	3	15	4	24	7	21	7	6	3
40	15	7	12	3	12	10	19	5	12	6
Promedio	16.2	8.875	19.45	7.65	18.55	10.6	18.8	6.65	17.225	8.525
Relación de elongación	1.825		2.542		1.75		2.827		2.021	

Cuadro No. 170: Datos de medición de elongación de cristales del 10 al 14 de abril del 2014.

10-abril-2014		11-abril-2014		12-abril-2014		13-abril-2014		14-abril-2014		
Muestra 26		Muestra 27		Muestra 28		Muestra 29		Muestra 30		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
1	28	17	19	7	29	10	16	11	8	4
2	26	16	15	5	26	9	13	8	11	6

Continuación - Cuadro No.170: Datos de medición de elongación de cristales del 10 al 14 de abril del 2014.										
10-abril-2014		11-abril-2014		12-abril-2014		13-abril-2014		14-abril-2014		
Muestra 26		Muestra 27		Muestra 28		Muestra 29		Muestra 30		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
3	19	11	20	18	21	8	13	9	11	8
4	6	3	12	4	25	7	20	15	23	20
5	6	3	11	4	25	16	9	4	12	6
6	11	4	14	5	21	10	11	11	11	3
7	12	4	20	7	15	3	9	5	11	5
8	17	16	11	3	19	6	12	10	18	18
9	24	7	14	5	22	13	10	7	14	9
10	10	4	11	3	13	3	17	6	11	4
11	13	6	9	8	9	2	18	3	12	6
12	12	3	11	4	9	7	28	12	3	2
13	21	4	26	9	28	6	24	15	10	7
14	21	5	28	13	30	17	16	6	3	2
15	21	19	14	9	10	4	10	3	12	5
16	16	6	20	7	12	6	21	9	20	19
17	14	7	12	4	10	5	17	4	20	15
18	23	11	13	7	6	3	11	6	17	11
19	22	21	21	9	7	4	19	8	14	13
20	9	3	11	4	14	10	10	5	25	17
21	16	13	20	10	12	3	7	6	25	15
22	15	9	16	5	11	5	8	6	25	12
23	16	6	14	8	28	11	22	7	20	10
24	12	6	17	7	23	4	25	7	14	9
25	14	7	21	16	14	3	10	6	19	4
26	17	8	13	3	12	2	12	7	25	10
27	19	9	16	5	20	5	19	8	10	5
28	11	3	12	4	16	4	10	3	12	7
29	28	17	33	8	12	5	9	5	18	8
30	18	11	14	3	14	8	12	5	19	12
31	23	22	14	2	22	7	9	3	13	8
32	11	9	10	4	7	2	21	7	23	15

Continuación - Cuadro No.170: Datos de medición de elongación de cristales del 10 al 14 de abril del 2014.										
10-abril-2014		11-abril-2014		12-abril-2014		13-abril-2014		14-abril-2014		
Muestra 26		Muestra 27		Muestra 28		Muestra 29		Muestra 30		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
33	20	12	6	16	5	13	6	16	10	
34	26	18	4	8	2	17	6	15	6	
35	18	10	4	9	3	33	24	29	11	
36	9	7	8	13	11	11	7	24	22	
37	4	2	4	22	7	9	4	19	16	
38	2	1	4	9	8	12	4	19	18	
39	3	1	3	23	7	11	6	22	15	
40	8	2	5	14	5	8	5	12	6	
Promedio	15.525	8.575	6.2	16.4	6.4	14.55	7.225	16.125	9.975	
Relación de elongación	1.81		2.585		2.563		2.014		1.617	

Cuadro No. 171: Datos de medición de elongación de cristales del 15 al 19 de abril del 2014.

15-abril-2014		16-abril-2014		17-abril-2014		18-abril-2014		19-abril-2014	
Muestra 31		Muestra 32		Muestra 33		Muestra 34		Muestra 35	
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1	
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
1	19	10	12	30	15	32	30	23	15
2	21	17	6	31	22	27	23	17	9
3	9	6	5	18	15	25	15	16	10
4	9	4	7	20	16	20	19	18	10
5	11	6	4	24	20	16	12	36	25
6	10	6	7	23	21	12	11	34	20
7	7	6	6	24	19	15	9	26	19
8	11	2	12	20	19	22	16	24	16
9	13	8	7	21	19	18	7	13	6
10	9	6	10	20	13	21	12	15	13
11	21	12	10	20	19	14	11	18	18
12	18	9	6	16	14	14	12	17	14
13	23	20	6	19	13	18	16	29	26
14	27	25	10	13	6	24	13	25	16

Continuación - Cuadro No.171: Datos de medición de elongación de cristales del 15 al 19 de abril del 2014.										
15-abril-2014		16-abril-2014		17-abril-2014		18-abril-2014		19-abril-2014		
Muestra 31		Muestra 32		Muestra 33		Muestra 34		Muestra 35		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
15	17	15	21	13	21	17	14	7	28	20
16	7	6	16	8	19	14	22	14	12	5
17	21	15	16	13	16	8	15	13	26	12
18	25	14	12	8	26	16	21	19	12	8
19	13	6	15	9	20	20	23	18	14	8
20	9	3	24	15	11	8	18	16	16	11
21	7	3	15	7	19	17	20	18	14	9
22	15	5	12	5	23	22	26	23	15	11
23	5	3	11	3	21	14	15	10	19	17
24	7	3	6	4	14	8	11	4	17	14
25	16	9	9	6	40	21	7	4	22	17
26	35	21	23	20	42	30	19	5	19	19
27	12	6	21	15	14	9	29	22	25	14
28	20	10	7	5	29	17	33	29	25	19
29	9	6	8	3	31	27	23	19	23	22
30	14	9	10	7	16	12	19	13	21	14
31	16	11	10	6	16	11	33	31	21	10
32	20	18	10	7	34	20	16	12	38	27
33	14	9	11	8	21	20	20	18	17	10
34	18	11	13	7	13	9	17	16	19	14
35	16	9	12	6	10	5	23	15	17	9
36	24	16	16	6	22	17	12	7	17	6
37	24	17	18	14	25	24	27	17	17	16
38	18	10	18	11	20	18	21	13	15	11
39	21	14	27	23	16	10	23	28	11	4
40	26	16	21	10	16	15	32	12	12	5
Promedio	15.92 5	10.0 5	14.42 5	8.67 5	21.3 5	16	20.42 5	15.22 5	20.07 5	13.72 5
Relación de elongación	1.585		1.663		1.334		1.342		1.463	

Cuadro No. 172: Datos de medición de elongación de cristales del 20 al 24 de abril del 2014.

	20-abril-2014		21-abril-2014		22-abril-2014		23-abril-2014		24-abril-2014	
	Muestra 36		Muestra 37		Muestra 38		Muestra 39		Muestra 40	
	Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
1	20	15	16	13	19	13	21	9	20	15
2	20	13	16	14	19	16	22	14	12	10
3	26	22	13	12	20	17	15	13	22	10
4	19	14	25	25	17	14	15	8	20	12
5	16	14	14	12	16	16	14	9	30	24
6	18	16	20	16	26	16	14	11	12	8
7	15	15	25	22	19	14	18	15	17	8
8	12	9	22	19	23	13	13	10	28	16
9	29	24	23	15	20	10	15	12	30	23
10	18	11	15	14	21	16	10	5	27	19
11	18	16	16	14	17	6	8	4	23	19
12	7	2	22	14	14	14	13	3	20	19
13	14	6	19	19	22	18	15	12	18	13
14	20	15	24	10	17	12	11	6	15	9
15	13	11	19	13	21	19	7	4	10	6
16	13	9	33	12	20	15	12	4	20	16
17	19	17	33	20	14	5	11	3	20	16
18	18	17	13	10	12	10	11	8	20	15
19	13	9	23	9	19	8	14	6	14	7
20	15	13	19	15	14	7	20	14	6	4
21	28	24	16	9	17	15	11	7	14	9
22	21	19	21	15	20	15	15	10	31	12
23	17	12	19	18	22	16	20	15	20	14
24	16	12	13	9	18	15	18	11	33	17
25	5	3	18	11	20	16	15	10	12	6
26	12	7	15	14	16	12	16	8	11	8
27	9	3	21	18	7	2	19	15	14	5
28	16	13	22	20	16	12	14	5	21	9
29	20	16	18	13	16	13	11	7	11	7
30	28	18	25	21	13	12	20	15	6	3
31	27	23	18	13	21	9	15	8	24	22
32	17	12	17	16	14	6	12	3	26	20
33	18	8	27	25	14	13	20	12	25	4
34	17	13	15	10	8	8	27	13	17	12
35	18	10	33	24	27	13	18	11	13	9
36	23	17	21	15	16	13	28	15	20	11

Continuación - Cuadro No. 172: Datos de medición de elongación de cristales del 20 al 24 de abril del 2014.										
20-abril-2014		21-abril-2014		22-abril-2014		23-abril-2014		24-abril-2014		
Muestra 36		Muestra 37		Muestra 38		Muestra 39		Muestra 40		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
37	23	12	10	5	10	7	26	9	13	9
38	16	13	13	4	15	11	25	13	14	7
39	21	20	13	5	24	20	20	6	17	9
40	22	13	13	3	16	12	13	9	19	10
Promedio	17.92 5	13.4	19.45	14.15	17.5	12.47 5	16.05	9.3	18.62 5	11.8
Relación de elongación	1.338		1.375		1.403		1.726		1.578	

Cuadro No. 173: Datos de medición de elongación de cristales del 25 al 29 de abril del 2014.

25-abril-2014		26-abril-2014		27-abril-2014		28-abril-2014		29-abril-2014		
Muestra 41		Muestra 42		Muestra 43		Muestra 44		Muestra 45		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
1	18	15	13	7	16	11	17	6	30	13
2	16	13	12	5	16	10	10	8	23	10
3	22	17	19	17	21	14	11	7	15	7
4	23	14	22	15	14	6	15	11	26	13
5	22	6	29	28	17	11	18	9	17	7
6	26	18	21	20	19	15	20	15	13	4
7	13	9	9	8	20	19	21	10	16	11
8	16	6	8	6	22	22	20	8	16	6
9	22	20	16	8	16	12	12	4	19	11
10	17	13	20	17	12	10	13	7	17	9
11	22	20	20	11	20	18	10	6	15	8
12	25	22	19	16	18	14	18	14	16	6
13	23	20	18	10	26	16	15	10	30	20
14	14	9	23	9	25	11	21	16	20	18
15	11	8	8	2	13	9	21	12	23	9
16	11	6	17	12	11	6	22	18	17	15
17	14	11	15	10	11	5	29	22	14	7
18	10	7	7	6	20	14	20	15	16	12
19	12	6	9	7	27	15	15	7	21	10

Continuación - Cuadro No.173: Datos de medición de elongación de cristales del 25 al 29 de abril del 2014.										
25-abril-2014		26-abril-2014		27-abril-2014		28-abril-2014		29-abril-2014		
Muestra 41		Muestra 42		Muestra 43		Muestra 44		Muestra 45		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
20	15	7	19	16	26	11	16	8	18	8
21	15	9	18	11	16	9	17	4	17	7
22	16	5	12	10	16	11	15	9	32	18
23	12	7	11	9	18	15	21	16	22	13
24	11	8	18	17	20	14	25	14	14	10
25	25	20	20	15	20	15	15	9	17	8
26	13	8	17	10	12	7	22	14	21	18
27	12	9	15	11	5	3	15	11	22	15
28	22	17	13	10	20	10	16	9	21	11
29	14	6	10	6	11	5	19	10	24	13
30	14	11	14	11	24	14	18	14	30	16
31	8	3	18	10	19	12	18	9	27	15
32	10	7	19	10	16	11	14	7	17	11
33	7	4	11	9	17	9	20	13	20	9
34	11	5	24	18	26	10	27	20	14	6
35	16	10	21	16	21	15	26	18	18	12
36	21	15	23	11	13	7	16	8	25	18
37	9	4	24	18	15	9	20	12	17	10
38	11	8	12	7	23	15	14	10	12	11
39	16	13	30	24	18	10	12	6	18	9
40	21	5	19	14	16	11	15	7	13	6
Promedio	15.9	10.525	16.825	11.925	17.9	11.525	17.725	10.825	19.575	11
Relación de elongación	1.511		1.411		1.553		1.637		1.78	

Cuadro No. 174: Datos de medición de elongación de cristales del 30 de abril al 04 de mayo del 2014.

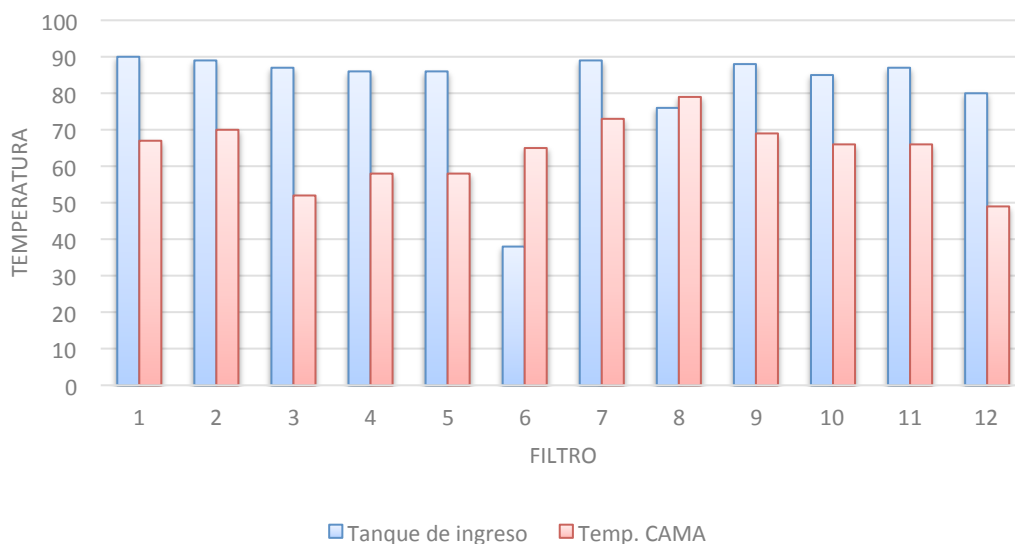
	30-abril-2014		01-mayo-2014		02-mayo-2014		03-mayo-2014		04-mayo-2014	
	Muestra 46		Muestra 47		Muestra 48		Muestra 49		Muestra 50	
	Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1	
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho
1	25	10	23	9	36	24	30	13	23	8
2	24	7	23	7	17	5	23	11	23	6
3	11	2	20	4	13	4	23	12	12	7
4	5	4	12	7	5	4	31	13	16	9
5	7	5	22	7	22	16	15	6	13	6
6	13	4	15	13	22	14	17	6	20	7
7	3	3	14	4	15	7	20	7	25	18
8	29	4	19	5	16	7	19	9	36	14
9	28	15	23	8	9	4	17	5	30	5
10	17	6	12	3	10	8	18	6	5	1
11	15	4	2	3	19	7	17	12	20	8
12	25	18	19	10	18	6	26	7	20	14
13	24	14	17	5	25	12	26	11	10	10
14	28	9	20	5	37	16	23	6	10	3
15	27	8	16	4	29	18	16	4	25	25
16	19	6	13	3	17	13	23	8	8	7
17	20	6	24	14	23	15	18	5	22	16
18	15	5	26	9	17	12	14	5	13	10
19	16	3	20	3	20	13	10	6	20	10
20	24	7	17	7	15	7	16	4	25	11
21	21	8	18	6	10	4	15	4	9	3
22	16	4	17	10	11	8	28	20	19	7
23	18	5	20	10	23	10	22	15	20	7
24	22	10	20	5	23	11	20	9	11	9
25	22	5	20	15	16	11	6	5	22	18
26	16	4	12	5	12	5	15	6	13	10
27	13	4	22	9	9	4	6	3	20	19
28	17	5	11	10	19	7	32	25	11	4
29	16	7	22	9	9	5	16	7	22	11
30	16	5	11	11	16	9	14	14	20	9
31	20	6	20	8	6	4	9	8	20	6
32	22	7	7	14	15	10	20	2	9	4
33	20	7	19	10	16	4	8	5	27	8
34	17	7	19	7	19	8	11	3	19	4
35	21	6	29	6	3	1	22	10	16	7

Continuación - Cuadro No.174: Datos de medición de elongación de cristales del 30 de abril al 04 de mayo del 2014.										
30-abril-2014		01-mayo-2014		02-mayo-2014		03-mayo-2014		04-mayo-2014		
Muestra 46		Muestra 47		Muestra 48		Muestra 49		Muestra 50		
Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		Campo 1		
Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
36	19	13	26	10	18	11	9	9	19	12
37	11	4	24	10	19	9	19	8	11	6
38	13	5	21	5	20	18	16	14	25	17
39	16	6	23	8	9	5	27	12	16	6
40	8	3	20	4	16	8	26	7	18	12
Promedio	17.97 5	6.525	18.45	7.55	16.85	9.1	18.57 5	8.55	18.07 5	9.35
Relación de elongación	2.755		2.444		1.852		2.173		1.933	

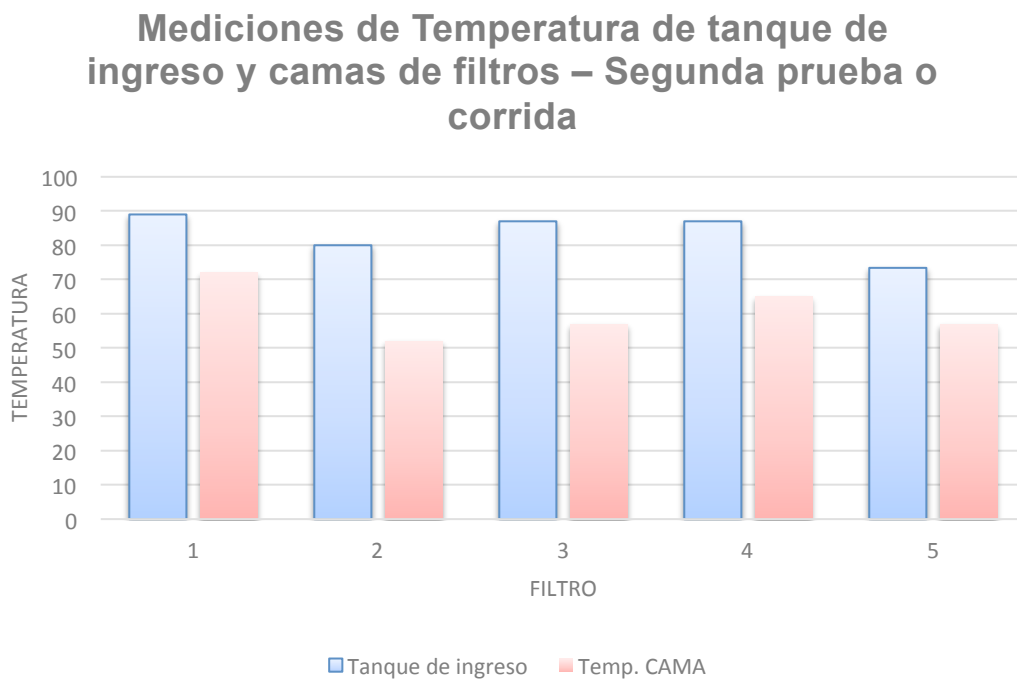
Estudio Preliminar en filtros de chachaza

Gráfica No. 90: Mediciones de temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – primera prueba o corrida.

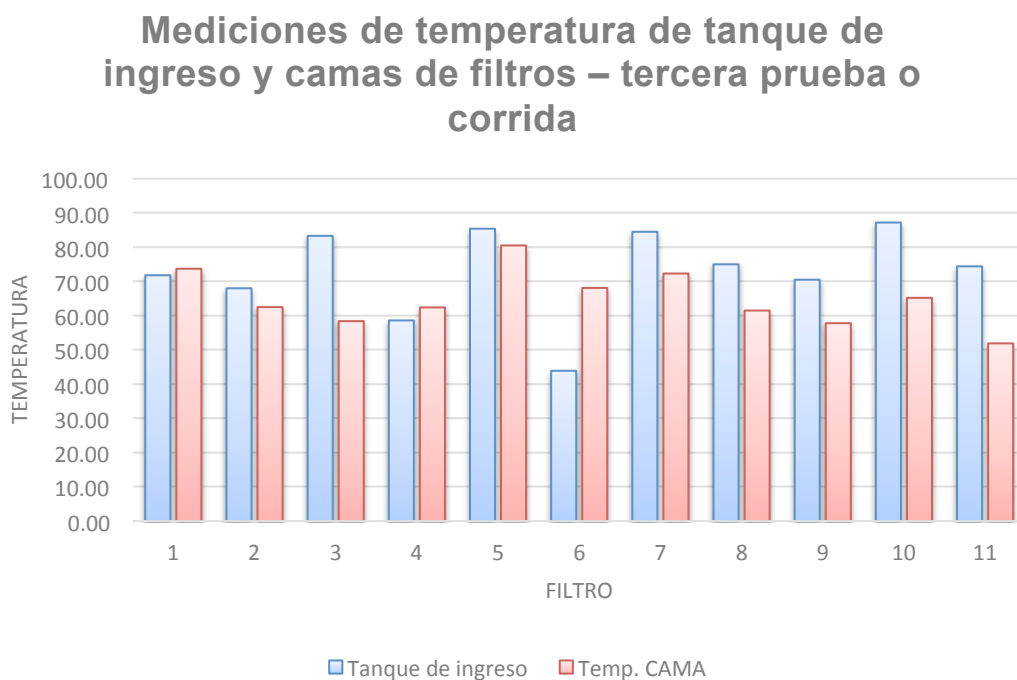
Mediciones de Temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – primera prueba o corrida.



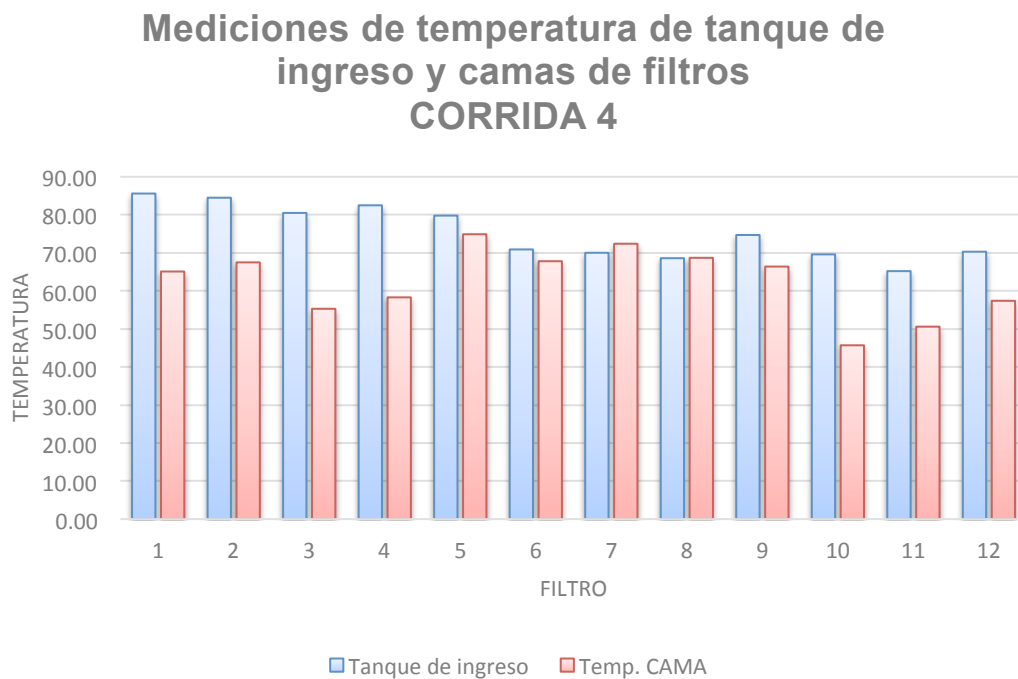
Gráfica No. 91: Mediciones de temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – segunda prueba o corrida.



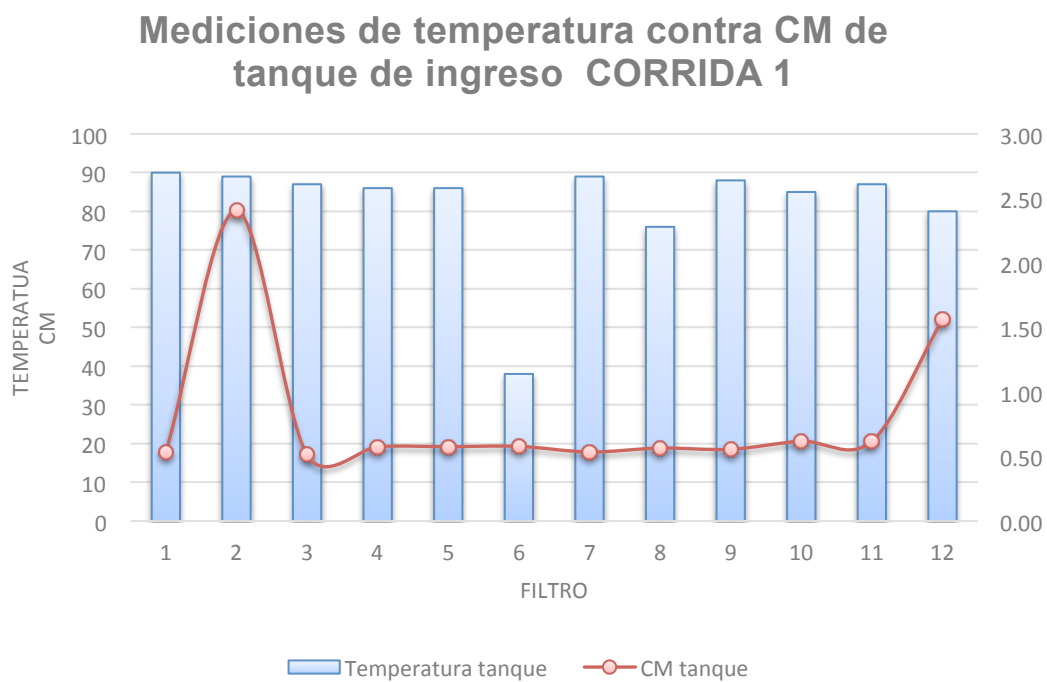
Gráfica No. 92: Mediciones de temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – tercera prueba o corrida



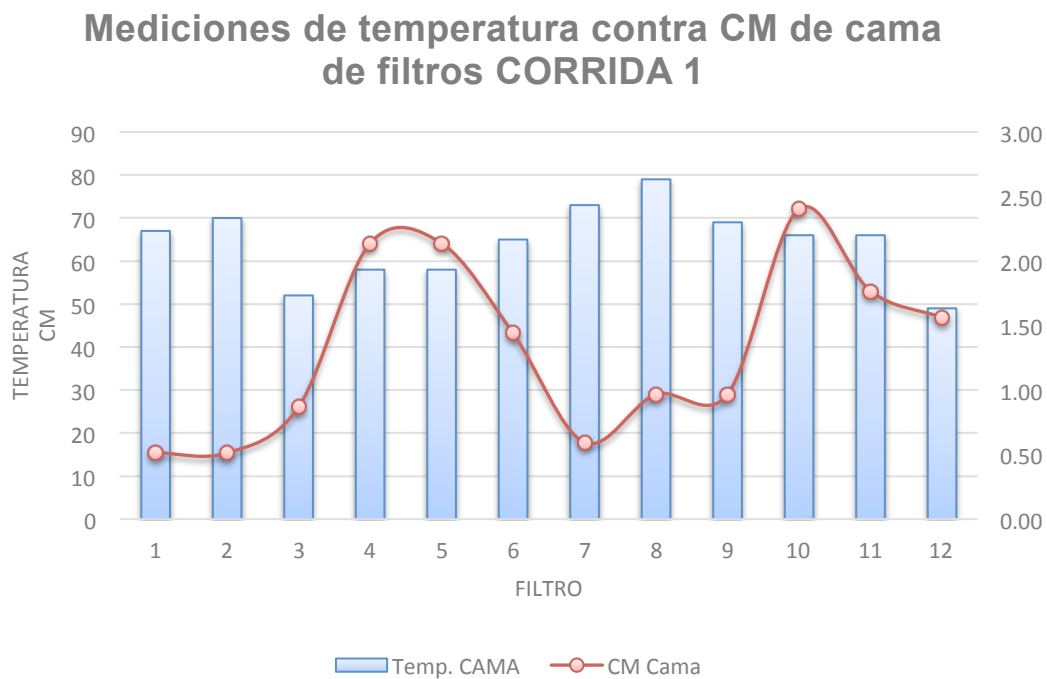
Gráfica No. 93: Mediciones de temperatura de tanque de ingreso y camas de filtros – cuarta prueba o corrida.



