

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



CONSOLIDACIÓN Y EXPANSIÓN DE SISTEMA DE  
CONTROL MICROBIOLÓGICO EN LA INDUSTRIA  
AZUCARERA GUATEMALTECA

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Sofía García Salas Chocano

Para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química;

Luis Fernando Colindes Sierra

Carlos Boanergues López Guízar

Julio Enrique Morfin Aja

Luis Enrique Josué Ortiz Ramírez

Diego Fernando Sánchez García

Mauricio José Vargas Lemus

Para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial;

Amado Rafael López Guízar

Rodrigo Andrés Ponce Román

Para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencia de la  
Administración

Guatemala  
2013



Consolidación y expansión de sistema de control microbiológico en  
la industria azucarera guatemalteca

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



CONSOLIDACIÓN Y EXPANSIÓN DE SISTEMA DE  
CONTROL MICROBIOLÓGICO EN LA INDUSTRIA  
AZUCARERA GUATEMALTECA

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Sofía García Salas Chocano

Para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química;

Luis Fernando Colindes Sierra

Carlos Boanergues López Guízar

Julio Enrique Morfin Aja

Luis Enrique Josué Ortiz Ramírez

Diego Fernando Sánchez García

Mauricio José Vargas Lemus

Para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial;

Amado Rafael López Guízar

Rodrigo Andrés Ponce Román

Para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en Ciencia de la  
Administración

Guatemala  
2013

Vo. Bo. Asesores

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Estuardo Sierra Arias

(f) \_\_\_\_\_  
Lic. Raúl Fernando Dacaret Román

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Luis Ernesto Nuñez González

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Luis Guillermo Mijangos Fuentes

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Julio Haeussier

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Luis Fernando Fuentes Méndez

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Augusto Alvarez

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Anali Anleu

Tribunal examinador

- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Gamaliel Zambrano
- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Estando Sierra Arias
- (f) \_\_\_\_\_  
Lic. Raúl Fernando Dacaret Román
- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Luis Ernesto Núñez González
- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Luis Guillermo Miangos Fuentes
- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Julio Haeussler
- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Luis Fernando Fuentes Méndez
- (f) \_\_\_\_\_  
Lic. Cristian Rodolfo Álvarez Álvarez
- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Mario García Bautista
- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Augusto Álvarez
- (f) \_\_\_\_\_  
Ing. Aralf Anleu

Fecha de aprobación: Guatemala, 28 noviembre de 2013

# ÍNDICE

LISTA DE GRÁFICAS.....	viii
LISTA DE TABLAS .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
RESUMEN .....	xvii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO .....	4
V. ANTECEDENTES .....	20
VI. METODOLOGÍA .....	23
VII. RESULTADOS .....	34
VIII. DISCUSIÓN .....	97
IX. CONCLUSIONES .....	140
X. RECOMENDACIONES .....	143
XI. BIBLIOGRAFÍA .....	145
XII. ANEXOS .....	148
XIII. GLOSARIO.....	235

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en muestreo espontáneo del conductor del tándem A .....	35
Gráfica 2. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en muestreo espontáneo del conductor del tándem B .....	35
Gráfica 3. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en pruebas no controladas del conductor del tándem A .....	36
Gráfica 4. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en pruebas no controladas del conductor del tándem B .....	36
Gráfica 5. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en pruebas controladas del conductor del tándem A .....	37
Gráfica 6. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en pruebas controladas del conductor del tándem B .....	37
Gráfica 7. Actividad microbiológica en el punto A. (Según hoja de control) .....	38
Gráfica 8. Actividad microbiológica en el punto B. (Según hoja de control) .....	39
Gráfica 9. Actividad microbiológica en el punto C. (Según hoja de control) .....	39
Gráfica 10. Actividad microbiológica en el punto D. (Según hoja de control) .....	40
Gráfica 11. Actividad microbiológica en el punto E. (Según hoja de control) .....	40
Gráfica 12. Actividad microbiológica en el punto F. (Según hoja de control) .....	41
Gráfica 13. Actividad microbiológica en el punto G. (Según hoja de control) .....	41
Gráfica 14. Actividad microbiológica en el punto H. (Según hoja de control) .....	42
Gráfica 15. CM de caña en escenario controlado .....	43
Gráfica 16. CM de fibra en escenario controlado .....	44
Gráfica 17. Resultados CM en fibra .....	45
Gráfica 18. Resultados CM en jugo primario .....	46
Gráfica 19. Efecto del reingreso de caña al proceso en jugo primario .....	46
Gráfica 20. Efecto del reingreso de fibra al proceso en jugo primario .....	47
Gráfica 21. Resultados CM en caña mecanizada .....	47
Gráfica 22. Análisis CM caña de patio .....	48
Gráfica 23. Análisis tiempos de reintroducción de caña barrida de patio .....	48
Gráfica 24. Análisis CM caña de limpia jaulas .....	49

Gráfica 25. Análisis tiempos de reintroducción de caña de limpia jaulas .....	49
Gráfica 26. Flujo de acumulación banda tándem A.....	50
Gráfica 27. CM promedio banda tándem A .....	50
Gráfica 28. Flujo de acumulación caite tándem A .....	51
Gráfica 29. Análisis CM caite tándem A .....	51
Gráfica 30. Flujo de acumulación banda tándem B.....	52
Gráfica 31. Análisis CM banda tándem B.....	52
Gráfica 32. Flujo de acumulación caite tándem B .....	53
Gráfica 33. Análisis CM caite tándem B .....	53
Gráfica 34. Flujo de acumulación banda tándem C.....	54
Gráfica 35. Análisis CM banda tándem C.....	54
Gráfica 36. Flujo de acumulación caite tándem C .....	55
Gráfica 37. Análisis CM caite tándem C .....	55
Gráfica 38. Análisis sacarosa 8 horas .....	56
Gráfica 39. Análisis dextrana 8 HORAS .....	56
Gráfica 40. Análisis CM 8 horas .....	57
Gráfica 41. Análisis sacarosa bagazo de estructura .....	57
Gráfica 42. Análisis dextrana bagazo de estructura .....	58
Gráfica 43. Índice total de actividad microbiológica (ITAM) para los seis tándems de los tres ingenios analizados.....	67
Gráfica 44. Coeficiente microbiológico en bagazo en taza durante mantenimiento tándem A.....	69
Gráfica 45. Incremento del coeficiente microbiológico (IC) después de iniciar molienda luego de mantenimiento tándem A.....	69
Gráfica 46. Coeficiente microbiológico en bagazo en taza durante mantenimiento tándem B.....	70
Gráfica 47. Incremento del coeficiente microbiológico (IC) después de iniciar molienda luego de mantenimiento tándem B.....	70
Gráfica 48. Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem A molino 2 .....	71
Gráfica 49. Comportamiento del incremento microbiológico promedio en la limpieza modelo en el tándem A molino 3 .....	71
Gráfica 50. Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem B molino 2 .....	72

Gráfica 51. Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem B molino 3 .....	72
Gráfica 52. Porcentaje de tiempo empleado en asepsia de molinos .....	73
Gráfica 53. Comportamiento del incremento microbiológico jugo primario- bandeja en la asepsia propuesta en el tándem B .....	73
Gráfica 54. Comportamiento del incremento microbiológico jugo primario- jugo diluido en la asepsia propuesta en el tándem B (antes-durante-después).....	74
Gráfica 55. Incremento microbiológico en el molino 2, antes y después de limpieza guiada en jugo primario y molino 2. ....	74
Gráfica 56. Incremento microbiológico en el molino 3, en el bagazo proveniente del molino 2 y el jugo procedente de las masas del molino 3. ....	75
Gráfica 57. Incremento de la actividad microbiológica en el molino 2 antes y después de haberse llevado a cabo la limpieza guiada en el tándem. ....	76
Gráfica 58. Incremento de la actividad microbiológica en molino 3 antes y después de haberse llevado a cabo la limpieza guiada en el tándem. ....	77
Gráfica 59. Tiempos promedio de lavado en tandems A, B y C del Ingenio Magdalena .....	80
Gráfica 60. Relación del lavado y no lavado de lavadores durante un turno en el Ingenio Magdalena .....	80
Gráfica 61. Distribución del lavado por áreas en el Ingenio Magdalena .....	81
Gráfica 62. Relación del IC con el lavado del molino 1 de los tres tándems del Ingenio Magdalena .....	81
Gráfica 63. CM de bandejas 2, 3 y 4 medido durante los mantenimientos en el Ingenio Magdalena .....	82
Gráfica 64. Cumplimiento de limpieza de biofilm en tanques de jugo del Ingenio Magdalena .....	82
Gráfica 65. Número de muestras malas de jugo primario y diluido del tándem A del Ingenio Magdalena .....	87
Gráfica 66. Número de muestras malas de jugo primario y diluido del tándem B del Ingenio Magdalena .....	87
Gráfica 67. Número de muestras malas de jugo primario y diluido del tándem C del Ingenio Magdalena .....	87

Gráfica 68. Coeficiente microbiológico de diferentes diluciones de jugo sulfitado en jugo diluido para comprobar su efectividad como bactericida después de 20 minutos de ser agregado .....	88
Gráfica 69. Incremento en el coeficiente microbiológico entre la entrada y salida del tanque de jugo diluido a escala piloto.....	89
Gráfica 70. Sensibilidad tiempo de asepsia.....	90
Gráfica 71. Sensibilidad cantidad de asepsias por tándem.....	91
Gráfica 72. Sensibilidad operarios de asepsia por tándem .....	92

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción de azúcar por zafra .....	8
Tabla 2. Ingreso de divisas por exportación .....	9
Tabla 3. Valoraciones dadas al coeficiente microbiológico (CM) por su valor numérico .....	20
Tabla 4. Coeficiente de valorización de cada tipo de muestra para el análisis itam .....	26
Tabla 5 información para evaluación económica .....	33
Tabla 6. Causas de acumulación de pilas de bagazo en conductores de tandems A y B .....	34
Tabla 7. Descripción de la separación de áreas a evaluar.....	38
Tabla 8. Resultados de entrevista sobre el conocimiento de un instructivo de limpieza. ....	42
Tabla 9. Toma de muestras y evaluación en escenarios controlados.....	42
Tabla 10. Incremento neto de CM en caña.....	44
Tabla 11. Incremento neto de CM en fibra .....	45
Tabla 12. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo banda A.....	58
Tabla 13. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo caite tandem A .....	59
Tabla 14. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo banda tandem B.....	60
Tabla 15. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo caite tandem B .....	61
Tabla 16. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo banda tandem C .....	61
Tabla 17. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo caite tandem C .....	62
Tabla 18. Cumplimiento de las propuestas y lineamientos en instructivos de asepsia de molinos .....	67
Tabla 19. Cumplimiento de cuidado de asepsia luego de implementación de mejoras.....	83
Tabla 20 Presencia de material acumulado y biopelículas en los tanques colectores de jugo durante mantenimiento .....	83
Tabla 21. Resultados evaluación económica .....	89
Tabla 22. Sensibilidad tiempo de asepsia .....	90
Tabla 23. Sensibilidad cantidad de asepsias por tandem .....	91
Tabla 24. Sensibilidad operarios de asepsia por tandem.....	91
Tabla 25. Datos establecidos para la realización de cálculos en el Ingenio Magdalena .....	92
Tabla 26. Salario operario.....	92
Tabla 27. Tiempos de lavado.....	93

Tabla 28. Caña a moler.....	93
Tabla 29. Costo de lavado .....	93
Tabla 30. Pérdida por maquinaria.....	93
Tabla 31. Pérdida por dejar de producir .....	94
Tabla 32. Comparación de costos .....	94
Tabla 33. Datos de corrida con la implementación de un computador .....	94
Tabla 34. Comparación de corridas .....	95
Tabla 35. Datos de corrida ingenio concepción.....	95
Tabla 36. Limpieza anterior vs dirigida .....	96
Tabla 37. Ahorro en tiempos.....	96
Tabla 38. Ahorro en dinero .....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la agroindustria azucarera .....	7
Figura 2. Ingreso de divisas por exportación acumuladas a mayo de 2013 .....	9
Figura 3. Diagrama de proceso de un ingenio azucarero.....	11
Figura 4. Diagrama de proceso de recepción, preparación y molienda de caña de azúcar. ....	12
Figura 5. Configuración de un molino de cuatro mazas .....	13
Figura 6. Porcentaje de consumo interno y exportación de azúcar guatemalteca .....	14
Figura 7. Porcentaje exportaciones por región .....	15
Figura 8. Leuconostoc mesenteroides.....	16
Figura 9. Corte mecanizado de caña de azúcar .....	18
Figura 10. Corte manual de caña de azúcar .....	18
Figura 11. Reducción de la resarzufina .....	19
Figura 12. Puntos críticos tanque de jugo diluido tándem A Ingenio Pantaleón .....	21
Figura 13. Puntos críticos tanque de jugo diluido tándem B Ingenio Pantaleón .....	21
Figura 14. Modificación A tanque de jugo diluido tándem A Ingenio Pantaleón .....	22
Figura 15. Polisacárido encontrado en colador de tanque de jugo diluido del tándem B. ....	22
Figura 16. Sistema para simular tanque de jugo diluido con flujo continuo de jugo sulfitado .....	32
Figura 17. Áreas críticas banda tándem A.....	50
Figura 18. Áreas críticas caite tándem A .....	51
Figura 19. Áreas críticas banda tándem B.....	52
Figura 20. Áreas críticas caite tándem B.....	53
Figura 21. Áreas críticas banda tándem C .....	54
Figura 22. Áreas críticas caite tándem C.....	55
Figura 23. Inadecuado mantenimiento de bomba succionadora (tándem A).....	62
Figura 24. Muestra de cantidad de agua acumulada (tándem A) .....	62
Figura 25. Mantenimiento preventivo, poca acumulación de bagazo y agua (tándem A).....	63
Figura 26. Mantenimiento correctivo, alta acumulación de bagazo y agua (tándem A).....	63
Figura 27. Mantenimiento realizado a la bomba succionadora (tándem B). ....	63
Figura 28. Mantenimiento preventivo, poca acumulación de bagazo y agua (tándem B).....	64
Figura 29. Mantenimiento correctivo, alta acumulación de bagazo y agua (tándem B).....	64

Figura 30. Fallas en los selladores de la banda. ....	64
Figura 31. Mantenimiento correctivo, alta acumulación de bagazo .....	64
Figura 32. Mantenimiento preventivo de selladores .....	65
Figura 33. Conductor caña barrida (tándem C). ....	65
Figura 34. Desagüe (tándem C). ....	65
Figura 35. Presentación de resultados, capacitación sobre instructivo en el Ingenio. ....	66
Figura 36. Bagazo estancado en otras partes del tándem .....	68
Figura 37. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del Molino No.1.....	77
Figura 38. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del molino No.2.....	78
Figura 39. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del molino No.3.....	78
Figura 40. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del molino No.4.....	78
Figura 41. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del molino No.5.....	79
Figura 42. Indicador visual de puntos críticos .....	79
Figura 43. Presencia de biopelículas en la parte superior del tanque de jugo cristal en el tándem B del Ingenio Magdalena previo a la limpieza .....	84
Figura 44. Presencia de biopelículas acumuladas en el tanque de jugo cristal en el tándem B del Ingenio Magdalena encontrado al vaciarlo durante mantenimiento .....	84
Figura 45. Material acumulado en tanque de jugo mezclado en el tándem B del Ingenio Magdalena. ....	85
Figura 46. Presencia de biopelículas acumuladas en tanque de jugo cristal en el tándem C del Ingenio Magdalena.....	85
Figura 47. Presencia de material acumulado en taque de jugo mezclado en el tándem C del Ingenio Magdalena.....	85
Figura 48. Material acumulado en el tanque de jugo diluido del Ingenio Concepción. ....	86
Figura 49. Material acumulado y presencia de biopelículas en el tándem A del Ingenio Pantaleón. ....	86
Figura 50. Presencia de material acumulado en el tándem B del Ingenio Pantaleón. ....	86

Figura 51. SEMÁFORO en forma de manta que indica puntos críticos de Asepsia en el tándem B de Ingenio Magdalena .....	130
Figura 52. Capacitación a supervisores y operarios de tándem en el Ingenio Magdalena (4/10/2013).....	131

## RESUMEN

La sacarosa es el producto que los ingenios azucareros comercializan después de la extracción y refinación del jugo de caña. Una de las causas principales de pérdidas de sacarosa en la industria azucarera es por fuentes biológicas, lo cual se traduce en pérdidas monetarias. Trabajos anteriores identificaron puntos críticos de contaminación en la primera zona de extracción de jugo. El presente trabajo busca continuar con la definición de las condiciones en que se incrementa la actividad microbiana dicha área y explorar métodos para reducirla en los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena.

Utilizando el test de resazurina como indicador de la actividad microbiológica se caracterizará y evaluará el primer y segundo molino y el tanque de jugo diluido. También se evaluará la influencia de la limpieza entre la diferencia en el coeficiente microbiológico de la fibra que entra al primer molino y el jugo que sale, y entre la diferencia del jugo de la bandeja de entrada al colador y en la salida del mismo. Finalmente, se realizarán pruebas con desinfectantes en las áreas con mayor actividad microbiológica para intentar reducirla.

# I. INTRODUCCIÓN

La industria azucarera en Guatemala es una de las principales fuentes de trabajo y generador de exportaciones del país, hoy en día es uno de las más fuertes agroindustrias en América. Es tanta la importancia de dicha industria en los países en vía de desarrollo, como lo es Guatemala, que para éste la agroindustria azucarera representa el 12.85% de las exportaciones totales del país, es decir un 27% del valor total de la exportación agrícola. Actualmente es el segundo sector económico que genera más divisas en Guatemala, superado únicamente por las remesas familiares. Según datos oficiales durante el año 2012 el azúcar y la melaza produjeron un ingreso neto de US\$843.7 millones al país.

Durante el trabajo se realizaron varios estudios en los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena, en el tiempo que duro la zafra 2012-2013, durante las cuales se observaron y analizaron los actuales procedimientos de limpieza, para posteriormente implementar y hacer nuevas propuestas de mejora. Se estudió la situación actual del área de trabajo del operario de control operativo microbiológico y se propuso un rediseño de su área de trabajo.

Además se elaboraron diferentes estudios con la finalidad de determinar cómo se encuentra la caña y el bagazo, que por fallas comunes en la maquinaria, se acumula en diferentes áreas y luego de ciertos periodos es reintroducido al proceso. Mediante este trabajo se podrá determinar la manera adecuada de manejar esas acumulaciones, a modo que sean reintroducidas al proceso de una manera eficiente que permita obtener la mayor cantidad de sacarosa posible, y reducir la actividad microbiológica que puede existir en ellas principalmente por los tiempos que pasa sin ser reintroducida y el contacto que tienen con diferentes factores que pueden contaminarlos significativamente.

Finalmente se llevó a cabo la evaluación económica de las mejoras propuestas de asepsia en tándem en los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena. Para el efecto se realizaron las investigaciones, análisis y conclusiones correspondientes presentadas en el presente documento.

## II. OBJETIVOS

### A. General

1. Evaluar comparativamente diferentes aspectos de la implementación del sistema de control microbiológico en tres ingenios de Guatemala.

### B. General

1. Evaluar y proponer reingeniería de los procesos de acondicionamiento de la caña y fibra para la extracción en el área de conductores del Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena.
2. Evaluar y proponer mejoras al procedimiento de asepsia en tándem en el Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena mediante investigación, la innovación y el desarrollo de nuevos procedimientos operativos.
3. Evaluar las condiciones higiénicas en los tanques de jugo mezclado del Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena mediante inspección durante paros.
4. Explorar a escala de laboratorio y piloto la recirculación del jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción.
5. Desarrollar un sistema administrativo para el proyecto, mejorando los sistemas de control y evaluación económica de la metodología de asepsia de tándem propuesta.

### III. JUSTIFICACIÓN

Como es conocido en la industria, siempre hay factores que inciden sobre la eficiencia y calidad de un proceso. En este caso se analizará la actividad microbiológica, la cual incide en la pérdida de sacarosa en el proceso de extracción de azúcar y por lo tanto causa pérdidas económicas a los Ingenios.

Para controlar la calidad de la caña que entra al molino, se extendió el estudio al área de conductores, donde se da la preparación de la caña que luego pasará a ser extraída. De dicha actividad dependerá la cantidad de tiempo que pase el bagazo antes de ser molida.

Continuando con el proceso, se evaluó la metodología de asepsia en los tándems. El estudio de las actividades en el área de molinos servirá para reducir el incremento de la actividad microbiológica en el jugo y así obtener más sacarosa. El lavado, las actividades de asepsia durante los mantenimientos y las pruebas de sulfitado inciden en la disminución de la actividad microbiológica.

La evaluación económica y la documentación de los procedimientos establecidos son una constancia para los ingenios del aumento en la productividad que se puede obtener de las implementaciones de éste estudio. La evaluación económica servirá para evaluar el impacto del estudio y comparar las diferencias entre los ingenios.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. La caña de azúcar

1. **Definición.** En ámbitos industriales se usa la palabra azúcar o azúcares para distinguir los diferentes monosacáridos y disacáridos, los cuales generalmente tienen sabor dulce. Sin embargo esta denominación se refiere a todos los hidratos de carbono o carbohidratos (ABG, 2012).

La caña de azúcar es una gramínea tropical emparentada con el sorgo y el maíz. La planta tiene un tallo de dos a cinco metros de altura y cinco centímetros de diámetro. El sistema radicular lo compone un robusto rizoma subterráneo. El tallo acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante la fotosíntesis con hojas que llegan a alcanzar de dos a cuatro metros de longitud (Larrahondo, Desconocido).

En la caña de azúcar, el agua representa entre el 73% y 76% de su composición. Los sólidos totales solubles varían entre 10% y 16%, y la fibra oscila entre 11% y 16%. Entre los azúcares más sencillos se encuentran la glucosa y la fructosa (azúcares reductores), que existen en el jugo de cañas maduras en una concentración del 1% al 5%. La calidad del azúcar crudo y de otros productos dependen en gran parte de la proporción de estos azúcares reductores, los cuales cuando aumentan por causa de deterioro o falta de maduración de la planta, pueden producir incrementos en el color y productos defectuosos (Larrahondo, Desconocido).

2. **Principales usos.** La caña se utiliza principalmente para la producción de azúcar, más no se limita a ésta. Adicionalmente se puede utilizar como fuente de materias primas para una amplia gama de subproductos, algunos de los cuales constituyen alternativas de sustitución de otros productos con impacto ecológico adverso. Los residuales y subproductos contienen una gran cantidad de nutrientes orgánicos e inorgánicos que permiten su reciclaje. Es importante señalar el empleo de la cachaza como fertilizante, además del hecho que las mieles finales y los jugos del proceso de producción de azúcar pueden emplearse para la producción de alcohol, lo que permite disponer de un combustible líquido de forma renovable (Siap, Desconocido).

3. **Importancia en la dieta humana.** El azúcar, como producto principal de la caña, constituye uno de los componentes más aceptados y universalmente empleados en la dieta humana. Su importancia proviene del aporte energético a bajo costo y su capacidad de proveer nutrientes a quienes la consumen. Si se analiza la relación entre el valor energético de la

biomasa contenida en la caña de azúcar y la energía necesaria para cultivarla y cosecharla, se obtiene una relación 20:1. Esto significa que la energía invertida para su producción representa un 5% del potencial energético que contiene (López y Armas, 1980).

4. **Taxonomía de la caña de azúcar.** La caña de azúcar está ubicada taxonómicamente de la siguiente manera:

- División: Embryophita siphonogama
- Subdivisión: Angiospermae
- Clase: Monocotyledoneae
- Orden: Glumiflorae
- Familia: Gramineae
- Tribu: Andropogoneae
- Subtribu: Saccharea
- Género: *Saccharum*
- Especie: *Officinarum*

Además tiene la fórmula química  $C_{12}H_{22}O_{11}$  (Larrahondo, Desconocido).

## B. Historia de la agroindustria azucarera en Guatemala

El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala comenzó en la época de la conquista, siendo los curas Franciscanos los que sembraban y cosechaban este producto. En aquel tiempo no existían ingenios azucareros como los conocemos hoy en día, en cambio se producía el azúcar a través de los denominados trapiches. Éstos se refieren a lo que actualmente se le conocen como molinos, más la diferencia principal era la capacidad productiva así como la utilización de animales como fuerza motriz. El primer trapiche utilizado en el Latinoamérica operó en República Dominicana, que para el año 1530 fueron introducidos en Guatemala (Pérez y Pratt, 1997).

Para el año 1587 ya había un considerable número de trapiches en lo que en ese entonces era el Valle de Guatemala. En esa época el ayuntamiento de Santiago considero de forma oportuna promulgar las Ordenanzas del gremio de “hacedores de azúcar” y establecer el puesto de Vendedor de Trapiches, el cual fijaba el precio máximo, las medidas del azúcar y el valor de los jornales. Fue precisamente en el año 1590, que se inició la agroindustria azucarera guatemalteca con el establecimiento del primer ingenio llamado San Jerónimo, localizado en el departamento de Baja Verapaz (Pérez y Pratt, 1997).

Desde entonces la historia nos indica que los ingenios fundados, más no significa que sigan en funcionamiento, han sido los siguientes:

- Santa Teresa (1863)
- Pantaleón (1870)
- San Diego (1890)
- El Baúl (1911)
- Tululá (1914)
- La Sonrisa (1958)
- Los Tarros (1960)
- Concepción (19619)
- Palo Gordo (1962)
- Madre Tierra (1963)
- Santa Ana (1967)
- La Unión (1969)
- El Pilar (1975)
- Magdalena (1975)
- Tierra Buena (1977)
- Guadalupe (1981)
- Trinidad (1990)

El desarrollo de la agroindustria azucarera fue en gran parte gracias a que las exportaciones se vieron favorecidas a mediados de la década de los sesenta, cuando los Estados Unidos de América cambió sus políticas de importación de azúcar, quitándole la amnistía a Cuba y permitiendo así las importaciones de países como Guatemala. Anterior a este hecho, toda la producción se consumía localmente (Pérez y Pratt, 1997).

La exportación de azúcar se dio en sus inicios por la parte norte del país, específicamente en Puerto Barrios. Dadas las devastaciones por el terremoto de 1976, se vio necesaria una manera alterna para no afectar las exportaciones de azúcar (Pérez y Pratt, 1997).

No fue sino hasta finales de la década de los ochenta cuando la Junta Directiva de la Asociación de Azucareros de Guatemala (Azasgua) inició investigaciones para diseñar una terminal azucarera especializada en carga de buques. Esto con el fin de abrirse a nuevos mercados y hacer del azúcar guatemalteca un producto más competitivo a nivel mundial. Fue así que en 1991 se creó la terminal de embarque de azúcar de exportación: Expogranel. Dicha terminal está ubicada en el Puerto Quetzal, Escuintla, a unos cien kilómetros de la ciudad capital (Azasgua, 2013).

## C. Agroindustria azucarera guatemalteca en la actualidad

1. Ingenios activos y su producción. La agroindustria azucarera de Guatemala está conformada actualmente por 12 ingenios activos, los cuales se enumeran a continuación:

- Ingenio Pantaleón
- Ingenio Concepción
- Ingenio Palo Gordo
- Ingenio Madre Tierra
- Ingenio Trinidad
- Ingenio Santa Teresa
- Ingenio La Sonrisa
- Ingenio La Unión
- Ingenio Santa Ana
- Ingenio Magdalena
- Ingenio El Pilar
- Ingenio Tulula

Los mencionados están localizados en su totalidad en cuatro departamentos de la república guatemalteca, siendo estos Escuintla, Santa Rosa, Suchitepéquez y Retalhuleu. Gracias a su localización, la distancia promedio del 81% de estos ingenios al Puerto Quetzal es de 65 km (Asazgua, 2013).

Figura 1. Localización geográfica de la agroindustria azucarera



(Asazgua, 2013).

El total de área cultivada por estos 12 ingenios es de 235,000 hectáreas, lo cual representa el 20% del área total de los departamentos en donde se cultiva. Esta cantidad representa un 2.15% del área total de Guatemala así como un 7.83% del total de área cultivable (Azasgua, 2013).

Durante la zafra 2012-2013 la agroindustria azucarera guatemalteca produjo 60,493,318 quintales de azúcar, representando un total de 2,782,693 toneladas métricas. De éstas,

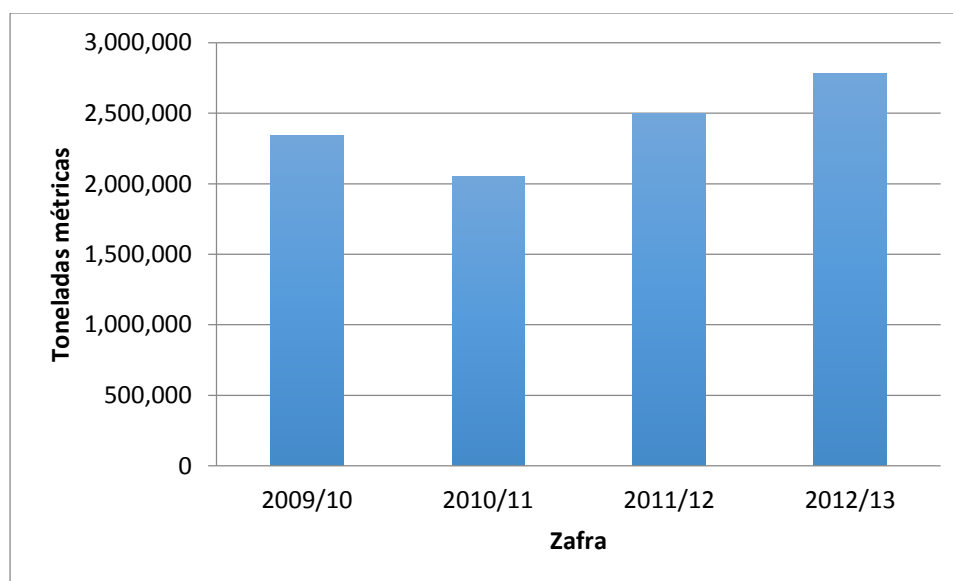
aproximadamente 2,087,019 fueron para exportación (75% del total producido) y el restante 25% para consumo interno (Azasgua, 2013).

Tabla 1. Producción de azúcar por zafra

Zafra	Quintales	Toneladas métricas	% de Variación
2009/10	50,888,103	2,340,853	
2010/11	44,525,046	2,048,152	-12.50%
2011/12	54,330,445	2,499,200	22%
2012/13	60,493,318	2,782,693	11%

(Elaboración propia con datos obtenidos de Azasgua, 2013).

Gráfica 1. Cantidad de azúcar producida por zafra



(Elaboración propia con datos obtenidos de Asazgua, 2013).

2. Ingresos de divisas por la exportación de azúcar. La agroindustria azucarera guatemalteca, mediante las exportaciones de azúcar, había representado en promedio hasta el año 2012 un 27% del valor total de la exportación de productos tradicionales y un 12.85 % de las exportaciones totales del país. Esto representa que el sector es el segundo más grande en ingresos de divisas al país (Azasgua, 2013).

Tabla 2. Ingreso de divisas por exportación

AÑO	2008	2009	2010	2011	2012
Ingreso total de divisas por exportación	5,034,553	4,795,305	5,490,744	6,578,115	6,561,021
Principales productos	1,540,893	1,855,565	2,087,566	2,493,456	2,519,914
Azúcar y melaza	406,708	492,987	763,831	702,901	843,717
Banano	322,919	494,291	351,565	384,297	469,910
Café	660,130	589,245	705,477	1,164,000	955,915
Cardamomo	180,435	300,212	307,500	296,340	250,372
Centroamérica	1,147,115	1,212,780	1,991,856	2,440,258	2,447,121
Otros productos	2,346,544	1,726,960	1,411,321	1,644,400	1,593,986

(Elaboración propia con datos obtenidos de Banguat, 2013)

Los datos más recientes indican que para Mayo de 2013, el azúcar había representado el 43.49% del valor total de la exportación de productos tradicionales y el 14% de las exportaciones totales del país. Estas exportaciones equivalen a \$ 627.9 millones de dólares en divisas (Banguat, 2013).

Figura 2. Ingreso de divisas por exportación acumuladas a mayo de 2013

Resumen	2012		2013	
	Monto	Estructura (%)	Monto	Estructura (%)
<i>Exportaciones totales</i>	4,384,321.9	100.0	4,479,913.8	100.0
Tradicionales	1,449,598.3	33.1	1,477,541.6	33.0
No tradicionales	2,934,723.6	66.9	3,002,372.2	67.0
Resto del Mundo	1,778,155.8	40.6	1,907,163.7	42.6
Centroamérica	1,156,567.8	26.4	1,095,208.5	24.4
<b>Exportaciones por Sector:</b>				
Productos agrícolas	401,539.8	9.2	438,648.9	9.8
Pesca y Acuicultura	78,398.0	1.8	78,089.9	1.7
Madera y manufacturas	40,734.2	0.9	45,165.9	1.0
Manufacturas	1,408,263.1	32.1	1,414,591.0	31.6
Vestuario y textiles	546,969.8	12.5	613,777.3	13.7
Otros productos	458,818.7	10.5	412,099.2	9.2
<b>Principales productos</b>				
Azúcar	489,087.3	11.2	627,867.3	14.0
Café	513,032.5	11.7	380,368.7	8.5
Banano	195,578.4	4.5	226,599.6	5.1
Cardamomo	124,209.5	2.8	121,630.9	2.7
Petróleo	127,690.6	2.9	121,075.1	2.7
Total	1,449,598.3	33.1	1,477,541.6	33.0

(Banguat, 2013)

3. **Duración y temporalidad de la zafra.** La cosecha de la caña de azúcar, también conocida ampliamente como zafra, se realiza en la época seca de noviembre a abril y, dependiendo del clima y la producción, se puede extender hasta mediados del mes de Mayo (Azasgua, 2013).

Durante este tiempo la zafra se subdivide en tres dadas las diferencias productivas de la caña en los distintos meses. Los tercios se dividen de la siguiente manera:

- Primero: meses de noviembre y diciembre, se caracteriza por ser el más productivo en cuanto a relación de toneladas de azúcar por hectárea (TAH) se refiere.
- Segundo: meses de enero y febrero, se caracteriza por ser el de mayor productividad en cuanto a relación de concentración de azúcar por caña se refiere.
- Tercero: meses de marzo, abril y ocasionalmente mayo, se caracteriza por ser el menos productivo en cuanto a la relación de TAH así como de toneladas de caña por hectárea (TCH).

## D. Descripción del proceso azucarero en Guatemala

Las operaciones del ingenio azucarero constan de tres procesos principales: agrícola, industrial y de comercialización.

1. **Proceso agrícola.** El proceso tiene a su cargo la producción y provisión de caña de azúcar mediante el manejo de los recursos, generación y aplicación de la tecnología para el manejo eficiente del campo, ejecutar las tareas agrícolas mecanizadas y la habilitación de tierras para el cultivo de la caña de azúcar. Además tiene a su cargo el transporte del personal, de la caña y sus subproductos (Pantaleón, 2013).

La cosecha o zafra es el paso más importante dentro de este proceso. El corte manual de caña representa un 75% del total, donde el cortador obtiene un promedio de 5.5 toneladas de caña quemada diarias. El restante 25% es corte mecanizado, es decir hecho por cosechadoras. Las mencionadas son máquinas industriales que permiten realizar la labor más fácilmente, pero tienen la desventaja de entregar un producto de menor calidad que la que se obtiene de manera manual. La caña cosechada es alzada las 24 horas del día inmediatamente después del corte para evitar la proliferación de microorganismos. Cabe mencionar que los ingenios guatemaltecos son de tipo continuo, es decir que trabajan las 24 horas del día, durante todos los días de la semana. El personal de los ingenios se rota los descansos (Mirón, 1998).