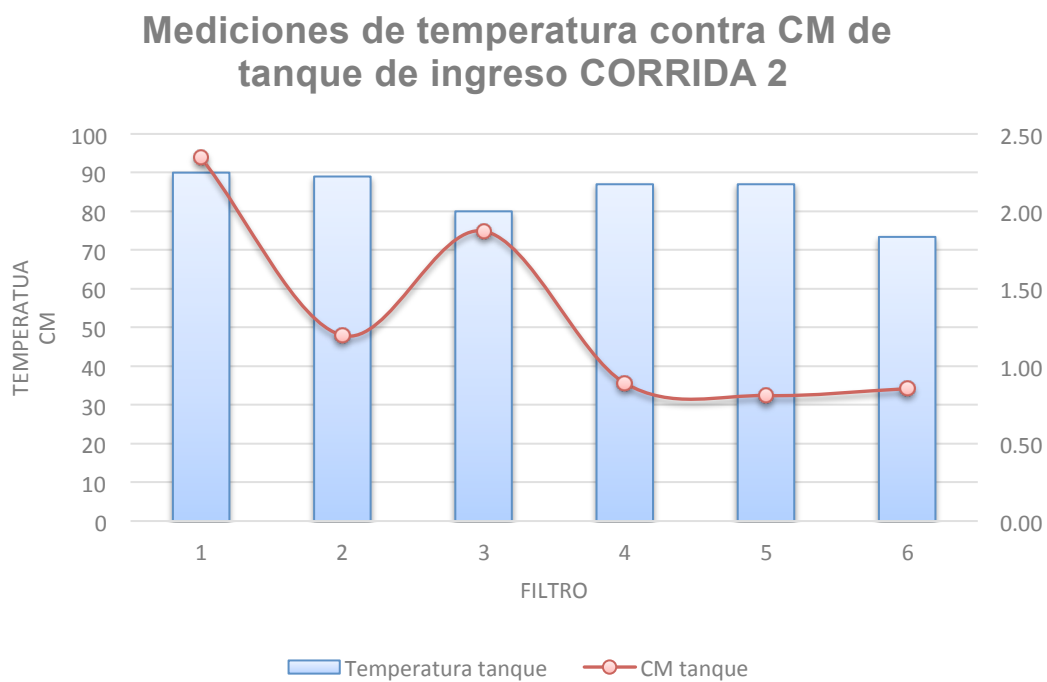
Gráfica No. 94: Mediciones de temperatura contra CM de tanque de ingreso – prueba o corrida 1.



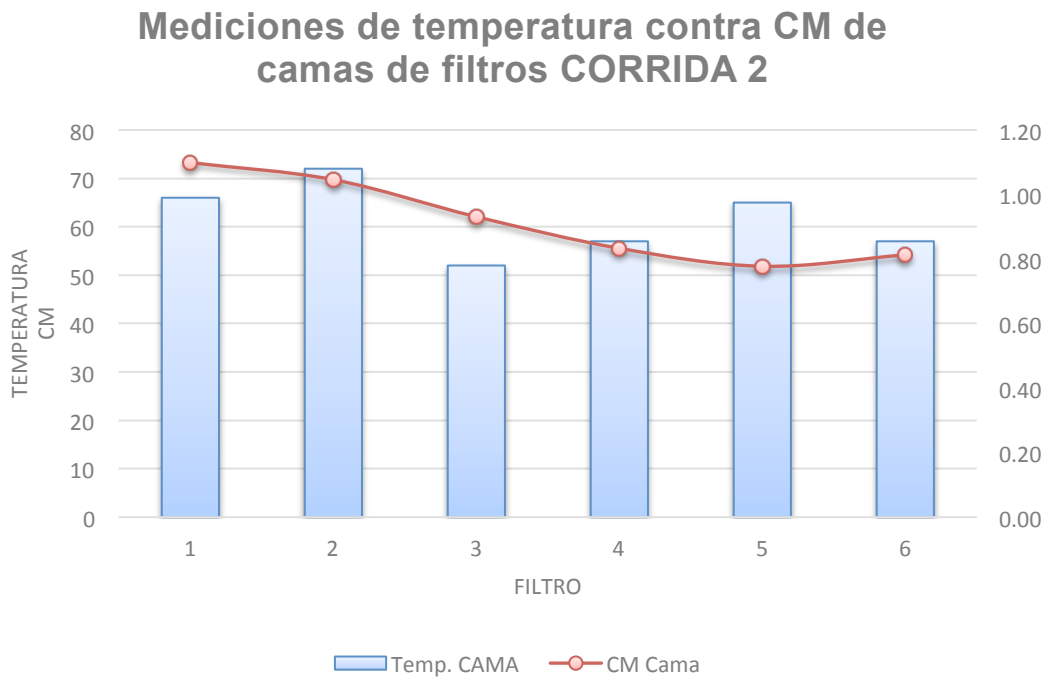
Gráfica No. 95: Mediciones de temperatura contra CM de cama de filtros – primera prueba o corrida.



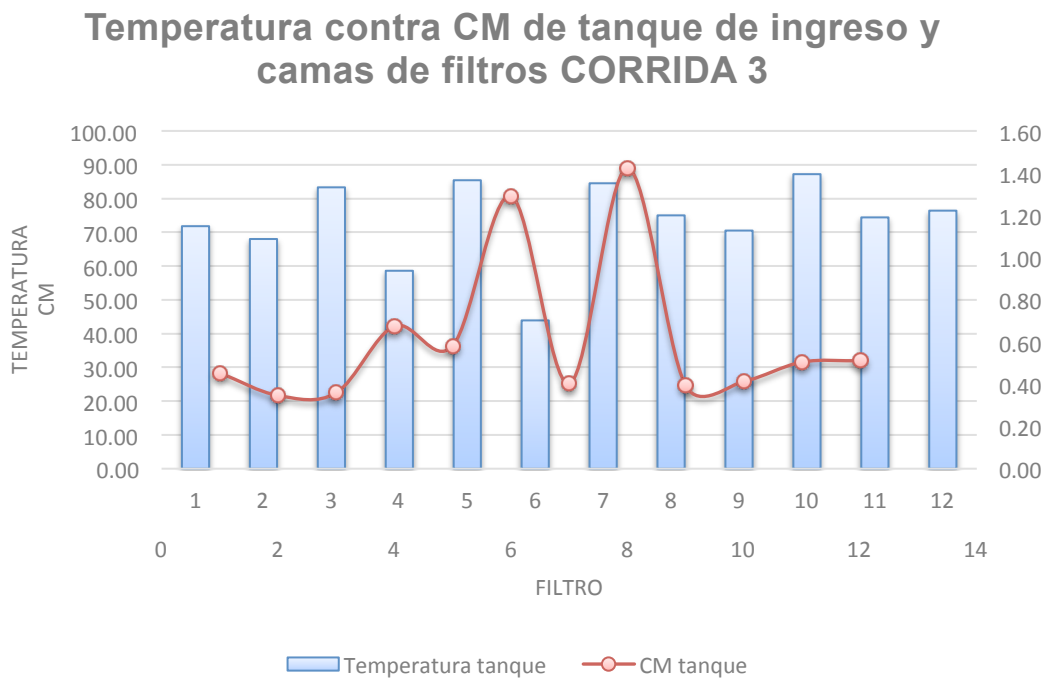
Gráfica No. 96: Mediciones de temperatura contra CM de tanque de ingreso – segunda prueba o corrida.



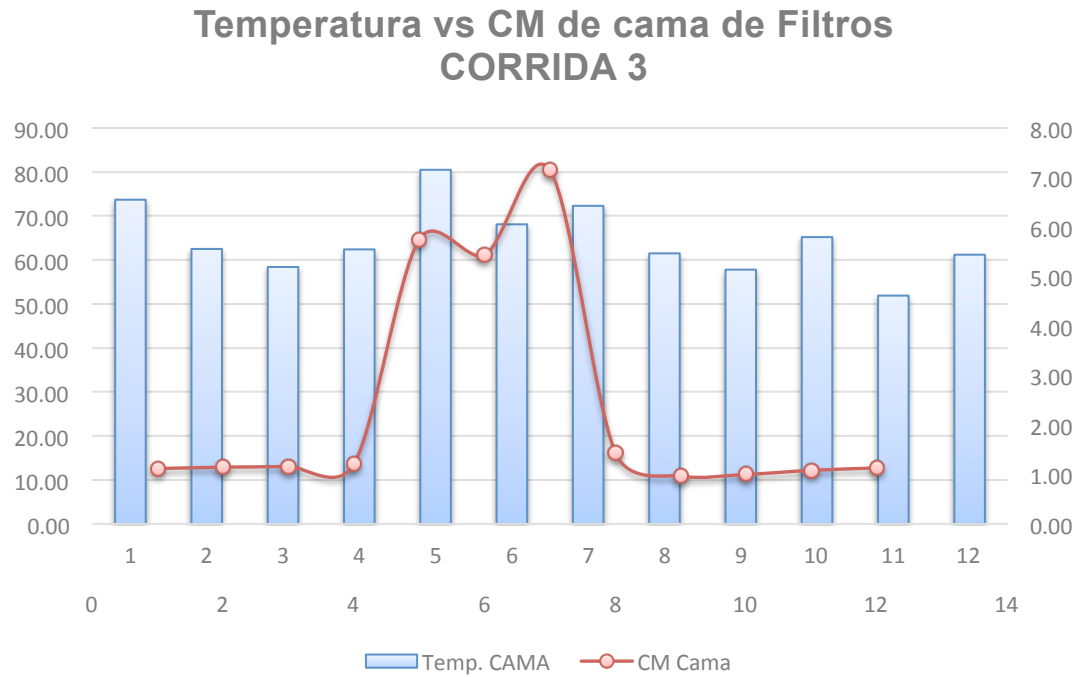
Gráfica No. 97: Mediciones de temperatura contra CM de camas de filtros – segunda prueba o corrida.



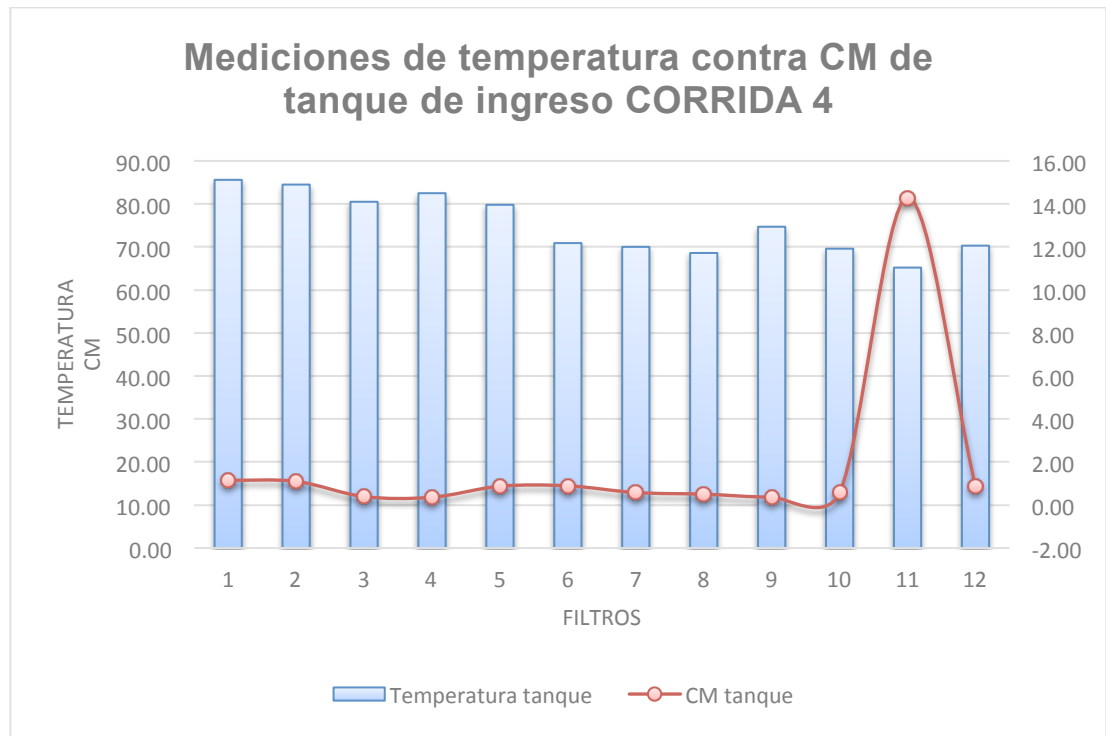
Gráfica No. 98: Mediciones de temperatura contra CM de tanque de ingreso y camas de filtros – tercera prueba o corrida.



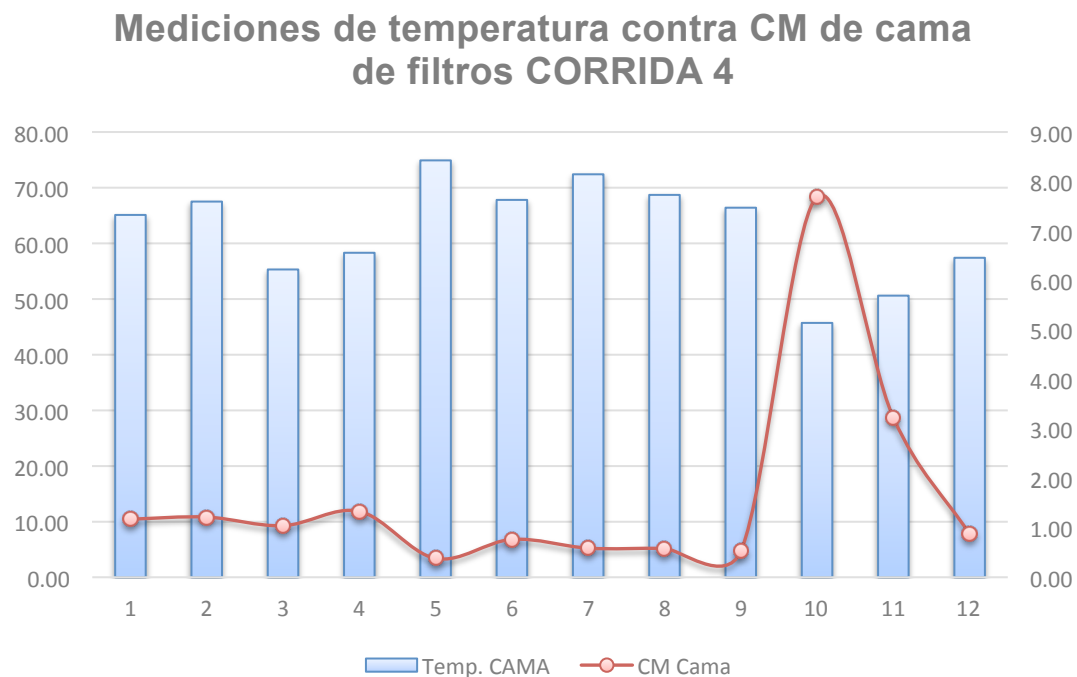
Gráfica No. 99: Mediciones de temperatura contra CM de camas de filtros – tercera prueba o corrida.



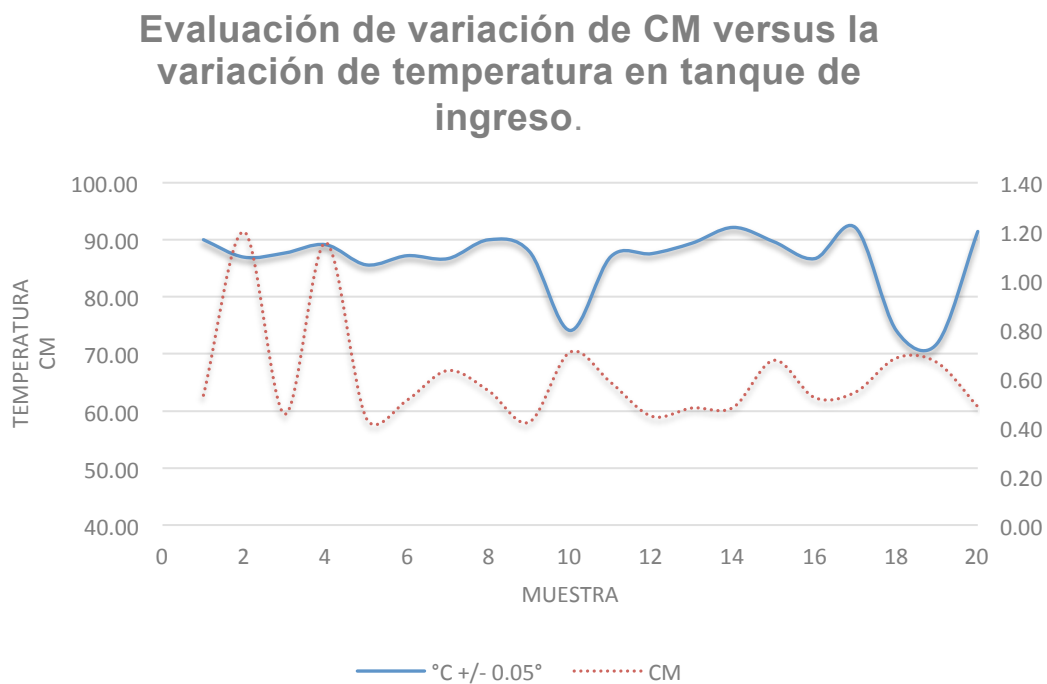
Gráfica No. 100: Mediciones de temperatura contra CM de tanque de ingreso– cuarta prueba o corrida.



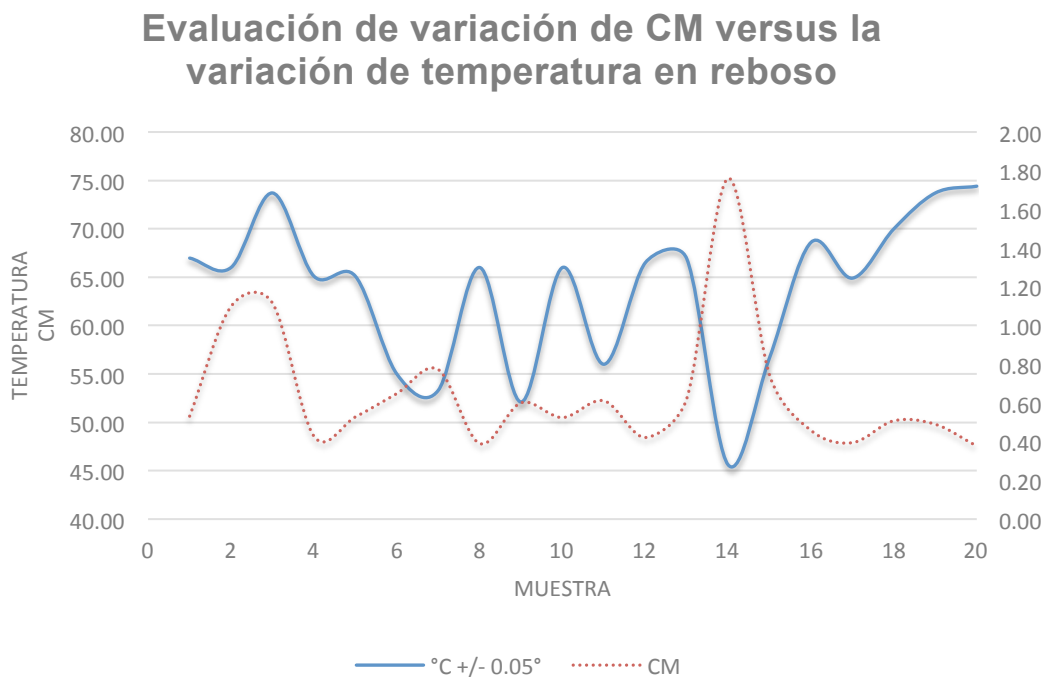
Gráfica No. 101: Mediciones de temperatura contra CM de cama de filtros – cuarta prueba o corrida.



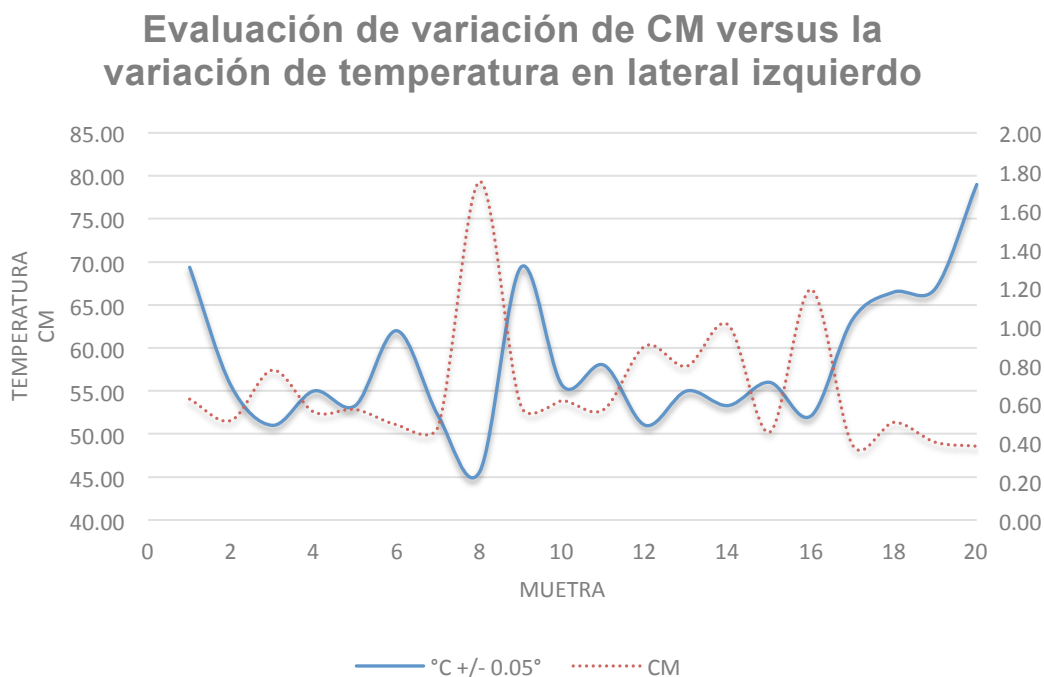
Gráfica No. 102: Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.



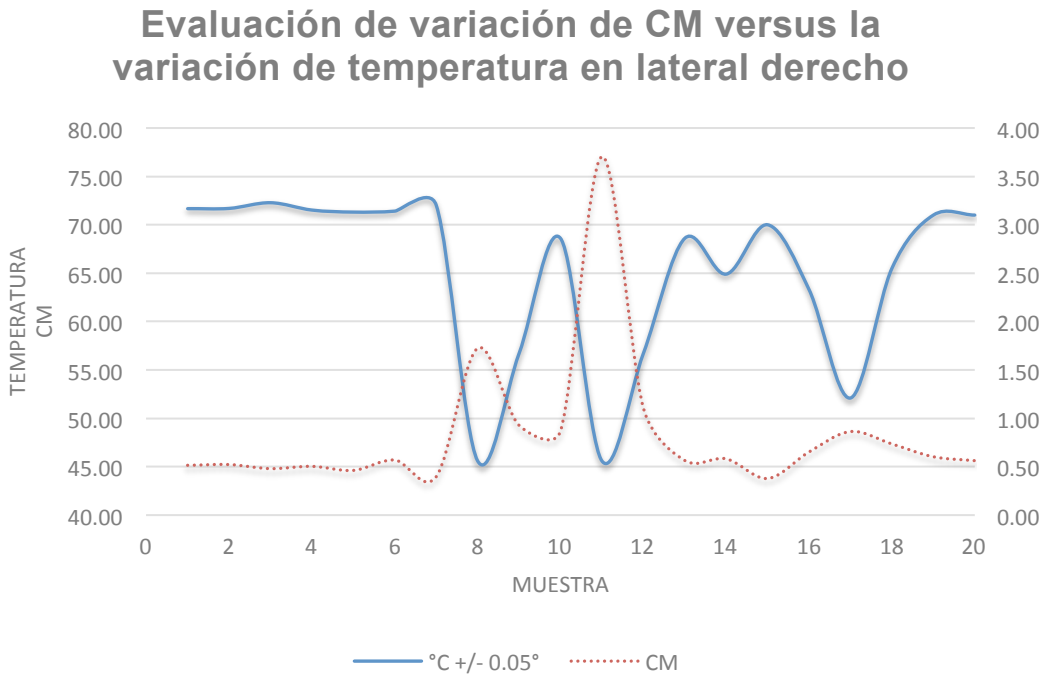
Gráfica No. 103: Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.