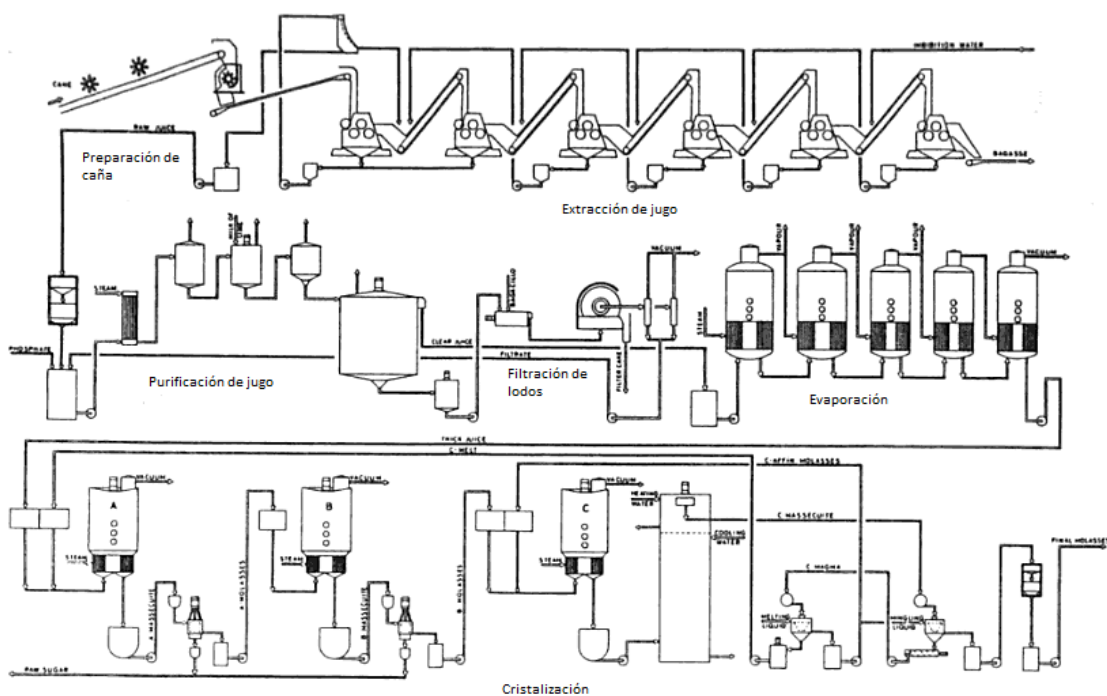
2. **Proceso Industrial.** La caña procesada pasa al tándem de molinos. En esta el bagazo entrante es rociado con jugo del molino anterior para disolver la mayor cantidad de azúcar posible del bagazo. Al final de este proceso se obtiene el bagazo completamente seco para

utilizar en la cogeneración de energía y jugo diluido que se lleva a la siguiente etapa de la producción de azúcar. (Pantaleón, 2012)

Al jugo diluido se le remueven las impurezas mediante los procesos de sulfitación y la clarificación. Esta última consiste en agregar cal hidratada junto con dióxido de azufre y floculantes para eliminar todos los sólidos que no sean sacarosa. De aquí el jugo claro se dirige a los evaporadores, mientras que la cachaza (lodos) se procesan para convertirlos en abono. (Pantaleón, 2012)

El jugo claro se lleva a evaporación, en donde se remueve el exceso de agua. Después de esta, se dirige a la meladura hacia los tachos de cristalización. Los tachos son evaporadores al vacío en donde se realiza el proceso de cristalización de la sacarosa. De aquí se obtienen las masas cocidas que pasan a las centrifugadoras, de las cuales se obtiene el producto final, azúcar. De aquí pasa a un secador rotatorio per eliminar la humedad remanente. (Pantaleón, 2012)

Figura 3. Diagrama de proceso de un ingenio azucarero



(CHEN, 1993)

a. Preparación de la caña. Este inicia mediante el peso en básculas de las unidades que transportan la caña de azúcar, las cuales se encuentran al ingreso del área industrial. En esta parte la materia prima es analizada mediante muestras en el laboratorio a modo de contar con un control de calidad. (Ingenio Magdalena, 2011)

La preparación de la caña a moler es un aspecto de gran importancia por su efecto cualitativo y cuantitativo como proceso, debido que al aumentar la densidad del colchón de la caña mejora la capacidad de molida. En el momento que la caña llega a la fábrica, se descarga sobre las diferentes mesas de alimentación mediante la utilización de viradores de caña. (Ingenio Magdalena, 2011)

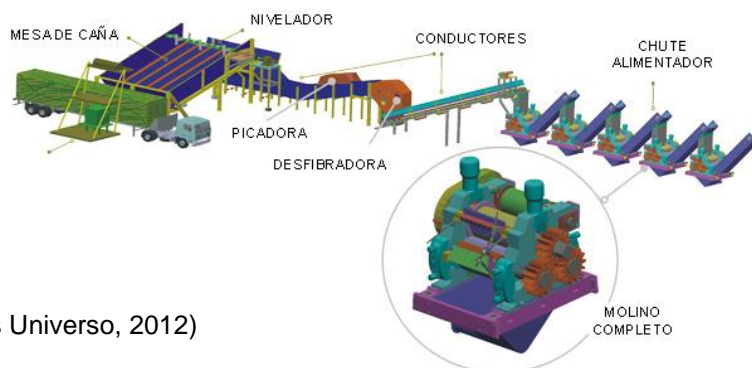
A modo de tener un proceso más limpio, en las mesas se aplica agua y/o vibración para lavado, eliminando materia extraña y sólidos como la tierra y piedras. Posteriormente la caña se somete a un proceso de preparación, el cual se basa en romper y desfibrar con el fin de obtener el bagazo que pasara a la extracción de jugo. (Ingenio Magdalena, 2011)

Este proceso se realiza en tres máquinas principales: troceadora, picadora y desfibradora. La caña pasa por la troceadora, la cual se encarga de cortar la caña en trozos de una menor longitud. Estos trozos pasan por la picadora y finalmente por la desfibradora quien finaliza el proceso de preparación desfibrando la caña a modo que cuente con las condiciones necesarias que faciliten la extracción de jugo. (Ingenio Magdalena, 2011)

En este proceso se acumula tanto la caña como el bagazo en los en diferentes áreas cercanas a las máquinas, existen trabajadores cuya función es recolectar y reintroducir el bagazo y la caña al proceso con el fin de desperdiciar la menor cantidad posible de materia prima. Sin embargo, en el momento de estar acumulados estos pueden verse afectados según los diferentes factores a los que pueden estar expuestos como lo puede ser el agua y altas temperaturas, estos pueden incrementar la actividad microbiológica y el porcentaje de dextrana. (Ingenio Magdalena, 2011)

La preparación de la caña a moler se realiza con la finalidad de transformar la materia en una masa homogénea y con mayor densidad, favoreciendo la alimentación continua y uniforme de los molinos, mejorando la acción de la inhibición, facilitando la extracción de jugo y reduciendo las pérdidas de sacarosa en el bagazo. (Ingenio Magdalena, 2011)

Figura 4. Diagrama de proceso de recepción, preparación y molienda de caña de azúcar.



(Fundiciones Universo, 2012)

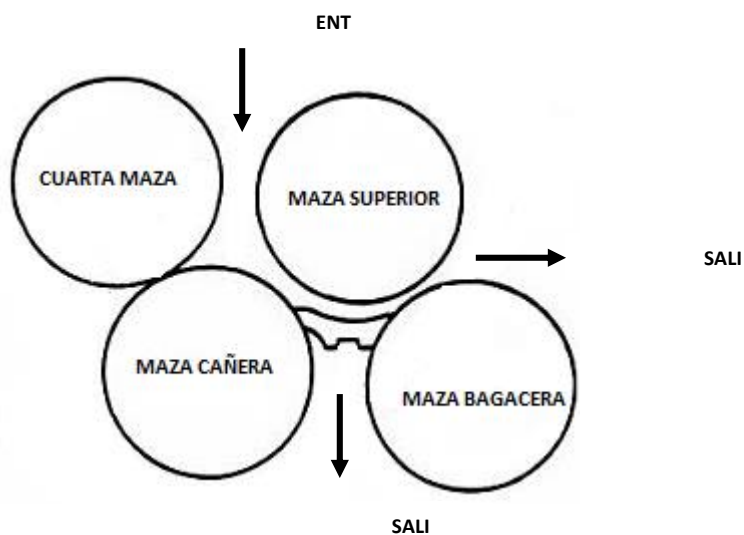
b. **Proceso de extracción.** Después de preparar la caña, la fibra pasa al tándem de molinos en donde se extrae la sacarosa mediante una combinación de lixiviación y extracción mecánica. Los molinos están compuestos de cuatro hasta seis mazas (cañera, superior, bagacera, cuarta, quinta y sexta maza). (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, & Espinosa, 2012)

Estos son alimentados mediante un conductor vertical llamado donelly. Del molino sale el jugo extraído por la parte inferior, y por la parte lateral sale el bagazo dirigido por otro donelly hacia el siguiente molino. El jugo extraído se dirige a la fábrica, mientras que el bagazo del último molino se lleva a las calderas para el proceso de cogeneración de electricidad. (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, & Espinosa, 2012)

A partir del segundo molino, a la alimentación de bagazo se le agrega jugo proveniente de la extracción anterior—jugo de maceración—para extraer sacarosa mediante lixiviación. En el último molino, se agrega agua de imbibición—condensados retornados de la fábrica con una temperatura entre 70 y 75°C. (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, & Espinosa, 2012)

Durante este proceso, se utilizan coladores que pueden ser rotatorios o del tipo cush-cush para eliminar fibra y otras partículas grandes que puedan estar en el jugo. El separador cush-cush consiste de un sistema de mallas rectangulares las cuales se limpian regularmente con el uso de cepillos metálicos. (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, & Espinosa, 2012)

Figura 5. Configuración de un molino de cuatro mazas



c. **Proceso de sulfitación.** El proceso de sulfitación únicamente para azúcar comercial que requiera ese grado de blancura. En este, se genera anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) mediante la combustión de azufre elemental. Este se reacciona con el jugo para formar ácido sulfuroso

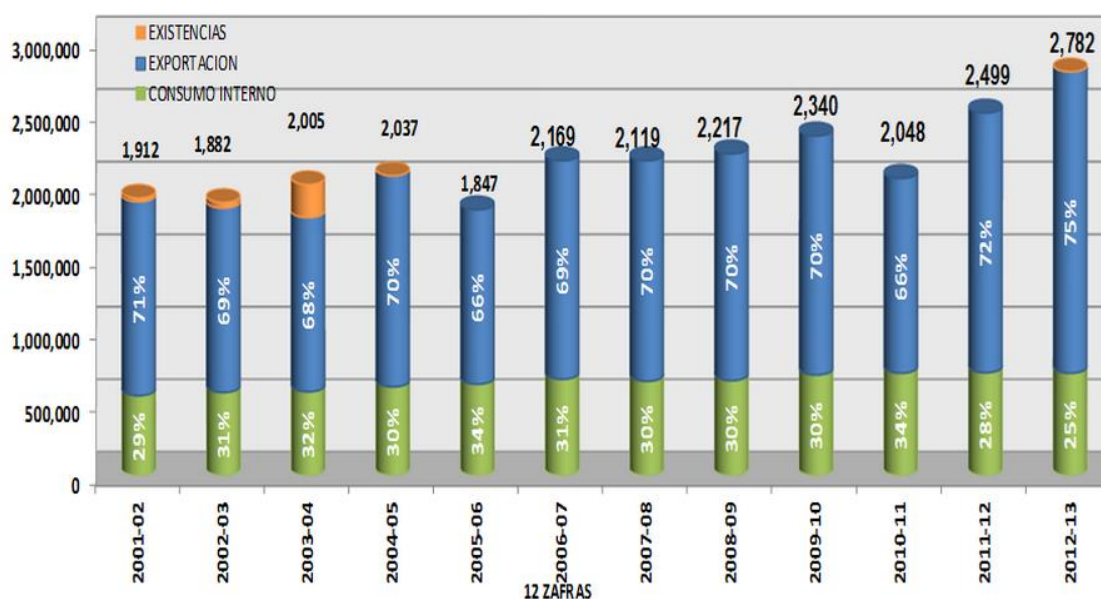
( $H_2SO_3$ ) y este ácido se disocia en protones y anión sulfito ( $SO_3^{2-}$ ). Ese el sulfito el que reduce los pigmentos presentes en el jugo y precursores de color. (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, & Espinosa, 2012)

Los hornos y tuberías donde se quema el azufre elemental tienen sistemas de enfriamiento para evitar la formación de anhídrido sulfúrico el cual es precursor del ácido sulfúrico. Se quema tanto azufre como sea necesario para provocar una caída de pH de 0.5 en el jugo. (Melgar, Meneses, Orozco, Pérez, & Espinosa, 2012)

Melgar *et al.* (2012) reportan que la sulfitación tiene como efectos positivos una decantación más rápida, disminución en la viscosidad de las mieles y masas, mejor desarrollo del cristal y agotamiento de las mieles, y mejor purga en las centrífugas.

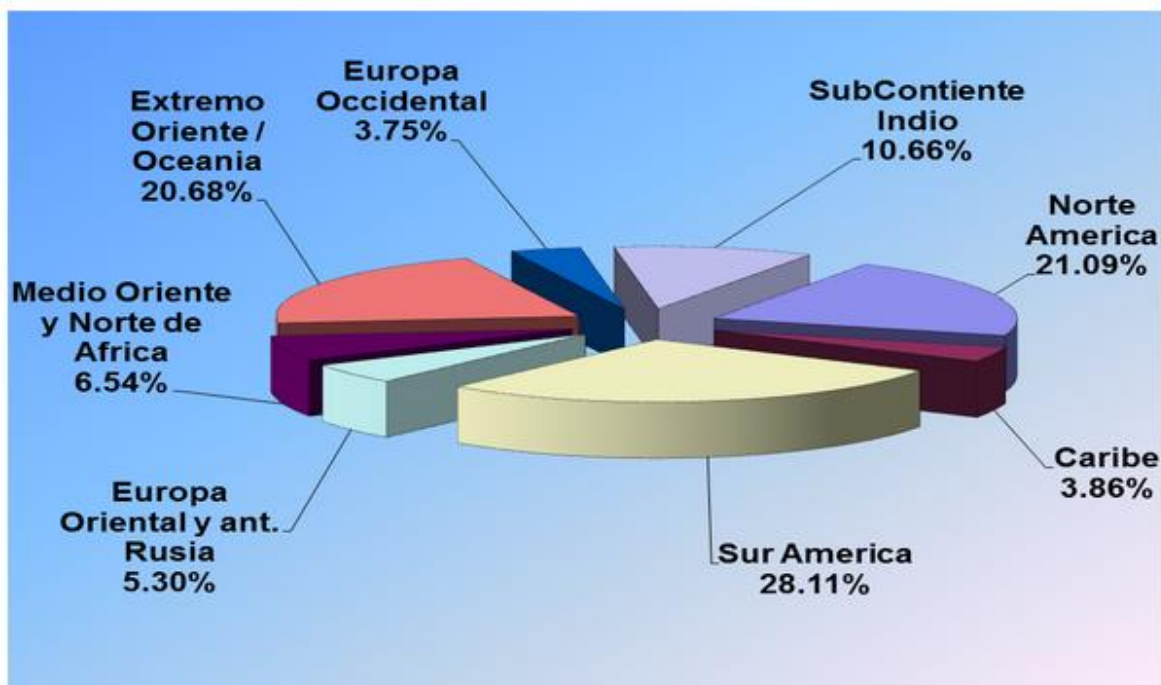
**3. Proceso de comercialización.** El proceso de comercialización es el responsable de la venta local del 25% de la producción total de azúcar por la agroindustria azucarera guatemalteca, así como la exportación del restante 75% a otros países del mundo (Observar Figuras 3 y 4). La producción de azúcar guatemalteca (cruda de granel o azúcar de mesa como se le conoce comúnmente) se negocia internacionalmente en el mercado de futuros, mediante el contrato No. 11, bajo condiciones FOB (Free on Board) y en la Bolsa de valores de Nueva York. Las cotizaciones se realizan en centavos americanos por libra inglesa. Cada contrato tiene un volumen de 112,000 libras inglesas (50.8 toneladas métricas) y los meses cotizados son enero, marzo, mayo, julio y octubre (ABG, 2012).

Figura 6. Porcentaje de consumo interno y exportación de azúcar guatemalteca



(Azasgua, 2013)

Figura 7. Porcentaje exportaciones por región



(ABG, 2012).

## E. Actividad microbiológica en la industria azucarera

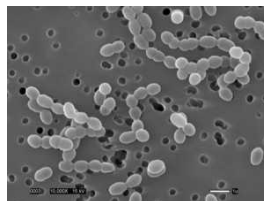
1. Microorganismos presentes y sus efectos en el proceso. El microorganismo más dañino en el proceso azucarero es la bacteria *Leuconostoc mesenteroides*. Esta es una bacteria anaerobia facultativa gram positiva cuya ruta metabólica en presencia de sacarosa, es fermentarla y producir dextrana. Debido a esto, la dextrana puede ser utilizada como un indicador indirecto de la actividad microbiológica de esta bacteria. (Eggleston, 2002)

La formación de dextrana no sólo reduce la concentración de sacarosa en el jugo de la caña, sino que aumenta la viscosidad de este 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)

Otro problema asociado al daño bacteriano del jugo de caña, es la formación de oligosacáridos. Morel du Boil (1991) reportó que los oligosacáridos provocaban 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.

Eggleston (2002) determinó que existe una caída de pH y Brix en jugo de caña que se deja envejecer comparado con uno al que se le agregó biocida. También se da un cambio de color, de café oscuro a café claro, y un apreciable olor a alcohol.

Figura 8. *Leuconostoc mesenteroides*.



(BACMAP Genome Atlas)

**2. Deterioro de la caña.** Los principales factores que afectan la caña después del corte son: altura del corte, grado de quema y tiempo entre corte y molienda, contenido de basuras o material extraño y la acción de microorganismos. (Larrahondo, 1995)

El deterioro de la caña y la pérdida de sacarosa entre el corte y la molienda han sido objetivo de varios estudios. Se sabe que este deterioro empieza casi inmediatamente después del corte, siendo mayor a medida que aumenta el tiempo de permanencia en los patios del molino o en el campo. La tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales, de la variedad y del sistema de manejo. (Larrahondo, 1883)

Cuando el corte es mecánico, el deterioro es mayor, debido al incremento de las infecciones de origen bacteriano en los tallos. En la década de los 60, en Queensland, el deterioro ocasionó grandes pérdidas en la calidad de los jugos. Este deterioro se debió a la entrada de microorganismos a la planta como resultado de las operaciones mecánicas, especialmente cuando las cuchillas de las cosechadoras no estaban bien alineadas ni afiladas. (Egan y Rehbein, 1963)

En el valle geográfico del río Cauca se ha encontrado que cuando la caña se quema e inmediatamente se corta, el brix (% caña) aumenta entre el 10% y 16% en las primeras 48 horas, en relación con la caña que se corta sin quemar. (Larrahondo, 1983)

En el valle geográfico del río Cauca se ha encontrado que cuando la caña se quema e inmediatamente se corta, el brix aumenta entre 10% y 16% en las primeras 48 horas, en relación con la caña que se corta sin quemar. Esta diferencia se debe a la pérdida de la humedad en los tallos de la primera. De la misma forma, cuando se quema y se deja "en pie", se presenta un descenso continuo en el brix y en el pol, debido al deterioro y a la mayor dilución de los metabolitos por la absorción diaria de 2.7% en sacarosa, siendo esta mayor después de 48 horas de realizada la cosecha. (Larrahondo, 1983)

En el valle geográfico del río Cauca también se han realizado algunos estudios con el objeto de comparar el efecto del tamaño de los trozos obtenidos con las cosechas mecanizada y manual. En las variedades comerciales se ha encontrado que los trozos –quemados o sin quemar- se deterioran más rápidamente que la caña entera. Cuando esta se quema y después se troza, las pérdidas en azúcar recuperable pueden ascender hasta 14% a las 24 horas; igualmente, el pol disminuye con el tiempo, especialmente en la variedad, la cual una vez se quema y se troza presenta una pérdida de 10% en sacarosa durante las primeras 24 horas. Estas disminuciones en los niveles de sacarosa están acompañadas por incrementos en los azúcares reductores y descensos en el pH de los jugos, tanto en cañas trozadas y quemadas como en aquellas trozadas pero sin quemar, mientras que en los correspondientes jugos de cañas enteras, los cambios en el pH han sido menores. (Larrahondo, 1983)

Los agentes microbiológicos, en especial las bacterias como *Leuconostoc mesenteroides* y *L. dextranicum*, también afectan la calidad después del corte. Estas bacterias dan origen a polisacáridos como las dextranas utilizando la sacarosa como materia prima, y contribuyendo así, a la pérdida de esta última. (Larrahondo, 1995)

Además de las pérdidas de sacarosa a consecuencia de la formación de dextranas, estos polímeros incrementan la viscosidad de los jugos, creando problemas en los evaporadores y tachos. (Larrahondo, 1995)

En la producción de azúcar, las dextranas son compuestos indeseables, sintetizados por microorganismos contaminantes a partir de la sacarosa, que provocan pérdidas significativas al incrementar la viscosidad en los flujos y reducir el recobrado industrial. (Rodríguez, 2005)

La síntesis de dextranas ocurre a partir de la sacarosa, mediante la acción de la enzima dextranasa. En cada molécula de azúcar que se consume se utiliza solamente la fracción de glucosa en la síntesis de la dextrana, permaneciendo como subproducto la fructosa, la cual se descompone en ácidos orgánicos y otros productos coloreados que inducen un descenso del pH; lo anterior ocasiona un aumento en la tasa de inversión de la sacarosa por catálisis ácida y contribuye, en consecuencia, al incremento de las pérdidas adicionales de azúcar comercial. (Larrahondo, 1995)

Las investigaciones de Egan y Rehbein (1963) en Australia demostraron que las poblaciones de *Leuconostoc* se elevan rápidamente cuando la caña se quema y se troza durante la cosecha mecanizada, produciéndose altos niveles de dextranas. (Honig, 1960)

Se ha observado que la quema excesiva, aunque facilita la cosecha, también remueve la cubierta serosa de los tallos, causando aberturas o fisuras por donde aparecen exudaciones

ricas en azúcares, que son un buen medio de cultivo para *Leuconostoc* y otros microorganismos. (Larrahondo, 1995)

El control de las dextranas en la agroindustria azucarera se ejecuta mediante el riguroso ajuste entre la quema, si esta se realiza, el corte, mecanizado o manual, y la entrega de la caña fresca al central. También se emplean las técnicas de saneamiento con vapor del equipamiento productivo cada 8 horas durante el funcionamiento del central, y el uso de biocidas sobre la caña en el tándem. Cualquier eventualidad que retarde el arribo de la caña cortada al central, por encima de 14 horas en un ambiente cálido y húmedo, actúa de forma favorable en la formación de las dextranas, las cuales alcanzarán los molinos y entrarán con el jugo al flujo industrial. El contenido de las dextranas se incrementa progresivamente a lo largo del proceso, del jugo diluido a la miel final. El efecto perjudicial de las dextranas comienza desde el momento en que estas se forman, ya que para ello se consume sacarosa de manera irreversible. (Rodríguez, 2005)

Figura 9. Corte mecanizado de caña de azúcar



(Revista técnica, 2010)

Figura 10. Corte manual de caña de azúcar



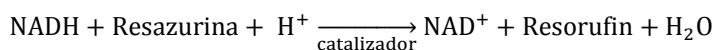
(PERLAVISIÓN, 2012)

## F. 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. (Gon Yu, Chung, Suk Yu, Seo, & Won Heo, 2003)

La resazurina es reducida a resorufin mediante la siguiente reacción:

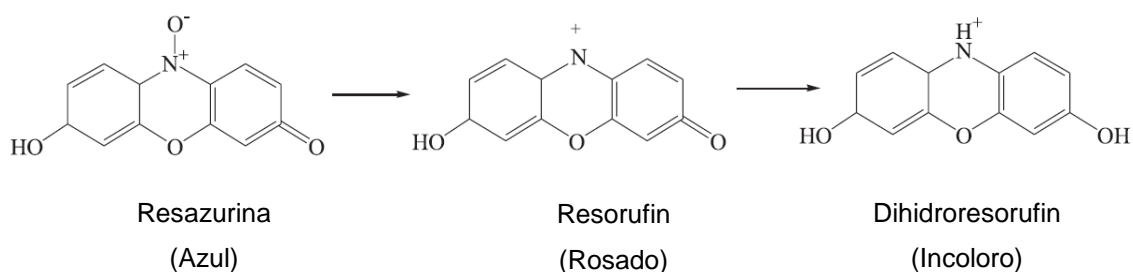
Ecuación 1. Reducción de resazurina



(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, Gagiotti, de Mesquita Barros, & Andrade, 2009; Haggerty, Argerich, & Martí, 2008)

Figura 11. Reducción de la resazurina.



(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)

## V. ANTECEDENTES

### A. 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 desarrollar la ecuación para medir la actividad microbiológica en base al tiempo de viraje de la resazurina. La Ecuación 1. muestra la forma en que se calcula el coeficiente microbiológico (CM).

Ecuación 2. Cálculo coeficiente microbiológico.

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

(Alvarez *et al.*, 2008)

Tabla 3. Valoraciones dadas al coeficiente microbiológico (CM) por su valor numérico.

CM	Valoración del resultado
Menor a 1.75	Bueno
1.75-2	Aceptable
2-3	Malo
Mayor a 3	Crítico

(NÚÑEZ, 2013)

1. Índice de incremento microbiológico o IC. El IC es una variable que se utiliza para comparar salidas y entradas en una unidad, un punto o todo un sistema con base en los valores de CM. El IC es negativo o cero, si no hay un incremento de los valores de CM y es positivo cuando existe un incremento entre los puntos de entrada y salida a comparar (Basterrechea, 2011).

La ecuación para calcular el índice de incremento del coeficiente microbiológico es:

Ecuación 3. Cálculo índice de incremento del coeficiente microbiológico

$$IC = CM_2 - CM_1$$

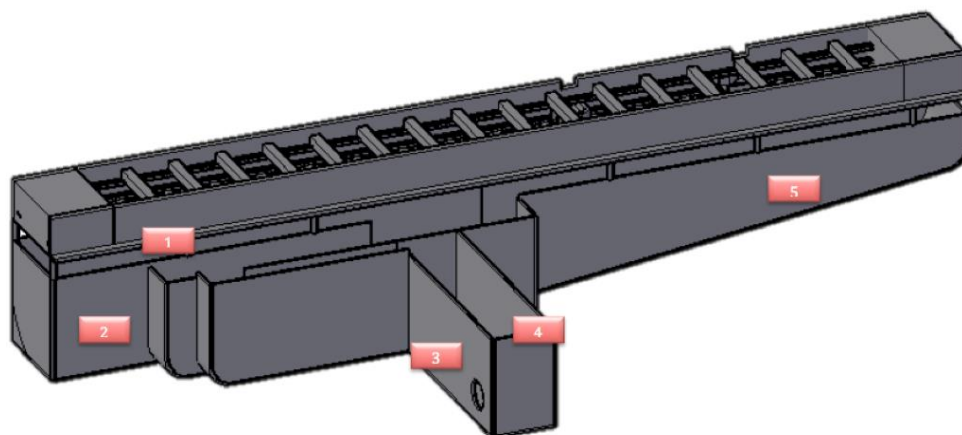
Donde:

- IC representa el incremento del coeficiente microbiológico entre dos puntos.
- $CM_2$  es el coeficiente microbiológico en el punto de salida
- $CM_1$  es el coeficiente microbiológico en el punto de entrada

## B. Actividad microbiológica en los tanques de jugo diluido del Ingenio Pantaleón

Villatoro (2012) realizó una evaluación de los puntos críticos en el tanque de jugo diluido del tándem A y B. Debido a que el jugo extraído por todos los molinos se encuentra retenido por cierto tiempo dentro del tanque, es de vital importancia mantener la menor actividad microbiológica posible. Encontró que para el tándem A, los puntos críticos eran los siguientes:

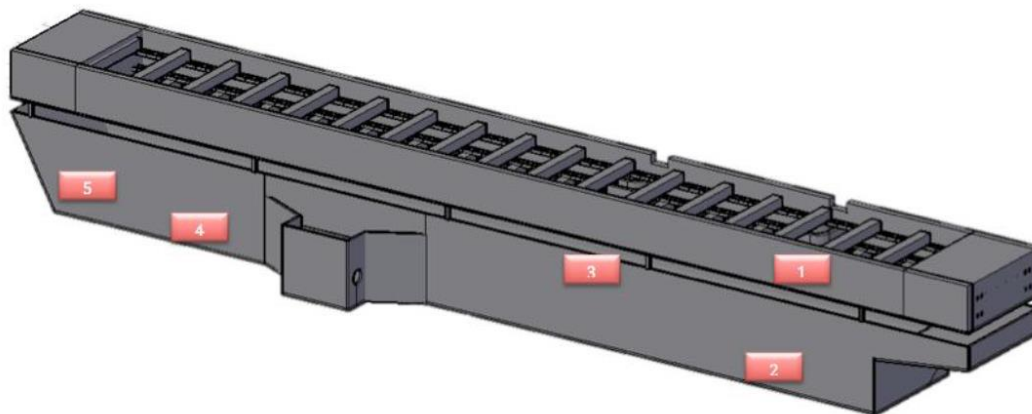
Figura 12. Puntos críticos tanque de jugo diluido tándem A Ingenio Pantaleón.



(Villatoro, 2012)

Para el tándem B, los puntos críticos eran los siguientes:

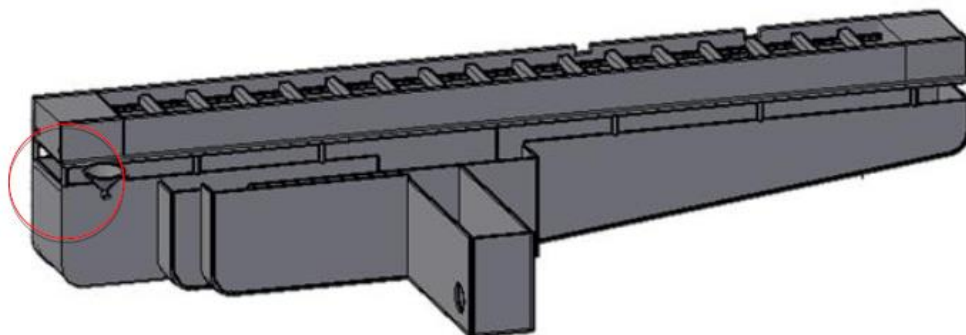
Figura 13. Puntos críticos tanque de jugo diluido tándem B Ingenio Pantaleón.



(Villatoro, 2012)

Se realizaron las siguientes modificaciones al tanque de jugo diluido del tándem A, para poder aplicar bactericida al área más afectada:

Figura 14. Modificación A tanque de jugo diluido tándem A Ingenio Pantaleón.



(Villatoro, 2012)

Villatoro (2012) también encontró una presencia abundante de biopelículas en el tanque de jugo diluido del tándem B. Este fue descubierto durante una parada de mantenimiento cuando se vació por completo el tanque. En el tándem A no se encontró presencia de biopelículas. Ella observó que existía una mayor retención de jugo en el tanque del tándem B del Ingenio Pantaleón, por lo que se tuvieron las condiciones óptimas para la formación de este polisacárido.

Figura 15. Polisacárido encontrado en colador de tanque de jugo diluido del tándem B.



(Villatoro, 2012)

## VI. METODOLOGÍA

### A. Evaluación y propuesta de reingeniería de los procesos de acondicionamiento de la caña y fibra para la extracción en el área de conductores del Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena.

1. Ingenio Pantaleón. Durante la zafra 2012-2013 se realizaron semanalmente visitas al Ingenio Pantaleón en las cuales se observó y se hizo un seguimiento del proceso productivo de fabricación de azúcar desde que los camiones provenientes de las distintas fincas y lotes descargan la caña en las mesas hasta que los conductores transportan la misma hacia los tándems A y B. Se hizo un recorrido por los conductores de los tándems A y B para poder identificar los principales puntos críticos en los que se acumulan las pilas de bagazo y las razones de la acumulación para poder realizar una división de los mismos por áreas para poder llevar a cabo el estudio. Se dividió el conductor del tándem A en 7 áreas y el conductor del tándem B se dividió en 5 áreas

Se observó durante las visitas el proceso de limpieza de los conductores para poder analizar el manejo que se le da a las pilas de bagazo. Adicionalmente se conversó con diferentes operarios encargados de la limpieza de diferentes turnos para poder obtener un entendimiento completo de cómo se realiza la misma. Por último se consultó el manual vigente de limpieza de los conductores de los tándems A y B del Ingenio Pantaleón.

Se decidió llevar a cabo un muestreo tomando en cuenta el tiempo que las pilas de bagazo llevaban acumuladas en los conductores de los tándems A y B. Se tomaron muestras de caña de los camiones que entraban al Ingenio Pantaleón de manera aleatoria en el laboratorio de caña para posteriormente obtener bagazo de las mismas. El bagazo obtenido de las muestras de caña fue colocado en forma de pilas en las diferentes áreas de los conductores de los tándems A y B consideradas como críticas en base a los muestreos realizados anteriormente. Se hizo la prueba de resazurina para las muestras de bagazo obtenidas de los camiones para obtener el coeficiente microbiológico inicial del muestreo.

Una vez colocadas las pilas de bagazo, se puso una hoja de papel encima de cada una en la que se indicaba que las pilas no debían ser removidas por el proceso de limpieza. Se informó al operario de turno encargado de la limpieza del muestreo que se iba a realizar para evitar lo mencionado anteriormente. Al igual que en los muestreos anteriores, estos se realizaron cada hora durante cuatro horas para determinar los puntos de mayor influencia en el aumento de la actividad microbiológica.

## 2. Ingenio Concepción

a. Selección de puntos o áreas críticas en conductores y análisis de su comportamiento de actividad microbiana. De acuerdo al muestreo realizado en cada punto de la división, se hizo un análisis de los datos para seleccionar las sub-áreas críticas a las que se les debía de poner suma atención en factores de acumulación, tiempo de acumulación, limpieza y reincorporación al proceso.

Se encontraron 6 sub-áreas críticas las cuales, a pesar de su mal estado y mala calidad de materia, se seguían reincorporando al proceso de producción de azúcar.

b. Redacción del instructivo del procedimiento de limpieza en los túneles bajo conductores y mesa. Al observar el instructivo existente se pudo notar su generalidad en la redacción y su poca profundidad acerca del fin de la limpieza.

Se redactó un instructivo el cual indica al colaborador de una mejor manera el procedimiento de limpieza para cada área. El instructivo cuenta con aspectos que garantizan una mejor limpieza, como lo son: orden de la limpieza, criterios para la toma de decisiones en la misma y procedimiento adecuado tomando en cuenta la utilización del equipo correcto para esta actividad.

c. Evaluación de prueba de resazurina. A través de la prueba de resazurina se evaluó de forma analítica y se estableció un coeficiente de actividad microbiana (CM). Este indicador está en función del tiempo que se decolora un medio e indica el nivel de actividad que se da en la muestra.

Se evaluaron todas las muestras por medio de esta prueba y se estableció una relación del crecimiento de esta actividad. Además de esto, se pudo observar un límite para el cual ya no debe de ser permitido el reingreso de caña o fibra al proceso. Dicho límite se encuentra cuando el resultado pasa al rango de CM malo o crítico (Ver anexo B: Pruebas de CM con resazurina)

d. Confirmación del efecto del método de extracción en la reducción del índice de actividad microbiológica en jugo del primer molino con respecto al de la fibra por medio de pruebas de resazurina. Se tomó muestras de fibra previa a su entrada al molino número 1 y muestras de jugo primario, para determinar si existe un incremento o disminución en la actividad microbiológica en base al índice de CM. El cambio del índice de actividad microbiológica se vio por medio de un cambio en los porcentajes de CM identificados como malos y críticos entre los dos puntos.

e. Evaluación del efecto de la reincorporación de material dañado al sistema. Luego de tomar muestras del material que se reingresaría al sistema se tomó muestras de jugo primario, antes y después del hecho, dándole seguimiento al material en la línea. Con estas muestras se hacen pruebas de CM y se hace una comparación de los antes y después en los porcentajes de CM clasificados como malos y críticos.

f. Evaluación del efecto del ingreso de caña mecanizada en los niveles de actividad microbiológica en la fibra. Se evaluó el nivel de muestras consideradas como malas y críticas dentro de dos grupos. El primer grupo de muestras consistió en jugo extraído directamente de unidades de caña larga tomada en diferentes periodos, mientras que el segundo grupo consistía de jugo extraído utilizando el mismo método, pero esta vez de caña mecanizada. Luego de tener ambas evaluaciones se hizo una comparación en los niveles de muestras consideradas como malas con el fin de evaluar el efecto del método de corte de la caña en la calidad del jugo de la misma.

3. Ingenio Magdalena. Realizar un estudio de la caña barrida que se acumula en el patio y que queda sujeta en las jaulas, basándose en análisis de la actividad microbiológica y los tiempos de formación de pilas hasta su reintroducción al proceso, ello con la finalidad de determinar si representa un riesgo debido a coeficientes de actividad microbiológica considerados como malos. Al tomar en cuenta el bagazo, realizar una caracterización de cada uno de los tándems en la parte del caite y la banda tomando en cuenta las áreas donde se acumula bagazo y el flujo en el que este se acumula, así como las áreas donde se reintroduce al proceso. Determinar las áreas críticas donde se acumula en base a su riesgo debido a una alta acumulación o una actividad microbiológica significativa. Estudiar el bagazo durante 8 horas a modo de determinar un tiempo máximo que el bagazo puede pasar sin ser reintroducido al proceso, así mismo estudiar el bagazo más deteriorado que se acumula en la estructura a modo de recomendar su desecho en lugar de su reintroducción al proceso. Analizar en cada uno de los tándems los factores que pueden provocar una mayor actividad microbiológica en el bagazo acumulado, a modo de recomendar soluciones. Con la caracterización realizada estandarizar el proceso de recolección y reintroducción del bagazo mediante rutas de las cuales los trabajadores deben guiarse para recoger, transportar y reintroducir el bagazo al proceso. Finalmente, en base a cada uno de los estudios realizados, redactar instructivo que se implemente en el Ingenio con el cual se reduzcan las pérdidas de sacarosa debido a un mal manejo del bagazo acumulado que presente una actividad microbiológica significativa.

B. Evaluación y propuesta de mejoras al procedimiento de asepsia en tándem en el Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena mediante investigación, la innovación y el desarrollo de nuevos procedimientos operativos.

1. Comparación de la actividad microbiológica de los tándems del Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena. Con los datos obtenidos en toda la zafra por los analistas de microbiología, se realizó un análisis de Índice Total de Actividad Microbiológica (ITAM) para poder comparar los seis tándems de los tres ingenios analizados. El análisis ITAM consiste en contabilizar muestras buenas, alertas, malas y críticas de jugo primario y diluido para cada tándem durante toda la zafra. Estos después se convierten a porcentaje. Después se valoriza cada porcentaje de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4. Coeficiente de valorización de cada tipo de muestra para el análisis itam

<b>Tipo de muestra</b>	<b>Coeficiente de valorización</b>
Bueno	0
Alerta	2
Malo	8
Crítico	10

Los índices resultantes se suman para obtener el índice total. Este valor es el que se utilizó para comparar los tándems de los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena.

## 2. Ingenio Pantaleón

a. Evaluación de las mejoras establecidas al sistema de limpieza y su control en la zafra 2011-2012. El estudio realizado por Édgar Aldana, del antiguo grupo de trabajo del megaproyecto, también presenta que, al comienzo de la zafra, la proporción de tiempo dedicado a la asepsia del molino interno fue aproximadamente de 39%. El resto del tiempo fue distribuido entre el piso y molino externo. Este resultado conllevó a la elaboración de una hoja de registro con la cual se llevó a cabo el monitoreo de la asepsia en cuanto a temas de calidad y tiempos empleados en la realización de la tarea.

b. Evaluación de la incidencia de una mala o falta de asepsia con la actividad microbiana durante los mantenimientos programados en el área de tándem. Los mantenimientos se realizan aproximadamente cada 15 días, alternando tándem A y tándem B. Al tándem A, por ejemplo, se le da mantenimiento una vez al mes. Se obtuvo información sobre los días en que fueron llevados a cabo los mantenimientos, con tal de poder asistir a los mismos con el fin de evaluar la asepsia realizada antes de parar el funcionamiento

del tándem. Se asistió a varios mantenimientos durante la zafra 2012-2013, de los cuales se hizo el estudio en dos de ellos. Uno de los estudios se realizó para el tándem A y otro para el tándem B. Se tomaron fotografías de material estancado en las tazas y demás partes del tándem en los mantenimientos programados en los cuales se tuvo evidencia de la falta de asepsia de molinos y tándem en general.

Se visitó el ingenio para realizar la observación del mantenimiento y la evaluación de la incidencia de la asepsia durante el mantenimiento programado al tándem A. Se determinaron las áreas de muestreo de bagazo estancado en la taza del tándem, tomando en consideración aspectos de seguridad personal y capacidad de alcance del bagazo. Se tomó muestras durante el mantenimiento cada hora a partir del paro de molienda. Con esta toma de muestras se obtuvo el Coeficiente Microbiológico (CM) en los puntos muestreados, que representan una medida de la actividad microbiológica. En base a los resultados obtenidos se realizó una gráfica de barras. Luego de terminado el mantenimiento e inicio de molienda, se tomaron muestras del jugo primario y jugo diluido cada cinco minutos durante veinticinco minutos con el fin de evaluar el comportamiento de la actividad microbiológica después de un mantenimiento programado y empezar molienda. Para esta evaluación de la actividad microbiológica después de empezar molienda se obtuvo el Incremento de coeficiente microbiológico (IC).

Se visitó el ingenio para realizar la misma evaluación de asepsia en paro programado (mantenimiento) al tándem B. Los lugares de muestreo se determinaron en base a la capacidad de acceso al lugar de muestreo. Se evaluó la actividad microbiológica después de empezar molienda con la misma metodología que en el estudio al tándem A.

c. **Determinación del tiempo óptimo para la evaluación de la asepsia en tándem.** Se guió a los operarios de asepsia para realizar una asepsia modelo en un molino determinado del tándem, con el fin de garantizar una realización correcta de la asepsia enfocada en áreas con contacto directo con el bagazo y jugo (molino interno). Para realizar esta evaluación fue necesario determinar los molinos que permitieran llevar a cabo de mejor manera el muestreo, los cuales fueron el Molino 2 y Molino 3. Para realizar este análisis se limpió únicamente un molino por evaluación, no se realizó la asepsia al tándem completo para estos análisis. La asepsia del molino, en la mayoría de casos, duró de 40 minutos a 1 hora aproximadamente. Se tomaron muestras en los lugares de muestreo establecido para cada molino antes de la asepsia modelo para determinar el comportamiento de la actividad microbiológica mediante el cálculo del IC antes de realizar la asepsia y la evaluación de la misma. Después de terminada la asepsia se tomó muestras cada 5 minutos para evaluar el comportamiento del IC después de la asepsia y cómo se va desarrollando a lo largo del tiempo.

Esto permitirá determinar el tiempo después de la asepsia en que todos los análisis coincidan y así establecer el tiempo óptimo para evaluar la asepsia en el molino y generalizar al tándem.

d. **Establecimiento de una metodología estándar para la asepsia de tándem.** Se tomaron tiempos en la asepsia de los molinos. En base a lo observado durante el estudio de tiempos y a los resultados del mismo, se determinaron los elementos sujetos a mejora en el orden y tiempo para realizar la asepsia en molinos. Se propuso la mejora al procedimiento para realizar la asepsia y se detalló los pasos a seguir para realizar la tarea, así como los responsables. Se elaboró el Instructivo de asepsia de molinos en el cual se detalló el procedimiento. Se implementó en el tándem B el método propuesto para realizar la asepsia de molinos y se tomaron muestras antes, durante y después de la asepsia para evaluar la efectividad del método.

**3. Ingenio Concepción.** Como punto de partida en un ingenio donde no se tienen antecedentes, se procedió a analizar la forma en que se realizan los muestreos, que metodologías usan y analizar qué tan viable y en qué medida se pueden implementar cambios. Posteriormente se realizaron observaciones personales y detalladas para cada proceso actual de limpieza que efectúan los operarios, con el fin de evaluar la viabilidad de implementar procesos ya puestos en marcha en Pantaleón dentro del Ingenio Concepción.

Para la obtención del tiempo representativo de muestreo para evaluar la efectividad de la limpieza, se tomó como punto de partida se realizó un muestreo previo a la limpieza en los molinos 2 y 3 con el fin de tener un punto de comparación de la efectividad de la limpieza, este muestreo se realizó media hora antes de la limpieza y este tiempo se dividió en sub intervalos de muestreo, tomando muestras cada 10 minutos. Habiendo obtenido el IC de las entradas y salidas del molino 2, durante este intervalo de tiempo posterior y previo a la limpieza, fue posible graficar los datos para observar una tendencia del incremento microbiológico y evaluar la efectividad de la limpieza.

La implementación de Limpieza Guiada en el Tándem del Ingenio Concepción comenzó habiendo analizado y estudiado el procedimiento de la limpieza actual se basó la metodología de la limpieza guiada en tres factores: atención especial a la asepsia interna del molino, reducción de tiempos improductivos y coordinación entre operarios. . Se analizaron los molinos 2 y 3 como puntos representativos del tándem, tomando muestras de los puntos de entrada de bagazo y salida de jugo. Para el molino 2 las entradas fueron el jugo primario, el bagazo proveniente del molino 1 y la maceración 3-2, la salida fue el jugo proveniente de las masas del molino 2.

En el caso del molino 3 las entradas fueron el bagazo proveniente del molino 2 y la maceración 4-3, la salida en este caso fue el jugo proveniente de las masas del molino 3. La toma de muestras anterior a la limpieza en el molino 2 se llevó a cabo 40 minutos antes de la misma, tiempo que se

dividió en intervalos de muestreo de 10 minutos. Para el molino 3 se llevó a cabo 1 hora 10 minutos antes de la limpieza y este tiempo también se dividió en intervalos de muestreo de 10 minutos.

Con el propósito de medir si existe una reducción de tiempo no productivo y optimización del tiempo efectivo de limpieza en las áreas correctas del molino, se llevó a cabo un estudio de tiempos, Para la limpieza actual se realizaron 3 ciclos de medición. Este estudio dividió la observación y medición del tiempo de la limpieza del tándem por partes: parte interna del molino, sección externa, sección transportadora de bagazo y base del molino. Concluido el estudio de tiempos para la limpieza actual se procedió a realizar un segundo estudio de un ciclo para la asepsia guiada, este se realizó siguiendo exactamente la misma metodología que para la limpieza actual y con las mismas divisiones en los molinos

Con la finalidad de establecer métodos de manufactura esbelta, como lo es un sistema visual Kanban, se llevó a cabo la realización de un Semáforo de Limpieza, que contiene las partes de los molinos donde la actividad microbiológica es más crítica.

Con la finalidad de estandarizar e implementar en futuras zafras la limpieza guiada, se redactó y confeccionó un procedimiento de la asepsia de los molinos en base a los resultados obtenidos. Así como un manual de tipo instructivo diseñado para los operarios de limpieza del tándem que contiene pasos puntuales para la limpieza y es mucho más gráfico que técnico para garantizar la comprensión y reflexión de la importancia de la limpieza. Adicional a esto se confeccionó un procedimiento para el uso y la implementación del señalizador “Semáforo de Limpieza” para ser implementado en la zafra (2013-2014).

Con base en los resultados positivos obtenidos en el Ingenio Pantaleón se tomó la decisión de la redacción y elaboración de material audiovisual de capacitación para operarios de limpieza y supervisores de limpieza basada en la asepsia implementada años atrás por estudiantes de la Universidad del Valle de Guatemala en el Ingenio Pantaleón. Esto con la finalidad de que en futuros megaproyectos se reduzca la resistencia al cambio por parte de los operarios de asepsia y pueda ser implementada la limpieza de la forma en que se ha hecho en Ingenio Pantaleón por promociones pasadas.

#### 4. Ingenio Magdalena

a. Evaluación del lavado en los molinos, para juzgar la eficiencia del mismo en la disminución de la actividad microbiológica. Se evaluó el método existente de lavado, para determinar si en realidad lavaban el tiempo que tienen estipulado y ver el tiempo real que un operario de lavado se dedica a lavar y el tiempo que no se dedica a lavar. Por otra parte se estudió la forma de lavar de los individuos, el orden en que lo hacían, cuánto tiempo

estaban lavando partes de los molinos (removiendo bagazo acumulado) y cuánto tiempo estaban lavando pasillos y demás partes que no influyen en la disminución de la actividad microbiana. Se delimitaron tres partes de lavado, las cuales eran el molino interno, molino externo y piso.

Por último se muestreó el jugo en cuatro diferentes puntos de cada molino antes y después del lavado. Se hicieron mediciones comenzando 30 minutos antes del lavado, en lapsos de 10 minutos, de manera que se tuvieran 3 datos anteriores al lavado. Luego del lavado se volvió a medir 3 veces más en lapsos de 10 minutos.

b. Evaluación del cuidado de la asepsia durante los mantenimientos para determinar la actividad microbiológica durante los mismos. Durante los mantenimientos, se observó que la asepsia de las bandejas se descuida debido a otras actividades que requieren de ayuda y soporte del personal de lavado. Se evaluó el nivel de actividad microbiológica que había en las bandejas durante los mantenimientos, muestreando cada media hora las bandejas 2, 3 y 4 de los tándems.

Para disminuir el establecimiento de “biofilm” o marino (como le llamaban en el Ingenio) de microorganismos en los tanques se estableció un nuevo método de lavado con puntos y acciones clave a realizar durante los mantenimientos. Se midió el cumplimiento de la nueva implementación por medio de una hoja que debían llenar los días que había mantenimiento o algún paro no planificado.

c. Evaluación de los puntos críticos según mediciones propias, para determinar la colocación de un semáforo en forma de manta como instrumento de comunicación. Para la colocación del señalizador, se utilizó una manta de vinil, la cual se colocó en el tándem B, siendo este el tándem que se encuentra en el punto medio de los 3, en cuanto al aumento de Actividad Microbiológica. Para dicha colocación se necesitó ayuda de unos soldadores que crearan la base metálica, donde la manta quedaría a la vista de todos. La manta tendría un círculo verde por cada punto de medición que se tiene y la descripción de que punto representa debajo de cada uno. Se tendrán 4 círculos rojos independientes los cuales se colocaran en la manta cuando algún punto resulte como crítico según los indicadores de actividad microbiológica.

d. Implementación de un manual en forma de instructivo para documentar las mejoras y procedimientos establecidos. Se implementó un nuevo instructivo que cumple con los estándares de seguridad industrial y buenas prácticas de manufactura, así como también garantiza una limpieza más eficiente. Se documentó todos los peligros de seguridad y salud ocupacional a los que los operarios de lavado están expuestos y el equipo de protección

personal que deben utilizar. Por otra parte también se documentó y especificó cuáles son los puntos más importantes a tomar en cuenta a la hora de realizar el lavado. En cuanto a la limpieza durante los mantenimientos establecidos, también se especificó quien y como lo debe de hacer. Este instructivo será apoyado de la misma forma que el Kanban, con una herramienta visual, la cual provee información valiosa y capacitación constante para el lavador. En esta se incluyen puntos importantes a tomar en cuenta antes, durante y después de la limpieza. De la misma manera servirá para resolver cualquier duda que le pueda surgir al operario durante su labor.

### **C. Evaluación de las condiciones de higiénicas en el colador y tanque de jugo mezclado (diluido) durante paros y sugerir métodos para mejorarlas realizando un protocolo de asepsia.**

Durante los paros de mantenimiento programados para los tándems, se realizó una inspección visual de los tanques colectores de jugo para determinar si existía una acumulación de biopelículas y cualquier otro material. En caso de baja visibilidad, se utilizaba una linterna para poder observar adecuadamente. Después se realizó una inspección táctil para determinar si existían sustancias mucilaginosas adheridas a las superficies de los tanques pero que no observaban visualmente. Se cuantificó la presencia tanto de biopelículas como de material acumulado en una tabla.

En base a esto, se determinaron los puntos críticos que se deben verificar después del lavado. El lavado primero se realizó utilizando agua fría para que el operador de asepsia pudiera tener visibilidad de todo el tanque y eliminar todo el materia acumulado. Este es seguido por un lavado con agua caliente para desinfectar mediante altas temperaturas el tanque y terminar de remover cualquier formación de biopelículas que no haya sido removida mediante el uso de agua fría. Después de que el vaho se disipó se verificaron los puntos críticos para asegurar una limpieza adecuada.

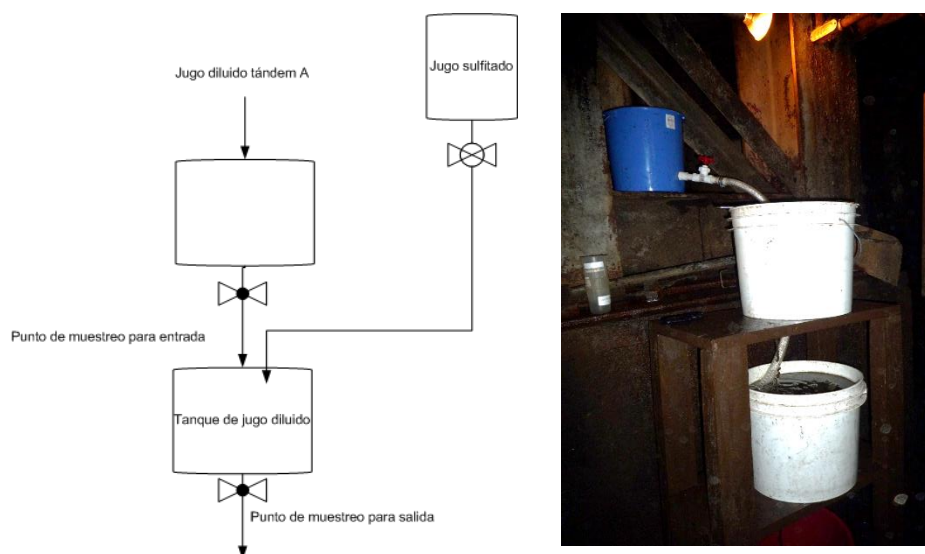
### **D. Exploración a escala de laboratorio y piloto la recirculación del jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción.**

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.

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

Figura 16. Sistema para simular tanque de jugo diluido con flujo continuo de jugo sulfitado



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.

## E. Desarrollar un sistema administrativo para el proyecto, mejorando los sistemas de control y evaluación económica de la metodología de asepsia de tándem propuesta

1. **Observación de campo.** Se visitó el Ingenio Pantaleón en ocasiones regulares para la observación, entendimiento y análisis de los procesos que conllevan la obtención del azúcar. Durante dichas visitas se conoció directamente el trabajo realizado por los otros integrantes del megaproyecto.

2. Evaluación económica de la implementación de los procedimientos propuestos para el control microbiológico en el área de extracción del Ingenio Pantaleón. Dados los resultados del procedimiento propuesto de asepsia en tándem efectuado por el integrante del megaproyecto Carlos López, se evaluó económicamente la implementación del mismo. Para el efecto se obtuvieron los datos del estudio de tiempos realizado por él, el cual determina el tiempo actual promedio necesario para realizar la asepsia de tándem. Además se obtuvo mediante el mismo medio los datos relacionados al estudio de tiempos de la metodología propuesta de asepsia de tándem.

Además se obtuvieron datos acerca de la cantidad de días efectivos de molienda del Ingenio Pantaleón durante la Zafra 2012-2013, así como el número de asepsias diarias realizadas y la cantidad de operarios de asepsia necesarios para el efecto. Los datos se muestran a continuación:

TABLA 5 INFORMACIÓN PARA EVALUACIÓN ECONÓMICA

<b>Meses productivos</b>	6.13
<b>Días efectivos de molienda (días)</b>	184
<b>Tiempo actual de asepsia por tándem (min)</b>	106
<b>Tiempo de la metodología propuesta (min)</b>	75
<b>Número de asepsias por tándem al día</b>	9
<b>Número de tándems</b>	2
<b>Número de operarios por asepsia de tándem</b>	2
<b>Días laborados semanalmente</b>	6
<b>Horas laboradas al día</b>	8
<b>Días laborados al mes</b>	25

Con estos datos, y determinando que el salario mensual de los operarios de asepsia varía de Q1,400 a Q1,800 (información obtenida directamente por un operario de asepsia), se determinaron los costos relacionados por unidad de capital humano durante la asepsia de tándem.

Para el efecto se procedió a determinar el costo de oportunidad de realizar la asepsia con la metodología actual dada la metodología propuesta. Además se determinó el valor esperado del salario mensual del operario de asepsia, mediante 100 iteraciones de generación aleatoria de números comprendidos entre 1400-1800 (rango de salario del operario de asepsia), teniendo cada uno de estos valores la misma probabilidad de ocurrencia.

## VII. RESULTADOS

A. Evaluación y propuesta de reingeniería de los procesos de acondicionamiento de la caña y fibra para la extracción en el área de conductores del Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena.

### 1. Ingenio Pantaleón

a. Evaluación de la actividad microbiológica de la caña en los conductores de los tándems A y B

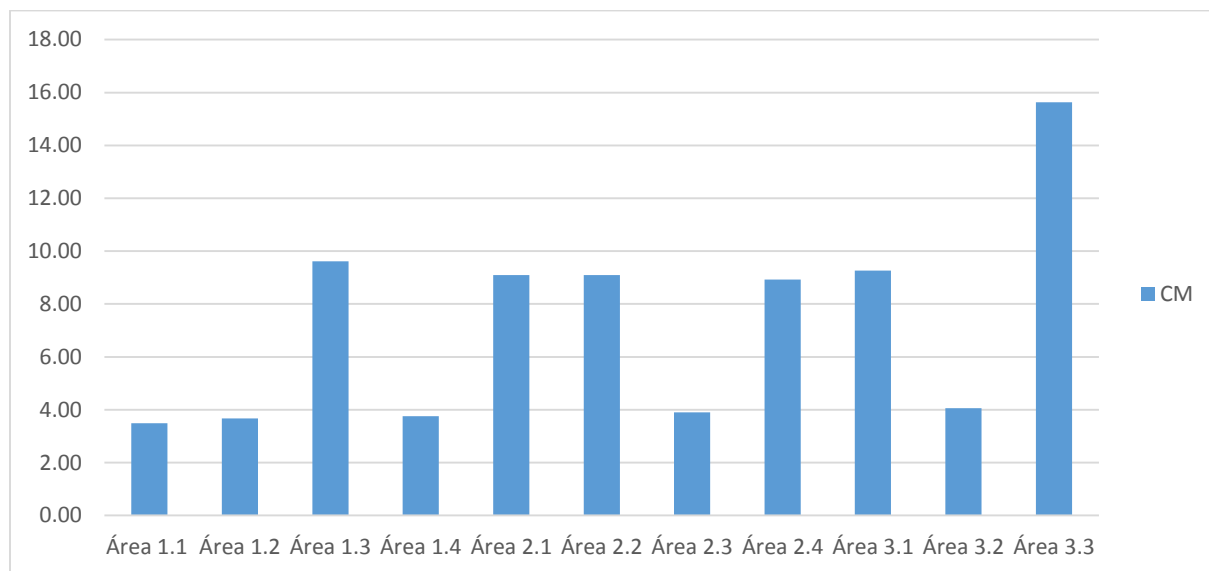
1) Observación y análisis de situación actual del manejo de la caña en los conductores de los tándems A y B

Tabla 6. Causas de acumulación de pilas de bagazo en conductores de tándems A y B

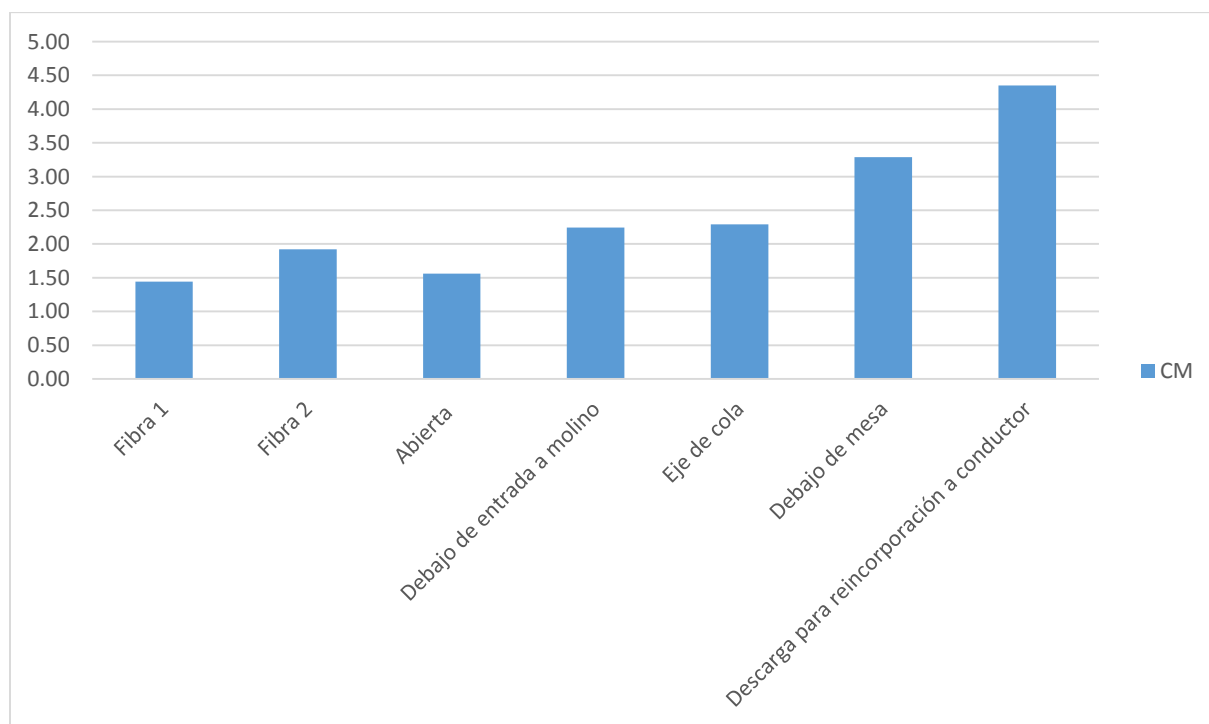
Causas de acumulación de pilas de bagazo en conductores de tándems A y B	Soluciones	
	Factibles y realizables	No factibles
Naturaleza del proceso de transporte de caña por conductores hacia molinos de tándems A y B		X
Falla de sellos de conductores de tándems A y B		X
Falta de procedimientos establecidos para el manejo de caña en conductores de tándems A y B	X	
Falta de conocimiento y capacitación sobre manejo de caña en conductores de tándems A y B de operarios de limpieza	X	
Proceso de limpieza de conductores no contempla manejo de caña en los mismos basado en actividad microbiológica	X	

2) Realización de muestreo espontáneo por medio de prueba de resazurina en conductores de los tandems A y B

Gráfica 1. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en muestreo espontáneo del conductor del tandem A

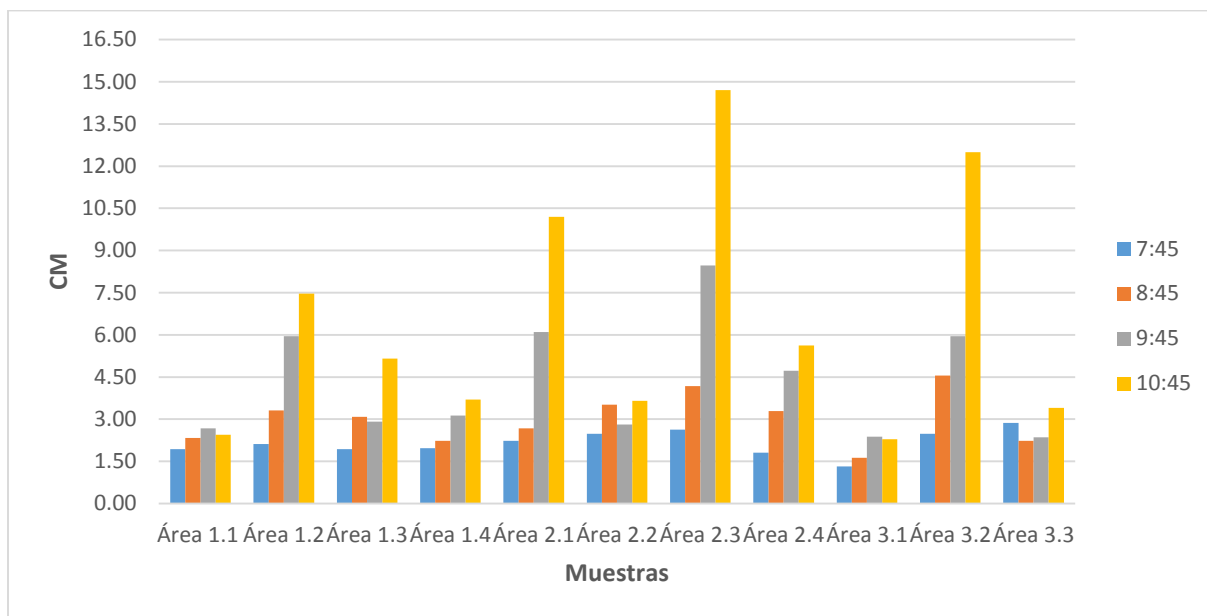


Gráfica 2. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en muestreo espontáneo del conductor del tandem B

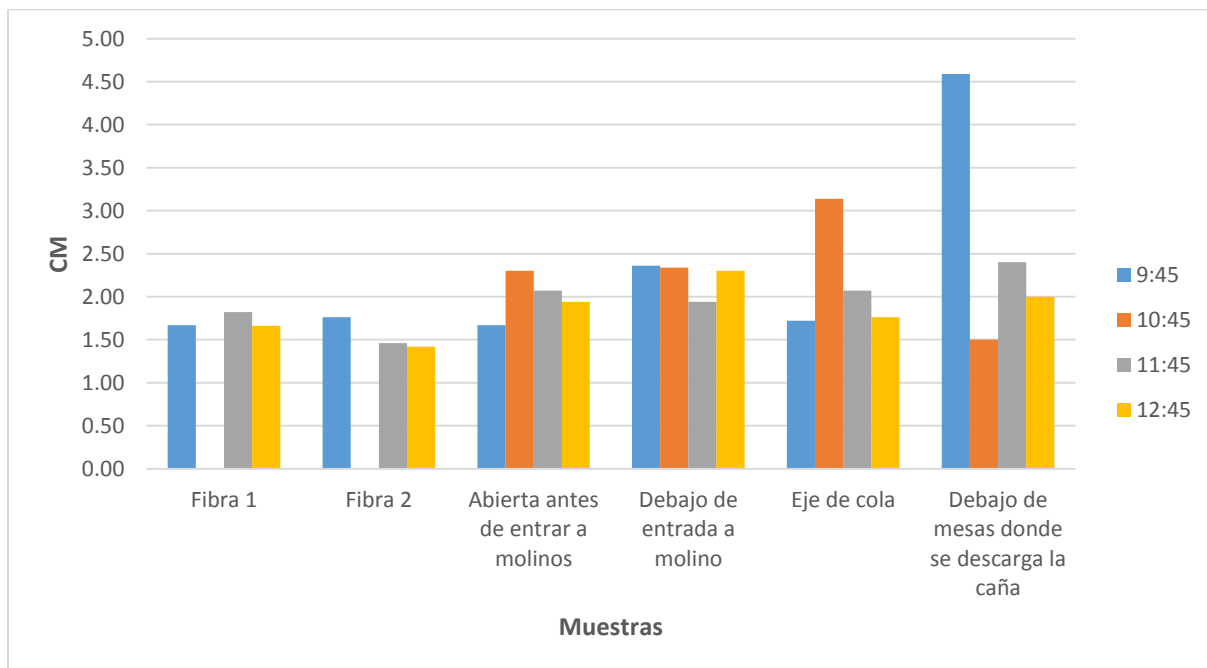


3) Realización de muestreo en escenario no controlado por medio de prueba de resazurina en conductores de los tándems A y B

Gráfica 3. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en pruebas no controladas del conductor del tándem A

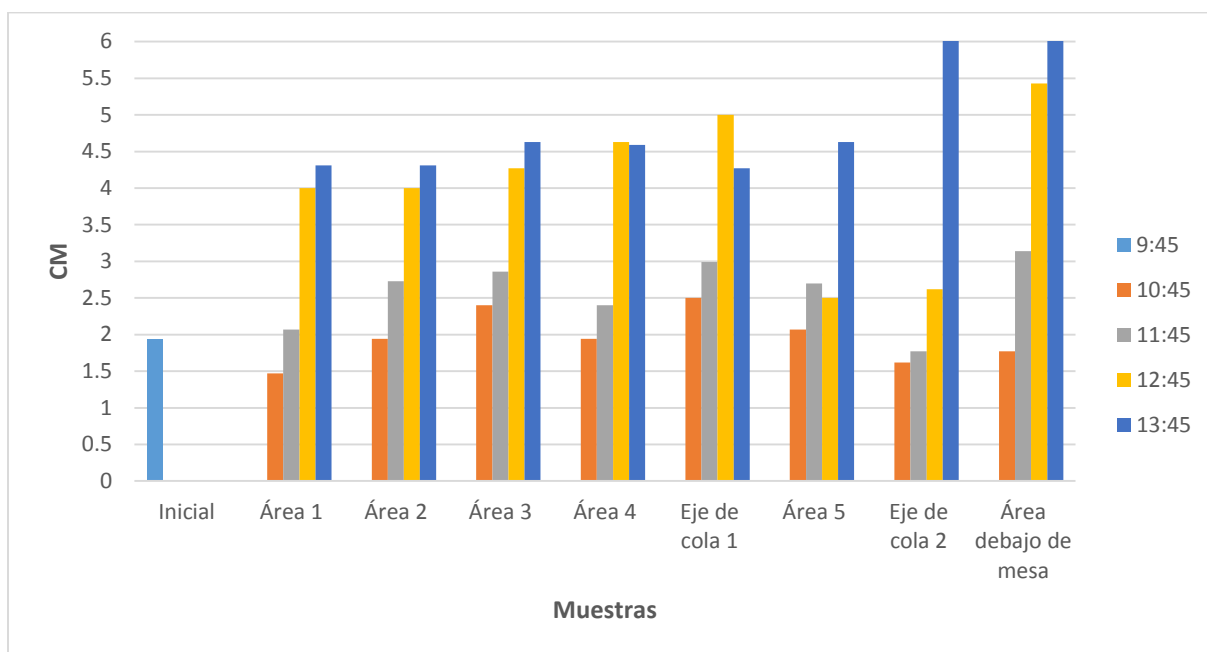


Gráfica 4. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en pruebas no controladas del conductor del tándem B

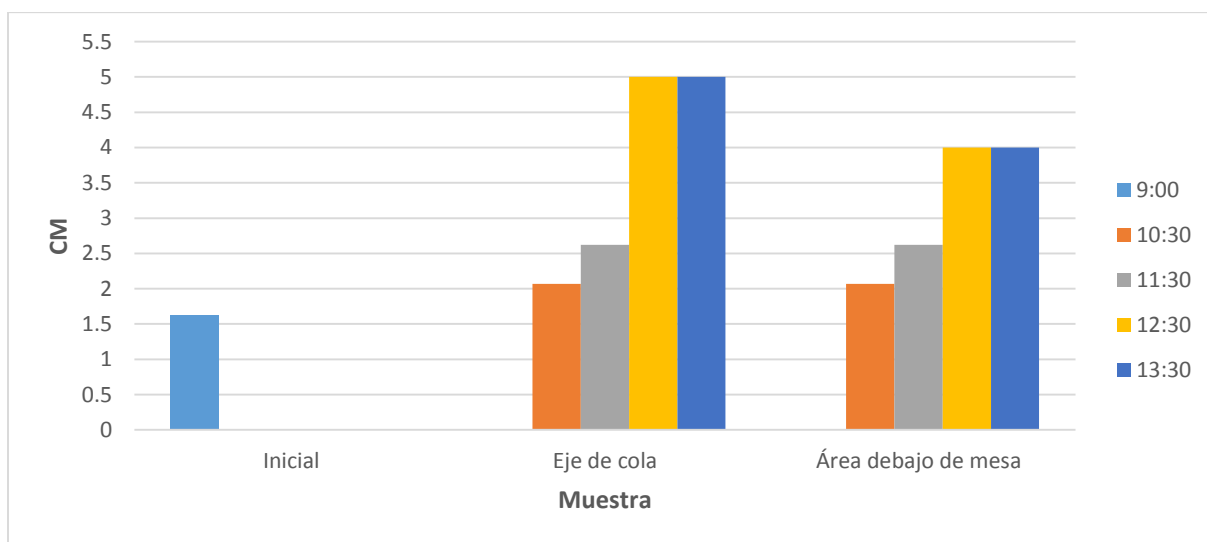


4) Realización de muestreo en escenario controlado por medio de prueba de resazurina en conductores de los tándems A y B

Gráfica 5. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en pruebas controladas del conductor del tándem A



Gráfica 6. Resultados de coeficiente de actividad microbiológica en pruebas controladas del conductor del tándem B



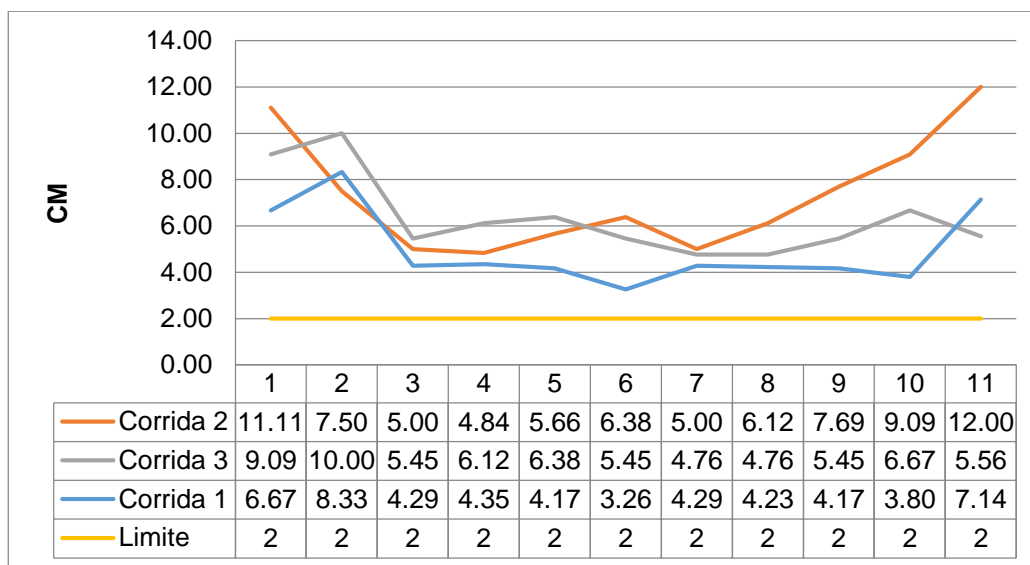








Gráfica 14. Actividad microbiológica en el punto H. (Según hoja de control)



b. Elaboración de un procedimiento para la mejora de la limpieza del área de conductores por medio de un instructivo de limpieza

Tabla 8. Resultados de entrevista sobre el conocimiento de un instructivo de limpieza.

Conocimiento sobre instructivo	
Respuesta	No. Colaboradores
Si	1
No	7

El instructivo para la limpieza en el área de conductores se encuentra en la sección de anexos (Ver anexoC:Instructivo de limpieza para conductores ). El instructivo está realizado con el objetivo que los colaboradores tengan un fácil acceso a la información y esta sea útil en su aplicación.

c. Estimación de los límites máximos de tiempo para el reingreso de la caña y fibra dañada por medio de a estandarización de tiempos y pruebas de resazurina en marcos controlados.