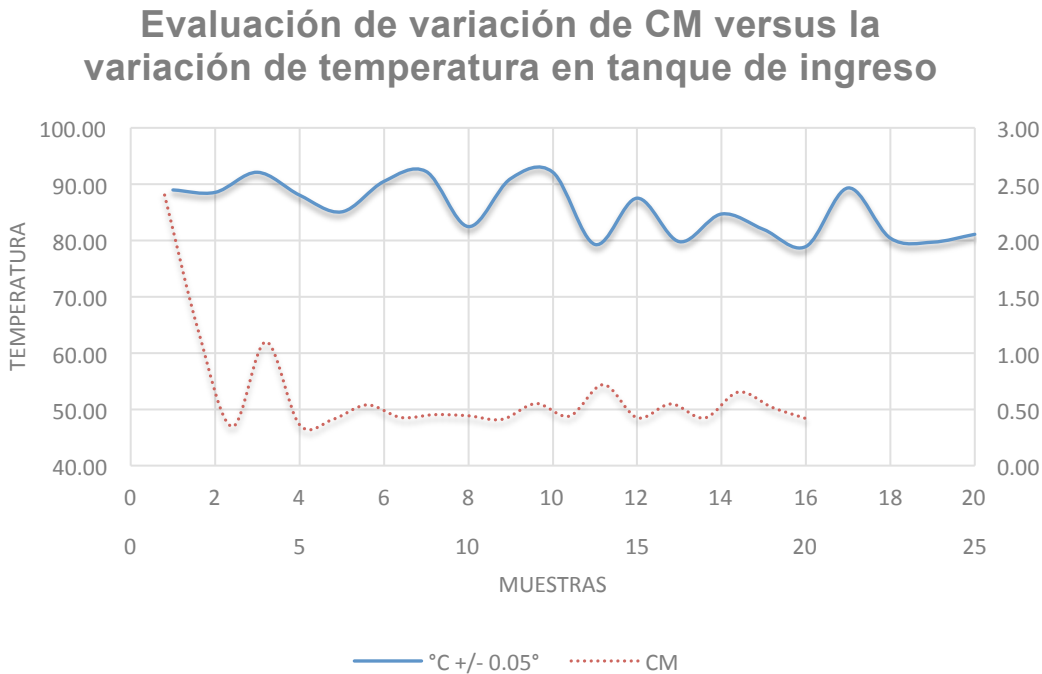
Gráfica No. 104: Filtro No. 1 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo.



Gráfica No. 105: Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho.

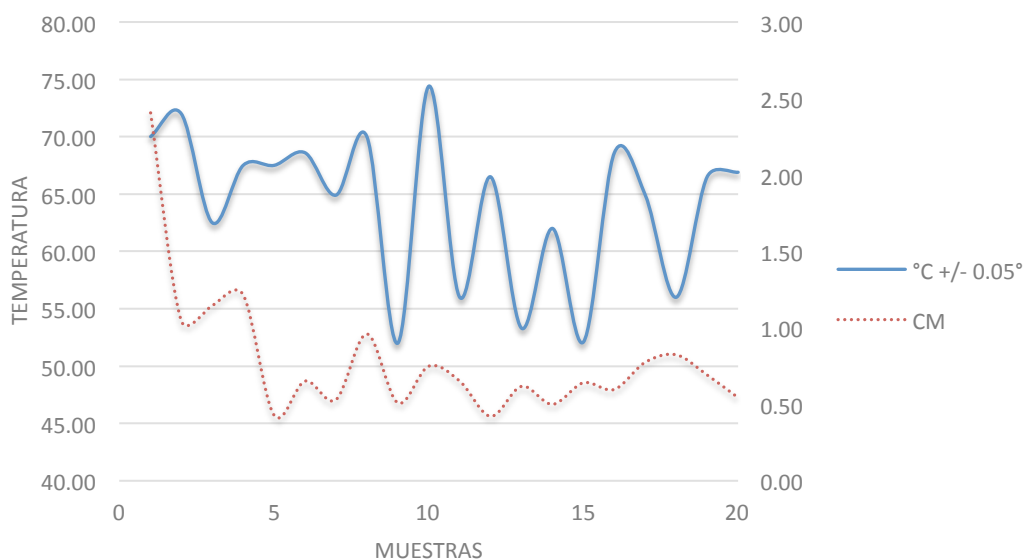


Gráfica No. 106: Filtro No. 2- Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso



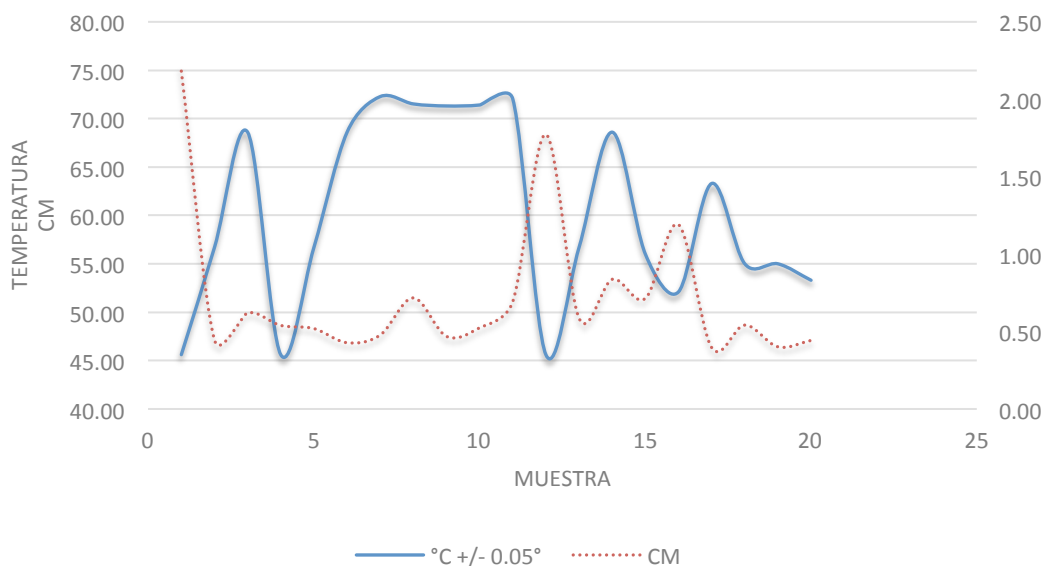
Gráfica No. 107: Filtro No. 2 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.

- Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso

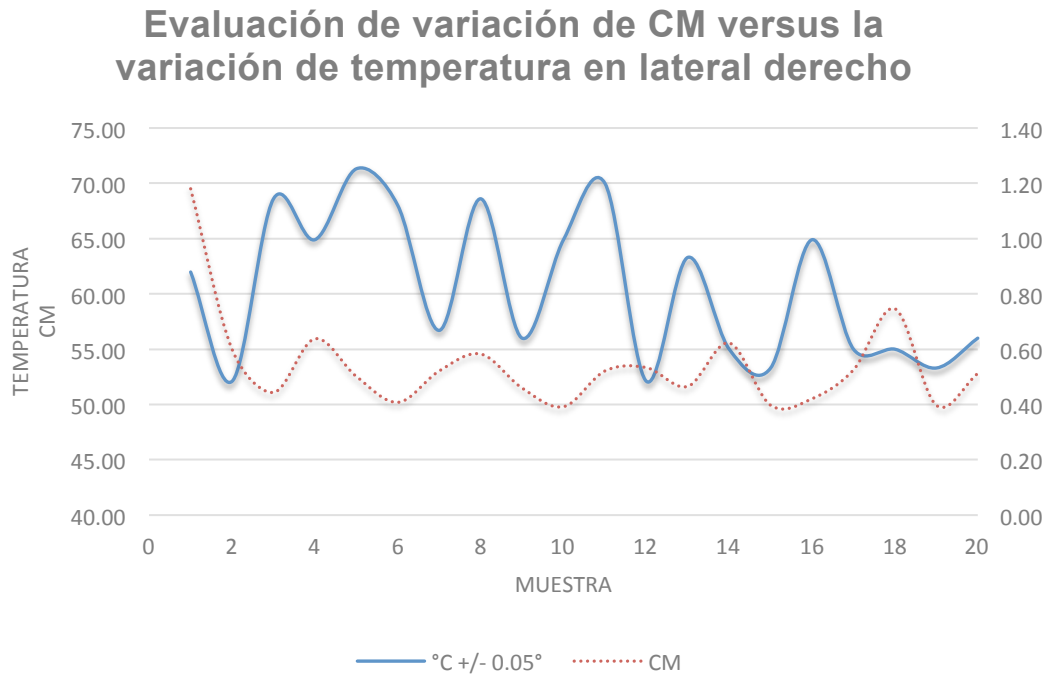


Gráfica No. 108: Filtro No. 2 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo.

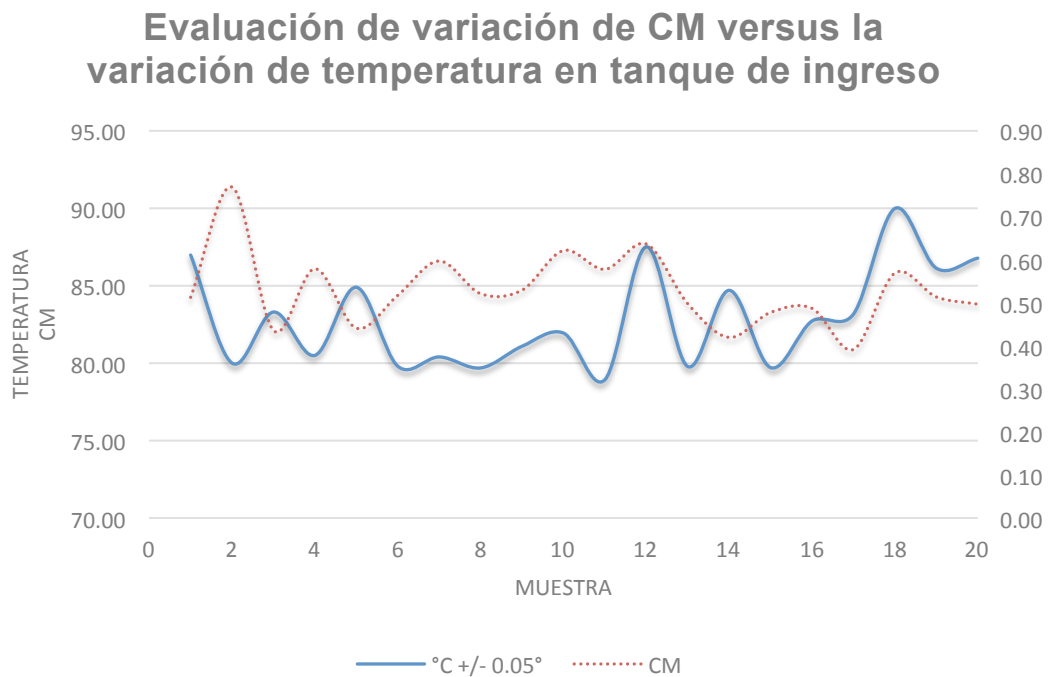
Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo



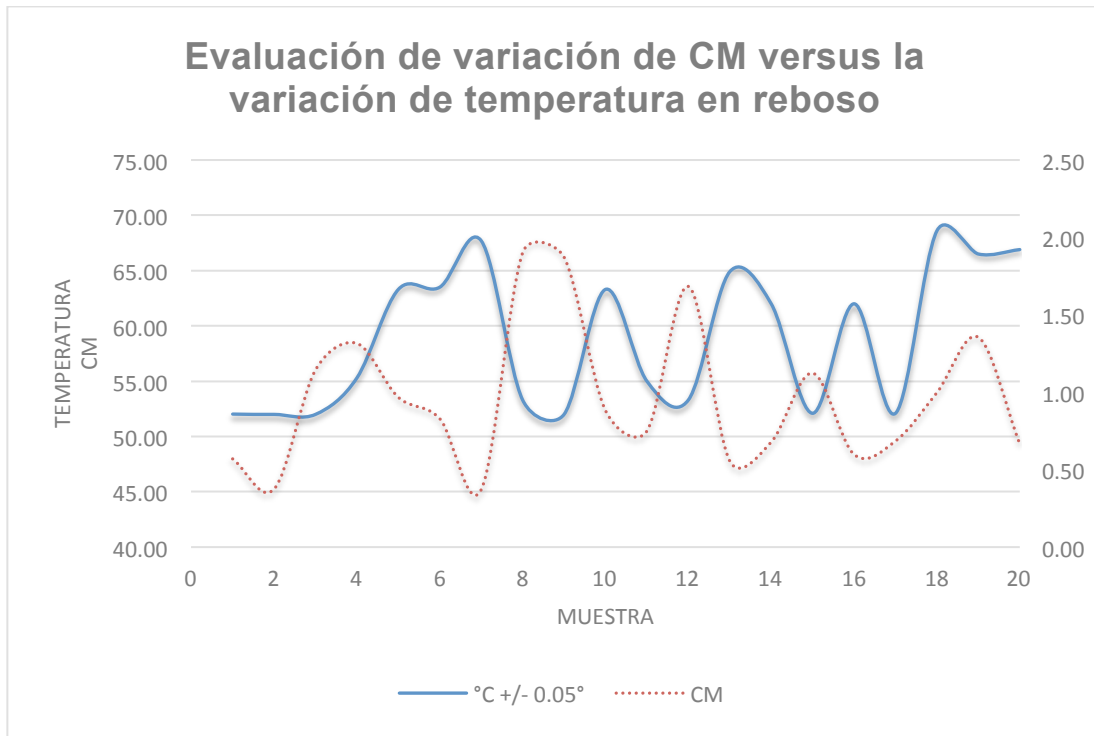
Gráfica No. 109: Filtro No. 2 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho.



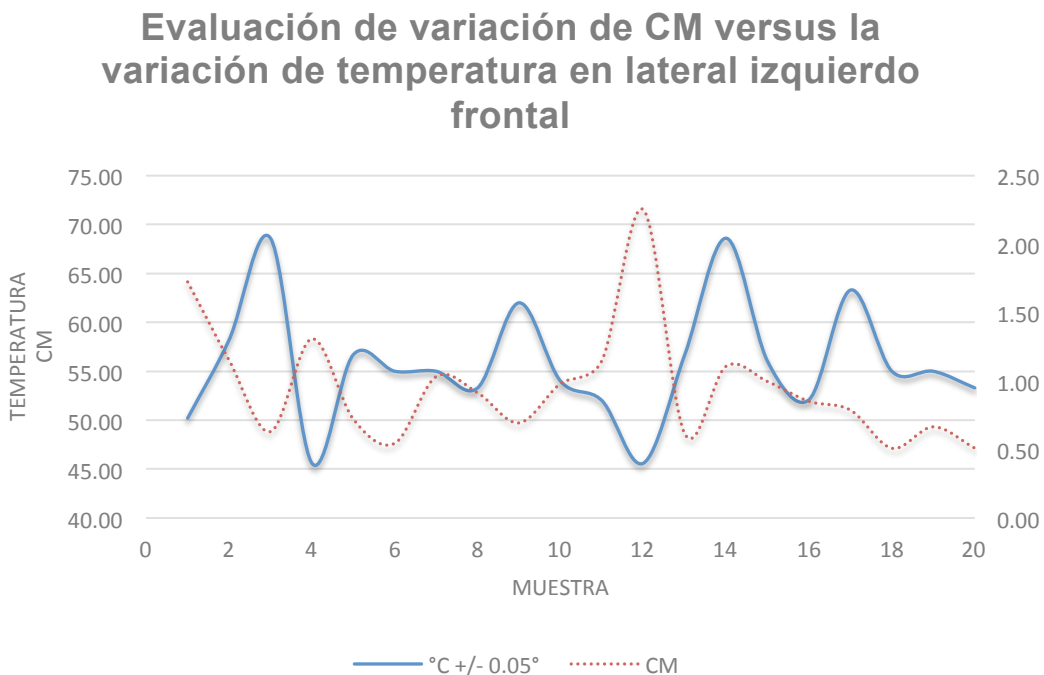
Gráfica No. 110: Filtro No. 3 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.



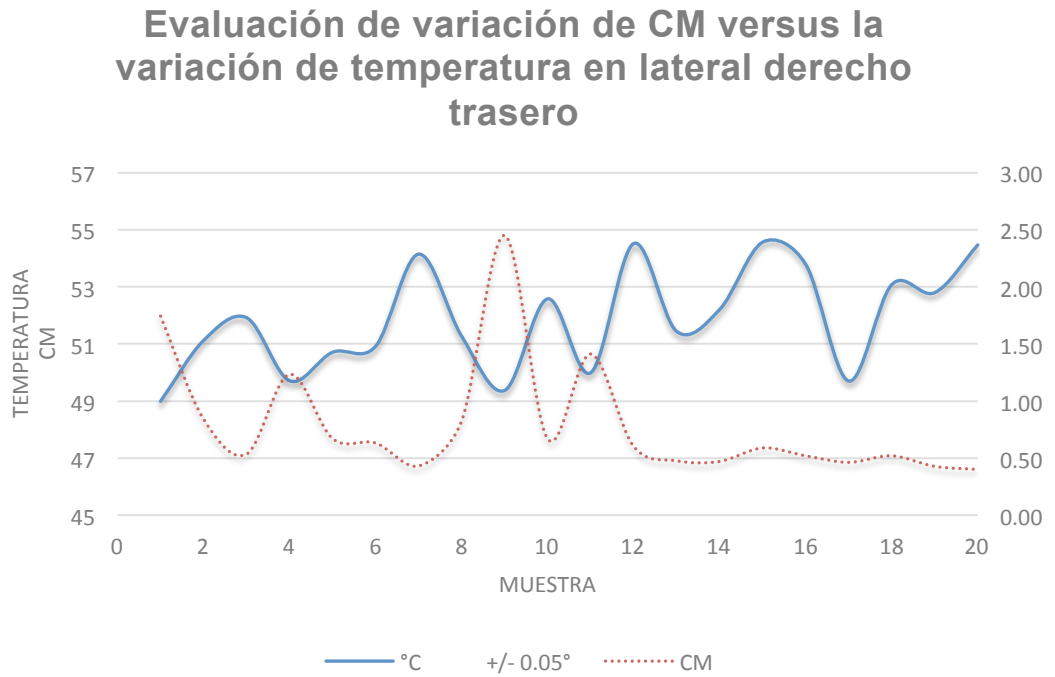
Gráfica No. 111: Filtro No. 3 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.



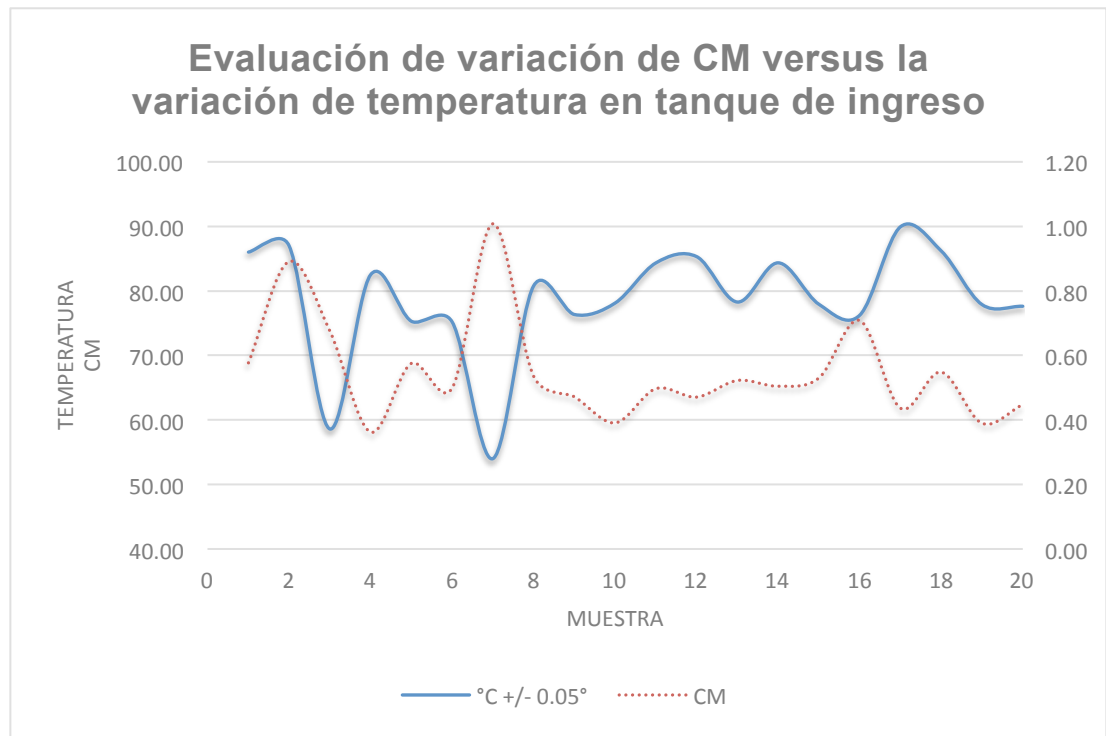
Gráfica No. 112: Filtro No. 3 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.



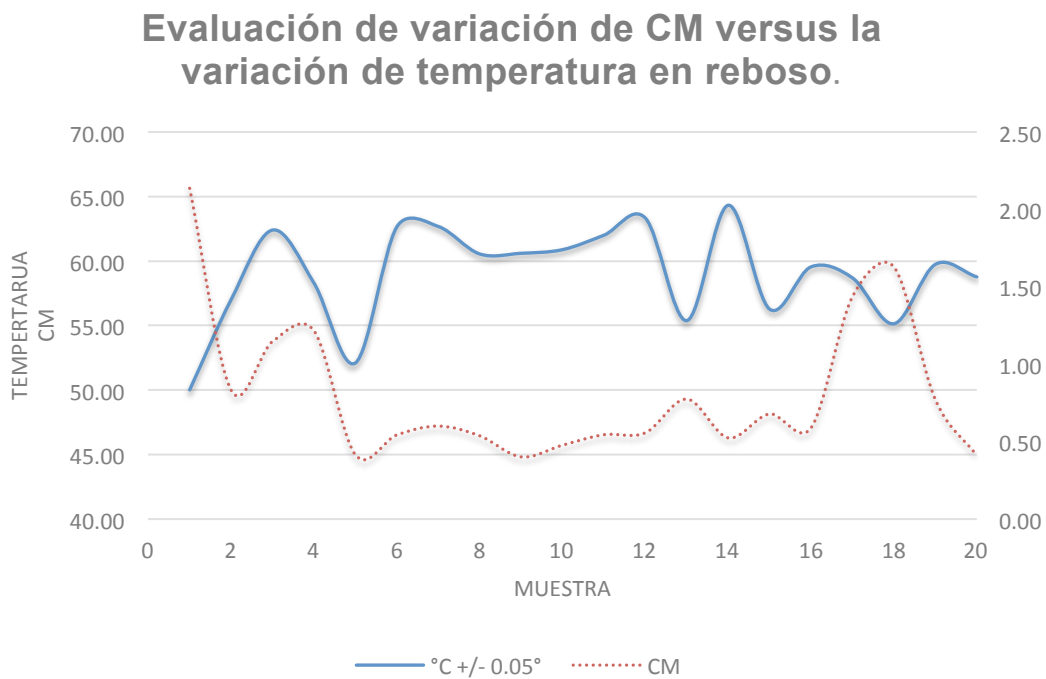
Gráfica No. 113: Filtro No. 3 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.



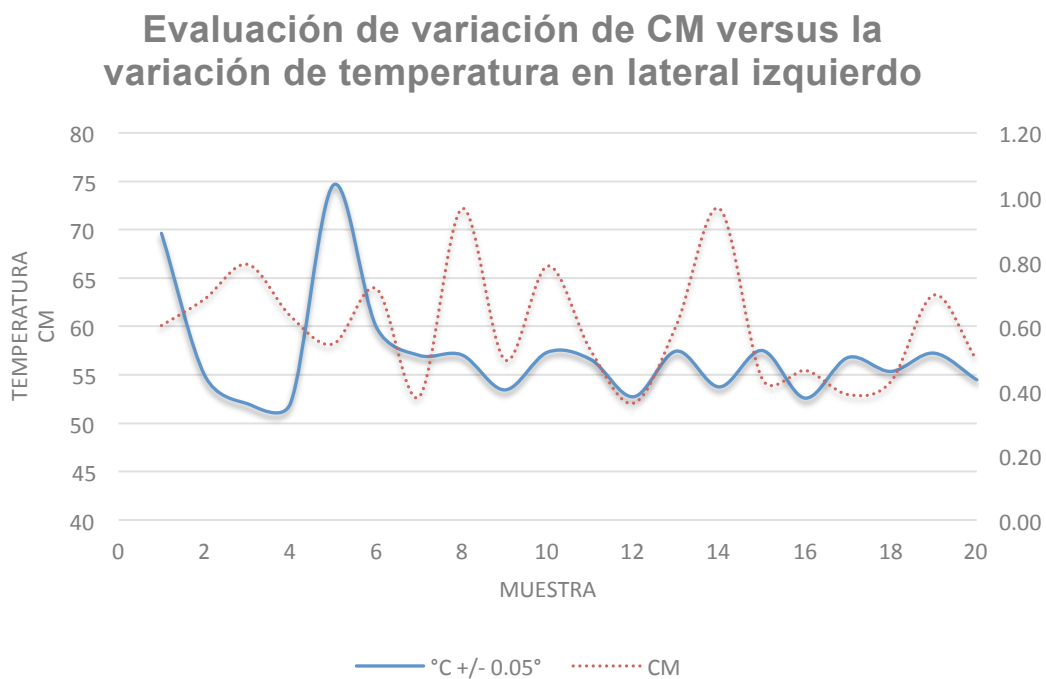
Gráfica No. 114: Filtro No. 4 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.