Tabla 9. Toma de muestras y evaluación en escenarios controlados

No. de muestra	Hora	Hora de toma de muestra	Hora inicial de evaluación
1	10:00	10:00	10:05
2	10:00	10:10	10:15

Continuación Tabla 9

No. de muestra	Hora	Hora de toma de muestra	Hora inicial de evaluación
3	10:00	10:20	10:25
4	10:00	10:30	10:35
5	10:00	10:40	10:45
6	10:00	10:50	10:55
7	10:00	11:00	11:05
8	10:00	11:10	11:15
9	10:00	11:20	11:25
10	10:00	11:30	11:35
11	10:00	11:40	11:45
12	10:00	11:50	11:55
13	10:00	12:00	12:05
14	10:00	12:10	12:15
15	10:00	12:20	12:25

Gráfica 15. CM de caña en escenario controlado

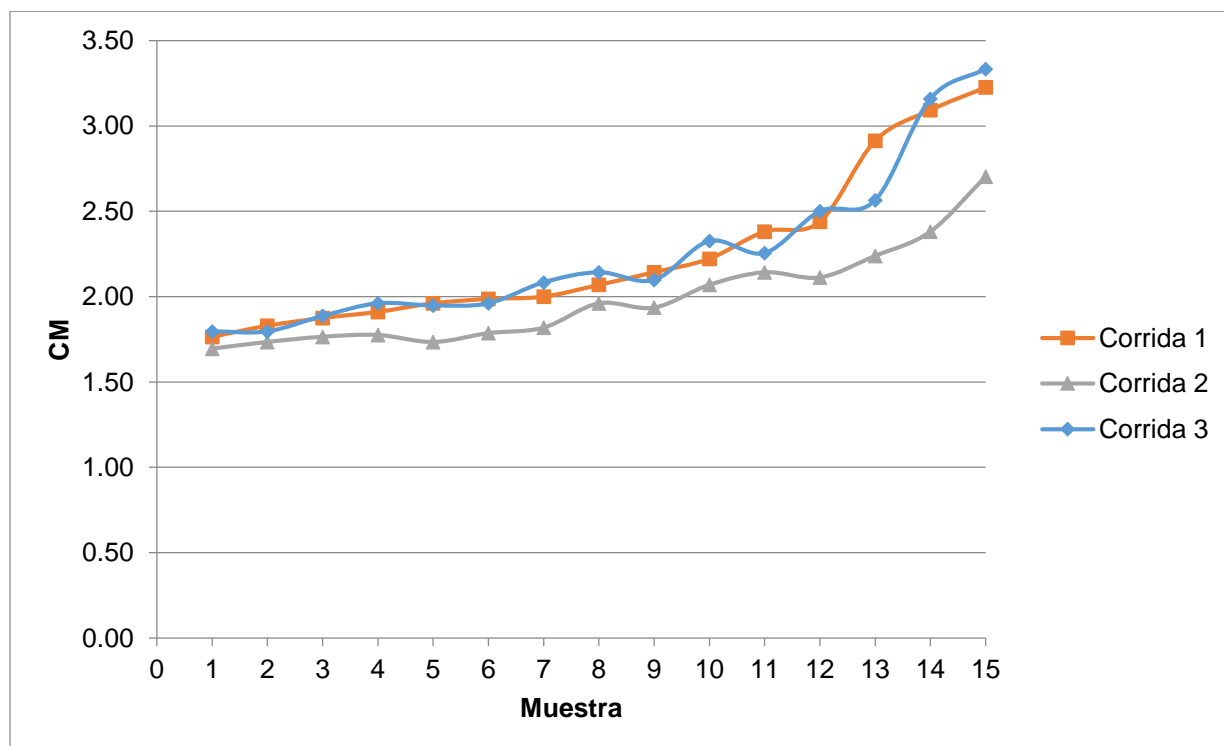


Tabla 10. Incremento neto de CM en caña

Tiempo transcurrido	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
00:00	0.00	0.00	0.00
00:10	0.07	0.04	0.00
00:20	0.11	0.07	0.09
00:30	0.15	0.09	0.16
00:40	0.20	0.04	0.15
00:50	0.23	0.10	0.16
01:00	0.24	0.13	0.28
01:10	0.31	0.27	0.34
01:20	0.38	0.25	0.30
01:30	0.46	0.38	0.53
01:40	0.62	0.45	0.46
01:50	0.68	0.42	0.70
02:00	1.15	0.55	0.76
02:10	1.33	0.69	1.36
02:20	1.47	1.01	1.53

Gráfica 16. CM de fibra en escenario controlado

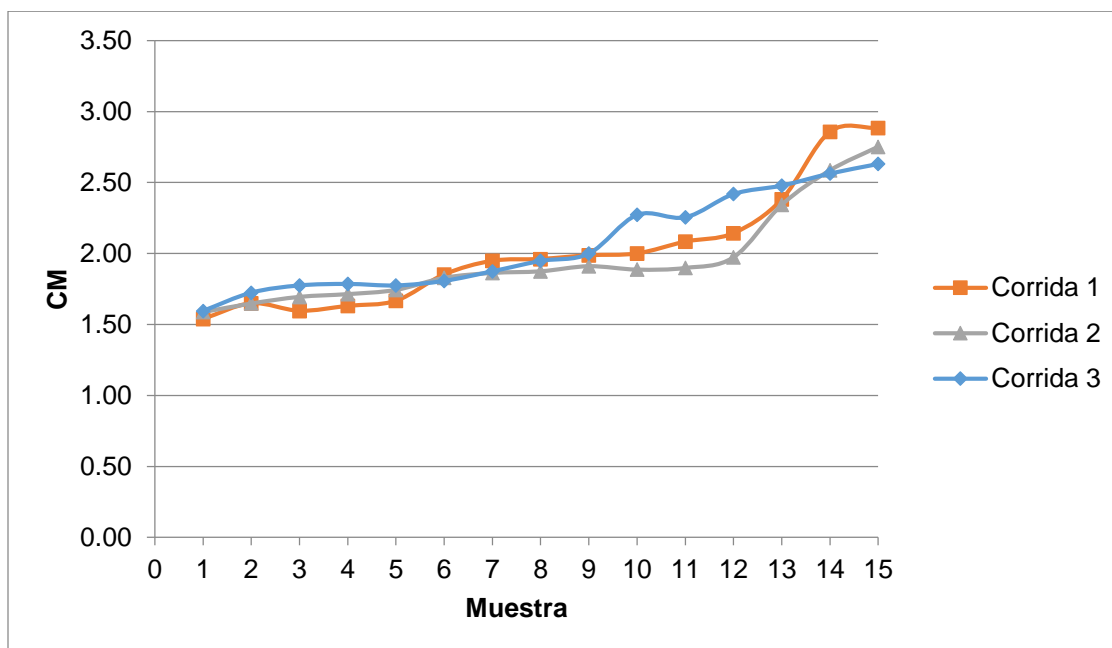
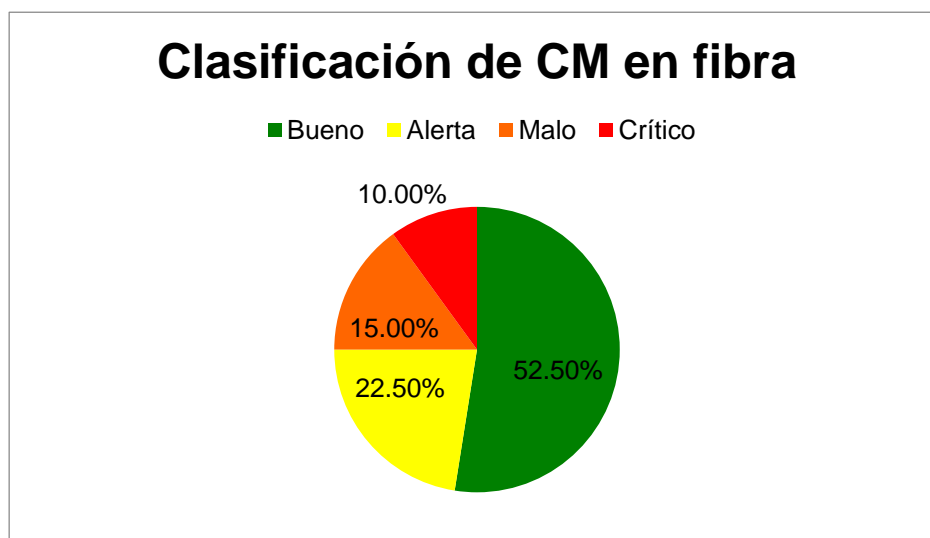


Tabla 11. Incremento neto de CM en fibra

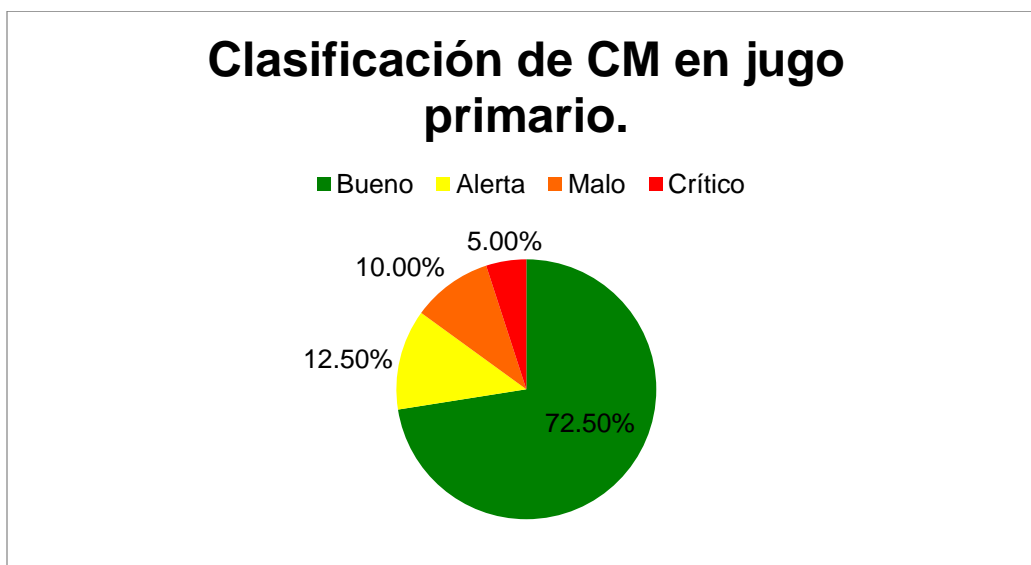
Tiempo transcurrido	Corrida 1	Corrida 2	Corrida 3
00:00	0.00	0.00	0.00
00:10	0.11	0.06	0.12
00:20	0.06	0.10	0.18
00:30	0.09	0.12	0.19
00:40	0.13	0.15	0.18
00:50	0.31	0.24	0.21
01:00	0.41	0.27	0.27
01:10	0.42	0.29	0.35
01:20	0.45	0.32	0.40
01:30	0.46	0.30	0.67
01:40	0.54	0.31	0.66
01:50	0.60	0.38	0.82
02:00	0.84	0.75	0.88
02:10	1.32	1.00	0.96
02:20	1.34	1.16	1.03

d. Confirmación del efecto del método de extracción en la reducción del índice de actividad microbiológica en jugo del primer molino con respecto al de la fibra por medio de pruebas de resazurina.

Gráfica 17. Resultados CM en fibra

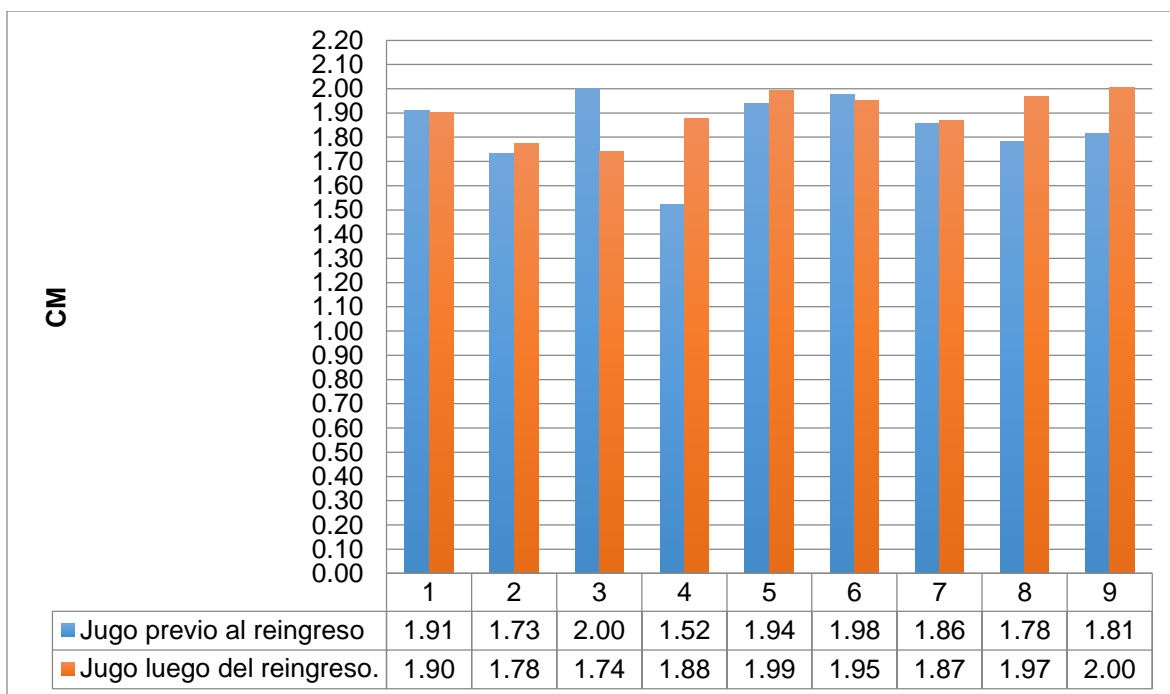


Gráfica 18. Resultados CM en jugo primario.

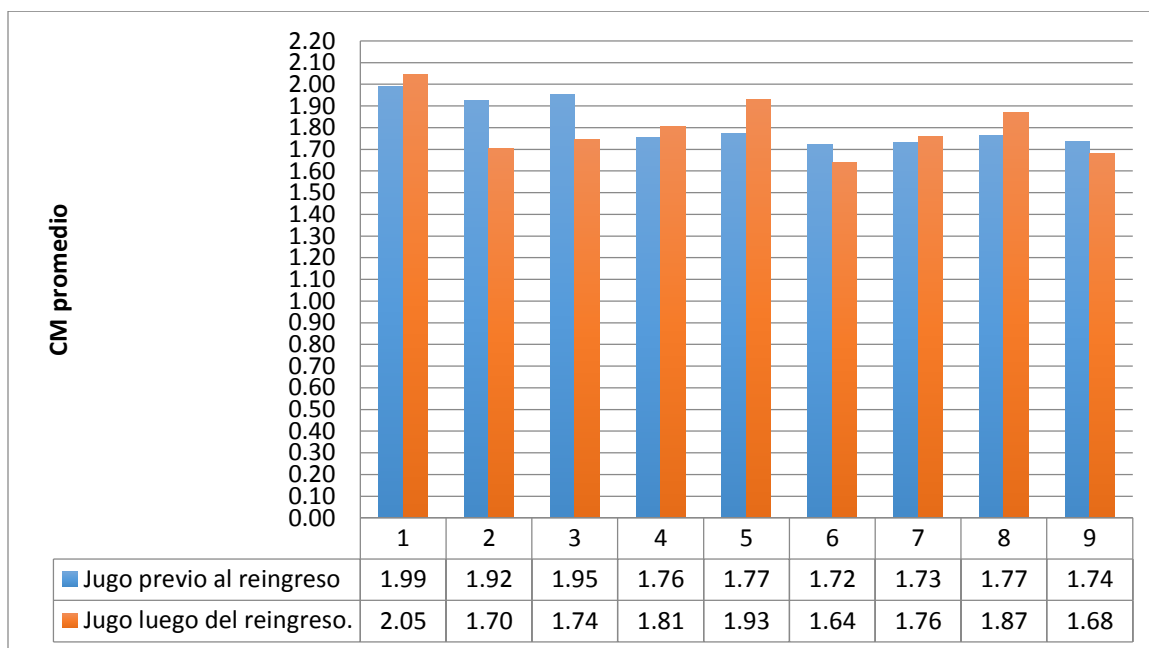


e. Evaluación de incremento en actividad microbiológica en el reingreso de materia dañada al sistema por medio de pruebas de resazurina.

Gráfica 19. Efecto del reingreso de caña al proceso en jugo primario

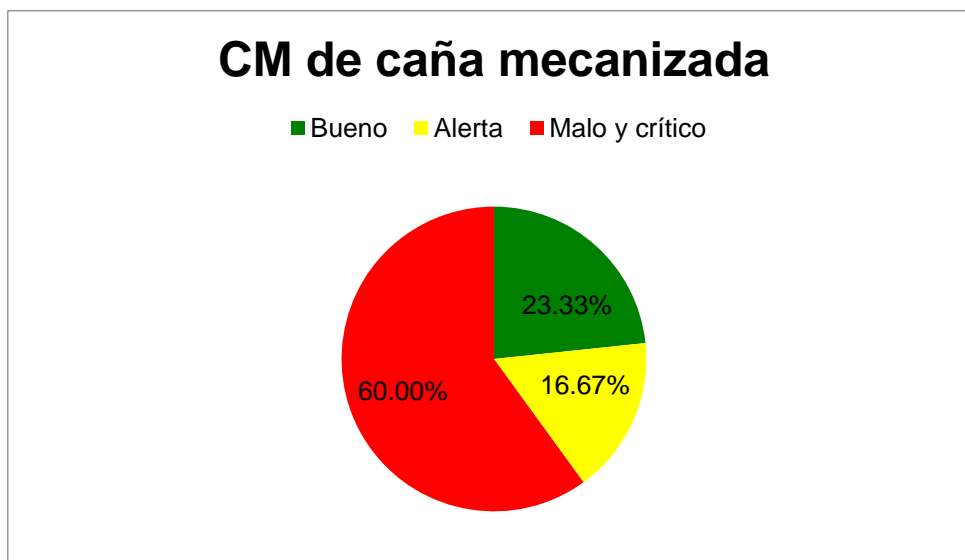


Gráfica 20. Efecto del reingreso de fibra al proceso en jugo primario



f. Evaluación del efecto del ingreso de caña mecanizada en los niveles de actividad microbiológica en la fibra.

Gráfica 21. Resultados CM en caña mecanizada

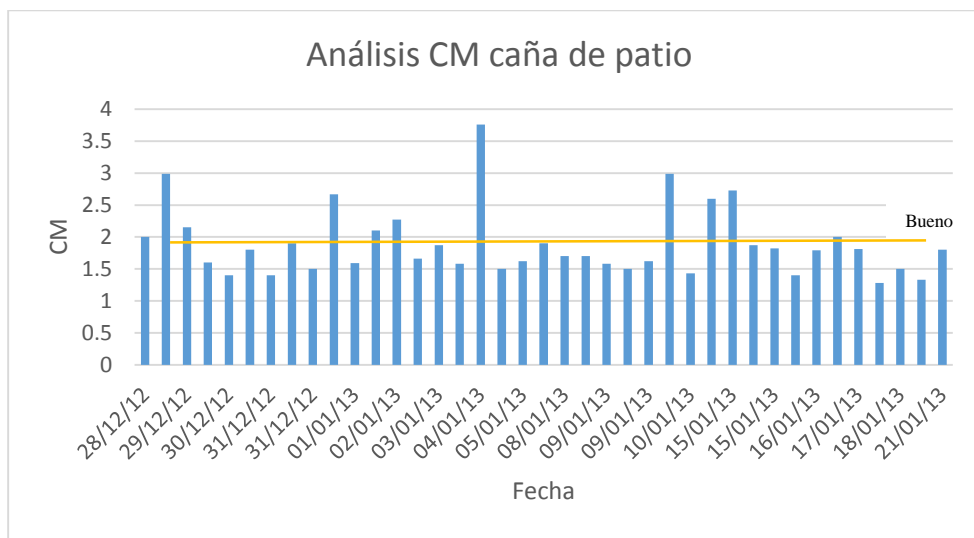


### 3. Ingenio Magdalena

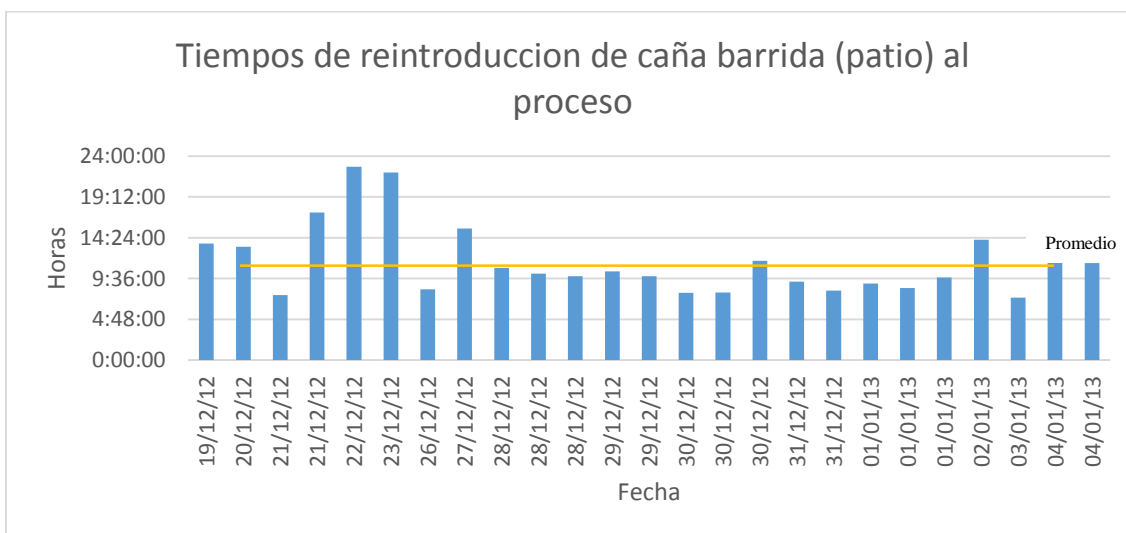
#### a. Análisis de datos del estudio de la caña barrida y la caña que queda sujeta en las jaulas

##### 1) Análisis de caña barrida (patio)

Gráfica 22. Análisis CM caña de patio

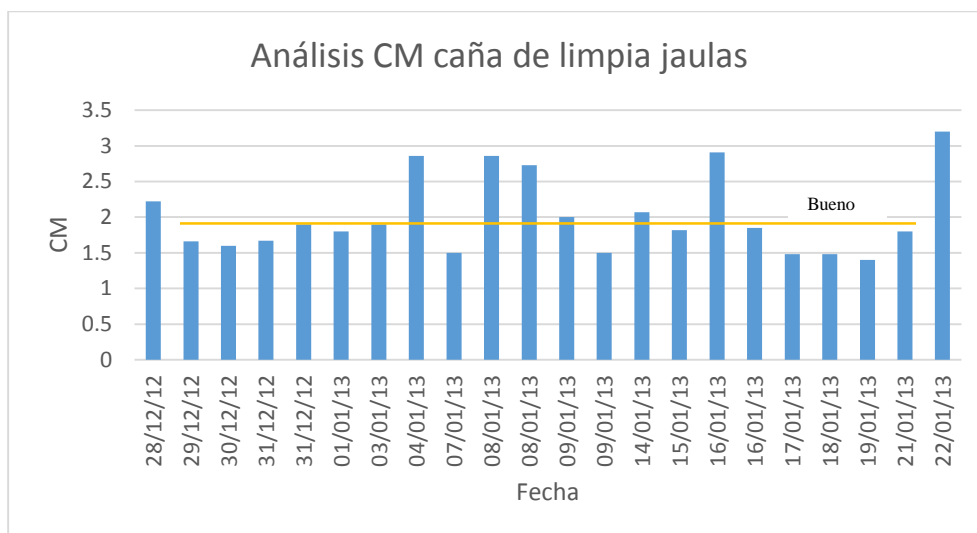


Gráfica 23. Análisis tiempos de reintroducción de caña barrida de patio

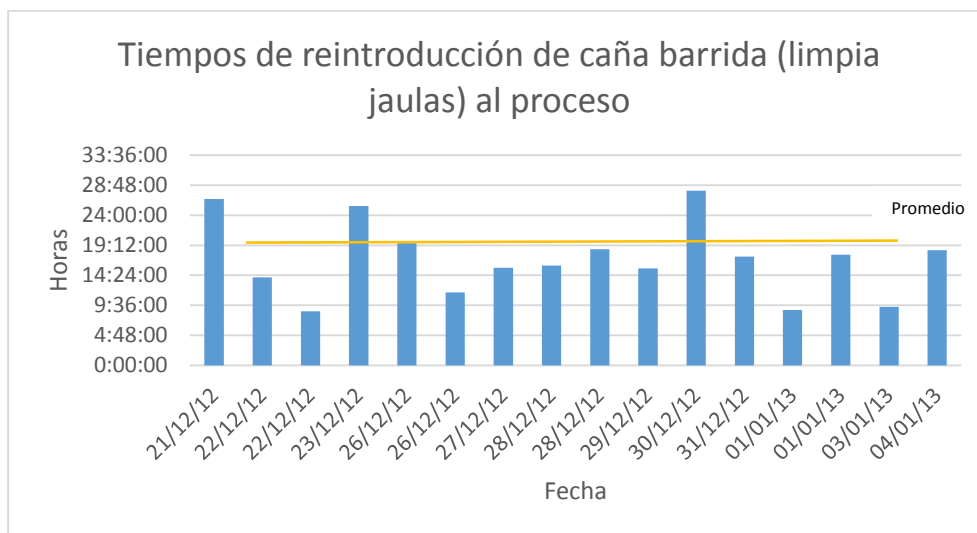


2) Análisis de caña barrida (limpia jaulas)

Gráfica 24. Análisis CM caña de limpia jaulas



Gráfica 25. Análisis tiempos de reintroducción de caña de limpia jaulas

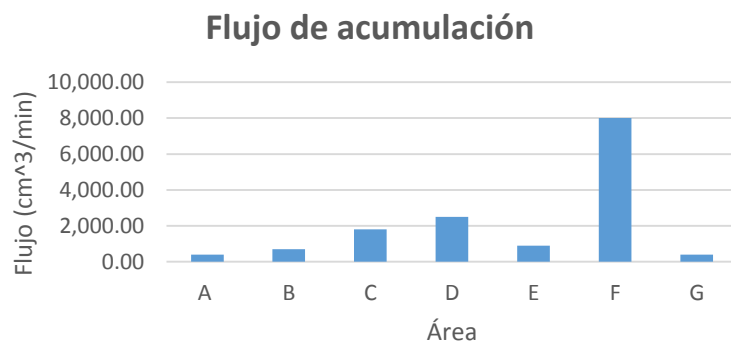


b. Determinación de áreas críticas donde se acumula bagazo



## 1) Banda tándem A

Gráfica 26. Flujo de acumulación banda tándem A



Gráfica 27. CM promedio banda tándem A

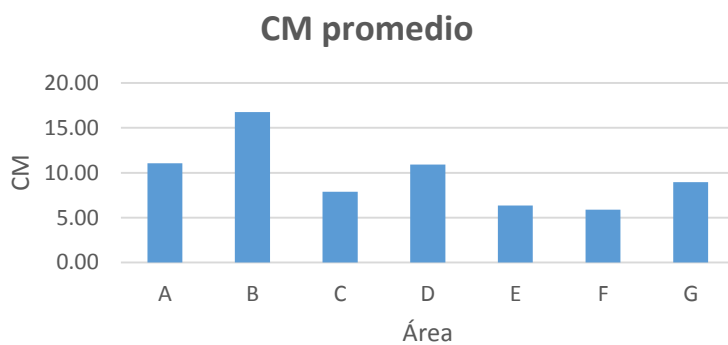
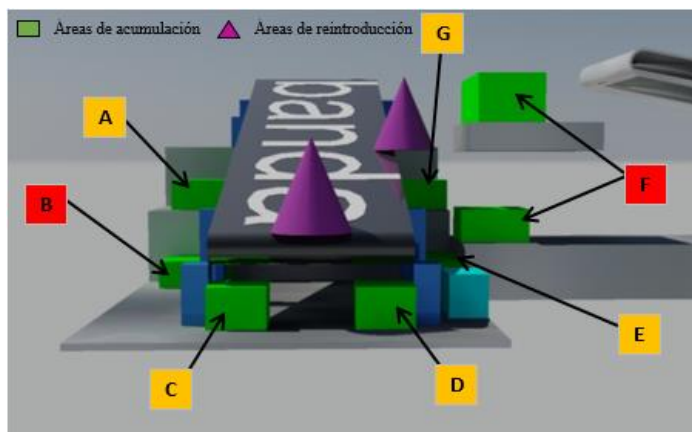
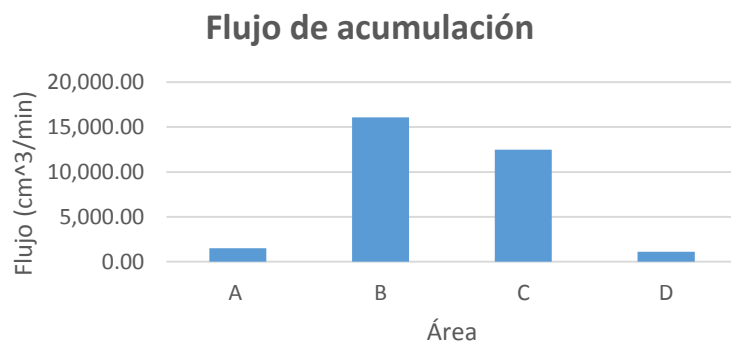


Figura 17. Áreas críticas banda tándem A



## 2) Caite tándem A

Gráfica 28. Flujo de acumulación caite tándem A



Gráfica 29. Análisis CM caite tándem A

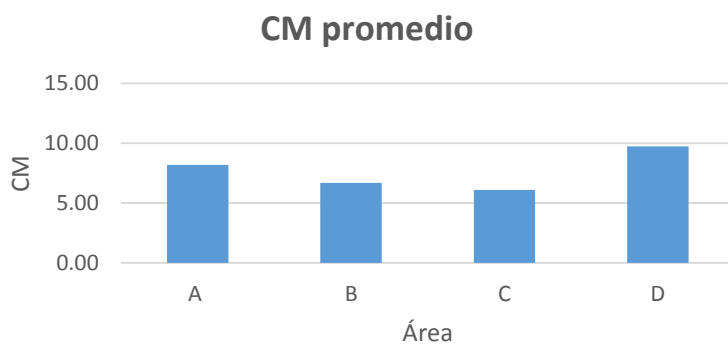
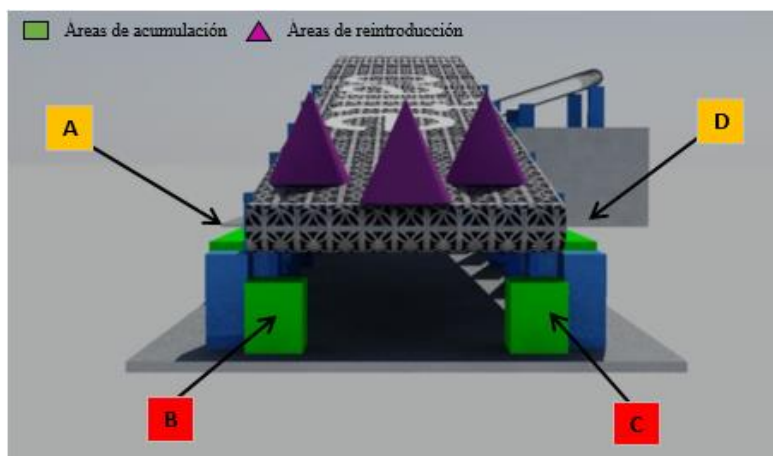
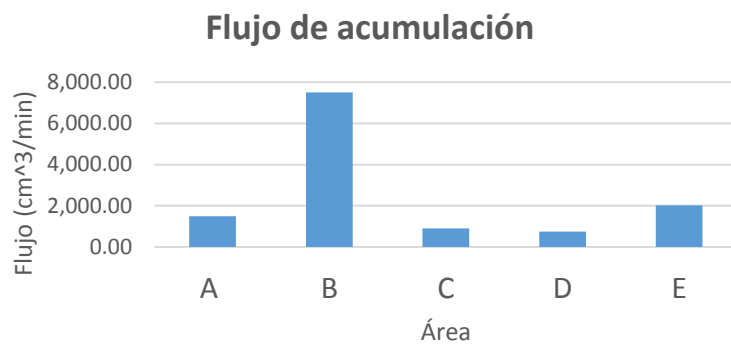


Figura 18. Áreas críticas caite tándem A



## 3) Banda tándem B

Gráfica 30. Flujo de acumulación banda tándem B



Gráfica 31. Análisis CM banda tándem B

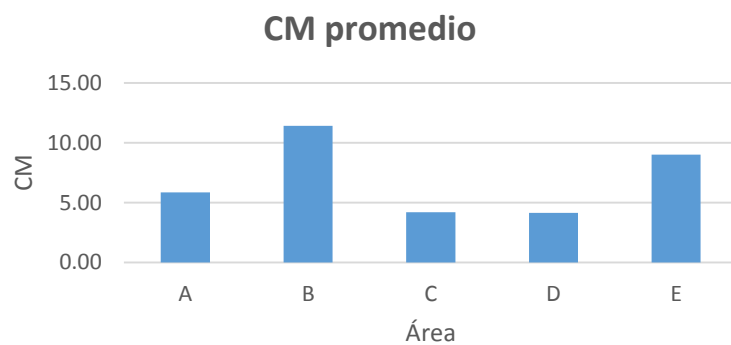
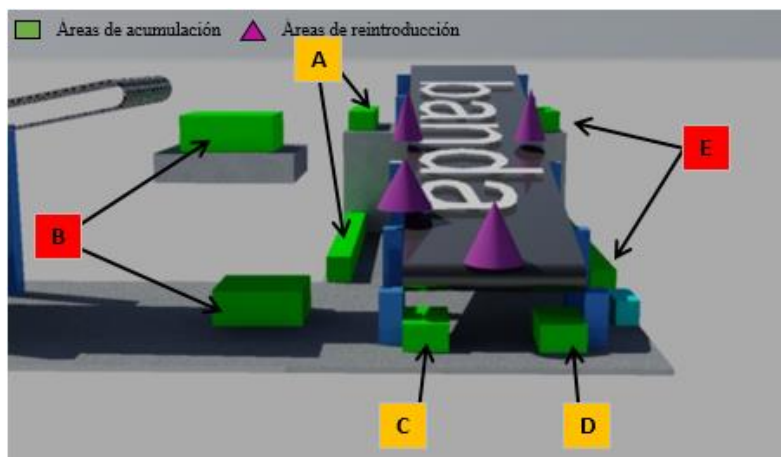
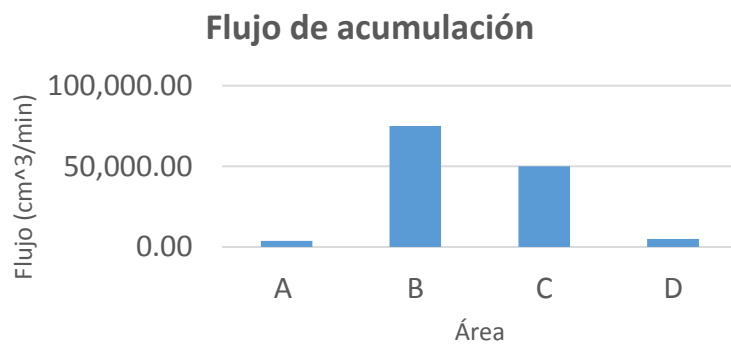


Figura 19. Áreas críticas banda tándem B



## 4) Caite tándem B

Gráfica 32. Flujo de acumulación caite tándem B



Gráfica 33. Análisis CM caite tándem B

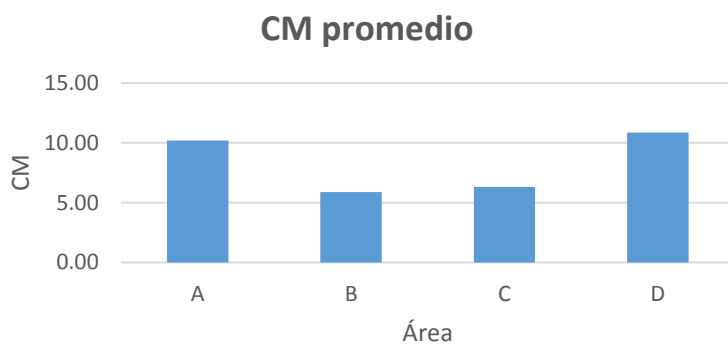
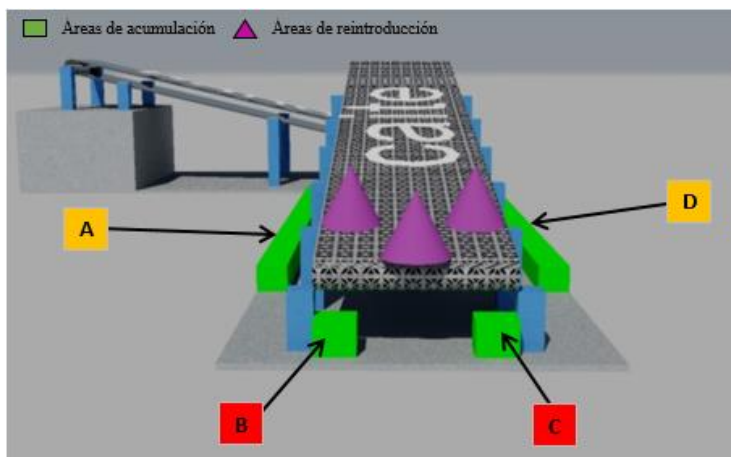
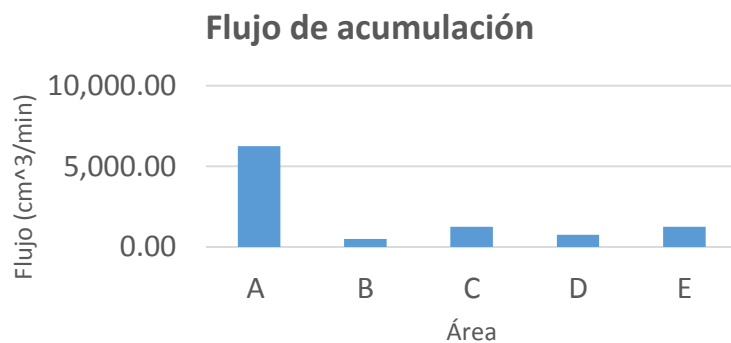