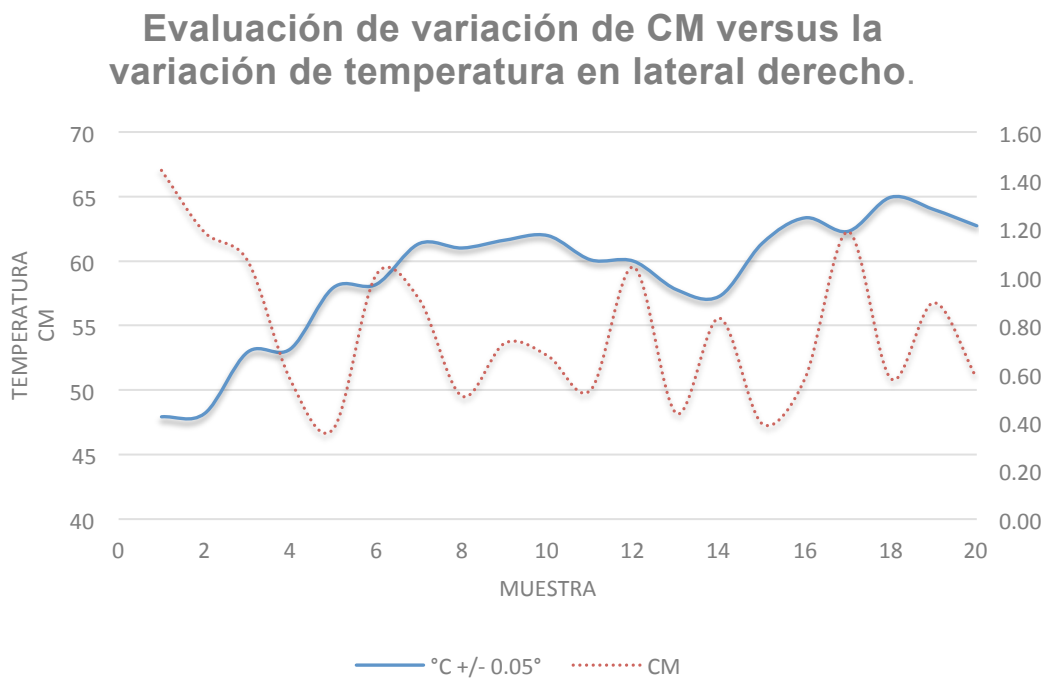
Gráfica No. 115: Filtro No. 4 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.



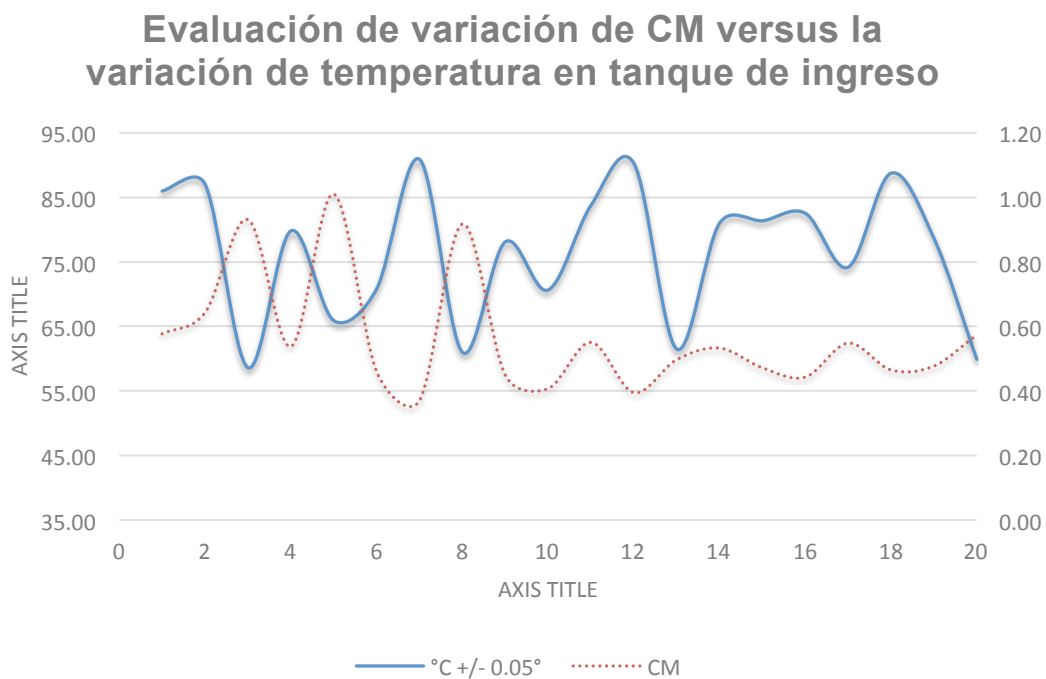
Gráfica No. 116: Filtro No. 4 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo.



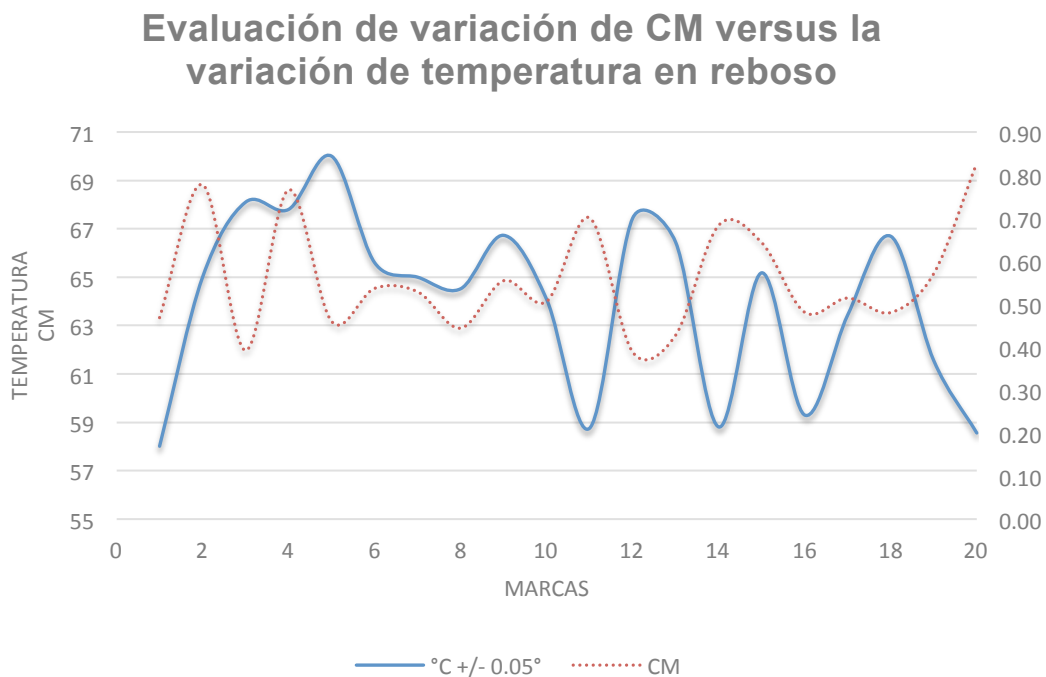
Gráfica No. 117: Filtro No. 4 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho.



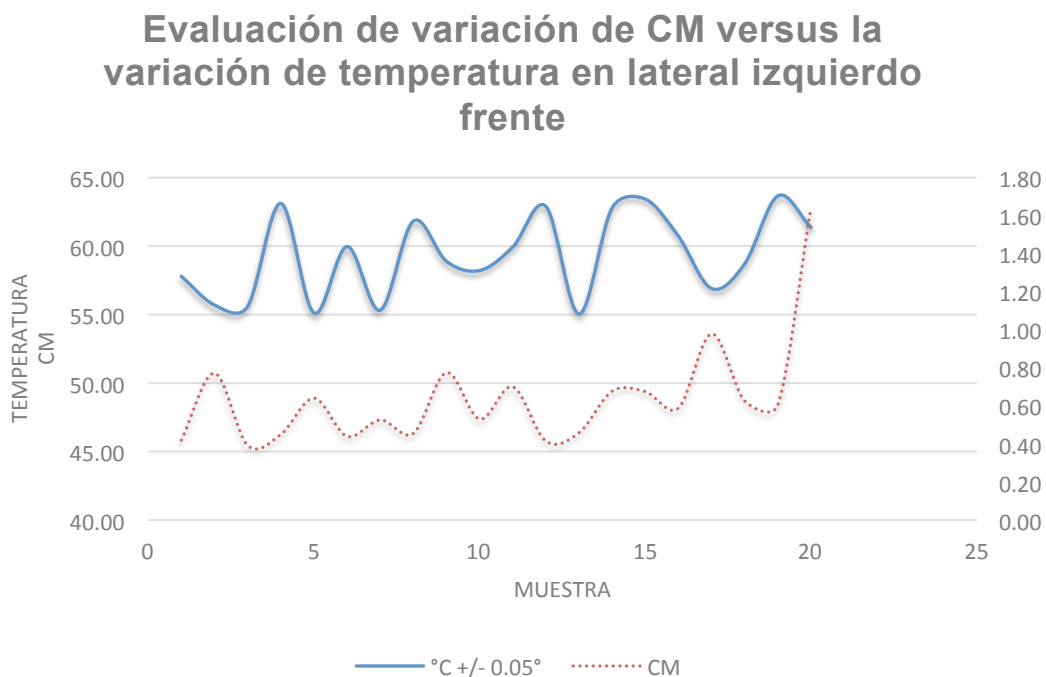
Gráfica No. 118: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.



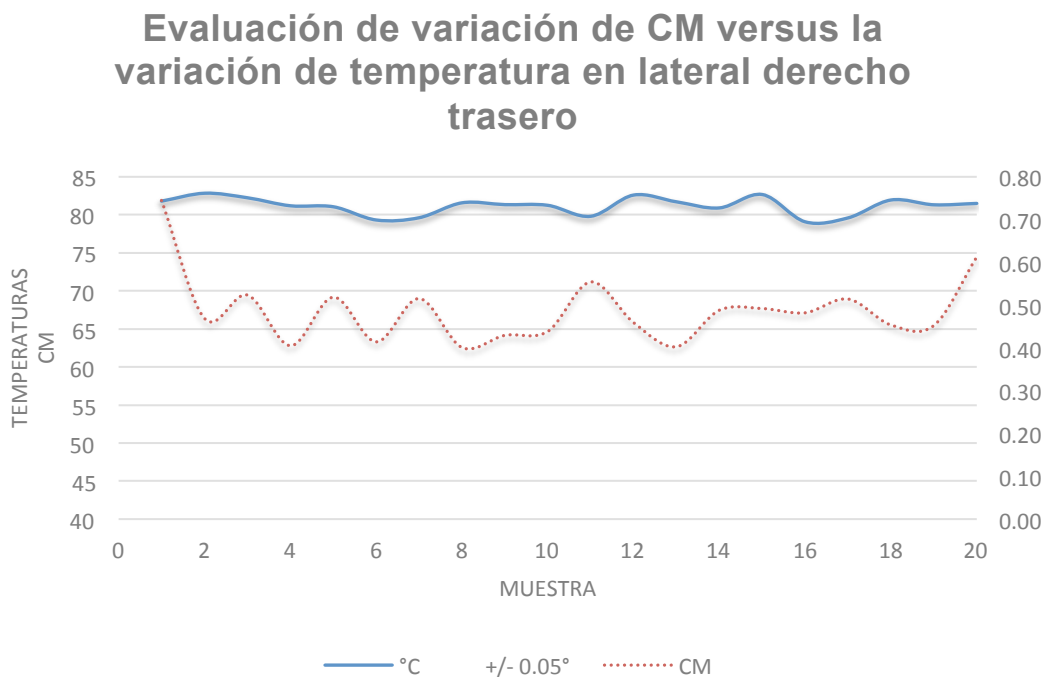
Gráfica No. 119: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.



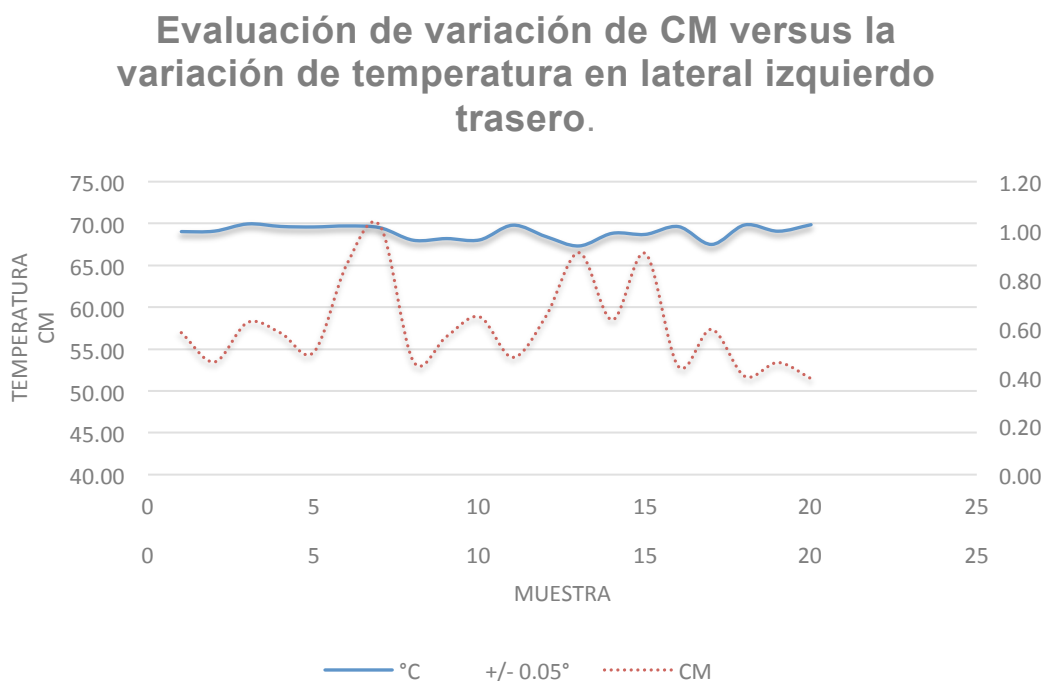
Gráfica No. 120: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frente.



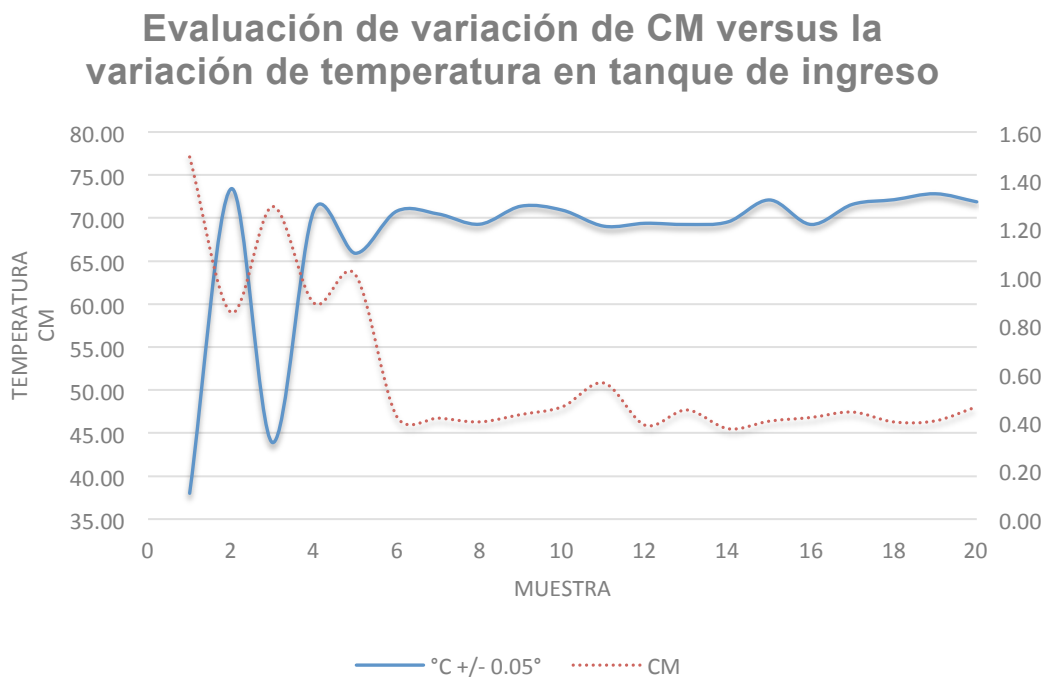
Gráfica No. 121: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.



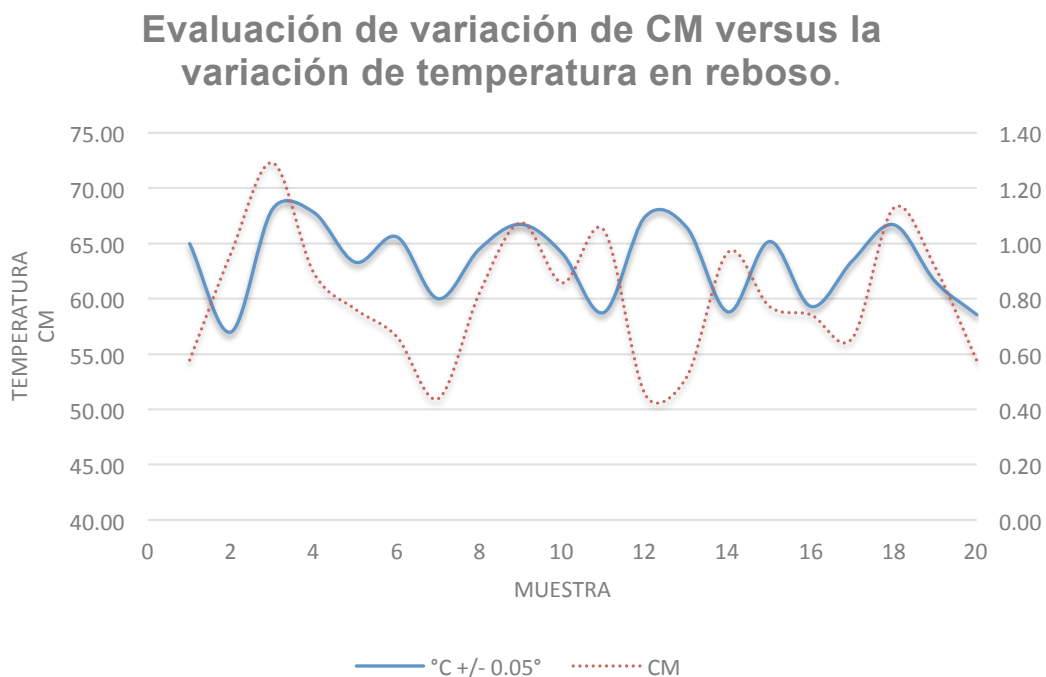
Gráfica No. 122: Filtro No. 5 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.



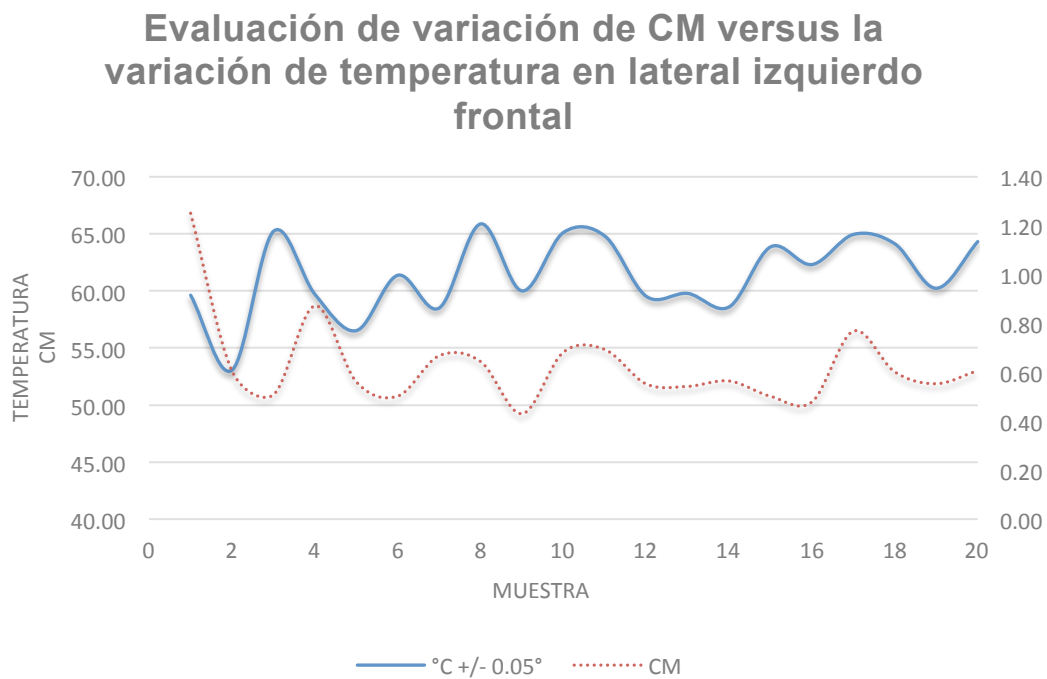
Gráfica No. 123: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.



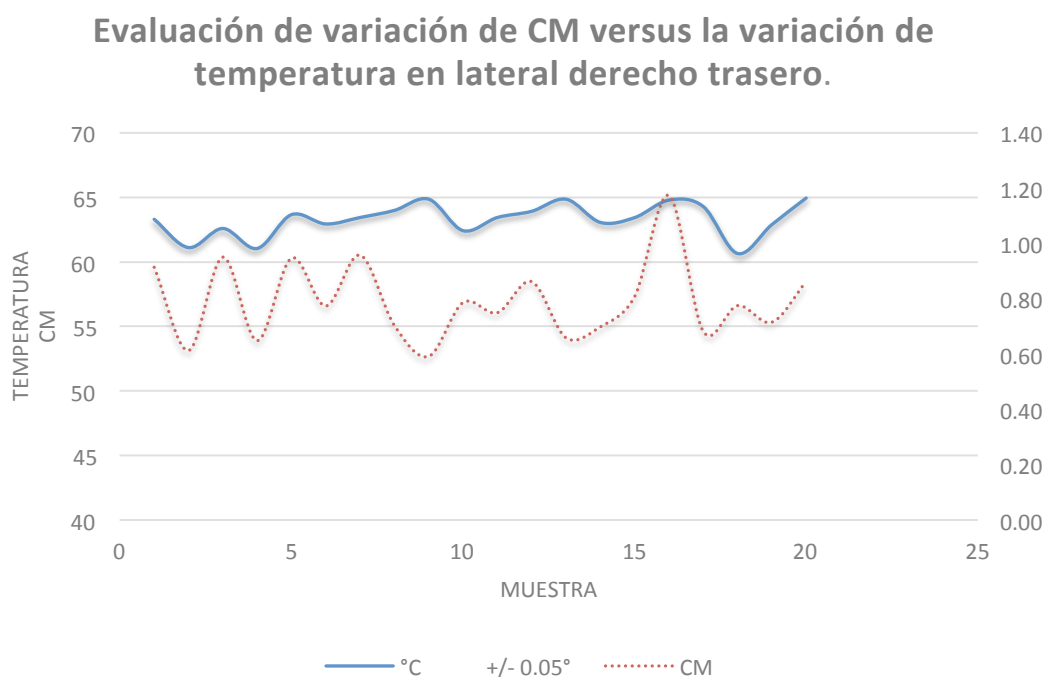
Gráfica No. 124: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.



Gráfica No. 125: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.

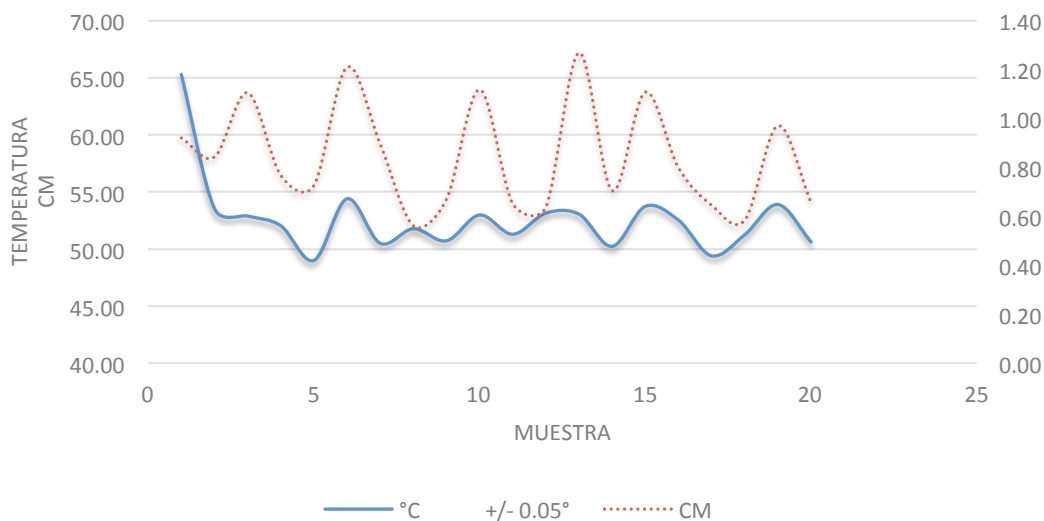


Gráfica No. 126: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.



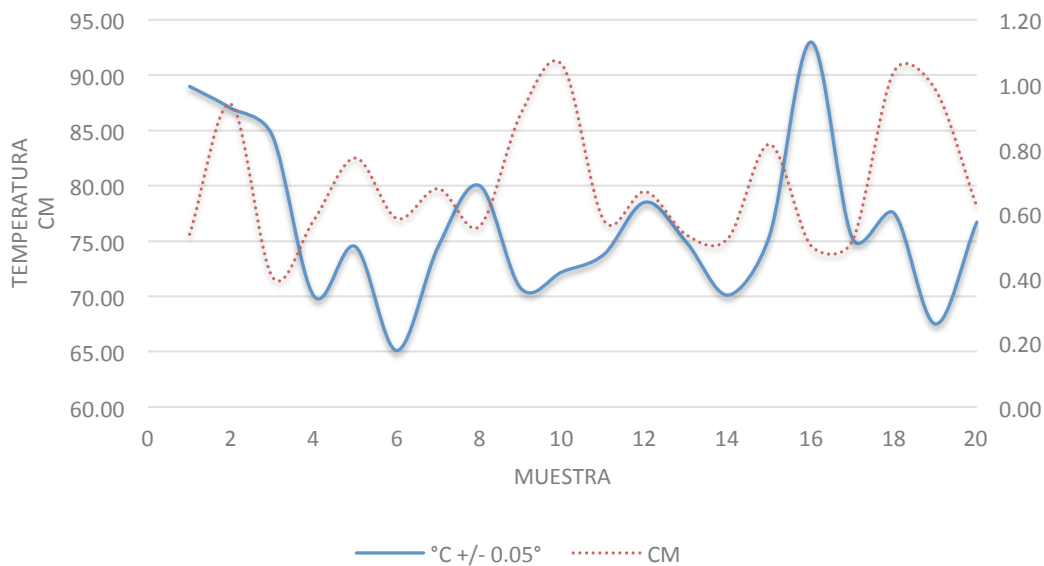
Gráfica No. 127: Filtro No. 6 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.

Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero

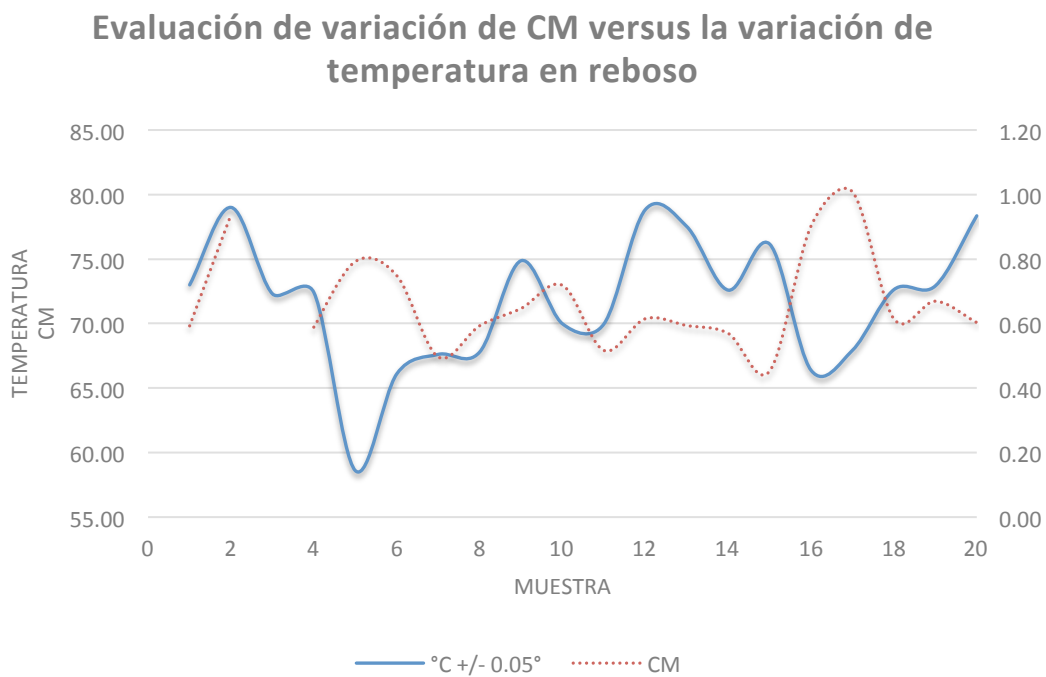


Gráfica No. 128: Filtro No. 7 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.

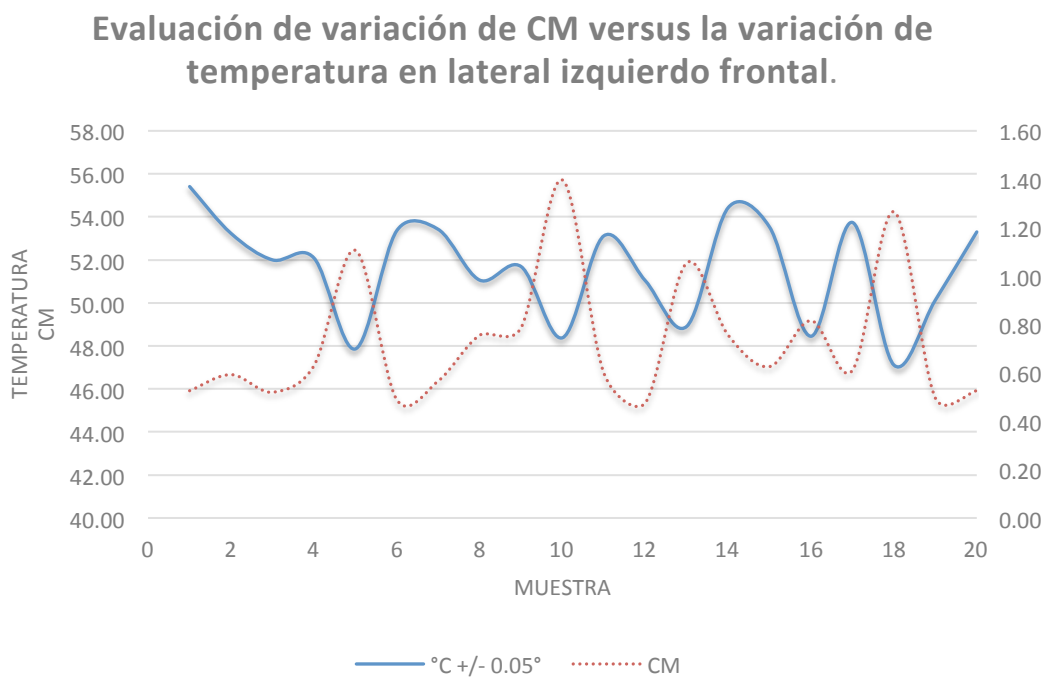
Temperatura vs CM tanque de ingreso



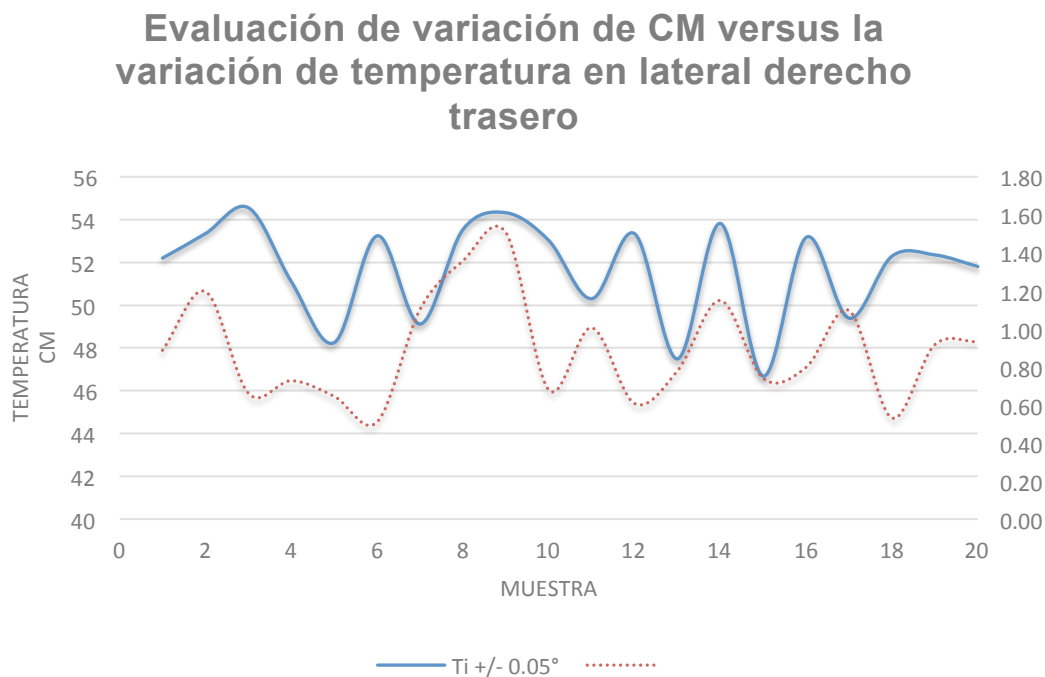
Gráfica No. 129: Filtro No. 7- Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso



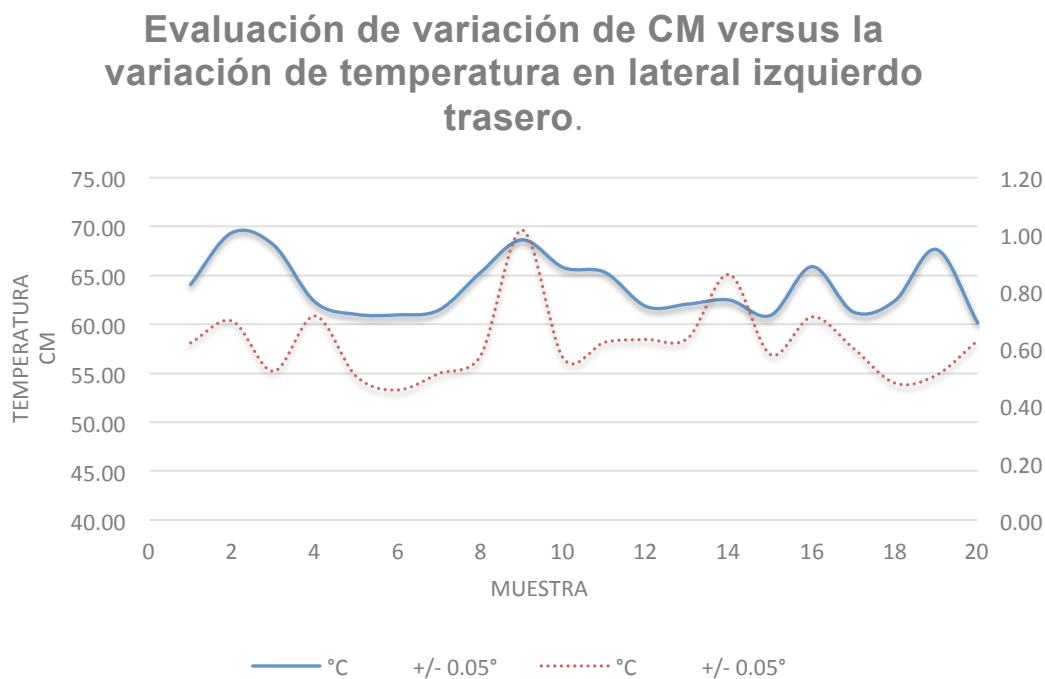
Gráfica No. 130: Filtro No. 7 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.



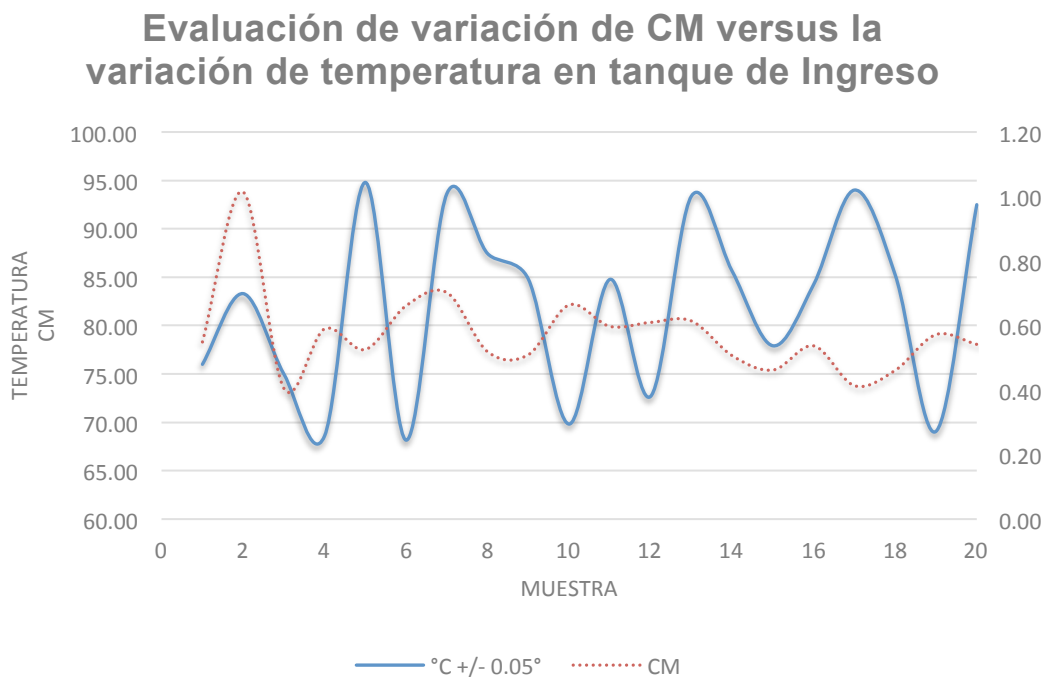
Gráfica No. 131: Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.



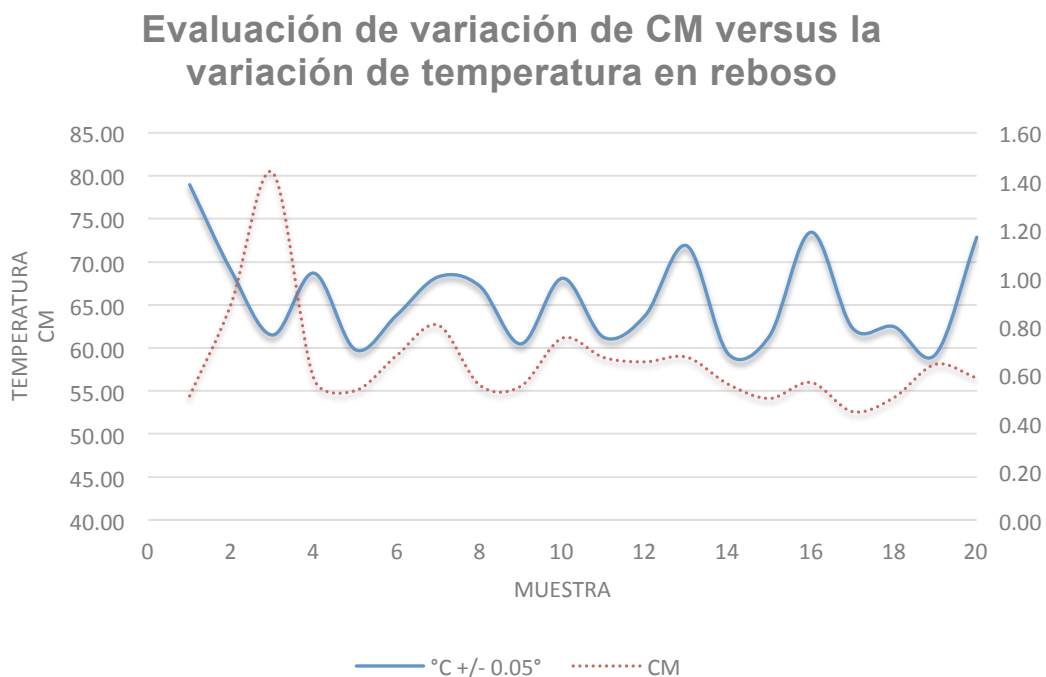
Gráfica No. 132: Filtro No. 7 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.



Gráfica No. 133: Filtro 8- Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de Ingreso.

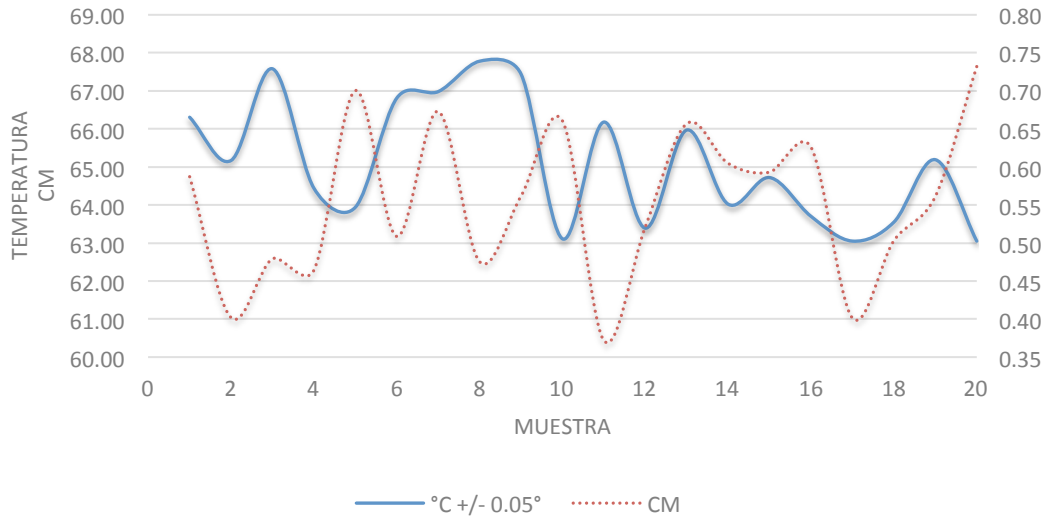


Gráfica No. 134: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso



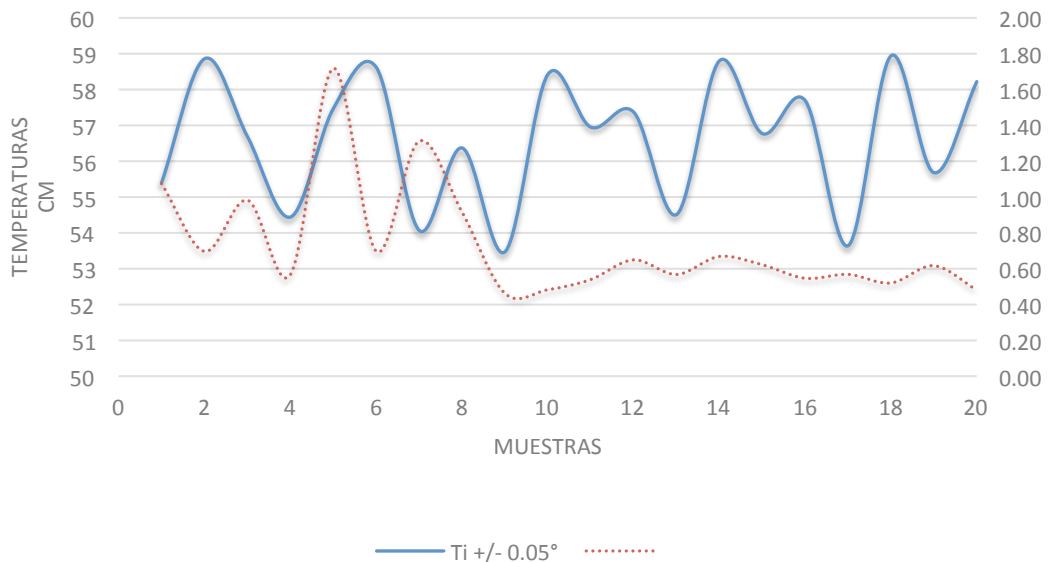
Gráfica No. 135: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.

Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal



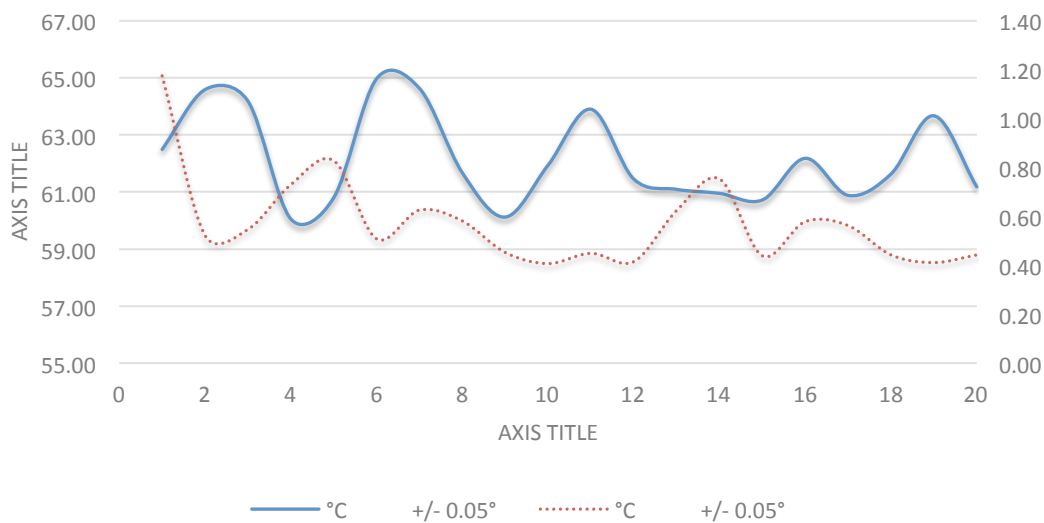
Gráfica No. 136: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura lateral derecho atrás.

Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura lateral derecho atrás



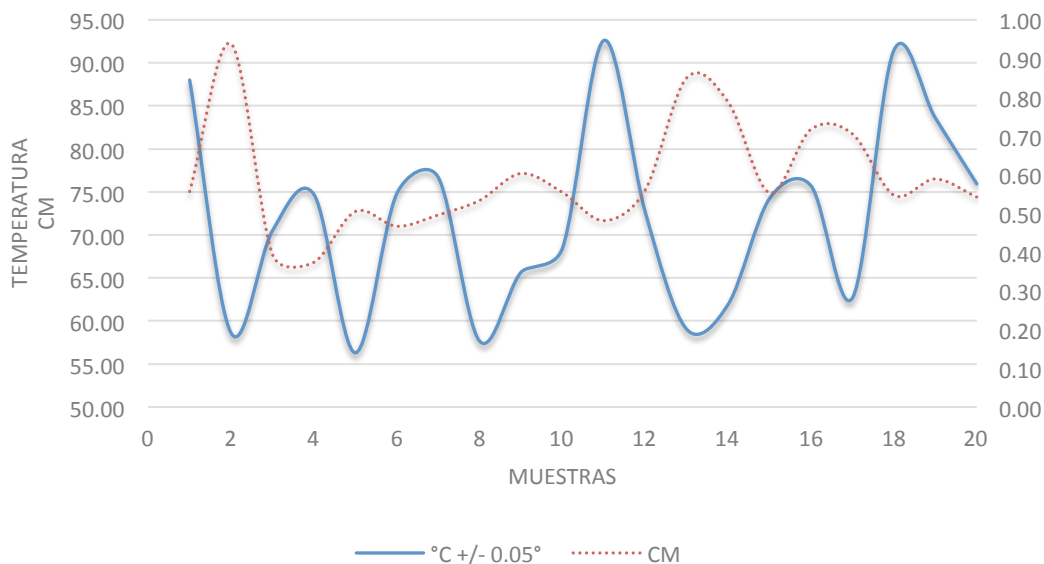
Gráfica No. 137: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.

Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero

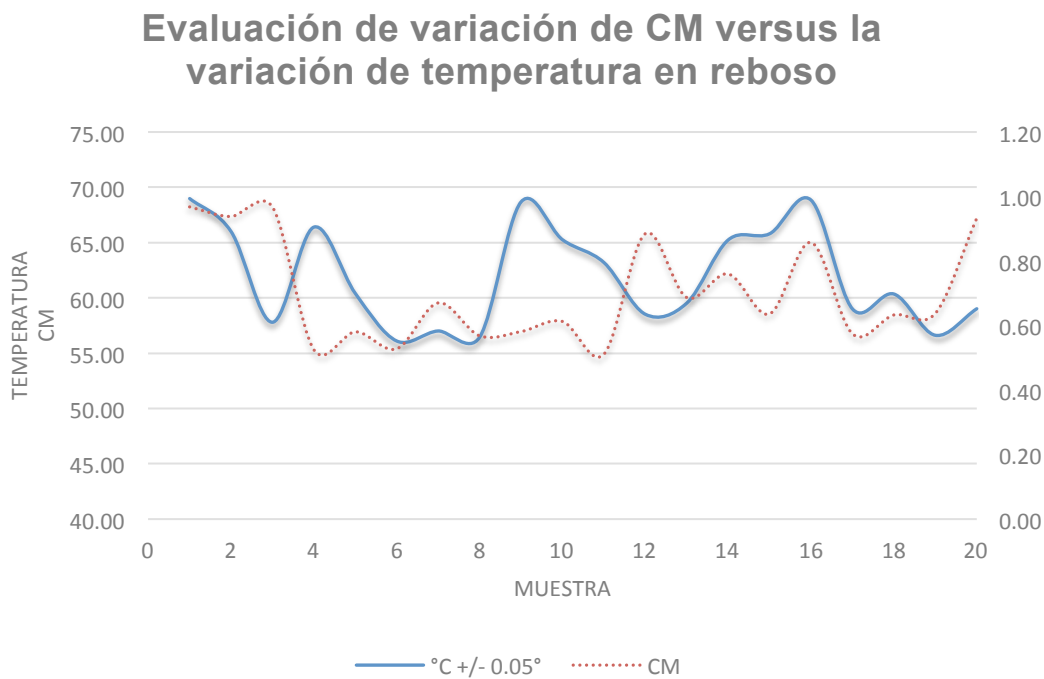


Gráfica No. 138: Filtro No. 9 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.

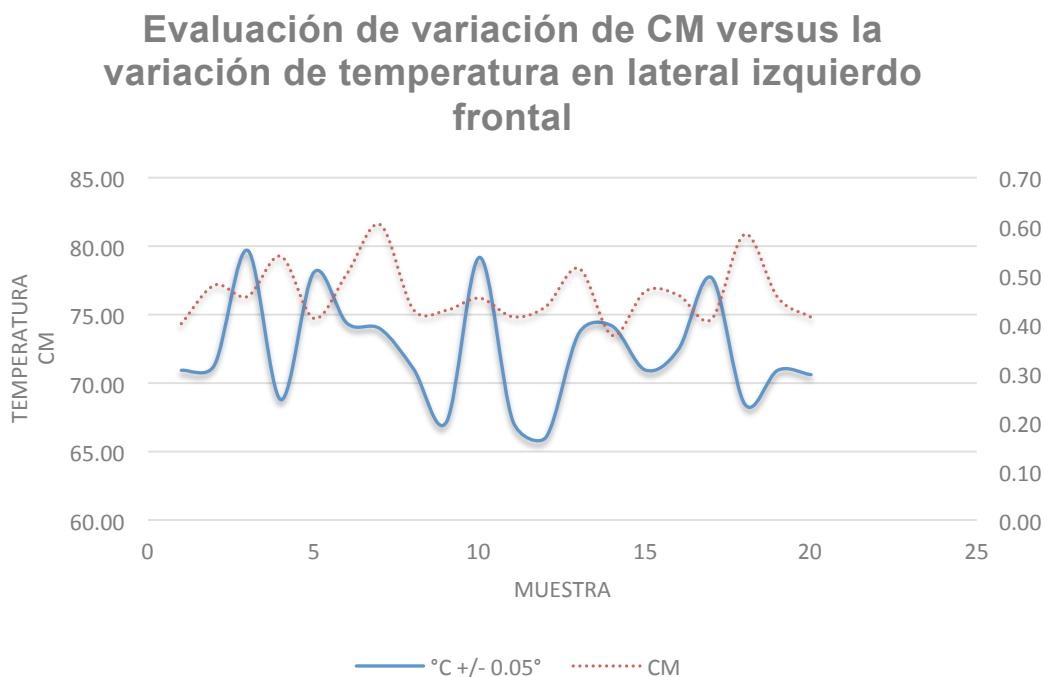
Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso



Gráfica No. 139: Filtro No. 9 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso

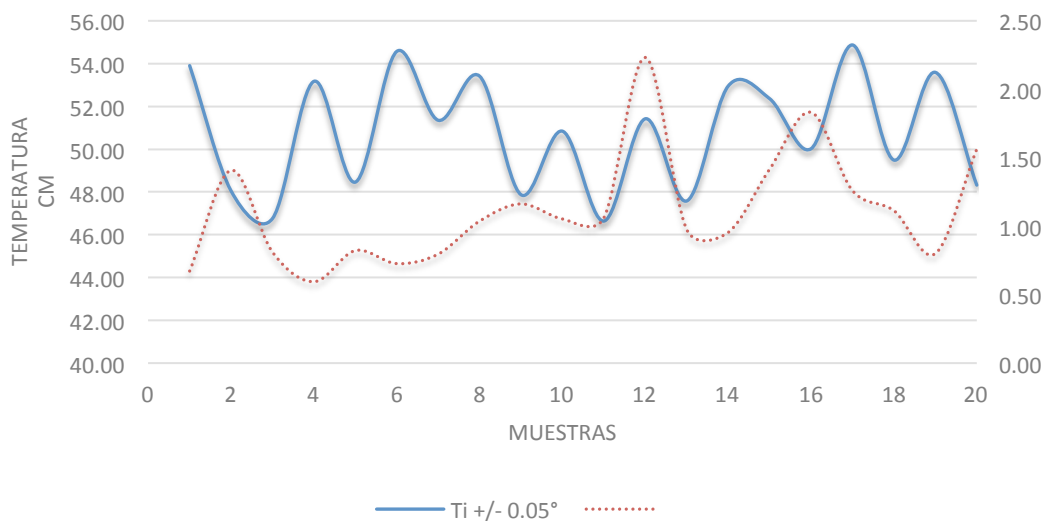


Gráfica No. 140: Filtro No. 9 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.