Figura 20. Áreas críticas caite tándem B



## 5) Banda tándem C

Gráfica 34. Flujo de acumulación banda tándem C



Gráfica 35. Análisis CM banda tándem C

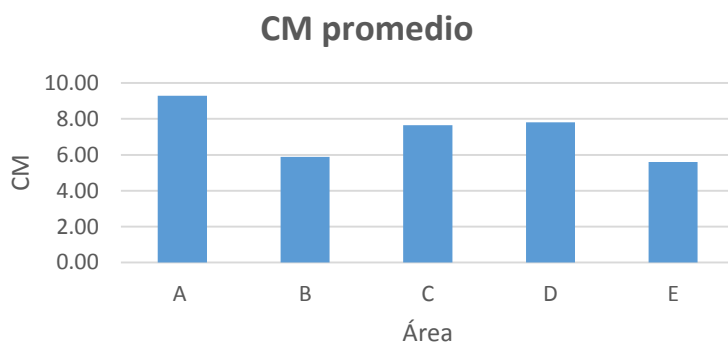
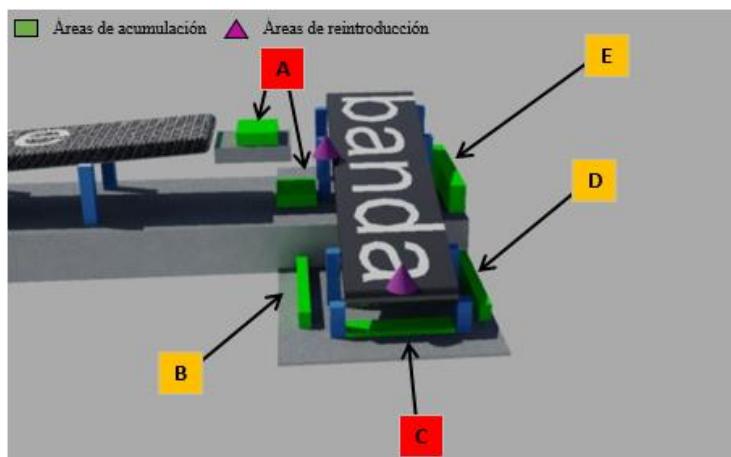
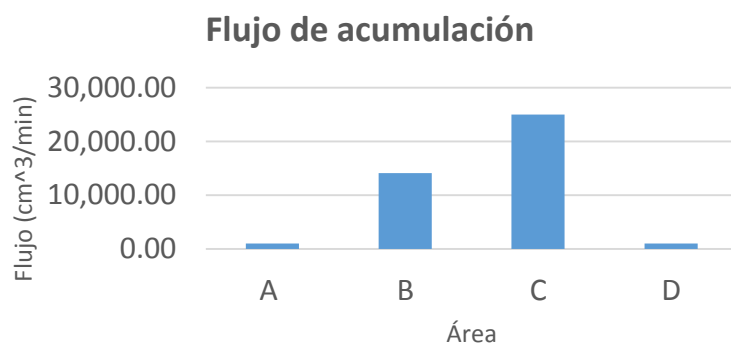


Figura 21. Áreas críticas banda tándem C



## 6) Caite tándem C

Gráfica 36. Flujo de acumulación caite tándem C



Gráfica 37. Análisis CM caite tándem C

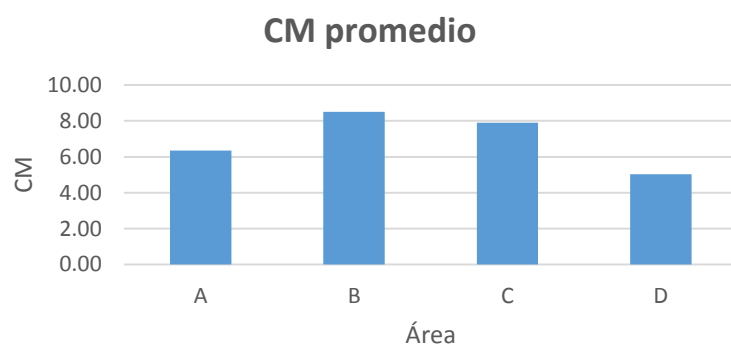
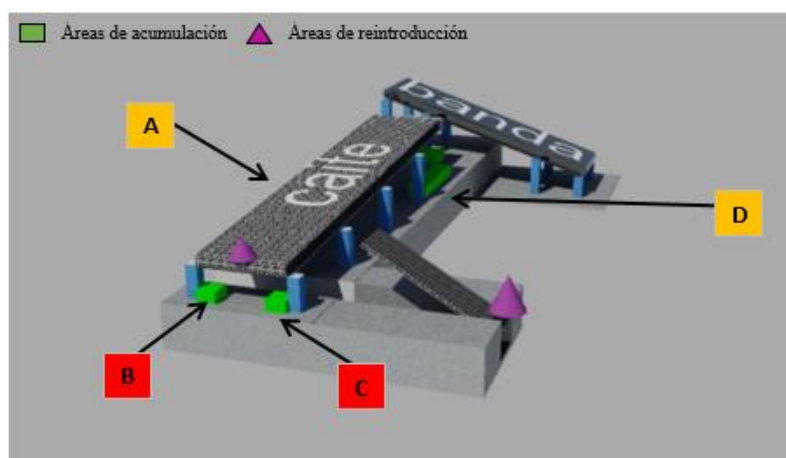


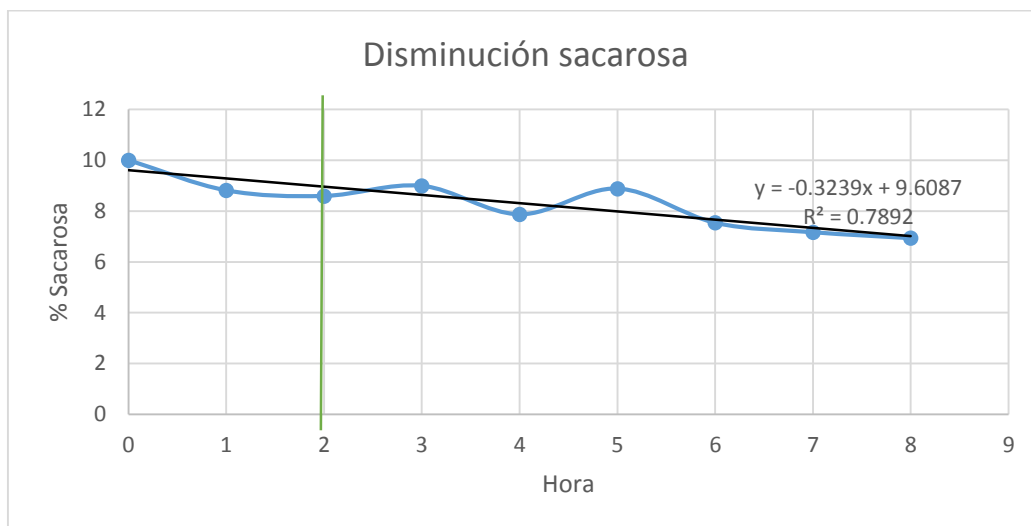
Figura 22. Áreas críticas caite tándem C



### c. Análisis de bagazo acumulado durante 8 horas

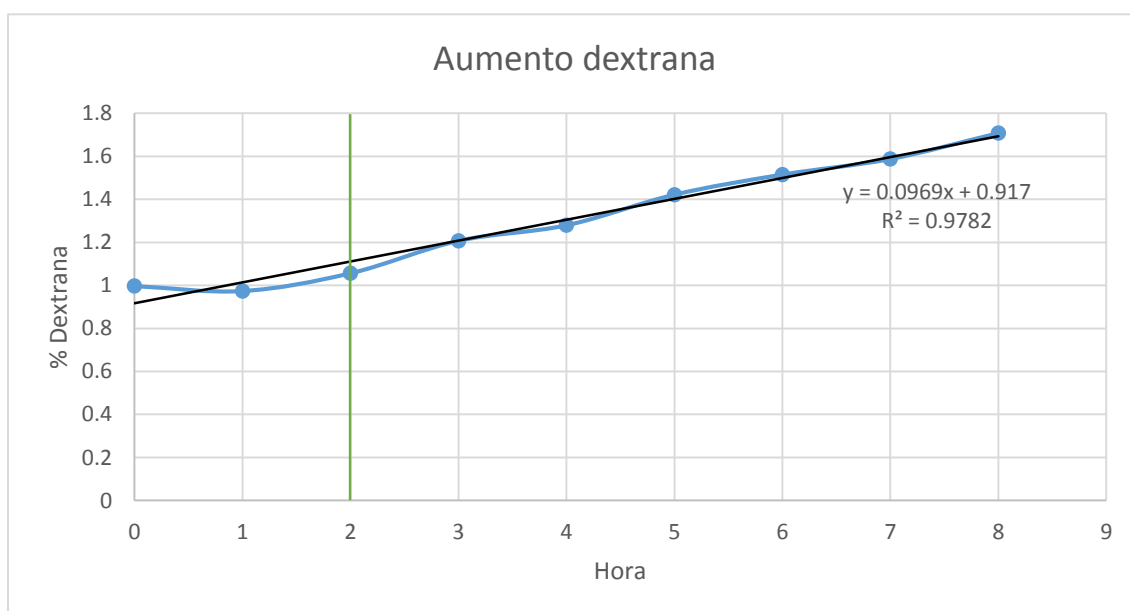
#### 1) Análisis de sacarosa

Gráfica 38. Análisis sacarosa 8 horas



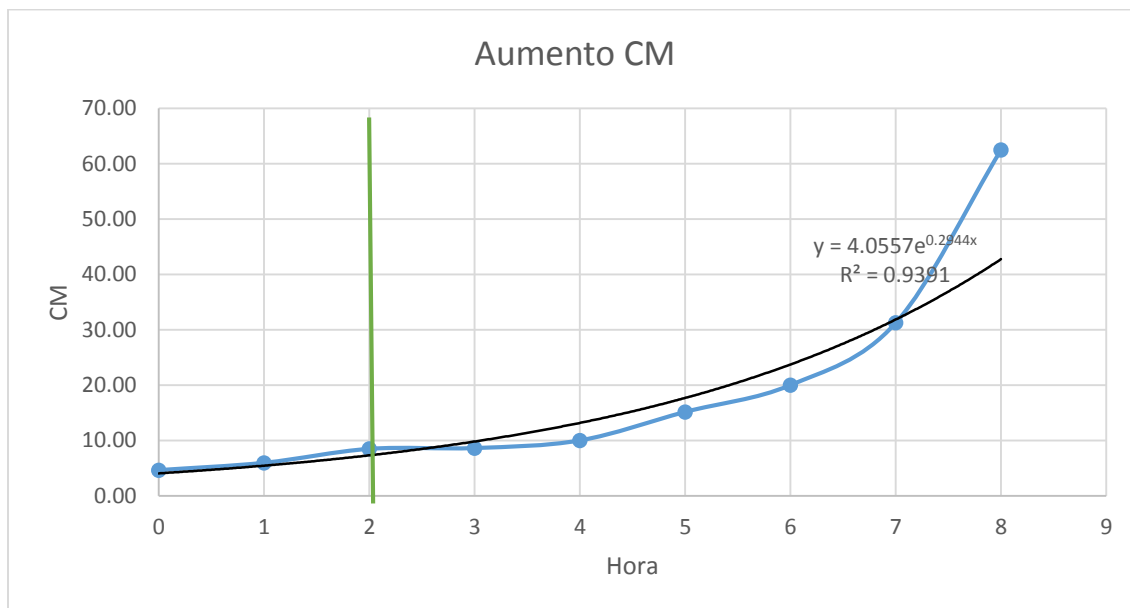
#### 2) Análisis de dextrana

Gráfica 39. Análisis dextrana 8 HORAS



## 3) Análisis de CM

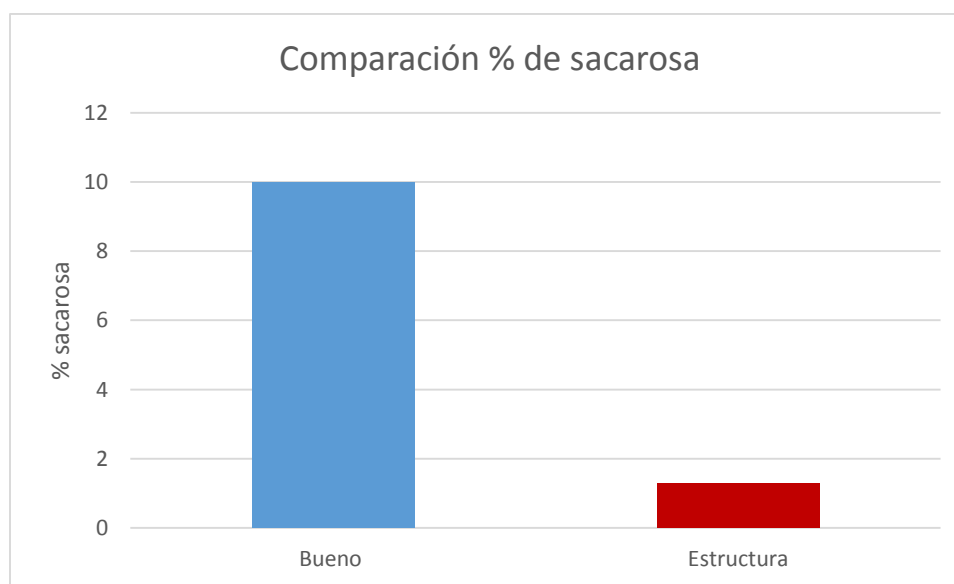
Gráfica 40. Análisis CM 8 horas



## d. Análisis de bagazo acumulado en estructura

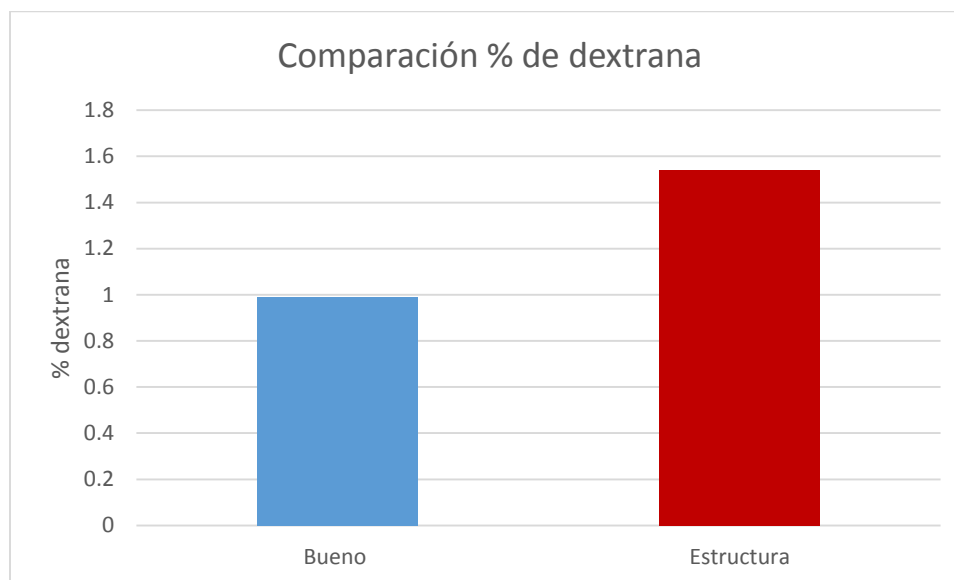
## 1) Análisis de sacarosa

Gráfica 41. Análisis sacarosa bagazo de estructura



## 2) Análisis de dextrana

Gráfica 42. Análisis dextrana bagazo de estructura



## e. Estandarización del proceso de recolección y reintroducción del bagazo mediante rutas

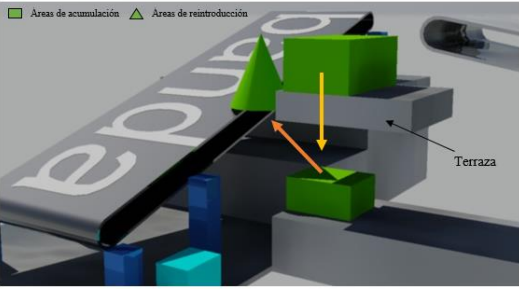
- Rutas de recolección del bagazo.
- Rutas de reintroducción del bagazo.

## 1) Banda tándem A

Tabla 12. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo banda A

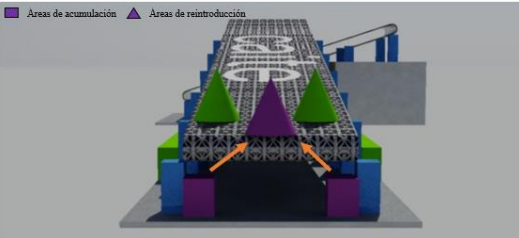
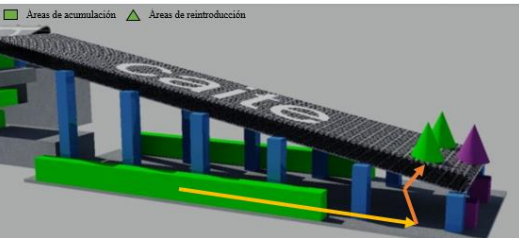
Diseño de áreas y rutas	Descripción
	<p>El bagazo que se acumula en los costados de la banda deberá transportarse mediante el uso de palas, paletas y escobones hacia la cola de la banda. Este bagazo sumado al que se encuentra a los costados de la cola debe palearse para su introducción a la banda.</p>

Continuación Tabla 12

Diseño de áreas y rutas	Descripción
	<p>El bagazo que se acumula en la terraza deberá botarse mediante el uso de rastrillo o escobones a modo de acumularlo debajo de la terraza, para luego palearlo a modo de introducirlo en la compuerta lateral de la banda.</p>

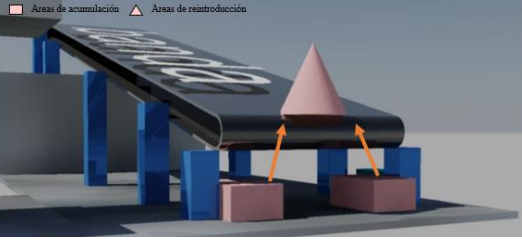
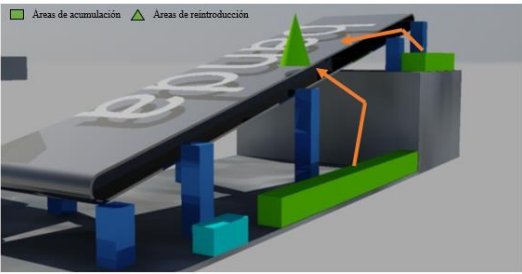
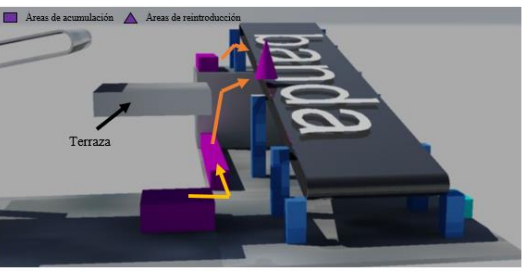
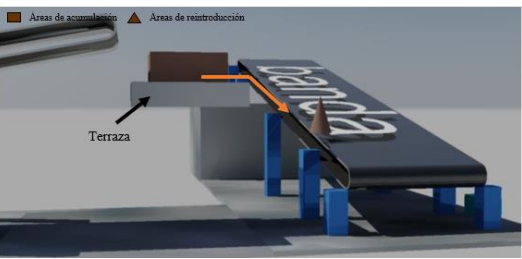
## 2) Caite tándem A

Tabla 13. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo caite tándem A

Diseño de áreas y rutas	Descripción
	<p>El bagazo que se acumula en los laterales de la cola del caite debe ser paleado para introducirlo en el caite.</p>
	<p>El bagazo que se acumula en los costados de la cola deberá ser transportado mediante botes al costado de la cola. Una vez allí, sumado a lo que se acumula en ese lugar deberá ser paleado hacia la cola del caite. El mismo procedimiento se realiza en el otro costado.</p>

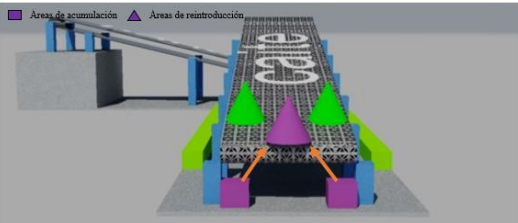
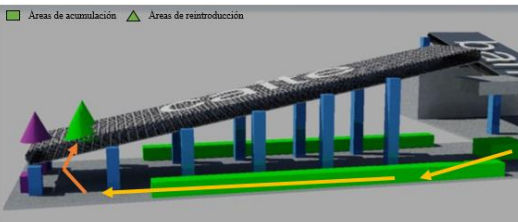
## 3) Banda tándem B

Tabla 14. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo banda tándem B

Diseño de áreas y rutas	Descripción
 <p>■ Áreas de acumulación ▲ Áreas de reintroducción</p>	<p>El bagazo que se acumula en los laterales de la cola de debe palearse a modo de introducirlo en la banda.</p>
 <p>■ Áreas de acumulación ▲ Áreas de reintroducción</p>	<p>El bagazo que se acumula en el costado derecho de la banda deberá palearse a modo de que sin transportarlo pueda introducirse en a la banda por ese mismo lado.</p>
 <p>■ Áreas de acumulación ▲ Áreas de reintroducción</p> <p>Terraza</p>	<p>El bagazo que se acumula en el costado izquierdo de la banda deberá introducirse a esta por ese mismo lado, mediante paleo. El bagazo que se acumula en el área debajo de la terraza debe transportarse mediante el uso de carretas para su posterior introducción a la banda por el lado izquierdo.</p>
 <p>■ Áreas de acumulación ▲ Áreas de reintroducción</p> <p>Terraza</p>	<p>El bagazo que se acumula en la terraza debe ser introducido a la banda por ese mismo lado mediante el uso de botes y/ palas.</p>

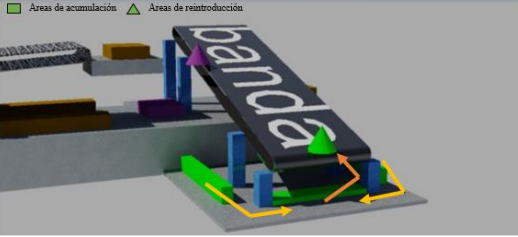
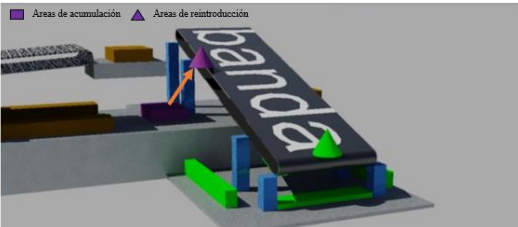
## 4) Caite tándem B

Tabla 15. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo caite tándem B

Diseño de áreas y rutas	Descripción
	<p>El bagazo que se acumula en los laterales de la cola del caite debe palearse a modo de introducirlo en el caite.</p>
	<p>El bagazo que se acumula en los costados de la cola deberá ser transportado mediante carretas al costado de la cola. Una vez allí, sumado a lo que se acumula en ese lugar deberá ser paleado hacia la cola como se muestra en la imagen. El mismo procedimiento se realiza en el otro costado.</p>

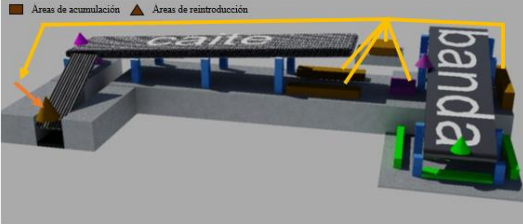
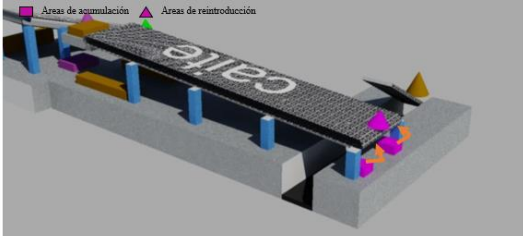
## 5) Banda tándem C

Tabla 16. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo banda tándem C

Diseño de áreas y rutas	Descripción
	<p>El bagazo que se acumula en los costados de la banda deberá transportarse mediante el uso de palas, paletas y escobones hacia la cola de la banda. Este bagazo sumado al que se encuentra ya en la cola debe palearse para su introducción a la banda.</p>
	<p>El bagazo que se acumula en pequeñas cantidades debajo de la terraza debe introducirse en la compuerta de la banda, de ese mismo lado. Este procedimiento debe hacerse con una cantidad pequeña de bagazo ya que de lo contrario puede trabarse la banda.</p>

## 6) Caite tándem C

Tabla 17. Procedimiento de recolección y reintroducción de bagazo caite tándem C

Diseño de áreas y rutas	Descripción
 <p>■ Áreas de acumulación ▲ Áreas de reintroducción</p>	<p>El bagazo que se acumula en el área superior de la banda debe palearse y trasladarse en carretas hasta la banda que lleva caña barrida para introducirlo allí. De la misma manera, el bagazo acumulado en los costados de la terraza.</p>
 <p>■ Áreas de acumulación ▲ Áreas de reintroducción</p>	<p>El bagazo que se acumula en los laterales de la cola del caite deberá ser palearse a modo de introducirlo en el caite.</p>

f. Factores que provocan una mayor actividad microbiológica en el bagazo acumulado. Existen diversos factores que pueden afectar el bagazo acumulado en las diferentes áreas hasta el punto de contaminarlo significativamente. Los factores estudiados permiten el detallar claramente las acciones que se deben tomar en cuenta para erradicarlos. Cabe resaltar que además del hecho que el bagazo se vea contaminado por dichos factores, estos también pueden dificultar el proceso de recolección debido a que estos provocan grandes cantidades de acumulación o alteran las condiciones del bagazo, como lo es mezclarlo con agua proveniente de lavados y/o lodo, dificultando la labor de recogerlo y reintroducirlo al proceso.

## 1) Mantenimiento de bomba succionadora en la banda del tándem A

Figura 23. Inadecuado mantenimiento de bomba succionadora (tándem A)



Figura 24. Muestra de cantidad de agua acumulada (tándem A)



Figura 25. Mantenimiento preventivo, poca acumulación de bagazo y agua (tándem A)



Figura 26. Mantenimiento correctivo, alta acumulación de bagazo y agua (tándem A)



Las Figuras 83-86 muestran el momento cuando el mantenimiento de la bomba succionadora es inadecuado, ello provoca una alta acumulación de agua proveniente del lavado que se realiza en la parte superior de la banda. Las Figuras 83-84 muestran la comparación entre un mantenimiento preventivo y correctivo del área. En el primer caso existe una leve acumulación de agua y bagazo. En el segundo caso la acumulación de bagazo y agua es bastante significativa, hasta el punto que las condiciones del bagazo son totalmente inadecuadas.

## 2) Mantenimiento de bomba succionadora en banda del tándem B

Figura 27. Mantenimiento realizado a la bomba succionadora (tándem B).



Figura 28. Mantenimiento preventivo, poca acumulación de bagazo y agua (tándem B).



Figura 29. Mantenimiento correctivo, alta acumulación de bagazo y agua (tándem B).



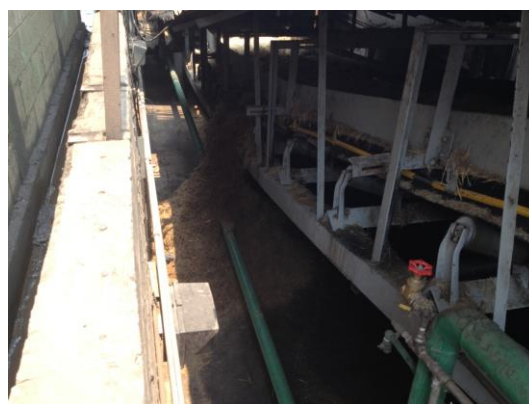
Las Figuras 87-89 muestran la manera en la que el trabajador debe dar mantenimiento a la bomba succionadora. Se muestra la comparación entre un mantenimiento preventivo y uno correctivo del área. En el primero la acumulación de bagazo y agua es leve. En el segundo la acumulación de bagazo y agua es bastante alto provocando una mayor contaminación de bagazo y una mayor dificultad para la recolección y reintroducción del mismo.

### 3) Fallas en los selladores de la banda

Figura 30. Fallas en los selladores de la banda.



Figura 31. Mantenimiento correctivo, alta acumulación de bagazo



Las imágenes 90-91 muestran la manera que las fallas en el mantenimiento de los selladores provocan que el bagazo se salga del proceso y se vaya acumulando en cantidades

que pueden llegar a ser totalmente significativas. Ello dificulta el proceso de recolección y reintroducción, así como aumenta la probabilidad que el bagazo se contamine.

Figura 32. Mantenimiento preventivo de selladores



La Figura 92 muestra como un mantenimiento adecuado de los selladores provoca una acumulación de bagazo bastante leve que facilita su recolección y reduce la cantidad de bagazo que puede contaminarse.

#### 4) Ventaja tándem C

Figura 33. Conductor caña barrida (tándem C).



Figura 34. Desagüe (tándem C).



Las Figuras 93-94 muestran las ventajas que permiten que el tándem C tenga un procedimiento más eficiente, que permite mediante resultados mostrados anteriormente, determinar que presenta una menor contaminación del bagazo que se acumula. Estas ventajas toman en cuenta un conductor de caña barrida, este facilita el proceso de recolección y reintroducción del bagazo al proceso ya que los trabajadores simplemente transportan y colocan el bagazo en este conductor que se encarga de reintroducirlo en el proceso. En cuenta

al desagüe, este permite desechar fácilmente el bagazo que se encuentre en malas condiciones mediante la remoción de este con agua.

g. Instructivo del procedimiento de recolección y reintroducción del bagazo acumulado al proceso en las áreas del caite y la banda. Se realizó un instructivo para el procedimiento de recolección y reintroducción del bagazo al proceso en las áreas del caite y la banda, ello mediante los resultados obtenidos en cada uno de los estudios mostrados anteriormente (ver Instructivo en Anexo G). En el instructivo se incluyen:

- Áreas determinadas donde se acumula y reintroduce el bagazo.
- Áreas críticas que los trabajadores no pueden descuidar.
- Tiempo que debe realizarse cada limpieza.
- Desecho de bagazo deteriorado.
- Método estandarizado de recolección y reintroducción del bagazo en cada área.
- Mantenimientos preventivos.

Figura 35. Presentación de resultados, capacitación sobre instructivo en el Ingenio.

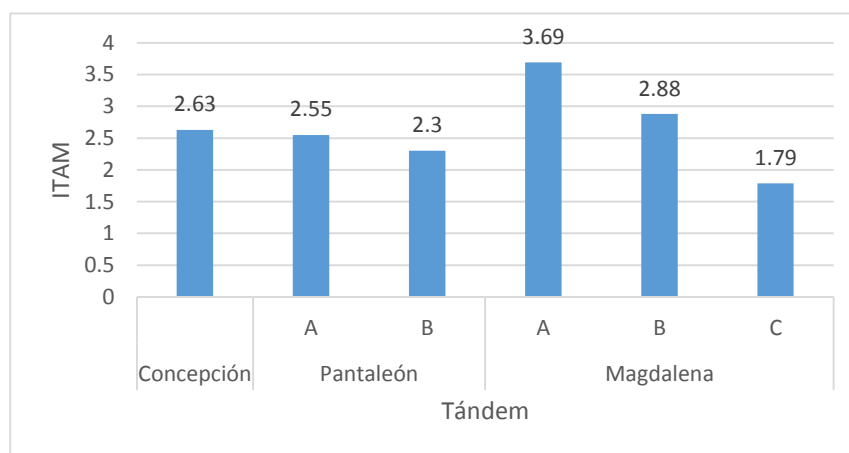


Todos los resultados, conclusiones y recomendaciones establecidas luego de los diferentes estudios mostrados anteriormente fueron presentados a los ingenieros quienes apoyaron este trabajo durante el tiempo que fue llevado a cabo, obteniendo su aceptación. Así mismo, esta información fue brindada a manera de capacitación a diferentes supervisores del Ingenio.

B. Evaluación y propuesta de mejoras al procedimiento de asepsia en tándem en el Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena mediante investigación, la innovación y el desarrollo de nuevos procedimientos operativos.

1. Comparación de la actividad microbiológica de los tándems del Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena.

Gráfica 43. Índice total de actividad microbiológica (ITAM) para los seis tándems de los tres ingenios analizados



## 2. Ingenio Pantaleón

a. Evaluación de las mejoras establecidas al sistema de limpieza y su control en la zafra 2011-2012. Los resultados consolidados de las verificaciones se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 18. Cumplimiento de las propuestas y lineamientos en instructivos de asepsia de molinos

Criterio No.	Elemento propuesto/establecido en Instructivo	No. de casos que Cumple	No. de casos que No cumple	% de cumplimiento parcial
1	Semáforo microbiológico	5	0	100%
2	Orden de la limpieza (sexto al primer molino)	4	1	80%
3	Metodología de la limpieza del tándem(diferencia de dos molinos)	3	2	60%
4	Metodología de la limpieza de molinos(de arriba hacia abajo)	0	5	0%

Continuación Tabla 18

Criterio No.	Elemento propuesto/establecido en instructivo	No. de casos que cumple	No. de casos que no cumple	% de cumplimiento parcial
5	Metodología de la limpieza de molinos(de derecha a izquierda)	0	5	0%
6	Utilización de la hoja de control para la toma de tiempos y calidad de la limpieza	0	5	0%
7	Equipo de protección personal completo	5	0	100%
8	Instalación de señales de seguridad	4	1	80%
9	Verificación de la temperatura del agua	0	5	0%
10	Verificación de la presión del agua	0	5	0%
11	Lavado cada hora	0	5	0%
12	Apertura de válvula de vapor para limpieza de duelas	3	2	60%
13	Puntos de lavado completos	5	0	100%
Subtotal de casos		29	36	
Porcentaje de cumplimiento total		44.62%		

b. Evaluación de la incidencia de una mala o falta de asepsia con la actividad microbiana durante los mantenimientos programados en el área de tándem.