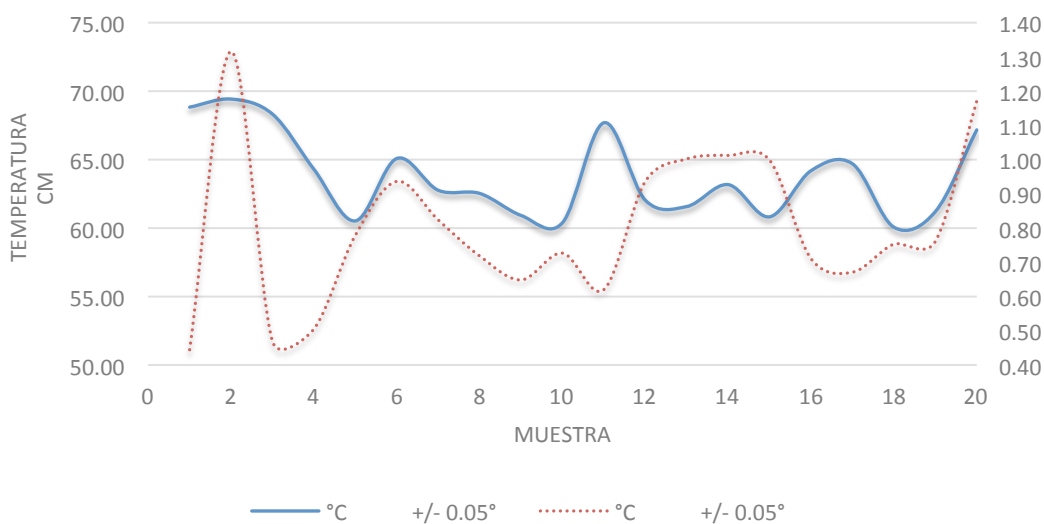
Gráfica No. 141: Filtro No. 8 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.

Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero



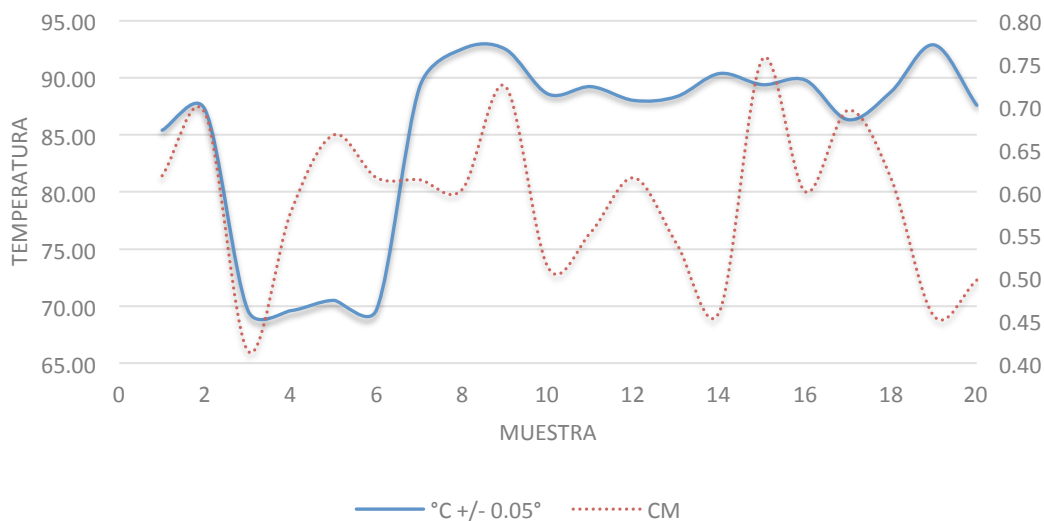
Gráfica No. 142: Filtro No. 9 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.

Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero



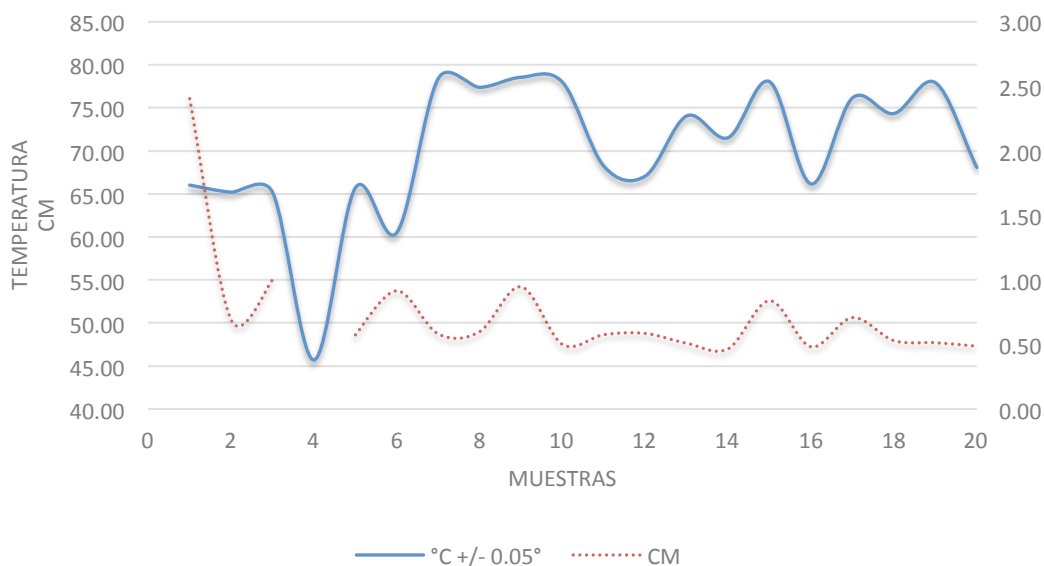
Gráfica No. 143: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.

Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.

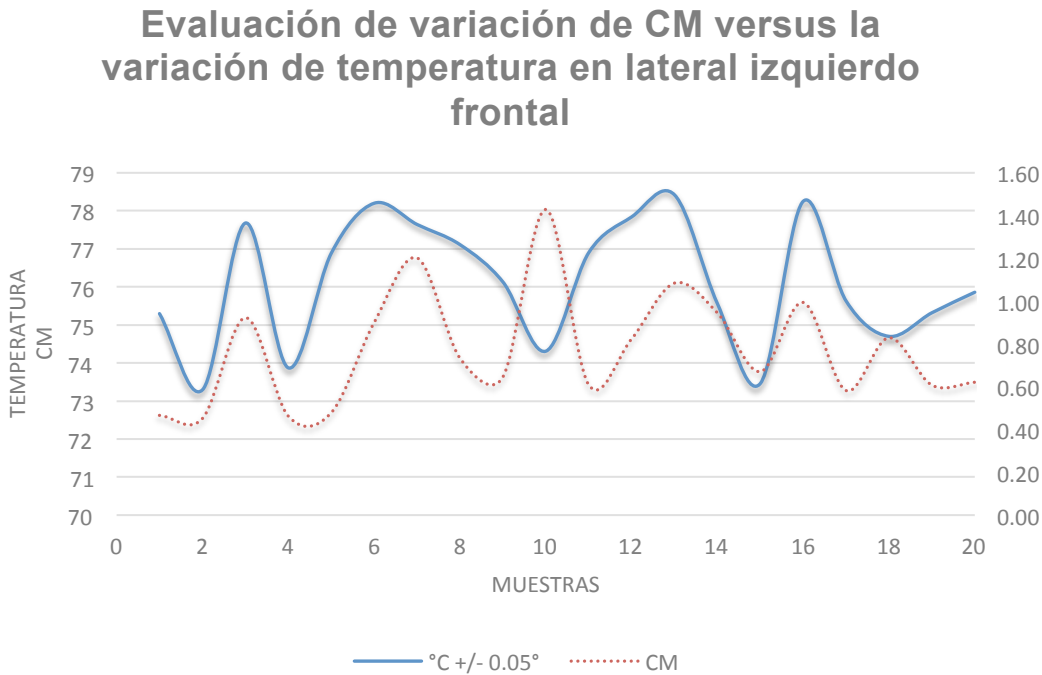


Gráfica No. 144: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso

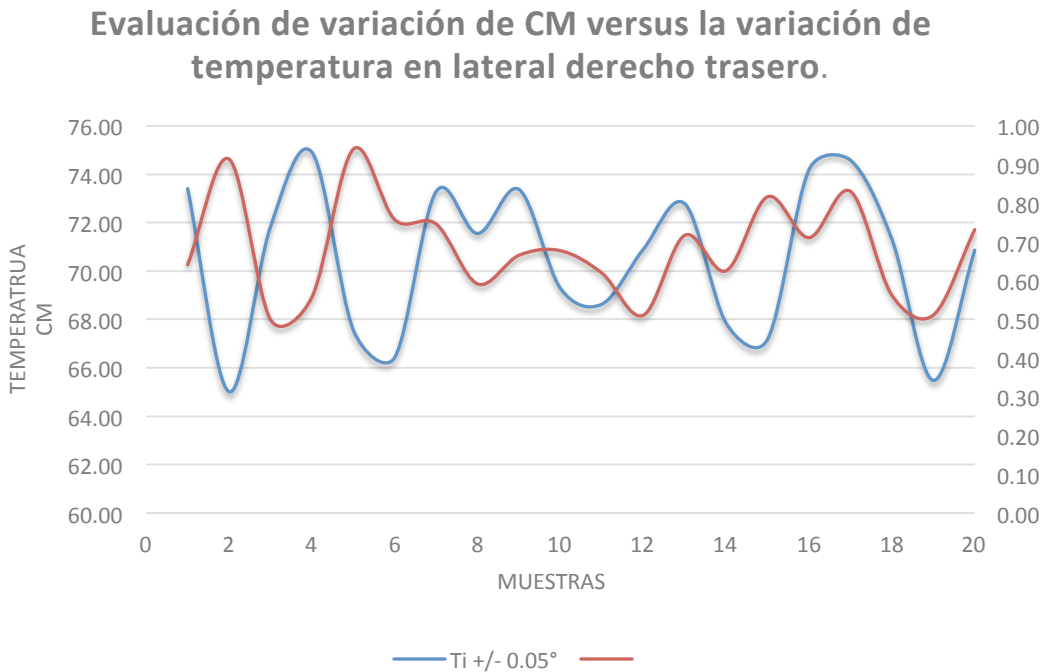
Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso



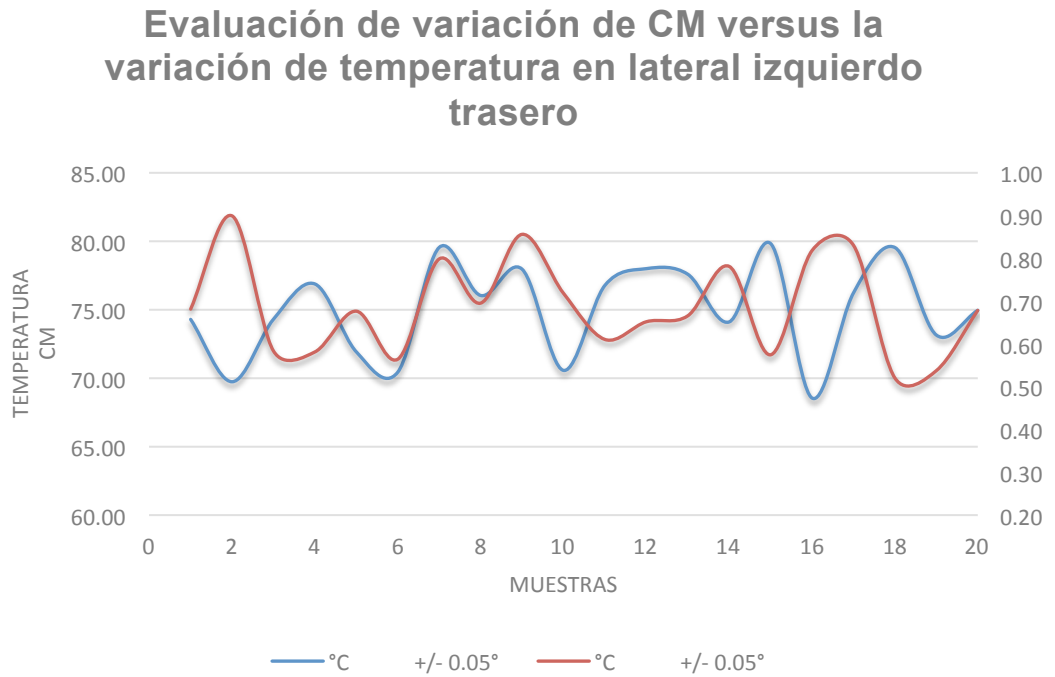
Gráfica No. 145: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal.



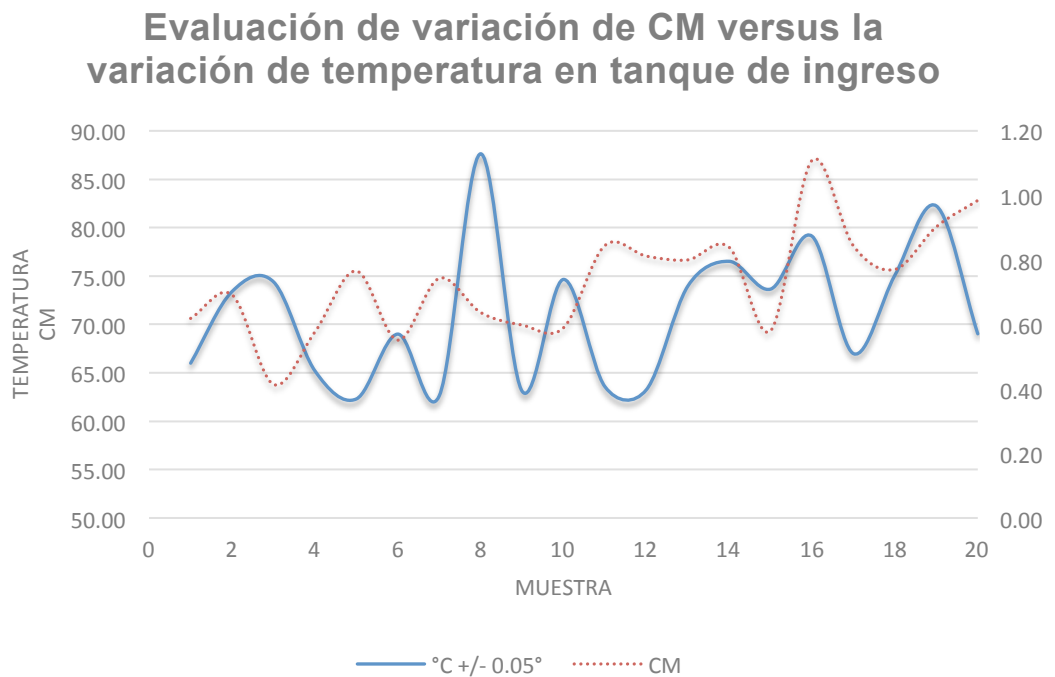
Gráfica No. 146: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.



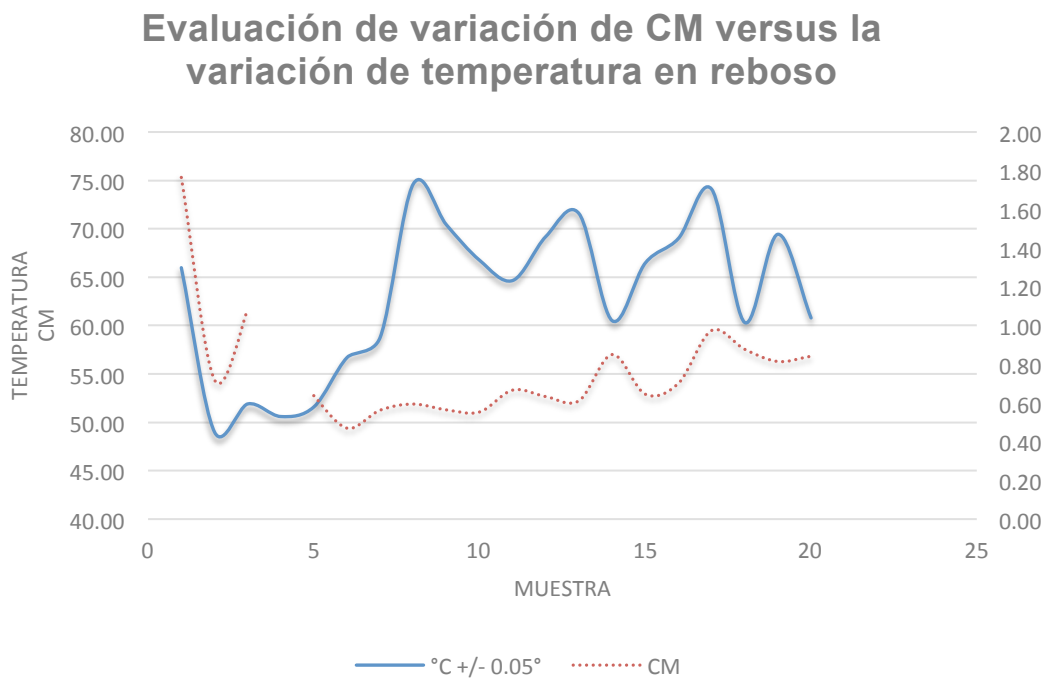
Gráfica No. 147: Filtro No. 10 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.



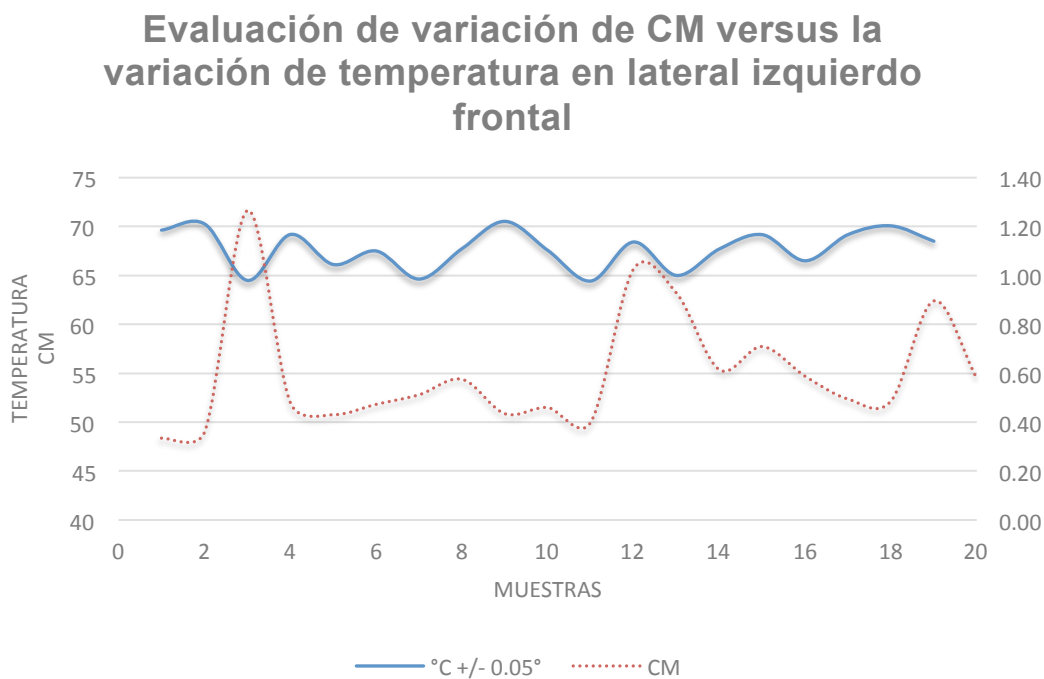
Gráfica No. 148: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.



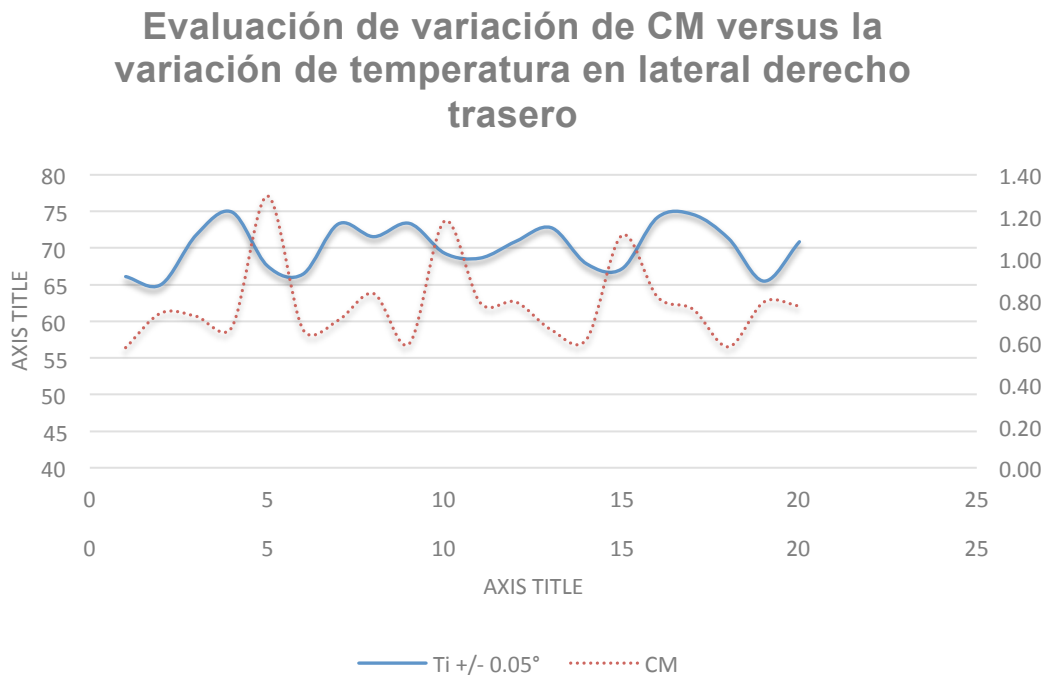
Gráfica No. 149: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.



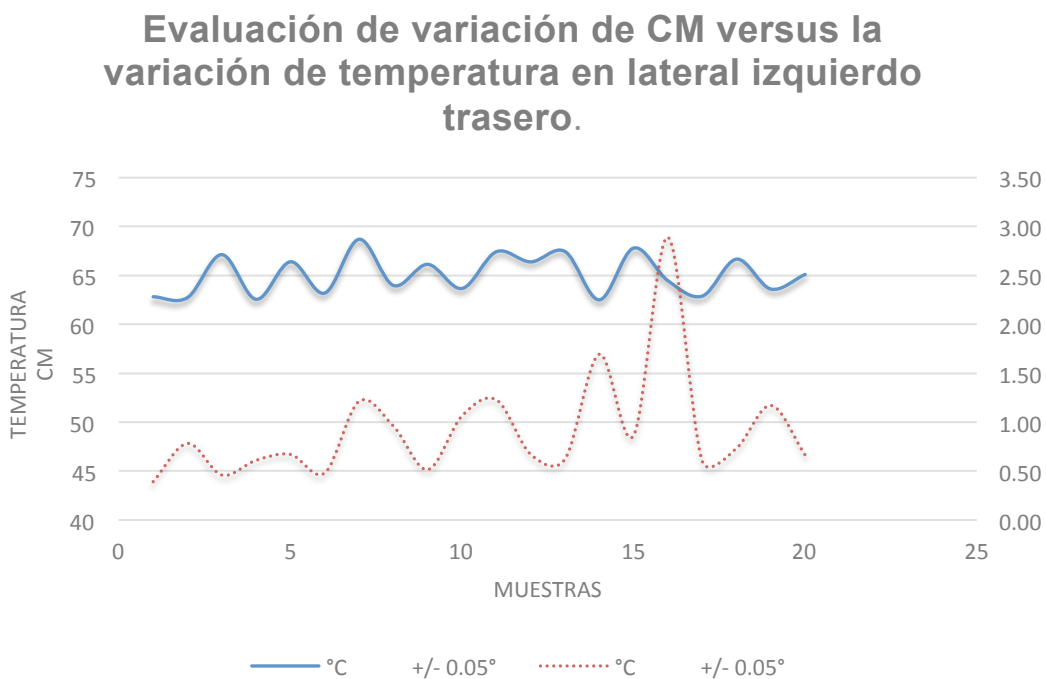
Gráfica No. 150: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo frontal



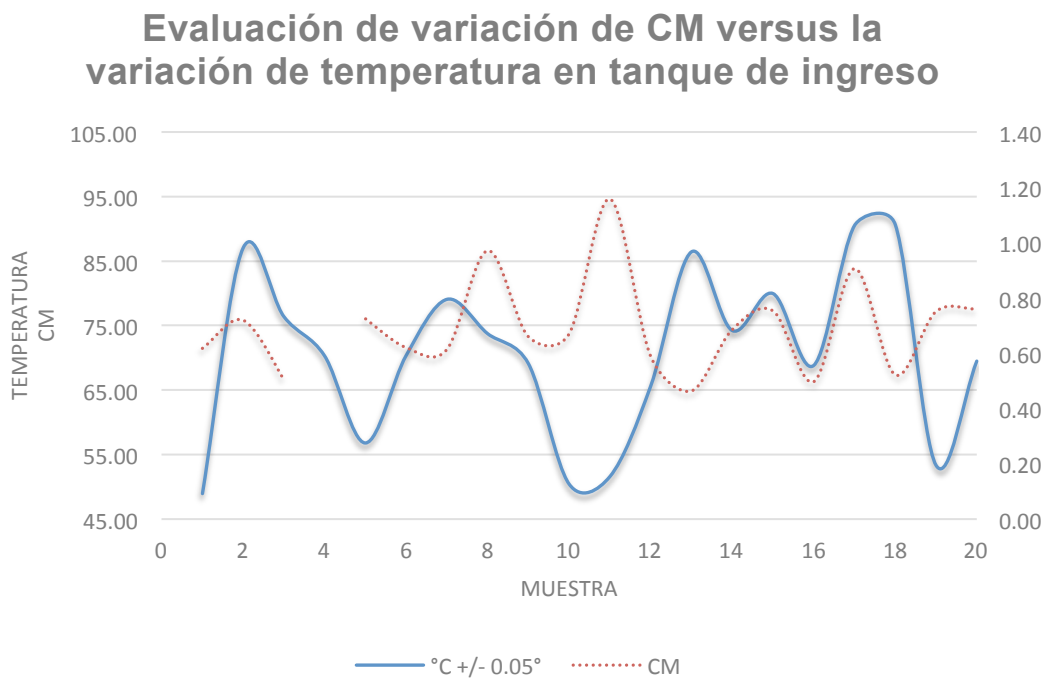
Gráfica No. 151: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.



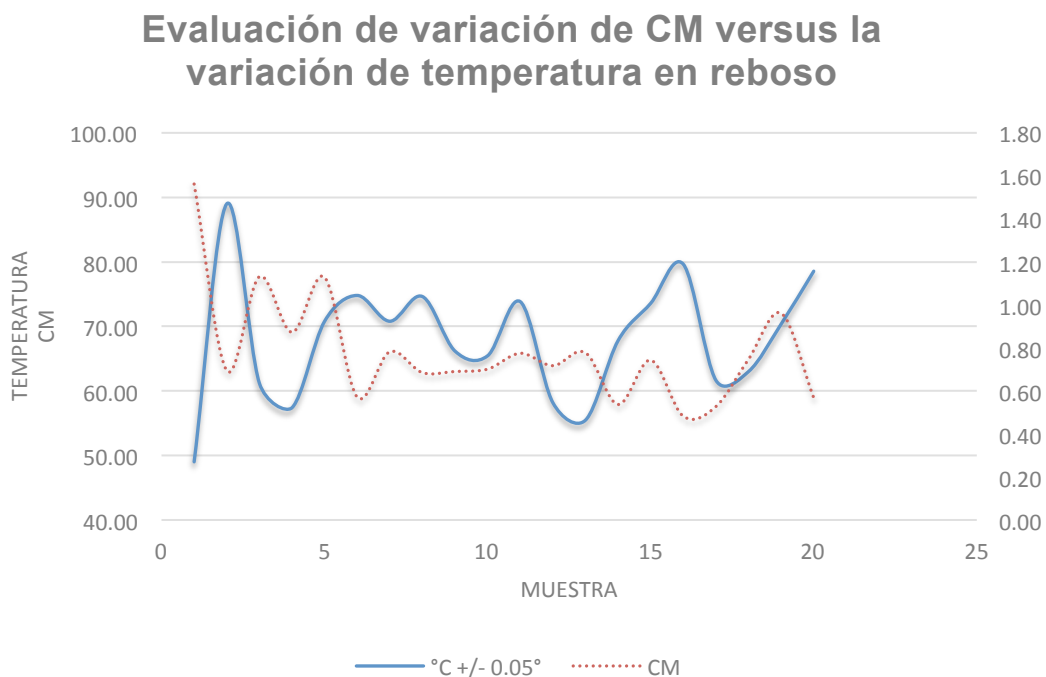
Gráfica No. 152: Filtro No. 11 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.



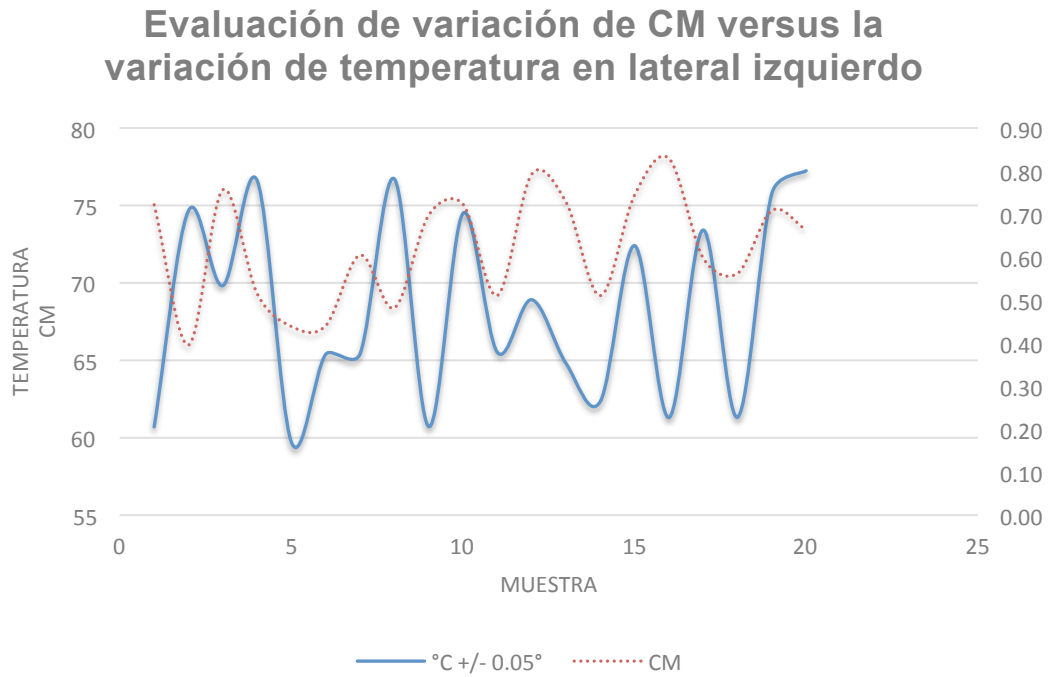
Gráfica No. 153: Filtro No. 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en tanque de ingreso.



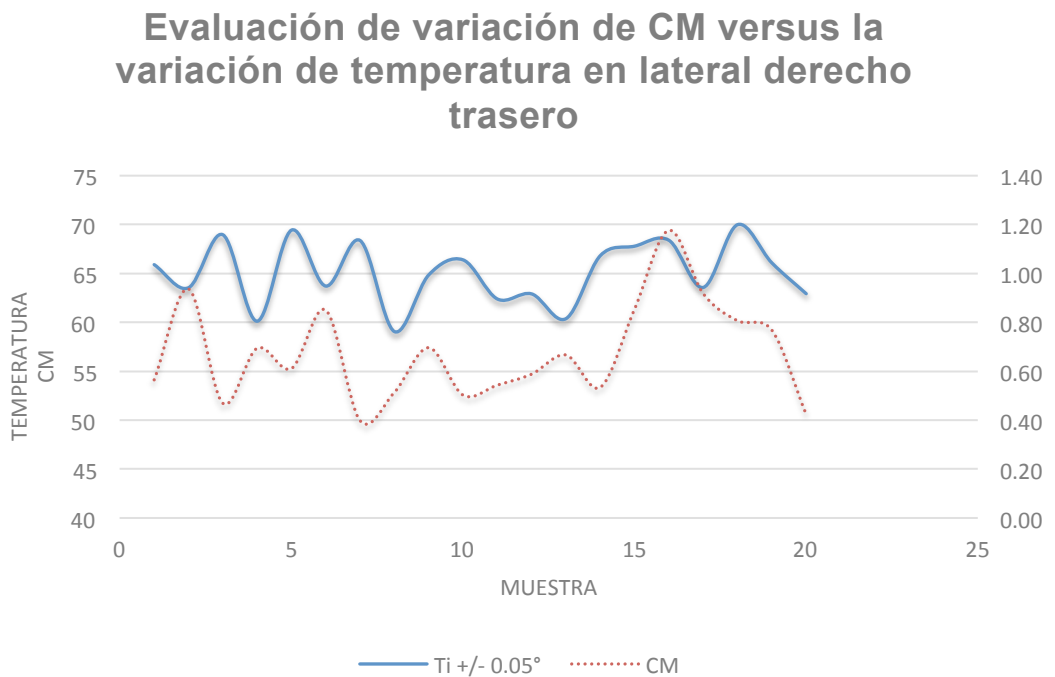
Gráfica No. 154: Filtro No. 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en reboso.



Gráfica No. 155: Filtro No. 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo.

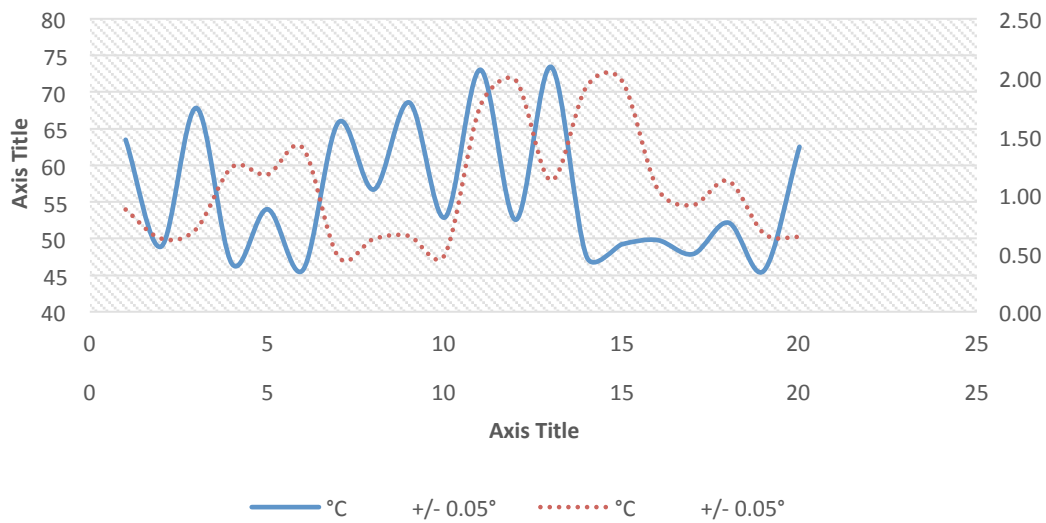


Gráfica No. 156: Filtro No. 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral derecho trasero.



Gráfica No. 157: Filtro 12 - Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero.

Evaluación de variación de CM versus la variación de temperatura en lateral izquierdo trasero



2. Cálculos de muestra

Cálculo No. 1: Determinación del Coeficiente Microbiológico CM para la primera muestra de jugo sulfitado crudo.

$$C_M = \frac{0.5}{30\text{min}} \times t_R = \frac{0.5}{30\text{min}} \times (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}) \text{ (Ecuación No. 1)}$$

$$C_M = \frac{0.5}{30\text{min}} \times (13:52 - 12:00) = 1.88 \pm 0.01$$

(Se aplicó a todas las muestras)

Cálculo No. 2: Determinación de caída de pH para la primera muestra doble a las 0 y 4 horas de jugo crudo.

$$pH_{\text{inicial}} - pH_{\text{final}} = pH_{\text{caída}} \text{ (Ecuación No. 2)}$$

$$4.911 \pm 0.01 - 4.817 \pm 0.01 = 0.094 \pm 0.014$$

(Todos los cálculos de caída de pH se realizaron de la misma manera)

Cálculo No. 3: Determinación del cambio de volumen de todos la primera muestra doble a las 0 y 4 horas para el jugo crudo.

$$Vol_{\text{inicial}} - Vol_{\text{final}} = Vol_{\text{caída}} \text{ (Ecuación No. 3)}$$

$$200 \pm 3 \text{ mL} - 190 \pm 3 \text{ mL} = 10 \pm 4 \text{ mL}$$

(Todos los cálculos de cambio de volumen de todos se realizaron de la misma manera)

Cálculo No. 4: Determinación del cambio de CM muestra doble a las 0 y 4 horas para el jugo crudo.

$$CM_{\text{inicial}} - CM_{\text{final}} = CM_{\text{caída}} \text{ (Ecuación No. 4)}$$

$$4.28 \pm 0.01 \text{ mL} - 4 \pm 0.01 \text{ mL} = 0.28 \pm 0.01414 \text{ mL}$$

(Todos los cálculos de cambio de CM se realizaron de la misma manera)

Cálculo No. 5: Determinación de la masa en las incrustaciones de la muestra doble a las 0 y 4 horas para el jugo crudo.

$$m_{\text{inicial}} - m_{\text{final}} = m_{\text{caída}} \quad (\text{Ecuación No. 5})$$

$$4.5503 \pm 0.0001 \text{ mL} - 4.5485 \pm 0.0001 \text{ mL} = 0.0018 \pm 0.01414 \text{ mL}$$

(Todos los cálculos para la determinación de la masa se realizaron de la misma manera)

Cálculo No. 6: Determinación del jugo crudo trabajado en el ingenio durante la zafra 2014.

$$\frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \times 150 \text{ día} = \frac{\text{gal}}{\text{zafra}} \quad (\text{Ecuación No. 6})$$

$$3,625 \frac{\text{gal}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \times 150 \text{ día} = 783,000,000 \frac{\text{gal}}{\text{zafra}} \quad (\text{Ecuación No. 6})$$

(La determinación de los gal/zafra para el jugo cristal se calcularon de la misma forma)

Cálculo No. 7: Determinación las kg de hidróxido de calcio (cal) utilizados en la zafra 2014.

$$\text{gal lechada} \times \text{Lime content CaO} \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2046226 \text{ lb}} \\ = \text{Oxido de calcio CaO kg} \quad (\text{Ecuación No. 7})$$

$$9748.09 \text{ gal} \times 0.4494 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{ kg}}{2.2046226 \text{ lb}} = 1,987.09 \text{ kg} \quad (\text{Ecuación No. 7})$$

(La determinación de los kg de cal para el jugo cristal se calcularon de la misma forma)

Cálculo No. 8: Determinación del incremento de costo en la alcalinización de jugo de caña por el incremento de 0.1 CM para jugo crudo.

$$\text{kg de óxido de calcio} \times \frac{\$140}{1000 \text{ kg}} \times \frac{Q7.75}{\$1} = Q \text{ de costo} \quad (\text{Ecuación No. 8})$$

$$1,986.69 \text{ kg de óxido de calcio} \times \frac{\$140}{1000 \text{ kg}} \times \frac{Q7.75}{\$1} = Q 2,155.56 \quad (\text{Ecuación No. 8})$$

(La determinación del incremento de costos en la alcalinización se llevó a cabo para todas las muestras)

3. Análisis de error

Cálculo No. 8: Propagación de error de la suma y resta. (Ejemplo con la resta para el diferencial de masa de las incrustaciones en el proceso de evaporación)

$$(A \pm a) (B \pm b) = A \pm B(\pm\sqrt{a^2 + b^2})$$

(Ecuación No.9) (Skoog, 2001)

$$S_y = \sqrt{(0.0001g)^2 + (0.0001g)^2} = \pm 1.4140 \times 10^{-4} g$$

(Se aplicó a todas las sumas y restas realizadas)

Cálculo No. 9: Propagación de error de la multiplicación y división (Ejemplo con la división entre los mL de volumen de lodo formados y el tiempo transcurrido en segundos).

$$(A \pm a)(B \pm b) = A \cdot B \pm A \cdot B \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{A}\right)^2 + \left(\frac{b}{B}\right)^2}$$

(Ecuación No.10) (Skoog, 2001)

$$S_y = 0.714 * \sqrt{\left(\frac{3}{10}\right)^2 + \left(\frac{0.005}{14.01}\right)^2} = \pm 0.21420 \frac{mL}{s}$$

(Esta propagación de error se emplea a lo largo de todas las multiplicaciones y divisiones realizadas)

Cálculo No. 10: Propagación de error de la regresión lineal (Ejemplo con la Lechada para el jugo crudo).

$$b_1 = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum y^2 - b_0 \sum y - b_1 \sum xy}{n - 2}}$$

(Ecuación No.11) (Skoog, 2001)

$$0.4714207 = \frac{5(44.308) - (11.07)(7.05)}{5(85.3873) - (11.07)^2}$$

$$0.36627458 = \frac{(7.05)(85.3873) - (11.07)(44.308)}{5(85.3873) - (11.07)^2}$$

$$0.84114129 = \sqrt{\frac{25.5925 - (0.36627458 \times 7.05) - (0.4714207 \times 44.308)}{5 - 2}}$$

(Esta propagación de error se emplea a lo largo de todas regresiones lineales que se llevaron a cabo)

4. Figuras

Figura No. 45: Acumulación de bagacillo para hacer el estudio disminución de sacarosa.



Figura No. 46: Acumulación de bagacillo en vigas de conductor.



Figura No. 47: Acumulación de bagacillo en una viga.



Figura No. 48: Bagacillo acumulado al costado de la banda transportadora y sobre las vigas que la sostienen.



Figura No. 49: Acumulación No. 1 de bagacillo.



Figura No. 50: Acumulación No. 2 de debajo de conductor B. bagacillo en debajo de conductor B.



Figura No. 51: Acumulación de caña barrida a punto de ser reincorporada. Se puede observar el estancamiento de agua en la zona.



Figura No. 52: Entorno de caña barrida, mucho lodo en la superficie y en la zona de acumulación.



Figura No. 53: Método de Resazurina aplicado a jugos de caña y control para comparación de cambio de color.

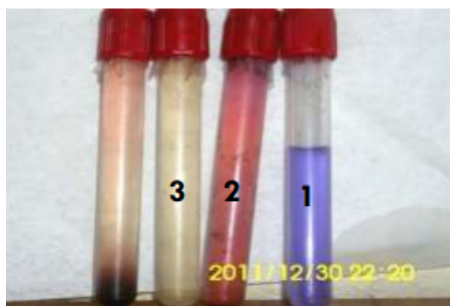


Figura 1. (1) Tubo con Resazurina, (2) Resazurina con jugo, (3) Resazurina decolorada.

Figura No. 54: Reacción de resazurina.

resazurina	resofurina	dihidrososofurina
$\text{CH}_{12}\text{H}_7\text{NO}_4$	$\text{CH}_{12}\text{H}_7\text{NO}_3$	$\text{CH}_{12}\text{H}_8\text{NO}_3$
Azul	Rosado	Incoloro

Figura No. 55: Extracción de de muestras de lodos para prueba de resazurina, toma muestras y punto de muestreo.

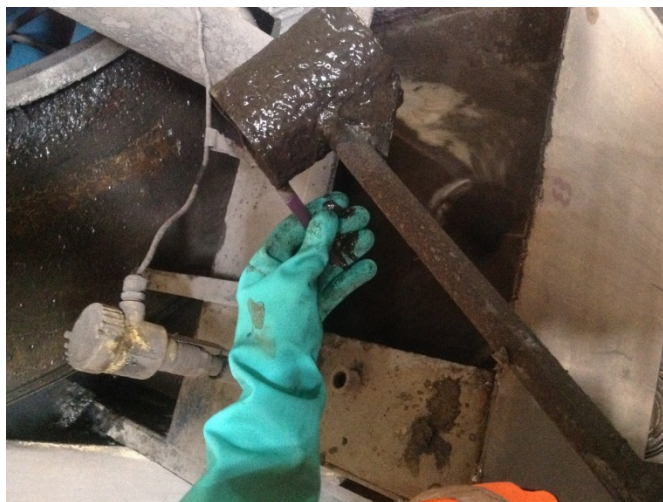


Figura No. 56: Medición de temperatura y pH de muestreo y medición.



Figura No. 57: Medición de pH en laboratorio de Fábrica de IMSA.



Figura No. 58: Pruebas de resazurina para cada punto de muestreo en 12 filtros.



Figura No. 59: Acumulaciones de lodos y pelculadextranogénica - parte trasera de filtro.



Figura No. 60: Rebosadero de filtro y electrodo de control automatizado de nivel de lodos.



Figura No. 61: Medicion de pH para prueba de fermentación espontánea.



Figura No. 62: Diluciones de jugo crudo con jugo sulfitado como bactericida.



Figura No. 63: Pruebas de resazurina para las diluciones de jugo diluido con jugo sulfitado como bactericida.

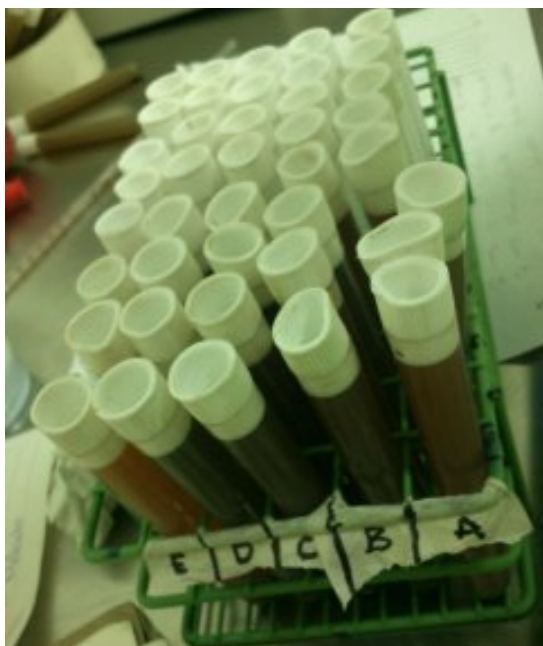


Figura No. 64: Pruebas de Resazurina para las diluciones de jugo diluido con lechada de cal como bactericida.

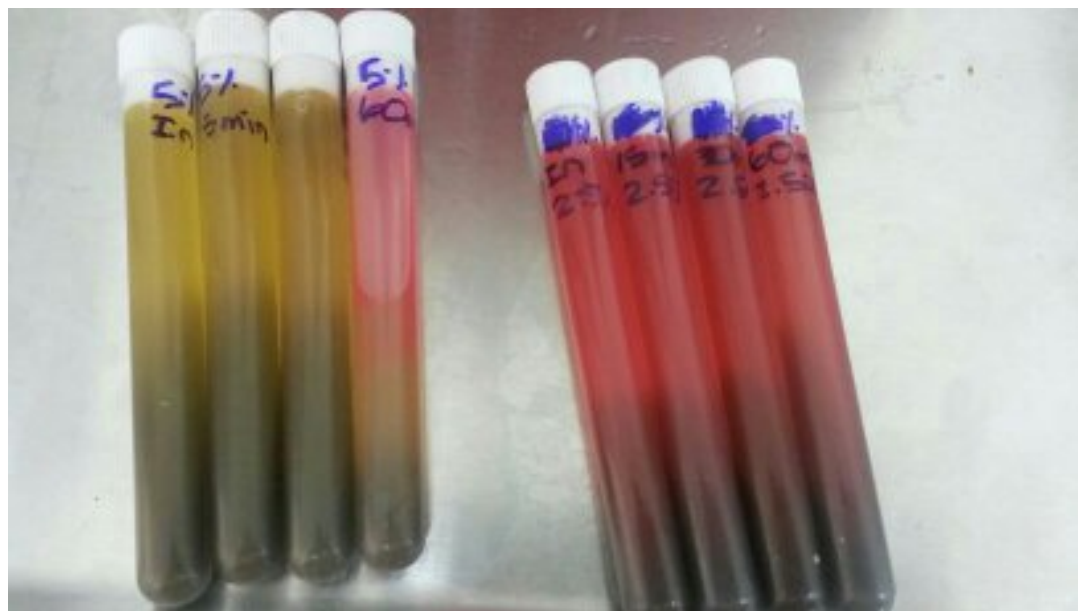


Figura No. 65: Preparación del microscopio para medición de elongación de cristales en masa C.

- 1 • Instalar el lente milimetrado en el lente derecho del microscopio
- 2 • Seleccionar el lente objetivo 10X
- 3 • Iniciar la calibración del lente milimetrado colocando el objetivo milimetrado en la platina del microscopio.
- 4 • Enfocar en la escala milimetrada (s) del objetivo.
- 5 • Rotar el lente milimetrado hasta que las escalas se encuentren sobrepuestas.
- 6 • Ajustar el objeto milimetrado (s) haciendo que la primer marca de la escala coincida con la primer marca de la escala del micrómetro ocular (o).
- 7 • Buscar la siguiente marca que coincida exactamente en ambas escalas.
- 8 • Contar el número de marcas entre las dos marcas que coinciden exactamente en ambas escalas. Ver el siguiente ejemplo:

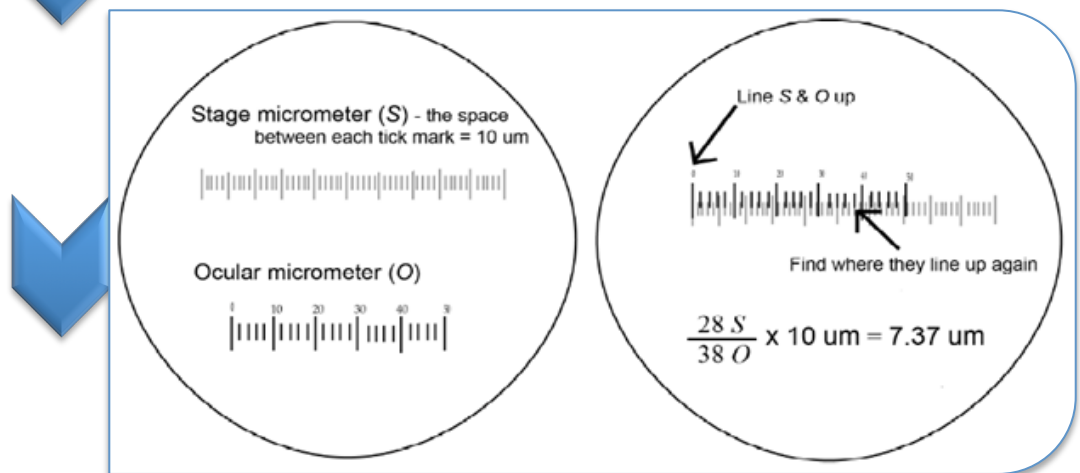


Figura No. 66: Sistema ensamblado en el área de sulfitación del Ingenio Magdalena para pruebas piloto de jugo sulfitado como previo bactericida en jugo diluido.