Figura 36. Bagazo estancado en otras partes del tándem

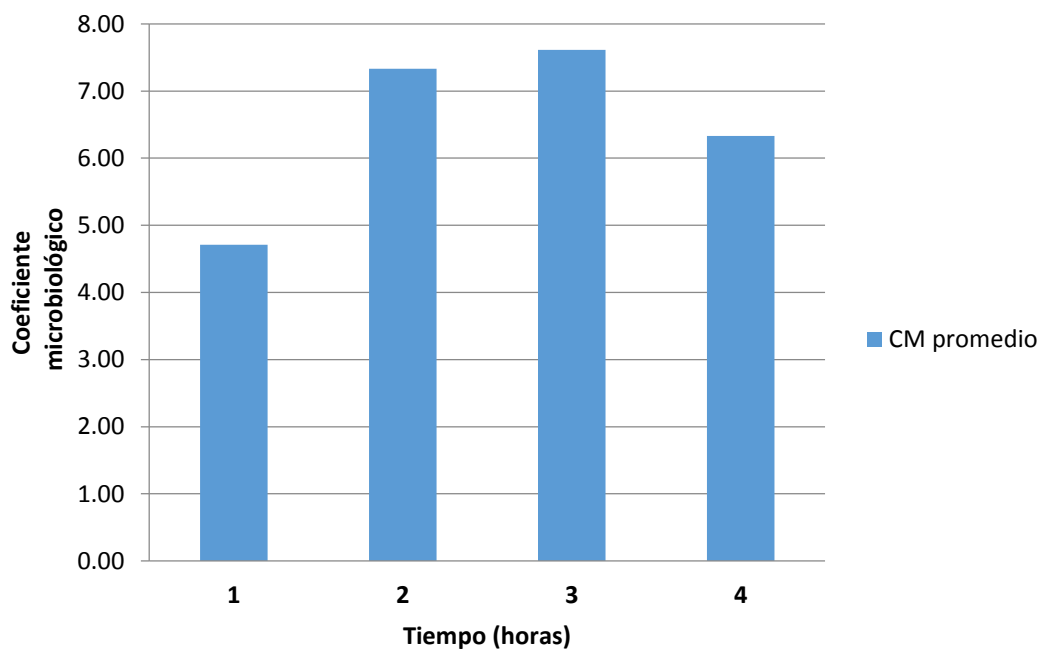


1. Bagazo estancado en tornillo transportador en tándem B

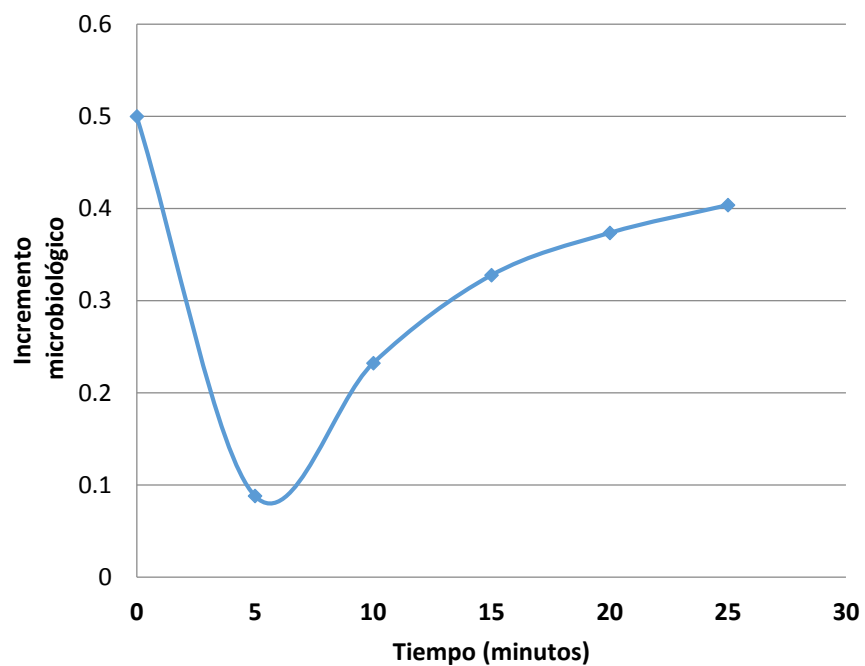


2. Bagazo estancado en conductor del tándem A

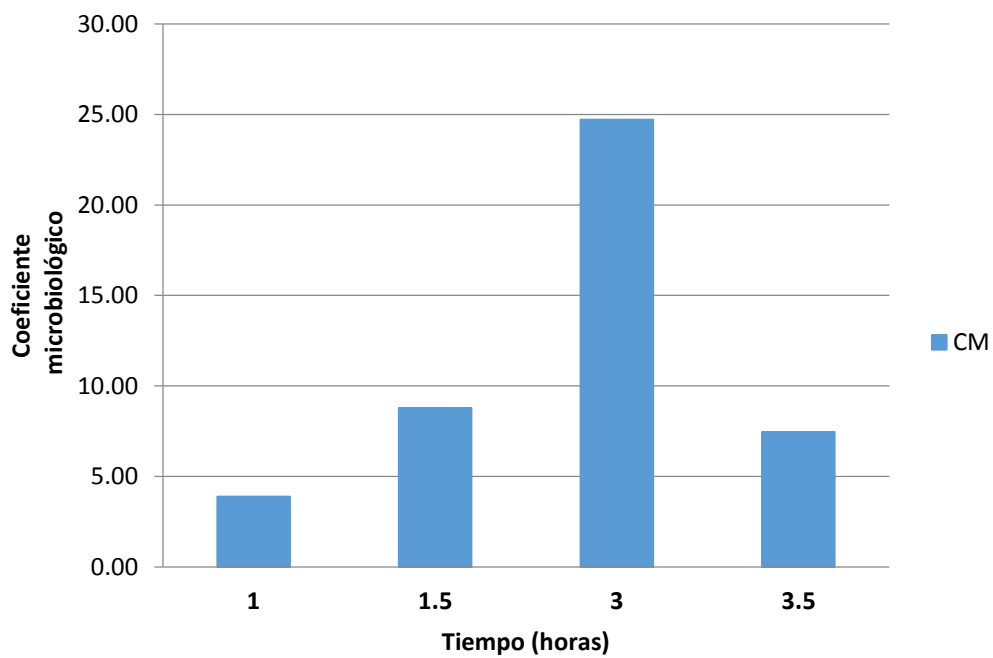
Gráfica 44. Coeficiente microbiológico en bagazo en taza durante mantenimiento tándem A



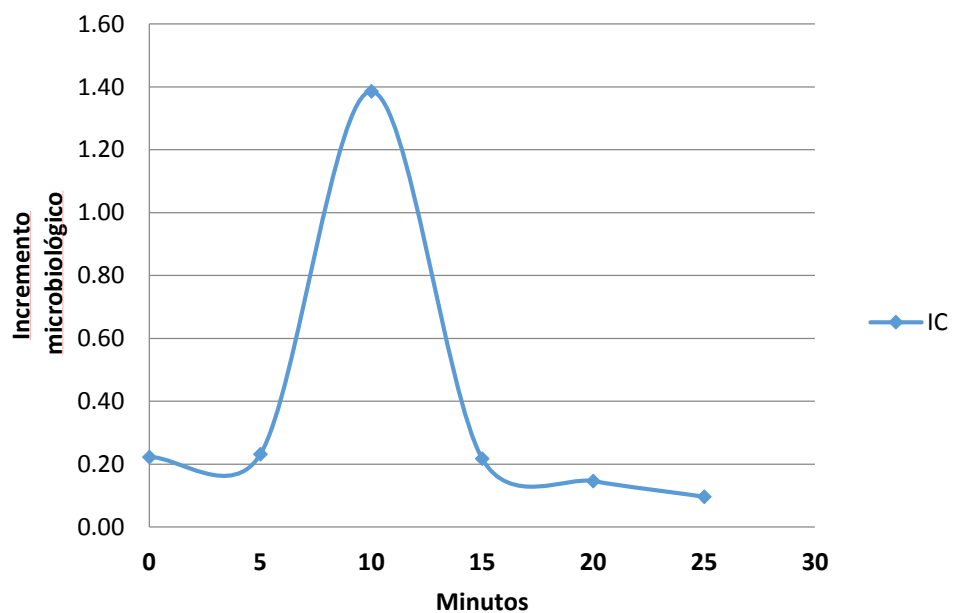
Gráfica 45. Incremento del coeficiente microbiológico (IC) después de iniciar molienda luego de mantenimiento tándem A



Gráfica 46. Coeficiente microbiológico en bagazo en taza durante mantenimiento tándem B

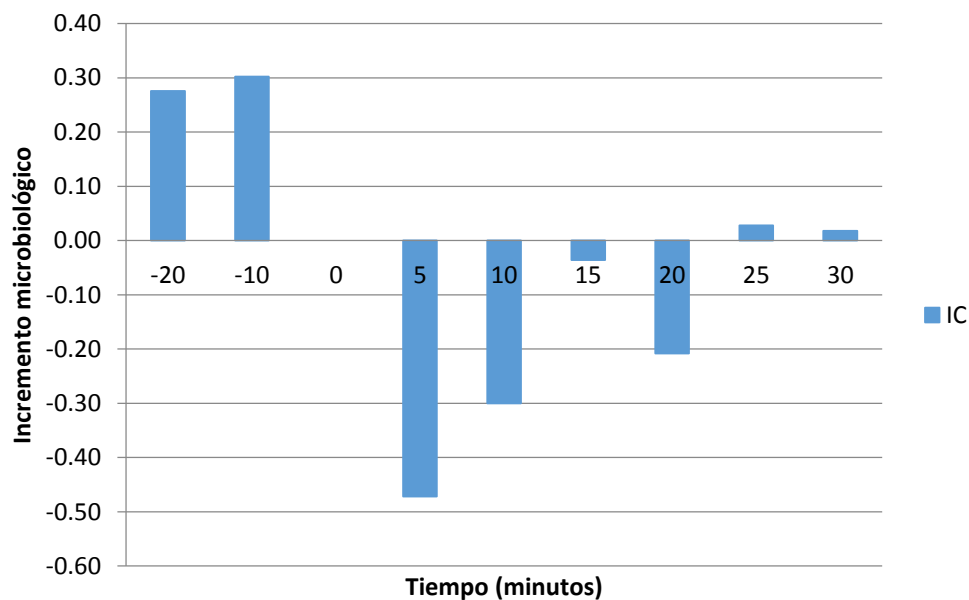


Gráfica 47. Incremento del coeficiente microbiológico (IC) después de iniciar molienda luego de mantenimiento tándem B

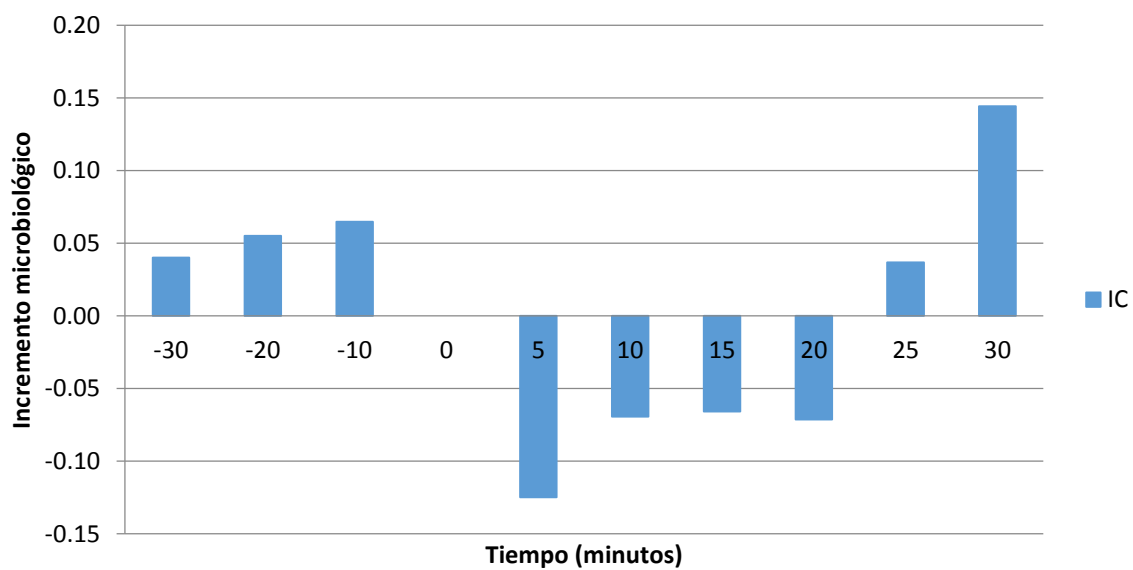


c. Determinación del tiempo óptimo para la evaluación de la asepsia en tándem.

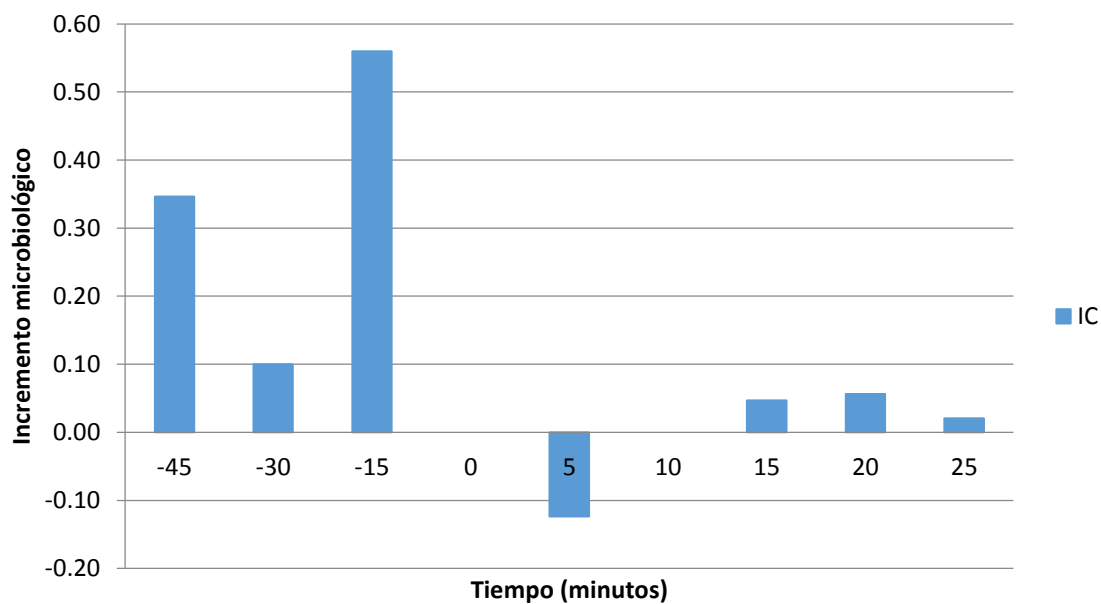
Gráfica 48. Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem A molino 2



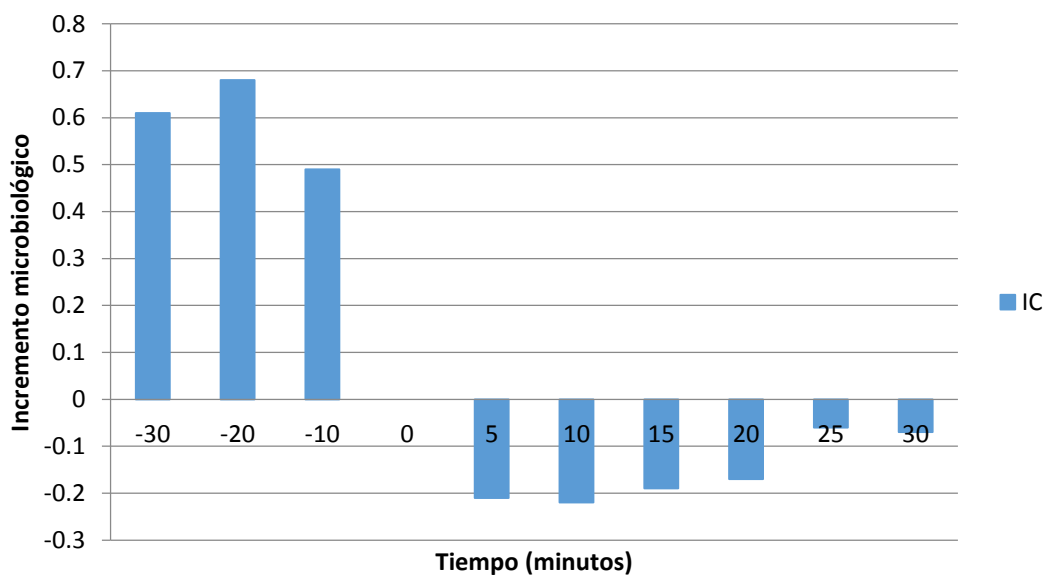
Gráfica 49. Comportamiento del incremento microbiológico promedio en la limpieza modelo en el tándem A molino 3



Gráfica 50. Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem B molino 2

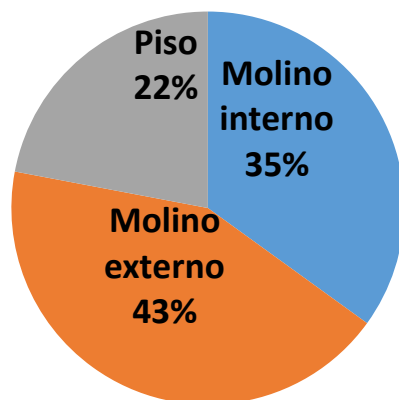


Gráfica 51. Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem B molino 3

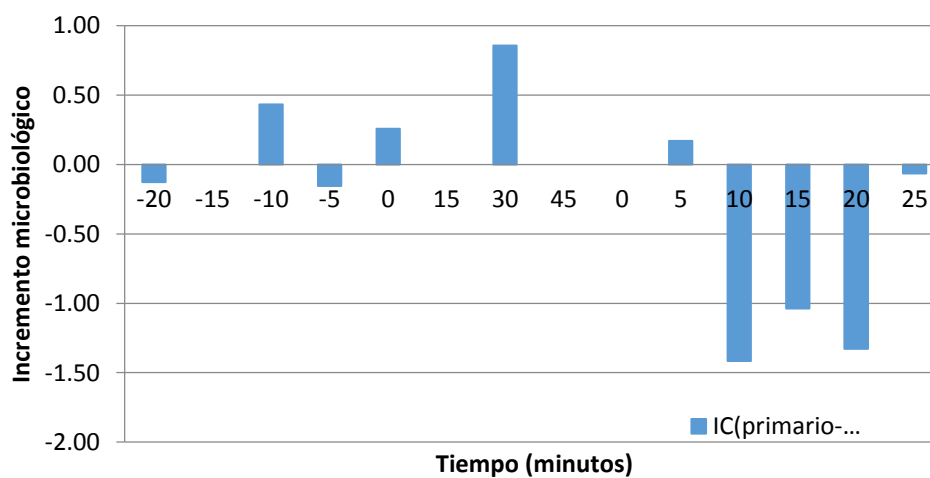


d. Establecimiento de una metodología estándar para la asepsia de tándem.

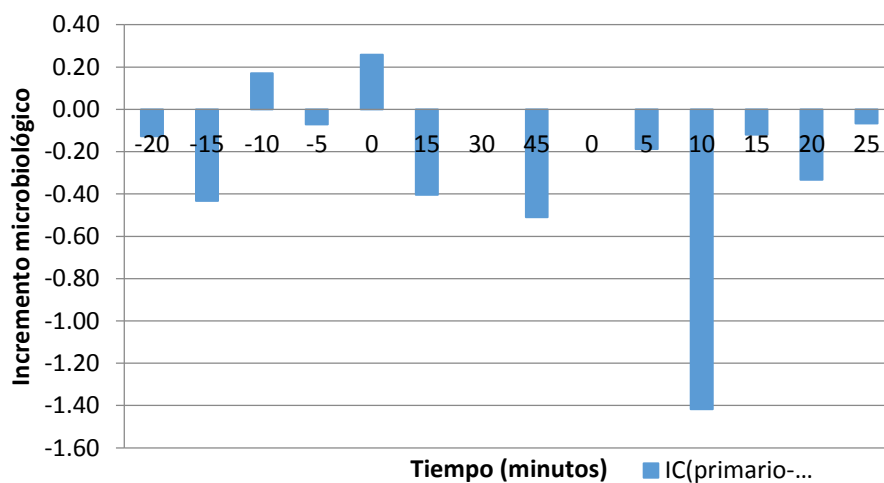
Gráfica 52. Porcentaje de tiempo empleado en asepsia de molinos



Gráfica 53. Comportamiento del incremento microbiológico jugo primario- bandeja en la asepsia propuesta en el tándem B



Gráfica 54. Comportamiento del incremento microbiológico jugo primario- jugo diluido en la asepsia propuesta en el tándem B (antes-durante-después)

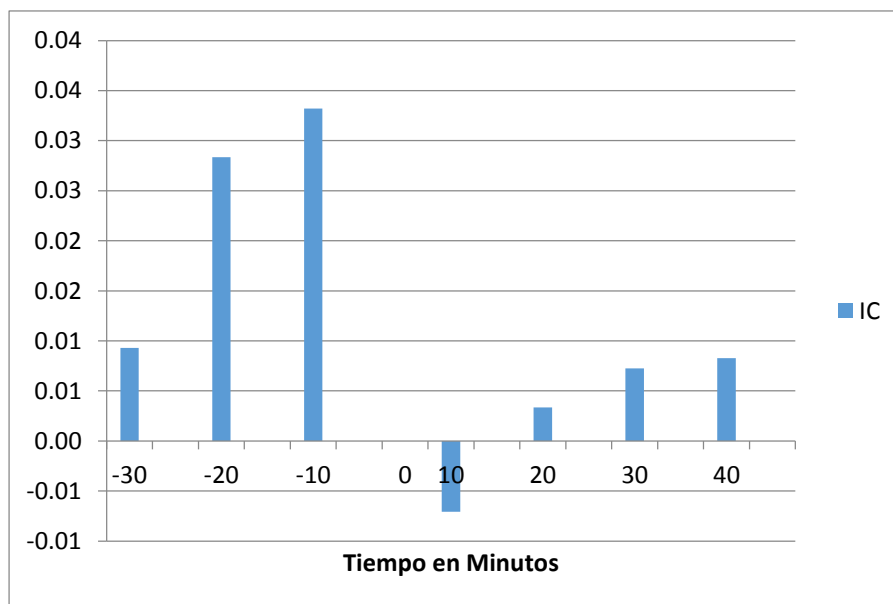


### 3. Ingenio Concepción

a. Mediciones de actividad microbiológica en molinos 2 y 3 para la obtención del tiempo representativo de muestreo para evaluar la efectividad de la limpieza.

#### 1) Molino 2

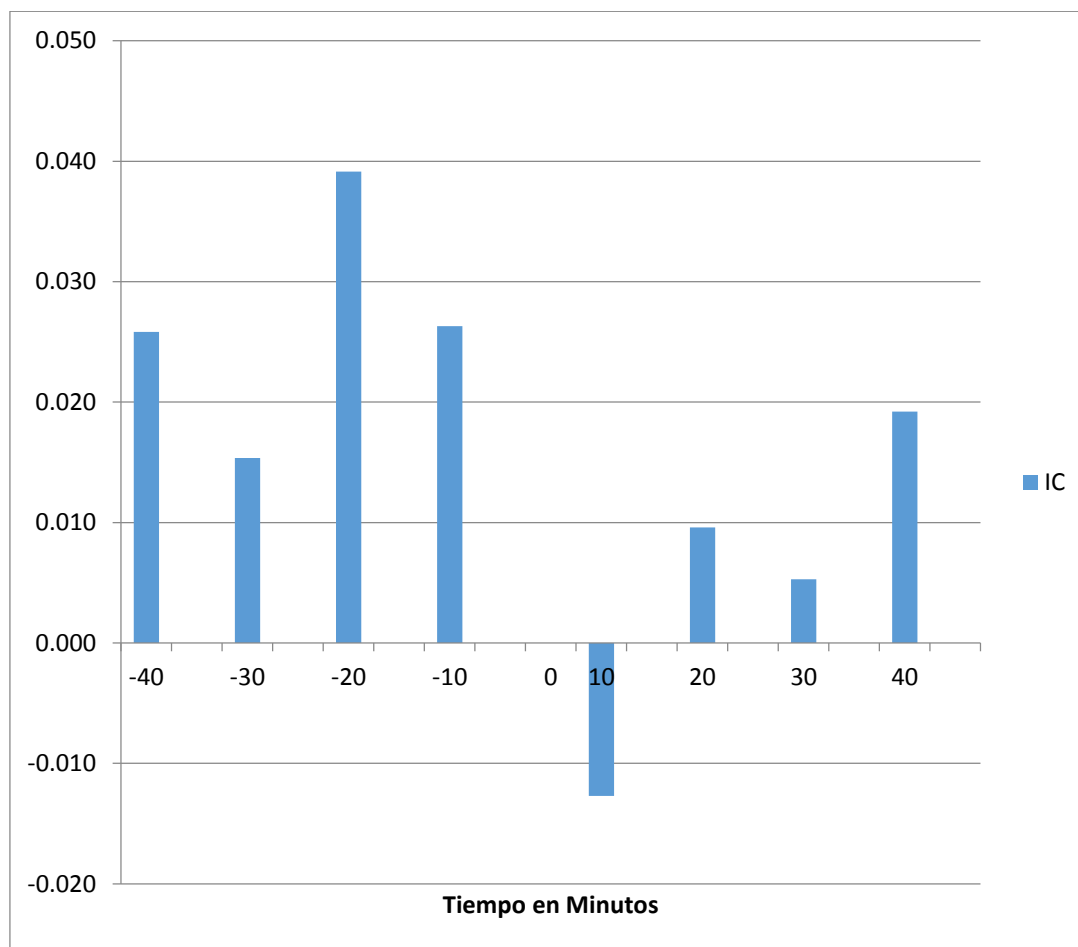
Gráfica 55. Incremento microbiológico en el molino 2, antes y después de limpieza guiada en jugo primario y molino 2.



Incremento microbiológico (IC) en el molino 2 muestreado en intervalos de 10 minutos antes y después de la limpieza. Tomando el jugo primario como entrada y el jugo de la bandeja en el molino 2 como salida.

## 2) Molino 3

Gráfica 56. Incremento microbiológico en el molino 3, en el bagazo proveniente del molino 2 y el jugo procedente de las masas del molino 3.

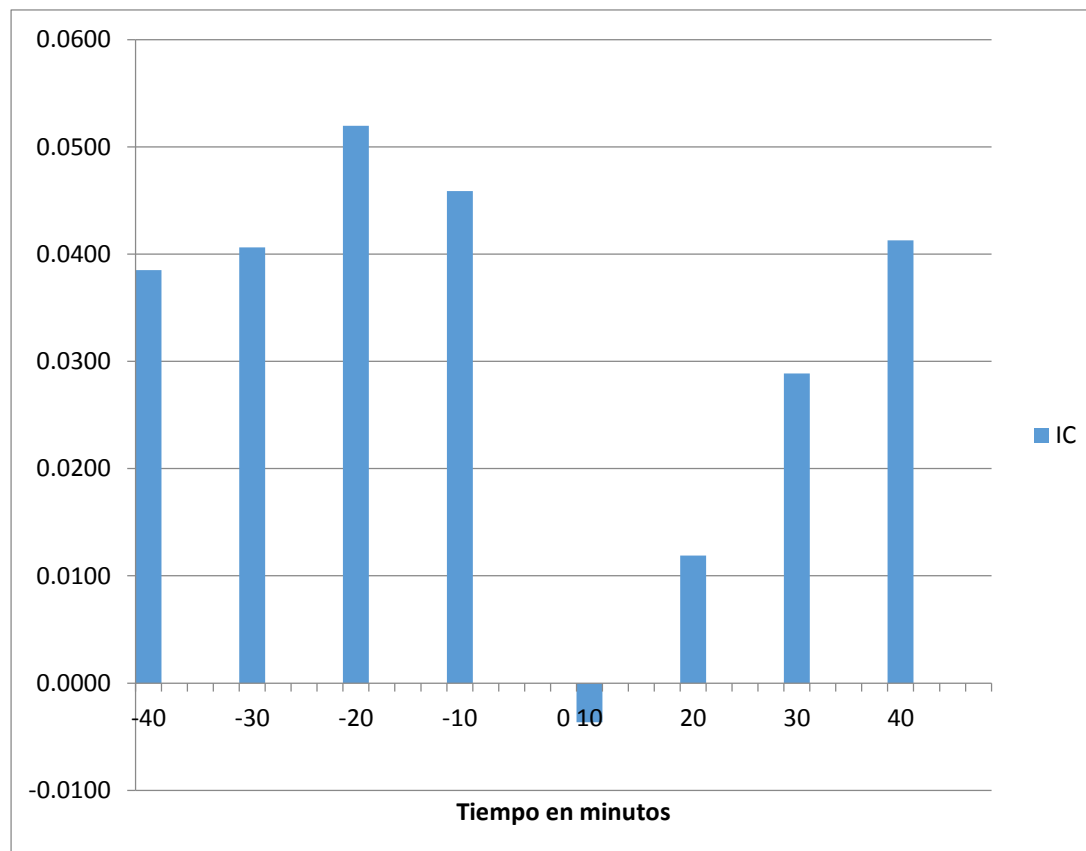


Incremento microbiológico (IC) en el molino 2 muestreado en intervalos de 10 minutos antes y después de la limpieza. Tomando el bagazo proveniente del molino 2 como entrada y el jugo procedente de las masas del molino 3 como salida.

## b. Implementación de Limpieza Guiada en el Tándem del Ingenio Concepción

### 1) Molino 2

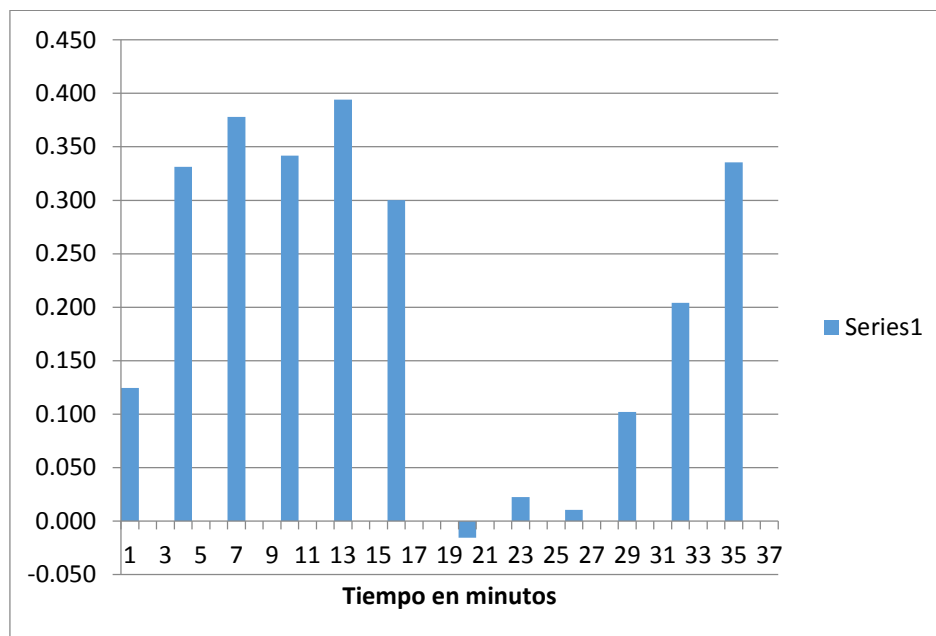
Gráfica 57. Incremento de la actividad microbiológica en el molino 2 antes y después de haberse llevado a cabo la limpieza guiada en el tándem.



Incremento microbiológico (IC) en el molino 2 muestreado en intervalos de 10 minutos antes y después de la limpieza guiada. Tomando el jugo primario, el bagazo proveniente del molino 1 y la maceración 3-2 como entrada y el jugo procedente de las masas del molino 2 como salida.

## 2) Molino 3

Gráfica 58. Incremento de la actividad microbiológica en molino 3 antes y después de haberse llevado a cabo la limpieza guiada en el tándem.



Incremento microbiológico (IC) en el molino 3 muestreado en intervalos de 10 minutos antes y después de la limpieza guiada. Tomando el bagazo proveniente del molino2 y la maceración 4-3 como entrada y el jugo procedente de las masas del molino 3 como salida.

## c. Estudio de tiempos de la limpieza actual y la limpieza guiada

Figura 37. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del Molino No.1.

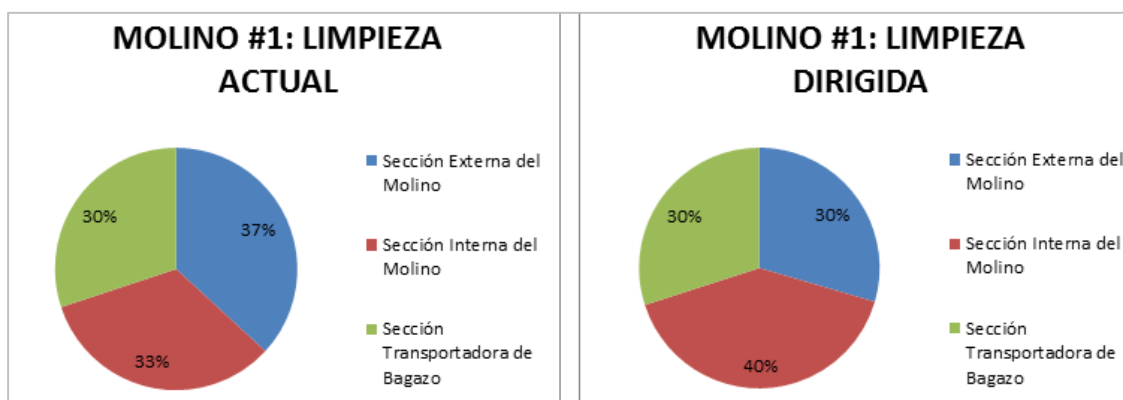


Figura 38. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del molino No.2

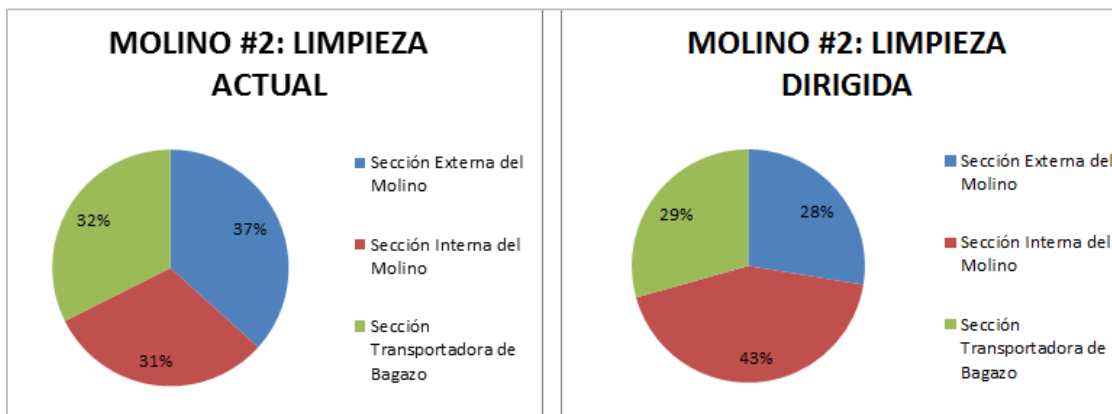


Figura 39. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del molino No.3

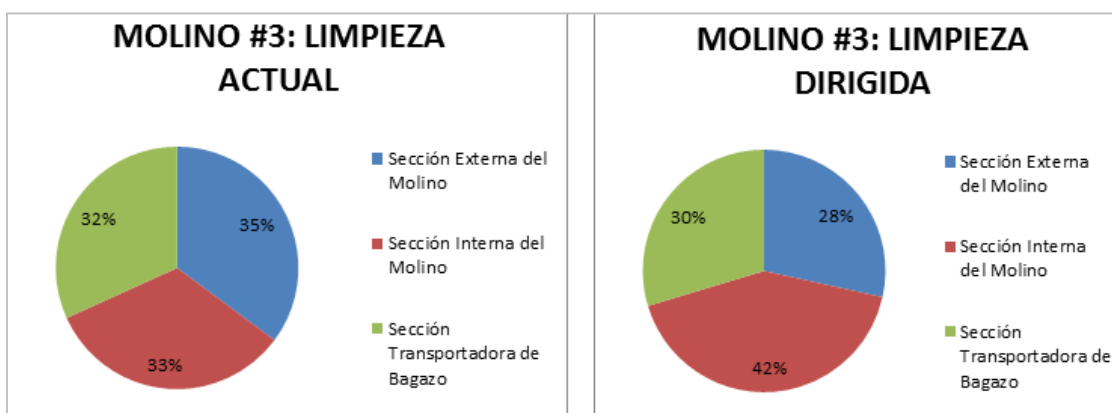


Figura 40. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del molino No.4

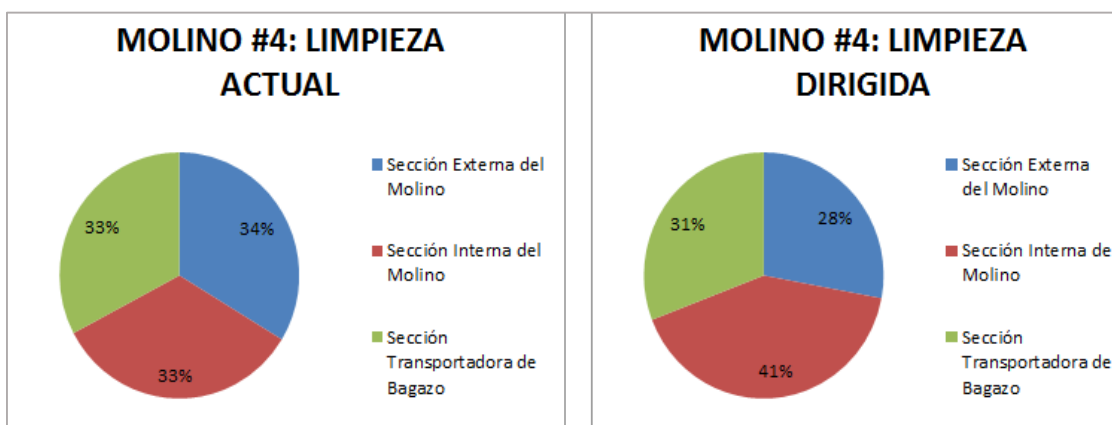
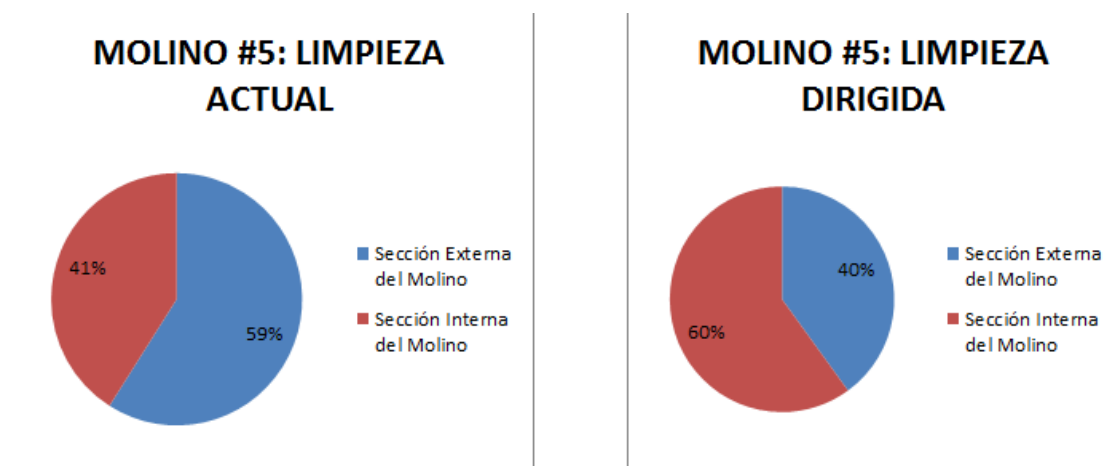


Figura 41. Comparación porcentaje de tiempos invertidos en la sección interna del molino No.5



d. Elaboración del Indicador Visual de puntos críticos “Semáforo de Limpieza”

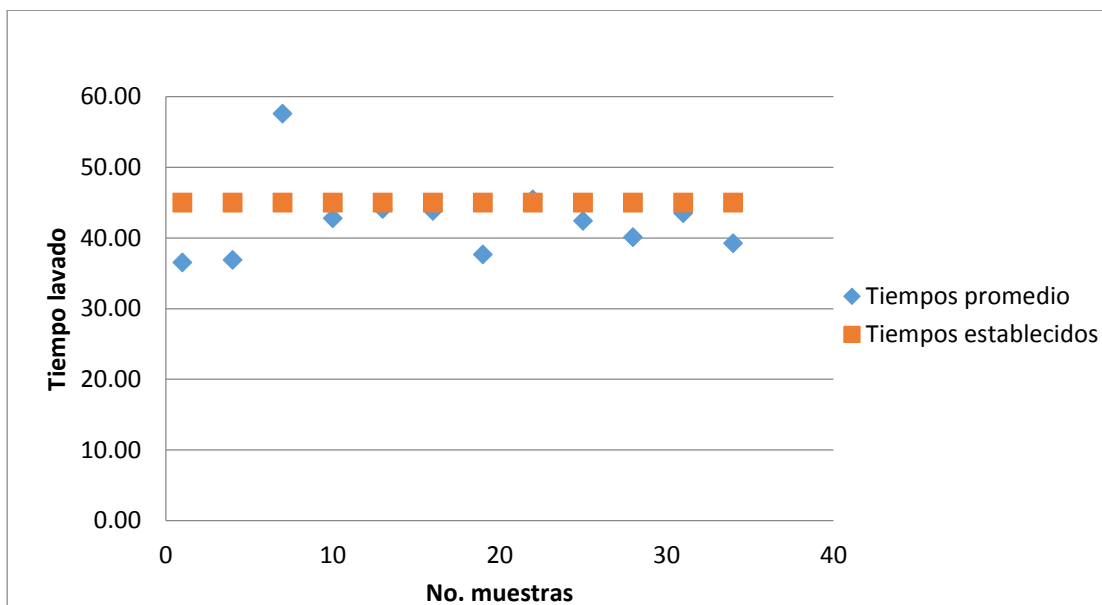
Figura 42. Indicador visual de puntos críticos



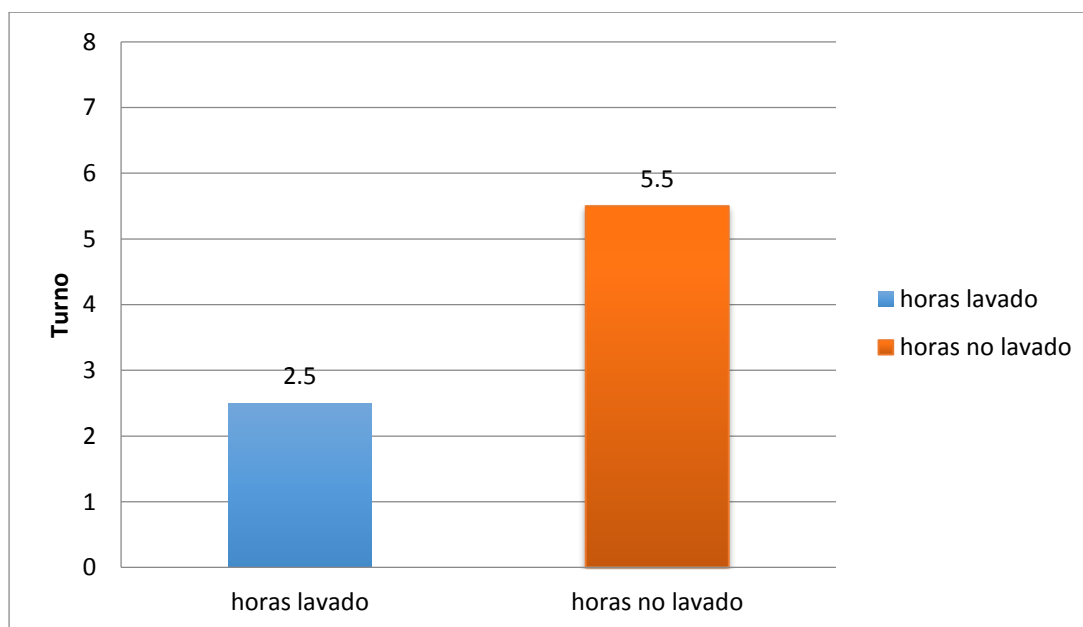
#### 4. Ingenio Magdalena

a. Evaluación del lavado en los molinos, para juzgar la eficiencia del mismo en la disminución de la actividad microbiológica.

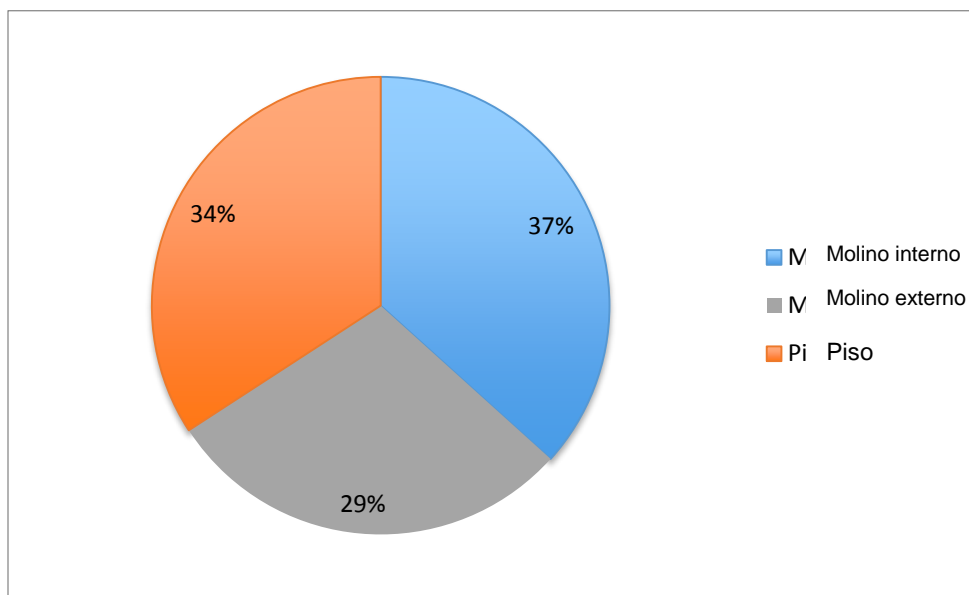
Gráfica 59. Tiempos promedio de lavado en tandems A, B y C del Ingenio Magdalena



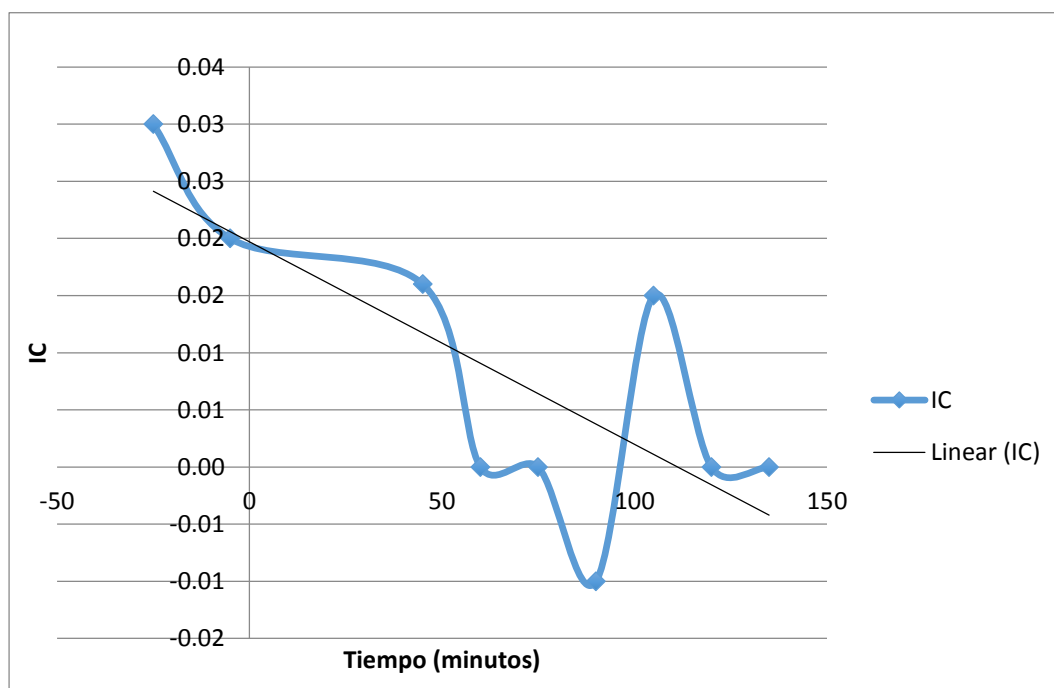
Gráfica 60. Relación del lavado y no lavado de lavadores durante un turno en el Ingenio Magdalena



Gráfica 61. Distribución del lavado por áreas en el Ingenio Magdalena

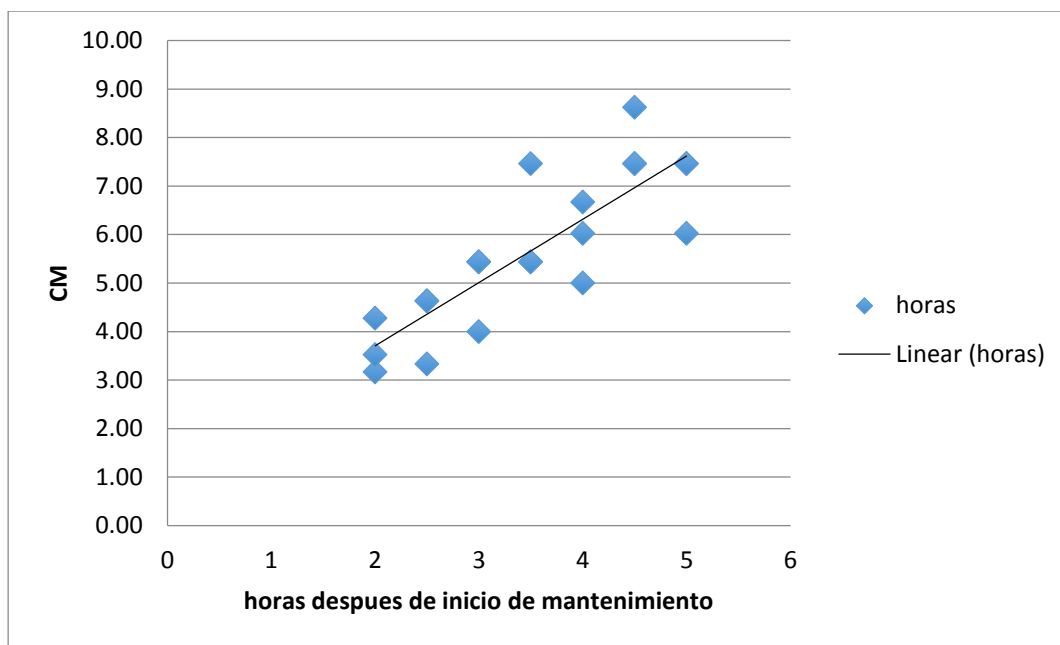


Gráfica 62. Relación del IC con el lavado del molino 1 de los tres tándems del Ingenio Magdalena

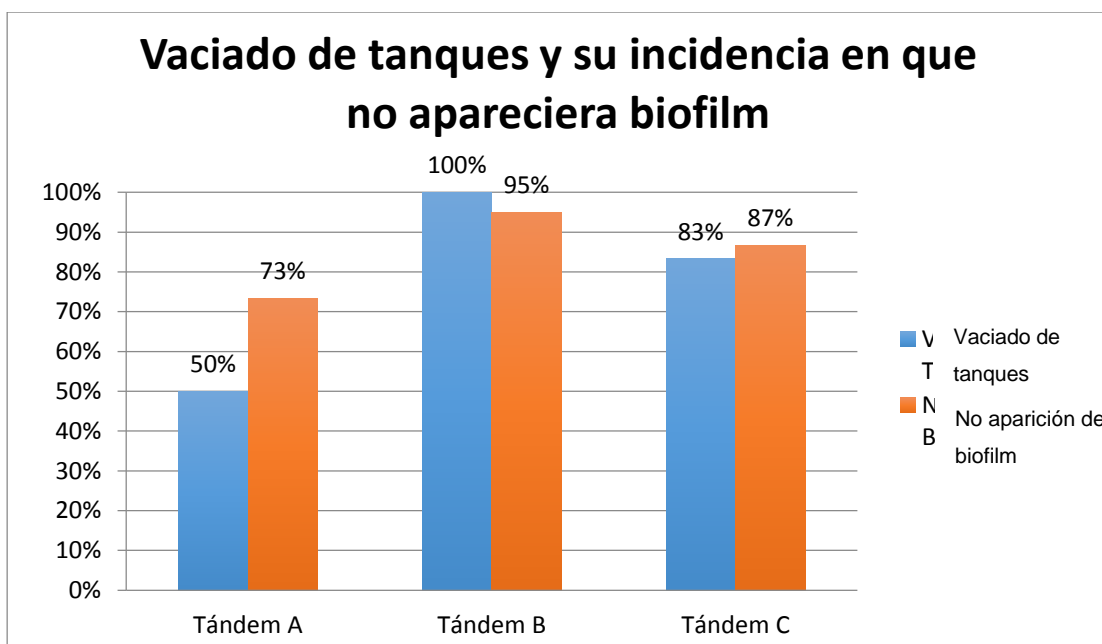


b. Evaluación del cuidado de la asepsia durante los mantenimientos para determinar la actividad microbiológica durante los mismos.

Gráfica 63. CM de bandejas 2, 3 y 4 medido durante los mantenimientos en el Ingenio Magdalena



Gráfica 64. Cumplimiento de limpieza de biofilm en tanques de jugo del Ingenio Magdalena



c. Colocación de un semáforo en forma de manta como instrumento de comunicación. Se colocó un semáforo en forma de manta, para facilitar la comunicación entre los operarios del laboratorio de Control Microbiológico, con los lavadores del tándem y los supervisores. Se utilizó esta herramienta para que funcione como un Kanban, es decir, que permita al operario conocer el orden en que debe realizar la limpieza reduciendo así los tiempos de limpieza y obteniendo mayor calidad.

d. Documentación de los procedimientos y mejoras al proceso por medio del manual correspondiente. Por medio del nuevo manual, se logró cumplir con una serie de tareas que antes no se realizaban. De igual forma se documentó este proceso de manera que al existir una duda de parte del operario, pueda avocarse al instructivo y resolverla. (**Ver Manual en Anexos**)

Tabla 19. Cumplimiento de cuidado de asepsia luego de implementación de mejoras

	Se cumple	No se cumple	Documentado en nuevo manual
Horarios de lavado	X		✓
Lavado comienza en el sexto molino		X	✓
Lavado comienza de arriba hacia abajo	X		✓
Usa equipo de protección personal	X		✓
Comunicación visual (Kanban)	X		✓

### C. Evaluación de las condiciones higiénicas en el colador y tanque de jugo mezclado (diluido) de jugo

Tabla 20 Presencia de material acumulado y biopelículas en los tanques colectores de jugo durante mantenimiento

Ingenio	Tándem			Material acumulado			Biopelículas		
	A	B	C	Abundante	Escaso	Ninguno	Abundante	Escasa	Ninguna
Concepción	X			X				X	
Pantaleón	X			X				X	
Pantaleón		X		X					X
Magdalena		X		X			X		
Magdalena		X		X			X		

Continuación Tabla 20

Ingenio	Tándem			Material acumulado			Biopelículas		
	A	B	C	Abundante	Escaso	Ninguno	Abundante	Escasa	Ninguna
Magdalena			X	X			X		
Magdalena			X	X				X	

Figura 43. Presencia de biopelículas en la parte superior del tanque de jugo cristal en el tándem B del Ingenio Magdalena previo a la limpieza. FECHA: 1 FEBRERO 2013



Figura 44. Presencia de biopelículas acumuladas en el tanque de jugo cristal en el tándem B del Ingenio Magdalena encontrado al vaciarlo durante mantenimiento. FECHA: 1 FEBRERO 2013



Figura 45. Material acumulado en tanque de jugo mezclado en el tándem B del Ingenio Magdalena.FECHA: 1 FEBRERO 2013



Figura 46. Presencia de biopelículas acumuladas en tanque de jugo cristal en el tándem C del Ingenio Magdalena.FECHA: 8 FEBRERO 2013



Figura 47. Presencia de material acumulado en taque de jugo mezclado en el tándem C del Ingenio Magdalena.FECHA: 8 FEBRERO 2013



Figura 48. Material acumulado en el tanque de jugo diluido del Ingenio Concepción.FECHA: 19 FEBRERO 2013



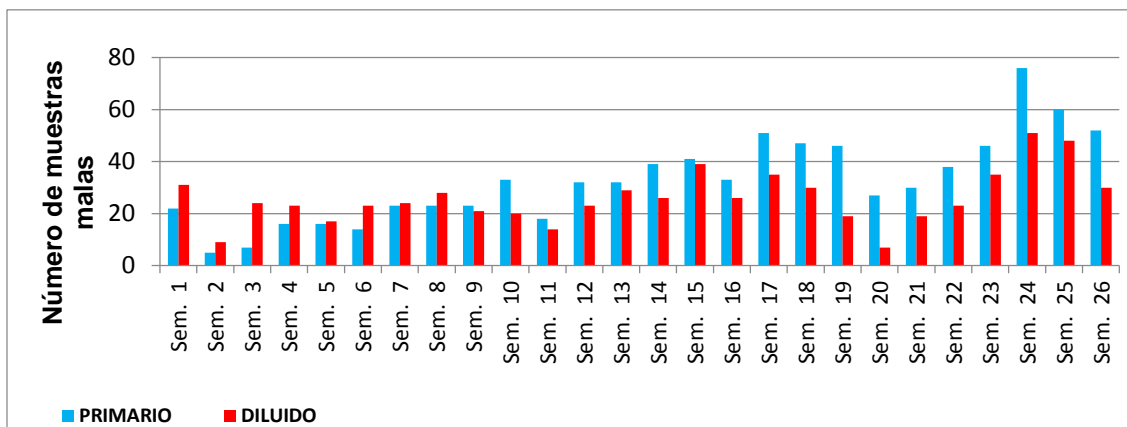
Figura 49. Material acumulado y presencia de biopelículas en el tándem A del Ingenio Pantaleón.FECHA: 12 MARZO 2013



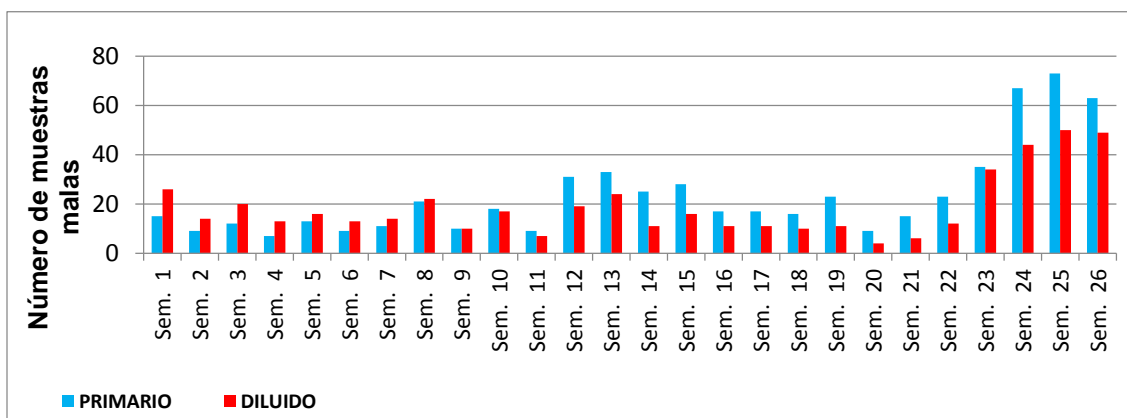
Figura 50. Presencia de material acumulado en el tándem B del Ingenio Pantaleón.FECHA: 21 MARZO 2013



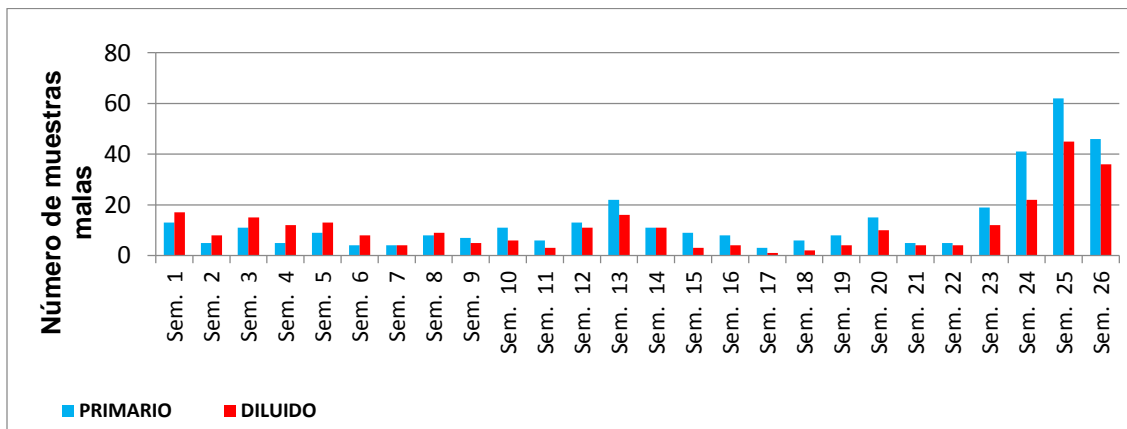
Gráfica 65. Número de muestras malas de jugo primario y diluido del tándem A del Ingenio Magdalena



Gráfica 66. Número de muestras malas de jugo primario y diluido del tándem B del Ingenio Magdalena



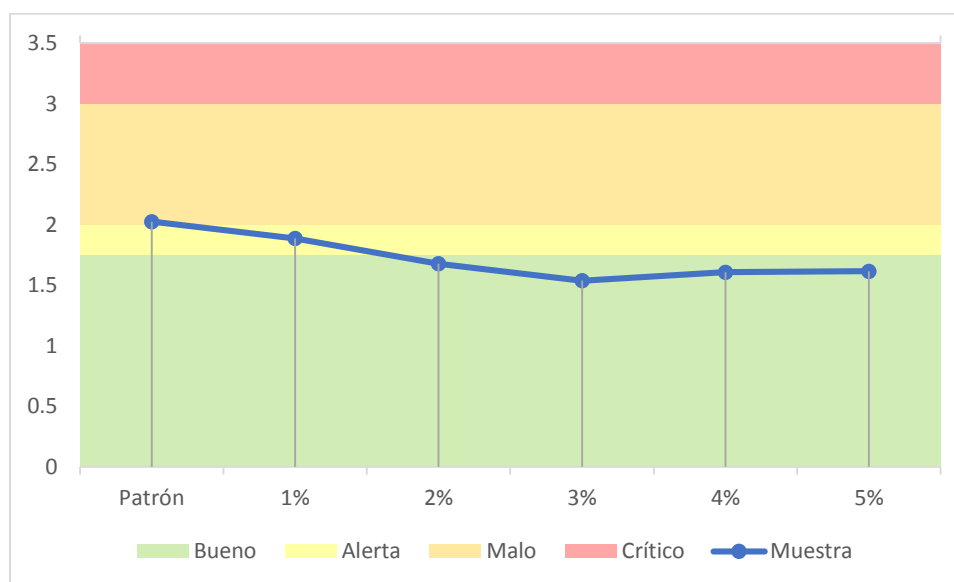
Gráfica 67. Número de muestras malas de jugo primario y diluido del tándem C del Ingenio Magdalena



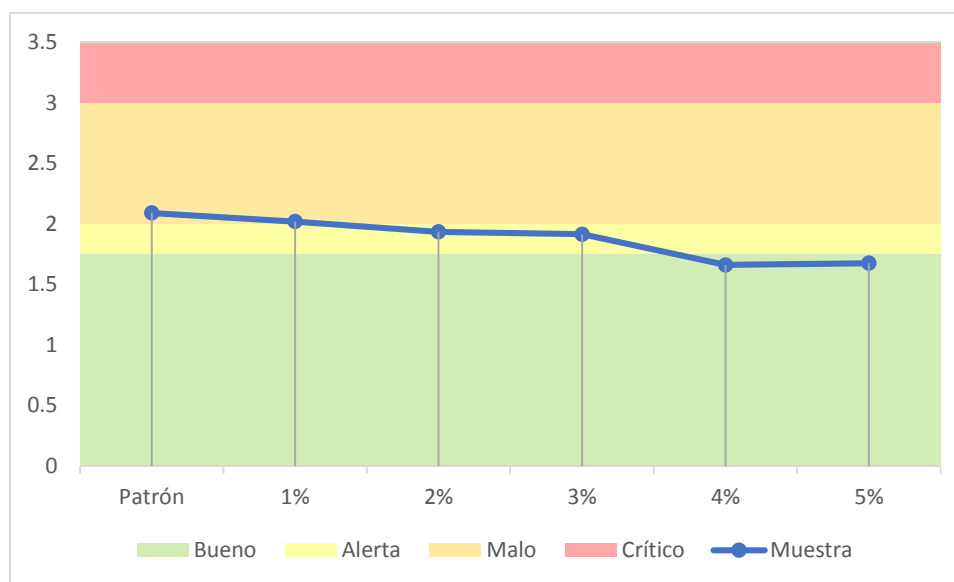
## D. Exploración a escala laboratorio y piloto de la recirculación del jugo sulfitado como bactericida en el área de extracción

### 1. Escala laboratorio

Gráfica 1. Coeficiente microbiológico de diferentes diluciones de jugo sulfitado en jugo diluido para comprobar su efectividad como bactericida después de 10 minutos de ser agregado

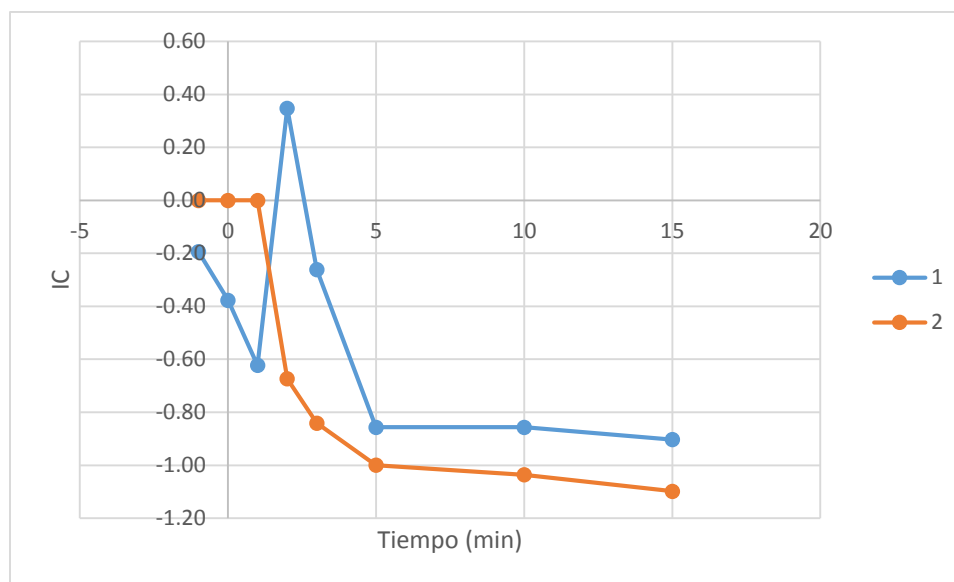


Gráfica 68. Coeficiente microbiológico de diferentes diluciones de jugo sulfitado en jugo diluido para comprobar su efectividad como bactericida después de 20 minutos de ser agregado



## 2. Tanque piloto

Gráfica 69. Incremento en el coeficiente microbiológico entre la entrada y salida del tanque de jugo diluido a escala piloto Utilizando un flujo continuo de jugo sulfitado de 0.0625l/min con un caudal de jugo diluido de 1.38l/min y un tiempo de retención de 9.23 minutos



E. Desarrollo de un sistema administrativo para el proyecto, mejorando los sistemas de control y evaluación económica de la metodología de asepsia de tándem propuesta

1. Evaluación económica de la implementación de los procedimientos propuestos para el control microbiológico en el área de extracción del ingenio

### a. Ingenio Pantaleón

Tabla 21. Resultados evaluación económica

Salario mensual del operario	Q 1,599.92
Costo por minuto de operario	Q 0.13
Costo diario actual	Q 508.77
Costo diario propuesto	Q 359.98
Costo mensual actual	Q 15,263.24
Costo mensual propuesto	Q 10,799.46
Costo actual por zafra	Q 93,614.52

Continuación Tabla 21

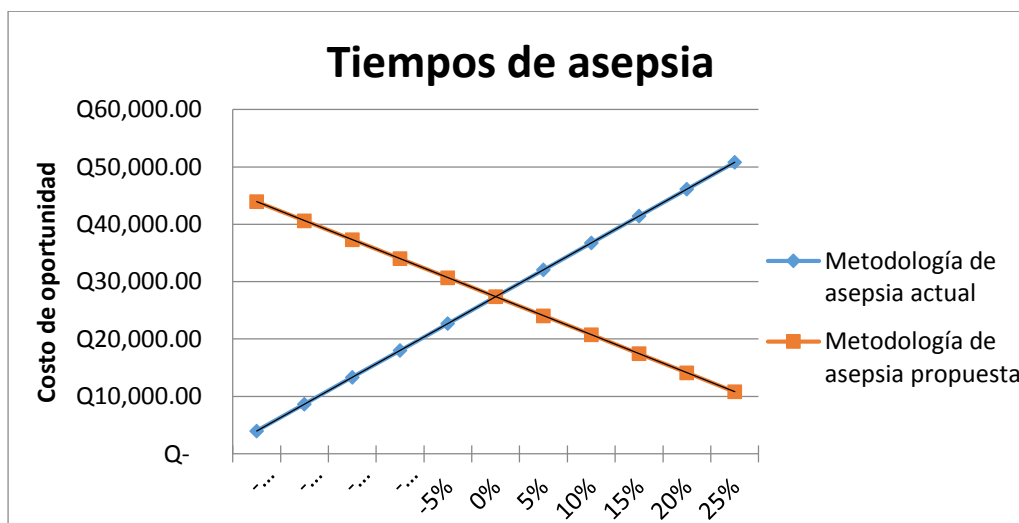
Costo propuesto por zafra	Q 66,236.69
Costo de oportunidad por zafra	Q 27,377.83
% del costo actual	29.2%

## 1) Análisis de sensibilidad del tiempo de asepsia

Tabla 22. Sensibilidad tiempo de asepsia

% de Variación	Metodología actual	Metodología propuesta
-25%	Q 3,974.20	Q 43,937.00
-20%	Q 8,654.93	Q 40,625.17
-15%	Q 13,335.65	Q 37,313.33
-10%	Q 18,016.38	Q 34,001.50
-5%	Q 22,697.11	Q 30,689.67
0%	Q 27,377.83	Q 27,377.83
5%	Q 32,058.56	Q 24,066.00
10%	Q 36,739.28	Q 20,754.16
15%	Q 41,420.01	Q 17,442.33
20%	Q 46,100.73	Q 14,130.49
25%	Q 50,781.46	Q 10,818.66

Gráfica 70. Sensibilidad tiempo de asepsia

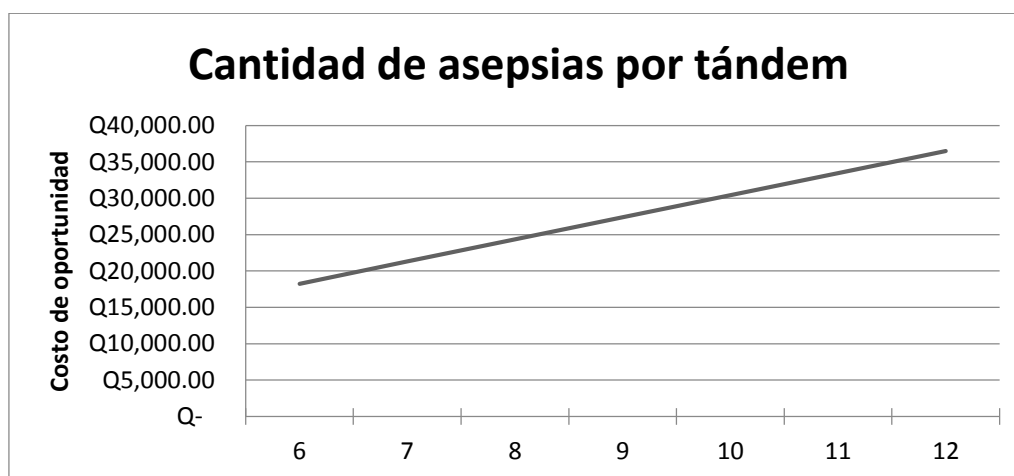


## 2) Análisis de sensibilidad de número de asepsias por tándem al día

Tabla 23. Sensibilidad cantidad de asepsias por tándem

Número de asepsias por tándem diarias	Costo de oportunidad
6	Q 18,251.89
7	Q 21,293.87
8	Q 24,335.85
9	Q 27,377.83
10	Q 30,419.81
11	Q 33,461.79
12	Q 36,503.77

Gráfica 71. Sensibilidad cantidad de asepsias por tándem

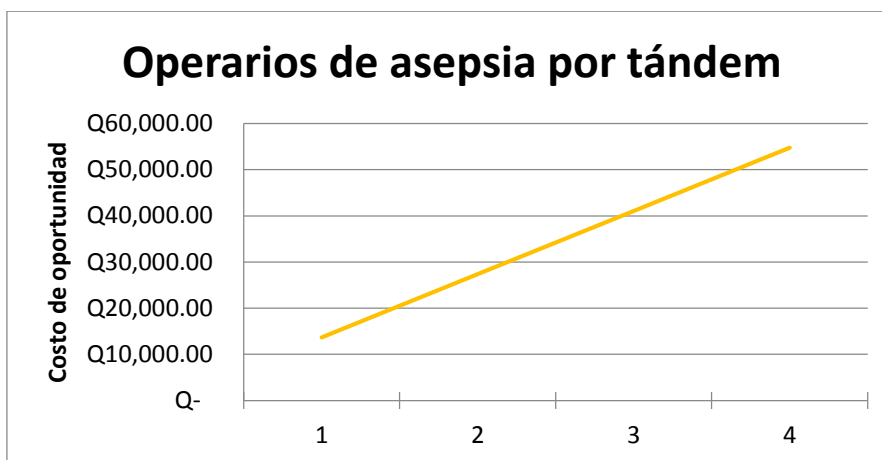


## 3) Análisis de sensibilidad de operarios de asepsia por tándem

Tabla 24. Sensibilidad operarios de asepsia por tándem

Operarios de asepsia por tándem	Costo de oportunidad
1	Q 13,688.92
2	Q 27,377.83
3	Q 41,066.75
4	Q 54,755.66

Gráfica 72. Sensibilidad operarios de asepsia por tándem



b. Ingenio Magdalena. A continuación se presenta la evaluación económica realizada en el Ingenio Magdalena, basada en el tiempo de la limpieza actual vs el costo de oportunidad de no realizar la misma en el área de tándem.

Tabla 25. Datos establecidos para la realización de cálculos en el Ingenio Magdalena

Datos	
Horas trabajadas al día	24
Turnos al día	3
Duración de turno en horas	8
Lavado por tuno	4
Lavados al día	12
Lavados al mes	360
Duración de zafra en meses	5
Lavados por zafra	1800

Tabla 26. Salario operario

Salario operario		
Por minuto	Q	0,15
Por hora	Q	8,93
Por día	Q	71,40
Por mes	Q	2.142,00
Por zafra	Q	10.710,00

Tabla 27. Tiempos de lavado

Tiempos de lavado	
Turno	Tiempo en horas
1	2,18
2	2,18
3	2,09
4	2,05
<b>Promedio de lavado</b>	2,13
<b>Total por turno</b>	8,51
<b>Total por día</b>	102,07
<b>Total por mes</b>	3062,20
<b>Total por zafra</b>	15311,00

Tabla 28. Caña a moler

Caña a moler (toneladas métricas)		
Producción por zafra	Producción por mes	Producción por día
5250000	1050000	35000

Tabla 29. Costo de lavado

Costo de realizar lavados	
Descripción	Costo
Total por lavado	Q18,98
Total lavado al día	Q227,75
Total lavado al mes	Q6.832,53
Total lavado por zafra	Q34.162,67

Tabla 30. Pérdida por maquinaria

Pérdida por descomposición de la maquinaria			
Precio molino	Precio tándem USD	Precio tándem (Q)	Precio tándemes (A,B y C)
\$100.000,00	\$600.000,00	Q4.680.000,00	Q14.040.000,00

Tabla 31. Pérdida por dejar de producir

Pérdida por dejar de producir			
Precio por quintal de azúcar	Total por zafra	Total por mes	Total por día
Q 160,00	Q8.400.000.000,00	Q1.680.000.000,00	Q56.000.000,00

Tabla 32. Comparación de costos

Comparación de costos			
Descripción	Costo	Ahorro	Porcentaje de ahorro
Costo de realizar lavados por día	Q227,75	Q70.039.772,25	
Costo de no realizar lavados por día	Q70.040.000,00		
Costo de realizar lavados por mes	Q6.832,53	Q1.694.033.167,47	99,99967%
Costo de no realizar lavados por mes	Q1.694.040.000,00		
Costo de realizar lavados por zafra	Q34.162,67	Q8.414.005.837,33	
Costo de no realizar lavados por zafra	Q8.414.040.000,00		

A continuación se presenta la evaluación económica realizada al momento de implementar la tecnología de un computador en el área de corridas para la toma de muestra de jugos en el Ingenio Magdalena.