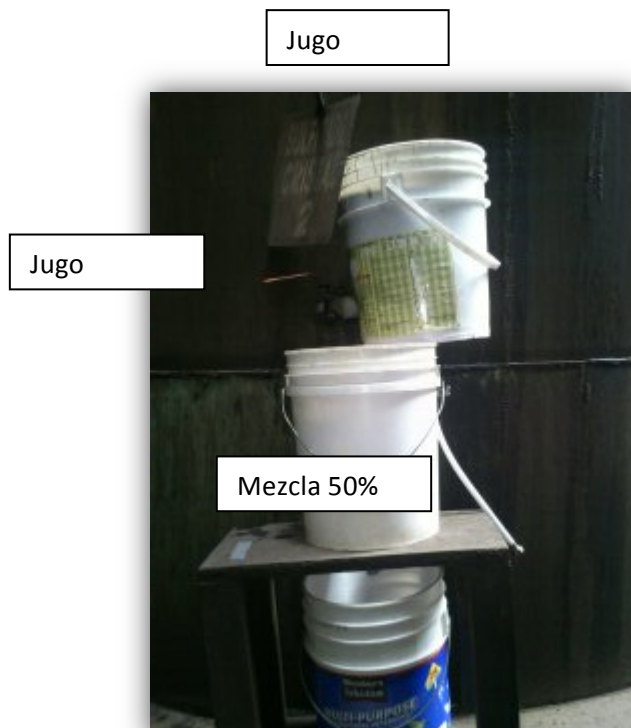


Figura No. 67: Muestra de cristales de masa C para prueba de relación de elongación por el método antiguo.



Figura No. 68: Muestra de cristales de masa C para prueba de relación de elongación por el método descrito en la metodología.

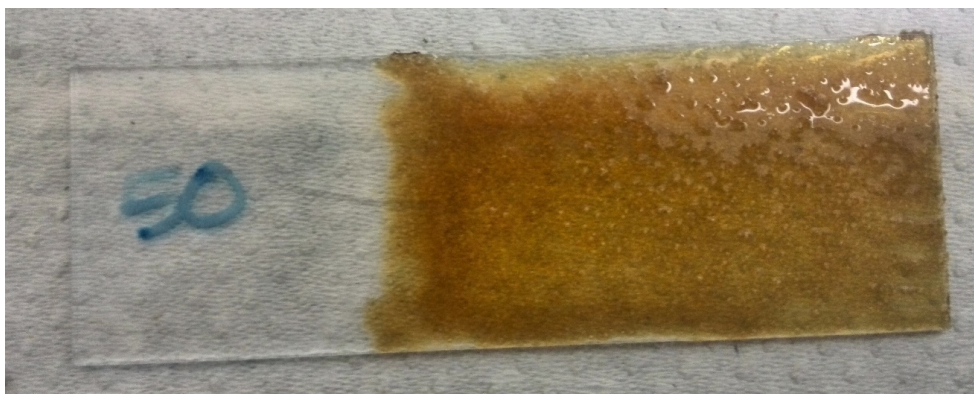


Figura No. 69: Muestra de elongación de cristales afectada por la higroscopicidad de los cristales de sacarosa.

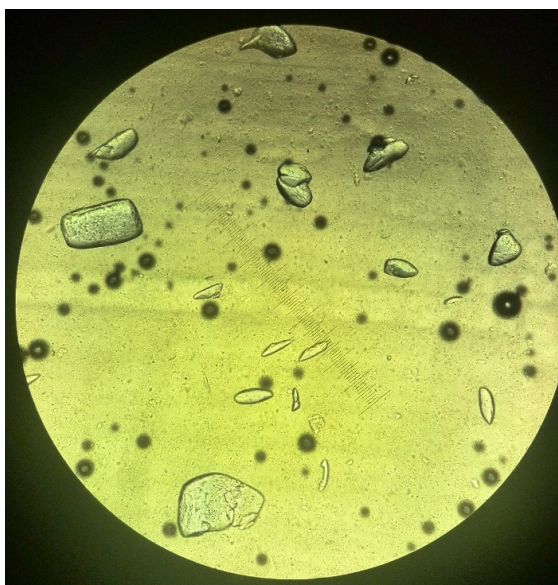


Figura No. 70: Muestra de cristales de masa C con relación de elongación estándar sin efectos de higroscopicidad.

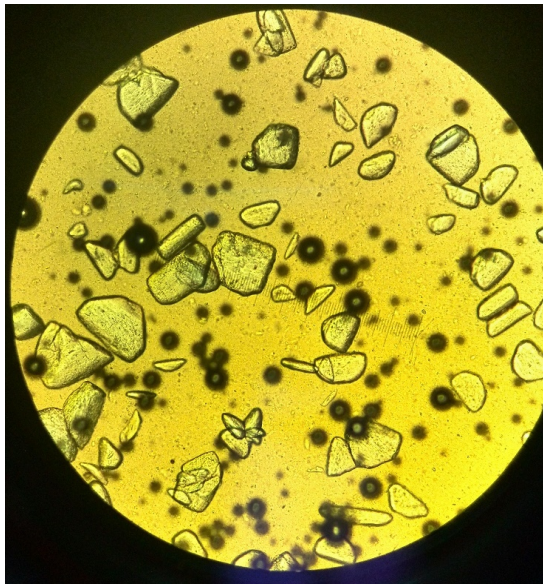


Figura No. 71: Muestra de cristales de masa C con alta relación de elongación.

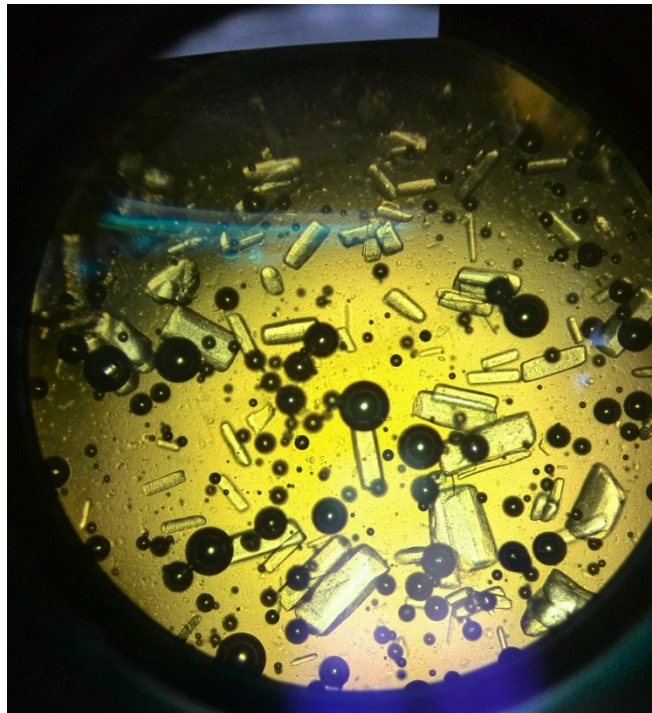


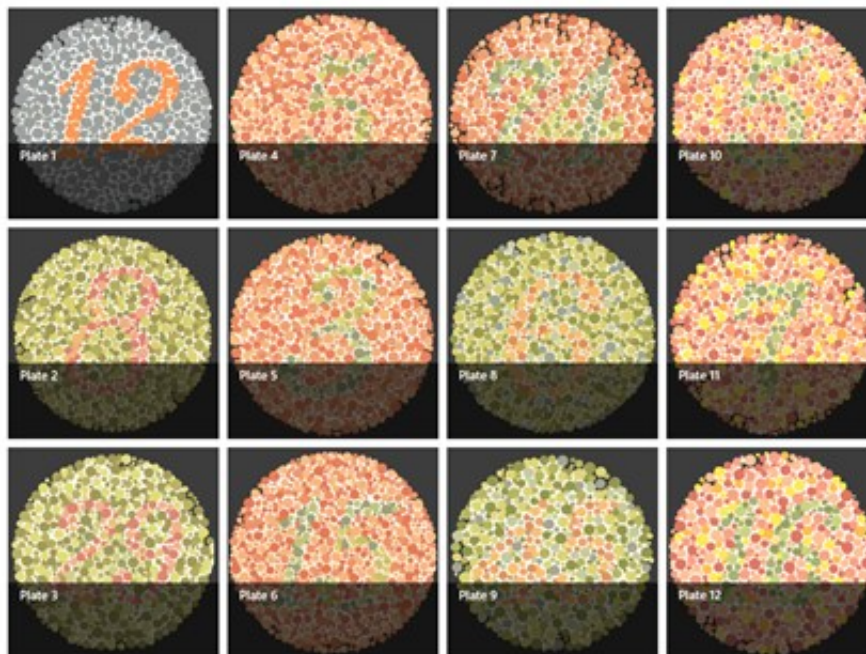
Figura No. 72: Capacitación de personal para medición de elongación de cristales.



Figura No. 73: Test Ishihara para detección del daltonismo.

Ishihara Plates

Default Plates >



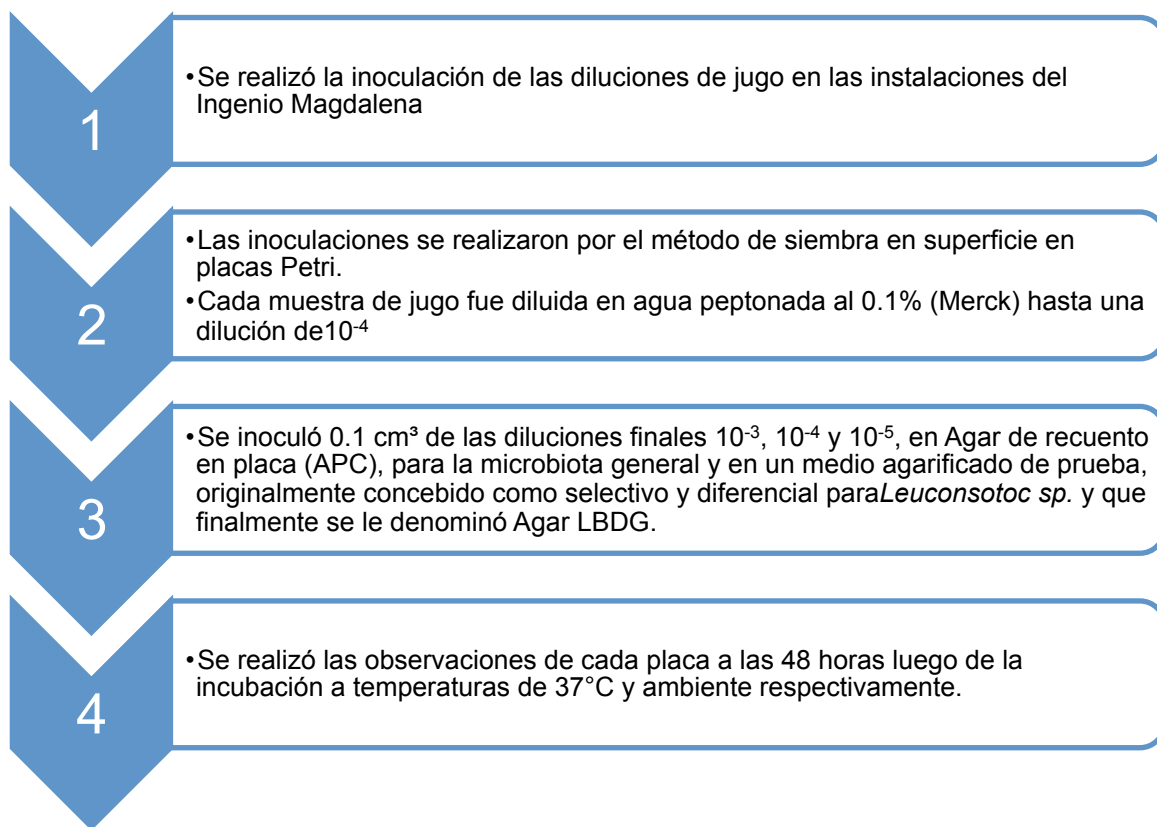
(Ishihara, Shinobu, 2014)

Figura No. 74: Ingenio Magdalena área de extracción.



Figura No. 75: Ingenio Magdalena zafra 2013-2014.



Figura No. 76: Metodología para Conteo Microbiológico.

XIII. GLOSARIO

- **Actividad microbiológica:** Nombre que se le da al conjunto de acciones realizadas por microorganismos en conjunto, con el fin de vivir en un medio.
- **Alcalizado:** Proceso por medio del cual se le introduce una mezcla de cal, etanol y azúcar para disminuir/aumentar el pH del jugo.
- **Arrobas:** Masa equivalente a 11,502 kg. (RAE)
- **Azúcar crudo:** Producto sólido cristalizado obtenido de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera, constituido esencialmente por cristales de sacarosa cubiertos de una película de su licor madre, sin haber sido sometido a procesos de purificación y refinación completos (también conocido como azúcar mascabado). (Mirón, 1998)
- **Bacilo Gram Positivo:** Microorganismos que causan enfermedades que causan, patogenicidad, hábitat transmisión, características, diagnóstico del laboratorio, prevención y tratamiento
- **Bagacillo:** En los conductores de bagazo de las mesas, los cuales están posterior de la desfibradora de caña, se cae bagazo el cual debe de ser recogido manualmente. A éste bagazo sin exprimir y con agua que se acumula debajo de los conductores y en las paredes de los mismos, se le llama bagacillo.
- **Bagazo:** Residuo que queda después de extraer los jugos de la caña en los molinos. Es utilizado para quemar en las calderas y hacer vapor. Es la fuente de poder de los ingenios. El vapor generado por el bagazo en las calderas mueve luego el turbogenerador para producir su propia energía eléctrica. (Mirón, 1998)
- **Biopelícula:** es un ecosistema microbiano organizado, conformado por uno o varios microorganismos asociados a una superficie viva o inerte, con características funcionales y estructuras complejas. Este tipo de conformación microbiana ocurre cuando las células planctónicas se adhieren a una superficie o sustrato, formando una comunidad, que se caracteriza por la excreción de una matriz extracelular adhesiva protectora.
- **Brix:** Porcentaje de sólidos en una solución.
- **Cachaza:** Se obtiene como producto de la destilación del jugo de la caña de azúcar fermentado.
- **Caña barrida:** La caña que es botada en los patios del ingenio por los camiones es acumulada a un costado del ingreso de la caña a las mesas por medio de un vehículo de carga que arrastra sobre la tierra dicha caña para luego cargarla e incorporarla al proceso de molienda nuevamente.
- **Cachazón:** Tanque contenedor de lodos de clarificación donde se agrega bagazo producto de la molienda y se mezcla para obtener una solución filtrable.
- **Caña de Jaulas.** Se sacan los restos de caña que quedan en los camiones antes de salir de la fábrica, de modo que este es barrido nuevamente por el vehículo de carga e incorporado en una jaula especial que esperará a ser reincorporada en 12 horas aproximadamente.
- **Capacidad buffer:** Cantidad de ácido o base que una sustancia puede absorber sin modificar su pH.

- **Centrifugación:** Operación en la cual por medio de la fuerza centrífuga se lava la masa para separar mieles de azúcar. El producto resultante por un lado es el azúcar para secar y empacar y por otro lado el magma.
- **Clarificador:** se utiliza para separar los sólidos en suspensión en el jugo de la caña. Estos sólidos son arena, tierra y material diverso.
- **Coefficiente microbiológico:** Valor numérico que indica el índice de actividad microbiológica en una solución, en un rango de 1 a 5, siendo 1 poca actividad y 5 mucha actividad microbiológica.
- **Conductores:** Banda transportadora que lleva el bagazo recién desfibrado hacia los molinos, llevándolo fuera de la mesa.
- **Contrato No. 11:** Contrato de compra-venta para azúcar crudo. (Mirón, 1998)
- **Endospora:** Son células especializadas, no reproductivas, producidas por unas pocas bacterias de la división Firmicute. Su función primaria es asegurar la supervivencia en tiempos de tensión ambiental.
- **Evaporador:** Tanque cilíndrico con una calandria (tubos) con el cual se evapora el agua del jugo de la caña. (Mirón, 1998)
- **Fibra:** Nombre que se le da a la caña que pasa por el proceso de preparación, y ya está lista para ingresar a los molinos.
- **Finca en emergencia:** Finca determinada con alto índice de actividad microbiana con prioridad de ingreso a la fábrica.
- **Finca en observación:** Finca sin suficientes muestras para determinarla en estado de emergencia, pero está bajo advertencia de las muestras posteriores.
- **Finca:** Es un área determinada que se divide en lotes, que pueden ser diferentes en el tipo de suelo y variedades de Caña de Azúcar.
- **Floculante:** Polímero que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.
- **Frente de cosecha:** Es grupo de personas o Maquinaria que se dedican al corte de caña manual y mecanizado en unión y función de una alzadora.
- **Frente:** Grupo de trabajadores que se encarga de cortar campos entre los que se incluye cortadores de machete, alzadoras, tractores, cabezales con jaulas, encargados de alimentación, coordinadores, plataformas para reparación y mantenimiento de vehículos, pipas con agua para apagar incendios y personal encargado de comunicación. (Mirón, 1998)
- **Geopolíticamente:** Desde el punto de vista geopolítico. (RAE)
- **Geopolítica:** Ciencia que pretende fundar la política nacional o internacional en el estudio sistemático de los factores geográficos, económicos, raciales, culturales y religiosos. (RAE)
- **Grados brix:** Sólidos disueltos.
- **Grúas malacates:** Es un tipo máquina móvil de elevación de movimiento discontinuo destinado a elevar y distribuir cargas en el espacio suspendidas de un gancho y utilizan cadenas.
- **Jugo claro:** Jugo proveniente de los clarificadores posterior al proceso de sulfitación y alcalización.
- **Jugo diluido:** Jugo de caña proveniente de la molienda de caña en molinos.
- **Jugo primario:** El jugo que se obtiene solamente del primer moliNo.
- **Jugo sulfitado:** El jugo que se obtiene después del proceso de sulfitación.
- **Lazo operativo:** Canal de comunicación basado en resultados de análisis químico u observación dentro de dos áreas, una generadora y una receptora.

- **Lechada:** Mezcla de cal y agua para hacer más permeable el lodo.
- **Levadura:** Diversos hongos microscópicos unicelulares que son importantes por su capacidad para realizar la descomposición mediante fermentación de diversos cuerpos orgánicos, principalmente los azúcares o hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias.
- **Lixiviación:** Separar por medio del agua u otro disolvente (una sustancia soluble) de otra insoluble.
- **Lote:** Porción de suelo dentro de una finca con características similares además de tener la misma variedad de caña.
- **Machete australiano:** Un machete es un cuchillo grande pero más corto que una espada o un sable. Comúnmente mide menos de 60 cm y tiene un solo filo. Se utiliza para segar la hierba, cortar la caña de azúcar, podar plantas. También para abrirse paso en la selva.
- **Magma:** Solución concentrada de azúcar que sale de la operación de las centrifugas.
- **Meladura:** Producto obtenido de los evaporadores con unos grados brix de aproximadamente 65.
- **Mesa.** Receptor de descarga de caña proveniente de los camiones. En ella se sacude la caña en seco y tiene como subproducto el llamado "trash".
- **Mesó filo:** Microorganismo que para un óptimo desarrollo necesita temperaturas inferiores a los 45 pc.
- **Micro biota:** Es el conjunto de microorganismos, en general bacterias, que se alojan en el organismo sin producir enfermedad, son habitantes residentes no patógenos.
- **Microorganismos:** ser vivo diminuto), también llamado microorganismo, es un ser vivo, o un sistema biológico, que solo puede visualizarse con el microscopio. La ciencia que estudia los microorganismos es la microbiología. Son organismos dotados de individualidad que presentan, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental. En su mayoría son unicelulares, aunque en algunos casos se trate de organismos cenóticos compuestos por células multinucleadas, o incluso multicelulares.
- **Mohos:** Microorganismos eucariontes que pertenecen al reino fungí, cada célula posee núcleo, membrana nuclear, retículo endoplásmico, aparato de Golgi y mitocondrias.
- **Molino:** Equipo que prensa la caña para extraer el jugo. (Mirón, 1998)
- **Morfología:** Parte de la biología que estudia la forma de los seres orgánicos y de las modificaciones o transformaciones que experimenta.
- **Moscabado:** Es un azúcar de caña integral, no refinado originario de las Islas Mauricio. Tiene un color marrón oscuro y una gran cantidad de melaza lo que le da un gusto muy particular así como una textura pegajosa.
- **Payloader.** Vehículo de carga frontal que realiza actividades variadas en el ingenio, tales como manejo de caña barrida, empujar camiones, manejo de caña de jaulas, entre otros.
- **Periférico:** Persona responsable de coordinar la entrada y recorrido de los camiones al área de descarga.
- **pH:** Partes de hidrógeno. Es una medida de acidez. (Mirón, 1998)
- **Pol o Polarización:** Capacidad de las soluciones azucaradas para rotar el plano de luz polarizada. Si se mide en un sacarímetro la concentración de sacarosa se obtiene directamente en grados sacarimétricos.
- **Quintales:** Masa equivalente a 100 libras. (RAE)

- **Resazurina:** Es un colorante azul, que se vuelve incoloro cuando se le reduce químicamente por la eliminación de oxígeno. (Géosta, 2003)
- **Sacarato:** Mezcla de agua, cal, jugo claro y meladura; utilizada para alcalizar el jugo diluido.
- **Saccharum officinarum:** Especie originaria de Nueva Guinea que se caracteriza por su alto contenido de sacarosa, tallos gruesos y pesados, con bajo contenido en fibra y altura media. (Subirós, 2000)
- **Saccharum:** El género Saccharum corresponde a un complejo sustituido por seis especies; cuatro domesticadas (*S. officinarum*, *S. edule*, *S. barberi* y *S. sinensis*) y dos silvestres (*S. spontaneum* y *S. robustum*). (Subirós, 2000)
- **Semilla:** Azúcar cristalizado en el laboratorio que sirve de fuente en la cristalización industrial del azúcar en los tachos.
- **Sulfitación:** Proceso por medio del cual se le introduce anhídrido sulfuroso en forma de gas para ayudar a blanquear el azúcar. (Mirón, 1998)
- **Sulfitado:** Proceso por medio del cual se le introduce anhídrido sulfuroso en forma gaseosa para ayudar a blanquear el azúcar.
- **Tacho:** Equipo de transferencia de calor, a base de vapor, tipo concha y tubos, orientado a la cristalización de soluciones azucaradas y al posterior desarrollo de los granos formados. Es ayudado por vacío y se utiliza en la última etapa de concentración de azúcar.
- **Tándem:** Conjunto de molinos de los ingenios están compuestos de cuatro mazas: maza cañera, maza superior, maza bagacera y cuarta maza. El objetivo del tándem es la extracción del jugo. (Mirón, 1998)
- **Tándem:** Se le llama tándem de molinos a la sección en la cual se encuentran una serie de molinos en un ingenio azucarero. En el Ingenio Pantaleón se posee el tándem A y B, cada uno cuenta con 6 molinos.
- **Tanques de ingreso:** Contenedores de mezcla de lodos con bagacillo, se localiza previo al filtro y es aquí donde de mezcla con una proporción de floculante.
- **Termófilo:** Microorganismo que, para un óptimo desarrollo, necesita temperaturas superiores a los 45 °C.
- **Test de resazurina:** Análisis realizado con el indicador resazurina, con el fin de determinar el coeficiente microbiológico de una solución. El análisis se lleva a cabo determinando el tiempo en horas, que tarda en cambiar de color la solución analizada, siendo los colores mostrados rojo y rosado hasta llegar a beige o el color inicial del jugo.
- **Tiempo de retención:** el tiempo de retención describe el tiempo en el que un volumen de agua residual se encuentra almacenado en la instalación de bombeo, bomba de desagüe, tuberías, colector de detención, etc. El tiempo de retención se puede estimar dividiendo el volumen almacenado entre el caudal de descarga desde la estructura de contención.
- **Tintoriales:** agregar colorantes a las microbiotas para determinar el grupo al que pertenecen.
- **Trapiches:** Industria donde se produce panela, por no tener todo el equipo especializado para producir azúcar cristalizada. (Mirón, 1998)
- **Trash:** Tierra y basura proveniente de la sacudida de caña, que es transportada por medio de bandas hacia un contenedor que luego lo descarga en camiones que lo llevan fuera del ingenio.

- **Unidades Formadoras de Colonias (UFC):** Es un valor que indica el grado de contaminación microbiológica de un ambiente. Expresa el número relativo de microorganismos.
- **Vial:** El vial es un pequeño vaso, botella o recipiente hecho de vidrio o plástico, que con frecuencia se utiliza para almacenar medicamentos o reactivos en presentación de líquidos, polvos o cápsulas. También se puede utilizar como recipientes de muestras, por ejemplo, en dispositivos de cromatografía analítica. Los viales más modernos son a menudo hechos de materiales plásticos tales como polipropileno.
- **Xilema:** Es un tejido vegetal lignificado de conducción que transporta líquidos de una parte a otra de las plantas vasculares. Transporta agua, sales minerales y otros nutrientes desde la raíz hasta las hojas de las plantas.
- **Zafra:** Periodo de cosecha de la caña de azúcar y la temporada en que se realiza.

1. Abreviaturas

1. **% v/v** : Porcentaje volumen/volumen
2. **%p/p** : Porcentaje masa/masa
3. **Δ** : Cambio
4. **ATRV**: Alza, transporte y red vial que es utilizado comúnmente en el área agrícola industrial en Ingenio Pantaleón.
5. **cm** : Centímetro
6. **CM** : Coeficiente microbiológico
7. **cm³**: Centímetros cúbicos.
8. **dm³** : Decímetros cúbicos
9. **EPP**: Equipo de protección personal y es utilizado comúnmente dentro de las instalaciones del Ingenio Pantaleón y otras industrias.
10. **g** : Gramo
11. **HPLC** : Cromatografía líquida de alta presión
12. **kg** : Kilogramos
13. **L** : Litros
14. **m** : Metros
15. **m²** : Metros cuadrados
16. **mg** : Miligramos
17. **mL** : Mililitros
18. **Pa** : Pascales
19. **pH** : Potencial de hidrógeno
20. **ppm** : Partes por millón
21. **s** : Segundos
22. **TAH** : Toneladas de azúcar por hectárea
23. **TCH** : Toneladas de caña de azúcar por hectárea
24. **t**: Toneladas
25. **t_R** : Tiempo de reducción