Tabla 33. Datos de corrida con la implementación de un computador

Datos de corrida	
Horas trabajadas al día	24
Turnos al día	3
Duración de turno	8
Corridas por turno	5
Corridas por día	15
Corridas por mes	450
Duración de zafra	5
Corridas por zafra	2250

Tabla 34. Comparación de corridas

Comparación de corridas					
Descripción	Costo		Ahorro	Porcentaje de ahorro	
Costo por corrida antes	Q	5,95	Q	2,45	41%
Costo por corrida después	Q	3,50			
Costo por día antes	Q	89,25	Q	36,82	
Costo por día después	Q	52,43			
Costo por mes antes	Q	2.677,50	Q	1.104,47	
Costo por mes después	Q	1.573,03			
Costo por zafra antes	Q	13.387,50	Q	5.522,34	
Costo por zafra después	Q	7.865,16			

c. Ingenio Concepción. A continuación se presenta la evaluación económica realizada en el Ingenio Concepción debido a una limpieza dirigida implementada para optimizar el tiempo de la misma.

Tabla 35. Datos de corrida ingenio concepción

Datos	
Horas trabajadas al día	24
Turnos al día	3
Duración de turno en horas	8
Limpiezas por turno	4
Limpiezas al día	12
Limpiezas al mes	360
Duración de zafra en meses	5
Limpiezas por zafra	1800

Tabla 36. Limpieza anterior vs dirigida

Limpieza anterior vs limpieza dirigida		
Descripción	Tiempo por limpieza (m)	Tiempo por limpieza (h)
Tiempo total de limpieza anterior	105.09	1.75
Tiempo total de limpieza dirigida	90.23	1.50

Tabla 37. Ahorro en tiempos

Ahorro en tiempos	
Descripción	Tiempo en horas
Ahorro en limpieza total	0.25
Ahorro total por día	2.97
Ahorro total por mes	89.16
Ahorro total por zafra	445.8

Tabla 38. Ahorro en dinero

Ahorro total en dinero			
Descripción	Costo (Q)	Ahorro (Q)	Porcentaje de ahorro
Limpieza anterior	15.63	2.21	14%
Limpieza dirigida	13.42		
Limpieza anterior al día	187.59	26.53	
Limpieza dirigida al día	161.06		
Limpieza mensual anterior	5,627.57	795.75	
Limpieza mensual dirigida	4,831.82		
Limpieza por zafra anterior	28,137.85	3,978.77	
Limpieza por zafra dirigida	24,159.08		

## VIII. DISCUSIÓN

### A. Evaluación y propuesta de reingeniería de los procesos de acondicionamiento de la caña y fibra para la extracción en el área de conductores del Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena.

#### 1. Ingenio Pantaleón.

##### a. Evaluación de la actividad microbiológica de la caña en los conductores de los tándems A y B

1) Observación y análisis de situación actual del manejo de la caña en los conductores de los tándems A y B. Como se observa en la Tabla No.1 se pudo determinar que las causas por las que el bagazo se acumula en forma de pilas en los conductores de los tándems A y B son la naturaleza del proceso de transporte de caña por conductores hacia los molinos, falla de sellos de los conductores, falta de procedimientos establecidos para el manejo de la caña en los conductores, falta de conocimiento y capacitación sobre manejo de caña en conductores por parte de operarios y que procesos de limpieza no contempla el manejo de la caña en los conductores. De las causas mencionadas se determinó, en base al alcance y limitaciones del estudio, que para las últimas tres era factible el planteamiento de posibles soluciones y que además están podían ser realizables.

Se considera que la situación actual del manejo de la caña en los conductores de los tándems A y B se debe a que esta es una de las áreas en las que anteriormente no se había realizado un estudio para determinar la actividad microbiológica de las pilas de bagazo que se acumulan en los mismos y la importancia que tienen estas para el Ingenio Pantaleón por tener la oportunidad de poder reincorporarlas al proceso sin que afecten de manera negativa la calidad del proceso productivo de azúcar.

Al acumularse las pilas de bagazo debido a la naturaleza del proceso de transporte hacia los molinos y a que los sellos de los conductores están defectuosos, es importante que el manejo de las mismas sea considerado ya que removerlas en el proceso de limpieza supone un desperdicio de bagazo que potencialmente puede ser reutilizado. De igual manera, reincorporarlas al proceso sin tomar en cuenta la actividad microbiológica supone un impacto negativo para la calidad del proceso de producción ya que se estaría reincorporando caña con niveles de coeficiente microbiológico críticos.

Por lo anterior se resaltó la importancia de la redacción de un instructivo mejorado de la limpieza de los conductores del Ingenio Pantaleón al determinar que este no contemplaba el manejo de las pilas de bagazo y que si son afectadas por la actividad microbiológica.

2) Realización de muestreo espontáneo por medio de prueba de resazurina en conductores de los tándems A y B. El objetivo era obtener una idea general sobre los niveles de actividad microbiológica presentes en las pilas de bagazo de los conductores de los tándems A y B. A través del análisis con la prueba de resazurina realizado para cada una de las pilas de bagazo y bagazo de las diferentes áreas descritas de los conductores de los tándems A y B en el punto 1.2 de la metodología, se obtuvieron los coeficientes de actividad microbiológica de la Tabla No. 3 y Tabla No. 4 (Anexo B). A partir de estas tablas se realizó la Gráfica No.1 y Gráfica No.2 de la sección de resultados.

Como se observa en la Gráfica No.1 (Tabla No. 3, Anexo B), las pilas de bagazo de las áreas escogidas para realizar el muestreo mostraron coeficientes de actividad microbiológica críticos presentando los más altos las pilas de bagazo de las áreas 1.3, 2.1, 2.2, 2.4, 3.1 y 3.3.

En la Gráfica No.2 (Tabla No. 4, Anexo B), se puede observar que las pilas de bagazo que mostraron coeficientes de actividad microbiológica críticos fueron las que se encontraban en las áreas debajo de mesa y de descarga para reincorporación a conductor. Las pilas de bagazo de las áreas eje de cola y debajo de entrada a molino mostraron coeficientes de actividad microbiológica malos mientras que el bagazo de las áreas fibra 2, fibra 1 y abierta mostraron coeficientes de actividad microbiológica en alerta y buenos respectivamente.

Al comparar la Gráfica No.1 con la Gráfica No.2, se observó que las pilas de bagazo del conductor del tándem A presentan los mayores coeficientes de actividad microbiológica lo cual puede deberse a que el diseño y condiciones de cada conductor son diferentes y por lo tanto esto puede influir en el aumento de la actividad microbiológica. Lo anterior puede deberse también a las áreas escogidas para el muestro ya que algunas áreas del conductor del tándem B tienen bagazo que ha sido previamente tratado como es el caso de las áreas fibra 1, fibra 2 y abierta.

Con base en los resultados obtenidos del muestreo espontáneo se decide realizar un muestreo para el análisis de la actividad microbiológica de los conductores de los tándems A y B realizándolo cada hora durante cuatro horas. Lo anterior fue debido a que se quería poder observar el incremento de la actividad microbiológica conforme el paso del tiempo y obtener una idea más clara del comportamiento de la misma. Como dato importante para la reincorporación de las pilas de bagazo al proceso productivo, se decide que debía determinarse el tiempo que

las pilas de bagazo pueden pasar en los conductores debido a los coeficientes de actividad microbiológica críticos y malos obtenidos.

Es importante mencionar que los resultados del muestreo pudieron verse afectados por la poca atención a las muestras de las pilas de bagazo y bagazo obtenidas por parte del encargado de control microbiológico de los tandems A y B. Del mismo modo, se pudieron ver afectados por tomar muestras de la parte de arriba o del fondo de las pilas de bagazo ya que al tomar de arriba se estaría tomando bagazo que recién está cayendo en los conductores por lo que su actividad microbiológica no sería alta y al tomar del fondo se estaría tomando bagazo que lleva un tiempo prolongado en los conductores por lo que su actividad microbiológica sería alta.

3) Realización de muestreo en escenario no controlado por medio de prueba de resazurina en conductores de los tandems A y B. El objetivo era observar el incremento de la actividad microbiológica conforme el paso del tiempo y obtener una idea más clara del comportamiento de la misma para determinar los puntos de mayor influencia. A través del análisis con la prueba de resazurina realizado para cada una de las pilas de bagazo y bagazo de las diferentes áreas descritas de los conductores de los tandems A y B en el punto 1.3 de la metodología, se obtuvieron los coeficientes de actividad microbiológica de la Tabla No. 5 y Tabla No. 6 (Anexo B). A partir de estas tablas se realizó la Gráfica No.3 y Gráfica No.4 de la sección de resultados.

Como se observa en la Gráfica No.3 (Tabla No. 5, Anexo B), las pilas de bagazo que mostraron coeficientes de actividad microbiológica críticos después del transcurso de cuatro horas fueron las de las áreas 1.2, 1.3, 1.4, 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 3.2 y 3.3 mientras que las pilas de bagazo de las áreas 1.1 y 3.1 mostraron coeficientes de actividad microbiológica malos.

En la Gráfica No. 4 (Tabla No. 6, Anexo B), se puede observar que el bagazo y las pilas de bagazo mostraron coeficientes de actividad microbiológica debajo del nivel crítico después del transcurso de cuatro horas. El bagazo de las áreas fibra 1 y fibra 2 mostró coeficientes de actividad microbiológica buenos mientras que el del área abierta mostró un coeficiente de actividad microbiológica en alerta. Las pilas de bagazo de las áreas debajo de entrada a molino, eje de cola y debajo de mesa mostraron un coeficiente de actividad microbiológica malo, bueno y en alerta respectivamente.

Al comparar la Gráfica No.3 con la Gráfica No.4, se observó que las pilas de bagazo del conductor del tandem A presentan los mayores coeficientes de actividad microbiológica después del transcurso de 4 horas por lo que el deterioro progresivo de las pilas de bagazo fue evidente. También se puede observar que las pilas de bagazo y el bagazo de las áreas del tandem B no mostraron un comportamiento tan evidente de deterioro progresivo. Lo anterior es debido a las

áreas escogidas para realizar el muestreo, ya que las áreas fibra 1, fibra 2, y abierta contienen bagazo y pilas de bagazo que han sido previamente tratadas para que al momento que entren a los molinos tengan coeficientes de actividad microbiológica debajo de los niveles crítico y malo.

En el caso del área debajo de entrada molino, las pilas de bagazo que se acumulan en la misma son debido al bagazo que cae de la entrada al molino número 1 del tándem B por lo que también está previamente tratado aunque las condiciones de esta área pueden propiciar el aumento de actividad microbiológica. En el eje de cola y el área debajo e mesa los resultados son variados debido a que por la proximidad de las mismas, las dos son afectadas por la descarga continua de caña, las corrientes de agua que existen en el área y a la limpieza de los operarios que provocan que las muestras de bagazo se desplacen por lo que se pudo haber tomado muestras de diferentes pilas de bagazo en cada hora. Aun así, el eje de cola es un lugar de atención ya que un resultado de coeficiente de actividad microbiológica está en la categoría crítico.

En el muestreo se exceptuó tomar muestras del área de descarga para reincorporación al conductor del tándem B ya que las pilas de bagazo que se reincorporan en esa área provienen del área debajo de entrada a molino por lo que se consideró que solo era necesario tomar muestras de la segunda. Es importante mencionar que no fue posible tomar muestras de las áreas fibra 1 y fibra 2 a las 10:45 am debido a que a esa hora se realizó el mantenimiento del tándem B.

De acuerdo a los resultados obtenidos del muestreo espontáneo y en escenario no controlado se decide realizar un muestreo para el análisis de la actividad microbiológica de los conductores de los tándems A y B tomando en cuenta el factor del tiempo que llevan las pilas de bagazo acumuladas en los mismos. Lo anterior fue debido a que aunque los resultados anteriores muestran que las pilas de bagazo son afectadas por la actividad microbiológica y que en un período de tiempo específico existe un deterioro progresivo de las mismas, aún es necesario saber cuánto tiempo llevan las pilas de bagazo acumuladas en los conductores de los tándems A y B para determinar con certeza el tiempo en el que los coeficientes de actividad microbiológica entran los niveles malo y crítico y el tiempo máximo que pueden pasar estas para poder ser reincorporadas al proceso.

Al igual que para el muestreo espontáneo, es importante mencionar que los resultados pudieron verse afectados por la poca atención a las muestras de las pilas de bagazo y bagazo obtenidas por parte del encargado de control microbiológico de los tándems A y B. Del mismo modo, se pudieron ver afectados por tomar muestras de la parte de arriba o del fondo de las pilas de bagazo o por tomar muestras de pilas de bagazo diferentes debido al proceso de

limpieza que se debe realizar en cada uno de los conductores y a las condiciones características de cada área escogida.

4) Realización de muestreo en escenario controlado por medio de prueba de resazurina en conductores de los tandems A y B. El objetivo era observar el incremento de la actividad microbológica conforme el paso del tiempo conociendo el tiempo que llevaban las pilas de bagazo acumuladas en los conductores del tandem A y B. A través del análisis con la prueba de resazurina realizado para cada una de las pilas de bagazo de las diferentes áreas descritas de los conductores de los tandems A y B en el punto 1.4 de la metodología, se obtuvieron los coeficientes de actividad microbológica de la Tabla No. 7 y Tabla No. 8 (Anexo B). A partir de estas tablas se realizó la Gráfica No.5 y Gráfica No.6 de la sección de resultados.

Como se observa en la Gráfica No.5 (Tabla No. 7, Anexo B), las pilas de bagazo de las áreas escogidas para realizar el muestreo mostraron coeficientes de actividad microbológica críticos después del transcurso de 4 horas presentando los más altos las pilas de bagazo de las áreas eje de cola 2 y debajo de mesa. Se puede observar también que el coeficiente de actividad microbológica de la muestra inicial está en el nivel alerta por lo que la calidad de la caña muestreada aleatoriamente de un camión que ingresaba al Ingenio Pantaleón no era tan buena.

En la Gráfica No. 6 (Tabla No. 8, Anexo B), se puede observar que las pilas de bagazo de las dos áreas escogidas mostraron coeficientes de actividad microbológica críticos después del transcurso de cuatro horas. Se puede observar también que el coeficiente de actividad microbológica de la muestra inicial está en el nivel bueno por lo que la calidad de la caña muestreada aleatoriamente de un camión que ingresaba al Ingenio Pantaleón era buena.

Al comparar la Gráfica No.5 con la Gráfica No.6, se observó que las pilas de bagazo del conductor del tandem A presentan los mayores coeficientes de actividad microbológica después del transcurso de 4 horas por lo que se confirma que el diseño del mismo contribuye a una mayor actividad microbológica. También se puede observar que para este muestreo el deterioro progresivo es evidente para las pilas de bagazo de los dos conductores a diferencia del anterior. Al saber el tiempo que llevan las pilas de bagazo en los conductores de los tandems A y B al momento de iniciar el muestreo se puede determinar que los resultados obtenidos son representativos de cómo la actividad microbológica se desarrolla conforme pasa el tiempo. Se puede observar que después de dos horas, los coeficientes de actividad microbológica para las pilas de bagazo de los dos conductores están en el nivel crítico.

Para el conductor del tandem A se tomaron áreas que no se habían muestreado anteriormente debido a que se quería abarcar todas las áreas existentes del conductor y determinar las de mayor influencia de actividad microbológica. Para el conductor del tandem B

se tomaron sólo dos áreas para realizar el muestreo debido a que son las que están dentro del conductor, que es el área de estudio, y dónde es importante poder determinar un correcto manejo de las pilas de bagazo para poderlas reincorporarlas al proceso. Además, estas eran las áreas más adecuadas para poder colocar las pilas de bagazo para poder realizar el muestreo sin ningún tipo de dificultad como desplazamiento de las mismas o alteración de las condiciones de los conductores que se querían analizar.

Al igual que para los muestreos anteriores, es importante mencionar que los resultados pudieron verse afectados por la poca atención a las muestras de las pilas de bagazo y bagazo obtenidas por parte del encargado de control microbiológico de los tandems A y B. Del mismo modo, se pudieron ver afectados por tomar muestras de la parte de arriba o del fondo de las pilas de bagazo.

## 2. Ingenio Concepción

a. Evaluación la calidad microbiológica en el área de conductores y mesas y la reincorporación de fibra y caña en el proceso. Como se puede observar en el Cuadro 1 el 75 % de los puntos evaluados en el área de túneles y conductores se puede clasificar como crítico, es decir, presenta un CM mayor a 2.5. Estos puntos evaluados están conformados por fibra que cae directamente de las picadoras y por caña que cae de la mesa en el ingreso de la misma al proceso. La causa principal por la cual se encuentran en estado crítico es el tiempo prolongado que esta materia pasa en malas condiciones, y a malas condiciones nos referimos a contacto directo y prolongado con el piso, ambientes húmedos y temperaturas aptas para el crecimiento microbiológico.

Se considera que de estas causas anteriormente mencionadas se puede controlar el tiempo que pasa la materia en estas condiciones y la adecuación periódica de las mismas por medio de una limpieza completa y consistente. Dicha premisa se obtiene al observar cómo de la Gráfica 1 a la Gráfica 8 se da una reducción en el CM usualmente luego de la sexta muestra evaluada, que es donde normalmente se daba la limpieza. Dicha limpieza debe de ser conocida por todos los involucrados y debe de quedar plasmada en un documento que esté a su alcance.

En base a lo anterior se tomó la decisión de redactar un instructivo claro y conciso considerando factores como tiempos, métodos y herramientas que hagan de la limpieza una fuente del control y disminución de los puntos críticos.

b. Elaboración de un procedimiento para la mejora de la limpieza del área de conductores por medio de un instructivo de limpieza. La existencia del instructivo de limpieza era desconocida por más del 80% de las personas entrevistadas, como lo indica el

Cuadro 2, y la realización de su trabajo era únicamente con el propósito de mantener limpia el área, más allá de cumplir una función en el proceso.

El instructivo de limpieza propuesto para el operario toma en cuenta aspectos de seguridad industrial, implementación del control de peligros y puntos de control críticos (HACCP por sus siglas en inglés) y contribuye a desarrollar una limpieza de una manera más eficiente. En cuanto a la seguridad industrial se menciona cómo la prevención de accidentes y la reducción de riesgos favorece tanto a la empresa, a llevar a cabo un procedimiento correcto, como al operario a conservar su integridad física. Todo esto por medio de la correcta utilización del equipo de protección personal. Con relación a la implementación de HACCP, se le hace conocer al operario que la realización de la limpieza tiene fines mucho más allá que mantener limpio el lugar, se identifican los puntos de control críticos, se trabajan con límites críticos, se establecen sistemas de vigilancia, acciones correctivas y formas de verificación. Además de esto, se refuerza la comunicación integral que se debe de mantener entre el sector de limpieza y el de control microbiológico, el cual apoyará a la rápida identificación y erradicación de puntos críticos además de agilizar la toma de decisiones relacionados con los mismos. Dicho instructivo cuenta con un orden a seguir que garantiza que la limpieza se lleve cabo en todos los puntos de una manera eficiente.

c. Estimación de los límites máximos de tiempo para el reingreso de la caña y fibra dañada por medio de la estandarización de tiempos y pruebas de resazurina en marcos controlados. Según lo observado en la sección 1 de resultados podemos tener claro que las condiciones con las que se encuentra la materia en el área de conductores no son las esenciales y requeridas para el proceso, pero por otro lado no podemos concluir directamente sobre el comportamiento y las condiciones causantes de estos puntos críticos. Se conoce que esta materia es reingresada al proceso en algunas limpiezas, sin embargo esta acción no se hace con una frecuencia establecida.

Como consecuente se trabajó un escenario controlado, como se muestra en el Cuadro 3 de la sección 2 de resultados. De esta forma se pudo conocer que en efecto el incremento del CM, tanto de caña como de fibra acumulada en el área de conductores, aumenta directamente proporcional al tiempo que pasa acopiada en dicho lugar.

La caña acumulada, como lo muestra el Cuadro 4, luego de alrededor de 1h20m es considerada mala y a las 2h considerada como crítica, presentando un incremento promedio neto en su CM de 1.34 luego de 2h20m. En el caso de la fibra acumulada, como se muestra en el Cuadro 5, luego de alrededor de 1h40m la muestra es considerada mala y a las 2h10m

considerada como crítica, presentando un incremento promedio neto en su CM de 1.17 luego de 2h20m.

Al comparar las Gráficas 9 y 10 se puede observar que el incremento en el CM de la caña acumulada es mayor al de la fibra. Conociendo las condiciones favorables para el incremento de la actividad microbológica se puede decir que este incremento se da debido al medio en donde se encuentran las muestras. La caña al estar debajo de la mesa está siempre expuesta al agua, medio en el cual se propicia un mayor aumento actividad microbológica.

Con los resultados obtenidos se propone un nuevo ciclo de limpieza con una frecuencia de 1h30m. Dichas limpiezas serán más cortas con el fin de evitar que se alcancen CM críticos tanto en caña como en fibra, siguiendo los lineamientos del instructivo de limpieza.

d. Confirmación del efecto del método de extracción en la reducción del índice de actividad microbológica en jugo del primer molino con respecto al de la fibra por medio de pruebas de resazurina. En la Gráfica 11 en la sección 4 de resultados se presentan resultados de CM de muestras de fibra, mientras por el otro lado en la Gráfica 12 en la sección 4 de resultados se presentan los resultados de CM de muestras del jugo extraído de la misma fibra (jugo primario).

Se determinó el porcentaje de muestras con CM clasificado como malo y crítico con respecto al total de muestras analizadas y se observó que ocurre una disminución de la actividad microbológica en el ingreso al tándem respecto al CM de la fibra ingresada. El CM clasificado como malo y crítico pasó de ser 25% a un 15%, mientras el CM clasificado como bueno pasó de un 52.5% a un 72.5% luego de la extracción.

Además, al comparar las gráficas podemos ver que aumentaron las muestras de CM clasificado como bueno, lo cual puede ser indicador de una menor actividad microbológica en el jugo primario.

Con los resultados obtenidos se puede concluir que la actividad microbológica en el tándem viene determinada por la población encontrada en el jugo del primer molino el cual es extraído directamente de la caña que ingresa en el mismo.

Por otro lado se puede concluir que el efecto del método de extracción es la reducción en dicha actividad, desde que no hubo limpieza de por medio la cual pudiese justificar dicha disminución.

e. Evaluación de incremento en actividad microbológica en el reingreso de materia dañada al sistema por medio de pruebas de resazurina. Como se

mencionó en la sección 1 de discusión, la materia dañada se reingresa sin evaluar si tiene algún efecto negativo en el proceso o la demás materia que pasa por el área de conductores.

Como muestran las Gráficas 13 y 14 se evaluó el efecto del reingreso de caña y fibra dañada al proceso y cómo esto afecta al CM del jugo primario. En ambos caso se obtuvo un resultado similar, el reingreso de caña o fibra dañada no da incrementos significativos en el CM del jugo primario.

Si observamos los resultados obtenidos en la sección 1 de resultados, en las Gráficas de la 1 a la 8, podemos notar que a pesar de la falta de influencia en el CM del jugo primario causado por la reincorporación de materia dañada, los niveles de CM per se son muy elevados, por lo que debe de existir algún otro factor que impide ver reflejados estos resultados.

Si comparamos el volumen de materia que ingresa normalmente al proceso con el nivel de materia dañada que se reingresa podemos concluir que el incremento de CM no se ve reflejado en el jugo primario por la diferencia de volumen tan grande que se tiene entre las dos materias. Sin embargo, considerando los estándares de HACCP que se toman en cuenta tanto en el proceso de limpieza planteado como en todos los procesos pertenecientes a Grupo Pantaleón (Ver anexo D: Certificaciones de calidad Grupo Pantaleón), podemos concluir que se debe de llevar un mejor control microbiológico de esta área desde que como estudio puntual es considerado un punto crítico y se puede clasificar como un riesgo para el proceso global. Dicho riesgo debe y puede controlarse para eliminar peligros futuros o reducir al mínimo la probabilidad de que se produzca el efecto de incremento de CM en el jugo primario causado por la reincorporación de materia dañada.

f. Evaluación del efecto del ingreso de caña mecanizada en los niveles de actividad microbiológica en la fibra. En la evaluación de CM de diferentes tipos de caña se observó un efecto bastante curioso, cada vez que se ingresaba caña mecanizada se observaban cambios drásticos en la calidad de los jugos extraídos de la misma. El aporte de caña mecanizada respecto al total de caña va un poco arriba del 5%.

Para determinar si en efecto se da una relación entre el incremento de la actividad microbiológica y el tipo de caña que se ingresa se registró las muestras de jugo que tienen como origen caña mecanizada y se observó que el 60% de los jugos analizados provenientes de caña mecanizada tienen un CM clasificado como malo o crítico, como se muestra en la Gráfica 15. En comparación del 26.7% que presenta CM clasificado como malo o crítico sin importar el origen de la caña.

De esta forma se puede concluir que la actividad microbiológica de la caña mecanizada es significativamente mayor al de la caña en granel.

Cuando el corte es mecánico, el deterioro es mayor, debido al incremento de las infecciones de origen bacteriano en los tallos. En la década de los 60, en Queenslad, el deterioro ocasionó grandes pérdidas en la calidad de los jugos. Según Egan y Rehbein (1963), este deterioro se debió a la entrada de microorganismos a la planta como resultado de las operaciones mecánicas, especialmente cuando las cuchillas de las cosechadoras no estaban bien alineadas ni afiladas. (Larrahondo, 1995)

### 3. Ingenio Magdalena

a. Análisis de datos del estudio de la caña barrida y la caña que queda sujeta en las jaulas, basándose en análisis de la actividad microbiológica, los tiempos de formación de pilas y su reintroducción al proceso.

1) Análisis caña barrida (patio). Según el análisis de CM realizado a 39 muestras de caña en el momento que empieza la formación de pilas, 15 (38%) de dichas muestras presentan un valor en el límite o superior a este de coeficiente de actividad microbiológica considerado bueno. El estudio de tiempos totales desde la formación de la primera pila hasta la introducción de la última pila de caña en la jaula para su reintroducción al proceso, determina un promedio de 11 horas con 40 minutos. La combinación de estos dos estudios permite determinar que la calidad de la caña barrida de patio, que se reintroduce al proceso, no es la adecuada debido a que al empezar la formación de pilas su coeficiente de actividad microbiológica puede no ser bueno, y este puede aumentar significativamente en el momento que el tiempo que pasa acumulada es bastante alto y las condiciones en las que se encuentran las pilas no son las mejores debido a que hay presencia de factores que pueden alterar su actividad microbiológica como lo es el agua (lodo). El hecho que la caña pase acumulada por más de 10 horas sin ser reintroducida en el proceso en presencia de factores que puedan contaminarla, provoca la reducción de la cantidad de sacarosa que pueda ser obtenida de ella y aumenta la cantidad de dextrana que puede llegar a contaminar a la caña que se encuentra en buen estado.

2) Análisis de caña barrida (limpia jaulas). Según el análisis de CM realizado a 22 muestras de caña en el momento que empieza la formación de pilas, 10 (45%) de dichas muestras presentan un valor en el límite o superior a este de coeficiente de actividad microbiológica considerado bueno. El estudio de tiempos totales desde la formación de la primera pila hasta la introducción de la última pila de caña en la jaula para su reintroducción al proceso, determina un promedio de 16 horas con 56 minutos. La combinación de estos dos estudios permite determinar que la calidad de la caña barrida de patio, que se reintroduce al

proceso, no es la adecuada debido a que al empezar la formación de pilas su coeficiente de actividad microbiológica puede no ser bueno, y este puede aumentar significativamente el momento que el tiempo que pasa acumulada es bastante alto, incluso superior al de la caña barrida de patio. Además, las condiciones en las que se encuentran las pilas no son las mejores debido a que hay presencia de factores que pueden alterar su actividad microbiológica. A pesar que el promedio del tiempo total que pasa la caña acumulada antes de ser reintroducida al proceso es de 16 horas con 56 minutos, se puede determinar que hay muy poco control sobre la caña barrida del limpia jaulas debido a que existen casos en los que la caña pasa acumulada por más de un día sin ser reintroducida al proceso. El hecho que existan casos en los que la caña pasa más de un día acumulada, permite determinar que esta caña cuando reingresa al proceso el porcentaje de sacarosa en ella es bastante bajo. Además, el porcentaje de dextrana puede aumentarse y llegar a afectar el proceso de extracción en el momento que contamine más caña que se encuentre en buenas condiciones.

b. Análisis de la caracterización de cada uno de los tándems en la parte del caite y la banda. El análisis del flujo volumétrico permite determinar las áreas donde el bagazo se acumula en una mayor cantidad en un determinado periodo. Los valores mostrados no siempre son los mismos ya que el flujo de acumulación varía constantemente, sin embargo, pese a que los flujos varían se mantiene la proporción en cuanto a las áreas donde se acumula con un flujo mayor.

1) Tándem A. Mediante la caracterización del tándem A se determinaron diferentes áreas donde se acumula el bagazo tanto en el caite como en la banda. En la banda las áreas donde se acumula el bagazo se encuentran en los costados superiores e inferiores del conductor, así como en los costados de la cola y la terraza. Según los datos obtenidos mediante el análisis del flujo volumétrico en el que se acumula el bagazo permiten determinar las áreas que presentan valores mayores, estas son los costados de la cola y la terraza, en ellas el flujo es mucho mayor en comparación con las demás áreas. Las áreas de reintroducción de bagazo determinadas se ubican en la cola del conductor y en la compuerta que se encuentra en un costado inferior de la terraza.

En cuanto al caite, las áreas en donde el bagazo se acumula determinadas son los costados del conductor y los costados de la cola. Según el análisis del flujo volumétrico de acumulación de bagazo las áreas más representativas son los costados de la cola, ya que los valores que presentan son significativamente mayores a las otras áreas. Las áreas de reintroducción de bagazo determinadas se ubican en los costados de la cola y la parte central de la misma.

2) Tándem B. Por medio de la caracterización del tándem B se determinaron diferentes áreas donde el bagazo se acumula tanto en el caite como en la banda. En la banda, las áreas donde el bagazo se acumula determinadas son los costados tanto inferiores como superiores del conductor, la terraza y los costados de la cola. Según el análisis del flujo volumétrico de acumulación de bagazo, las áreas de la terraza y los costados presentan los valores más elevados. Cabe resaltar que el flujo volumétrico de acumulación de bagazo en la terraza es significativamente superior a las demás áreas. Se determinaron diferentes áreas de reintroducción de bagazo, estas se ubican en los costados del conductor, la terraza y la cola. En cuenta a las áreas ubicadas en los costados del conductor, presentan una ventaja frente a otros conductores en el sentido que su altura y apertura permiten la reintroducción del bagazo del bagazo acumulado en estas áreas sin que este tenga que ser trasladado hacia la cola como se tiene que realizar en otros conductores.

Tomando en cuenta el caite, las áreas determinadas en donde el bagazo se acumula se ubican principalmente en los costados del conductor y los costados de la cola. Según el análisis del flujo volumétrico de acumulación de bagazo los costados de la cola presentan un valor mayor a las demás áreas. Las áreas de reintroducción de bagazo determinadas se ubican en los costados y parte central de la cola.

3) Tándem C. La caracterización del tándem C permitió determinar las áreas donde el bagazo se acumula tanto en la banda como en el caite. Las áreas determinadas donde el bagazo se acumula en la banda se ubican en los costados superiores e inferiores del conductor, la terraza y los costados de la cola. Según el análisis del flujo volumétrico de acumulación de bagazo la terraza presenta valores significativamente más altos en comparación con las demás áreas. Las áreas de reintroducción determinadas se ubican en la cola del conductor.

En el caite, mediante la caracterización se determinaron las áreas donde el bagazo se acumula, ubicándose estas en los costados del conductor y los costados de la cola. Según el análisis del flujo volumétrico de acumulación de bagazo, los costados de la cola presentan valores más elevados en comparación con los laterales del conductor. El área de reintroducción de bagazo determinada se basa en una pequeño conductor que lleva la caña barrida, esto presenta una ventaja para este proceso ya que el bagazo solo debe trasladarse en carretas y voltear las mismas en el conductor mencionado para que este mismo lo reintroduzca en el proceso. Así mismo, el proceso de recolección y reintroducción del bagazo en este proceso permite la facilidad de llevar a cabo lavados para la eliminación de bagazo en la parte de la estructura del conductor (caite) y este desecharse por medio de un desagüe, y no verse en la necesidad de recogerlo en comparación a los procedimientos llevados a cabo en los otros tándems.

c. Análisis de la actividad microbiológica en el bagazo acumulado en cada una de las áreas. Mediante pruebas de resazurina se pudo analizar los coeficientes de actividad microbiológica que presenta el bagazo acumulado en las diferentes áreas mencionadas anteriormente. Debido a situaciones de tiempo no se realizaron una alta cantidad de muestras, sin embargo, los resultados presentan resultados precisos en el sentido que las muestras mostradas fueron realizadas en diferentes horas y días a modo de poder verificar áreas que presentarían constantemente bagazo con contaminado (con alto coeficiente de actividad microbiológica). En cuanto a los valores obtenidos del análisis de actividad microbiológica, estos son sumamente altos en cada uno de los altos. Ello se debe a que las condiciones en las que se encuentra acumulado el bagazo en las diferentes áreas son bastante deplorables, más allá de la humedad presente en este tipo de lugares, existen factores como alta acumulación de agua y suciedad que alteran significativamente la contaminación del bagazo.

1) Tándem A. Mediante los resultados del análisis de actividad microbiológica en el bagazo acumulado en las diferentes áreas de la banda, el área que presentó los valores más elevados del coeficiente es el costado izquierdo inferior del conductor, en este el bagazo se ve afectado directamente por la suciedad del suelo y por la alta acumulación de agua presente por fallas en el mantenimiento de la bomba succionadora. Esta área es la mayor afectada por dichos factores ya que el bagazo se distribuye horizontalmente en toda el área, lo que provoca que todo este bagazo se contamine rápidamente. Las demás áreas no se ven igualmente afectadas por dichos factores ya que la acumulación de las mismas se distribuye verticalmente. El área de la terraza solamente se ve afectada por la suciedad ya que su altura permite verse afectada por la acumulación de agua, al igual que los costados superiores del conductor. En cuanto al área ubicada en el costado inferior derecho del conductor, no se contamina tanto como en el costado izquierdo debido a que existen ciertas bases de cemento en el que se acumulan y provocan que su contacto con el agua acumulada sea más reducido.

Los análisis de actividad microbiológica en el bagazo acumulado en las diferentes áreas del caite presentan valores elevados debido a la suciedad, sin embargo, la bomba succionadora trabaja adecuadamente lo que permite evitar toda acumulación de agua que pueda contaminar el bagazo. En cuanto a los valores obtenidos no existe ningún área que presente constantemente una contaminación significativamente mayor en comparación con las demás.

2) Tándem B. Mediante los resultados del análisis de actividad microbiológica en el bagazo acumulado en cada una de las áreas determinadas en la banda, el área con los valores más elevados del coeficiente es la terraza seguida del costado derecho del conductor. En el caso de la terraza, el bagazo se acumula debajo de esta y el mal mantenimiento de la bomba succionadora provoca que existe una alta acumulación de agua, ello combinado con un alto nivel

de suciedad provoca que el bagazo se contamine significativamente. En cuanto al costado derecho del conductor, a pesar que no existen factores claramente visibles que puedan aumentar su actividad microbiológica frente a otras áreas, su coeficiente dio resultados con valores más altos que las demás áreas. El único factor que se determinó que puede contribuir a su contaminación, es que por ese lado existe una abertura que puede propiciar un mayor ingreso de basura (suciedad) en comparación con el costado izquierdo. Estas dos áreas fueron las que presentaron mayores coeficientes de actividad microbiológica en el estudio, siendo estos más significativos en comparación con las demás áreas.

En cuanto al caite, los resultados del análisis de actividad microbiológica en cada una de las áreas donde se acumula el bagazo determinan que las áreas con que presentaron los valores más elevados fueron los costados del conductor. Ello debido a que las áreas ubicadas en los costados de la cola presentan un flujo mayor que provocan que el bagazo sea recogido y reintroducido al proceso constantemente, caso contrario a los costados del conductor. En estos costados el flujo es menor, por lo que los trabajadores colocan carretas para que el bagazo se acumule en ellas, este bagazo se acumula por periodos largos hasta que la carreta esté completamente llena para que sea llevada a la cola y posteriormente reintroducir el bagazo en el proceso. Estos altos periodos de tiempo en los que el bagazo pasa sin ser reintroducido, en combinación con factores como alta humedad y suciedad, propician que el bagazo de estas áreas presente una mayor contaminación (coeficiente de actividad microbiológica).

3) Tándem C. Por medio del análisis de actividad microbiológica en el bagazo acumulado en cada una de las áreas determinadas, se establece que el área que presenta constantemente mayor contaminación en la banda es la terraza, en comparación con las demás áreas cuyos valores fueron menores y similares. La terraza se encuentra en un punto donde el bagazo acumulado en ella se ve contaminado por agua proveniente de lavados que se realizan en la parte superior de la banda. Ello en comparación con las otras áreas, donde normalmente el bagazo se encuentra seco y no tiene presencia de factores que puedan contribuir a una mayor actividad microbiológica, únicamente la suciedad que mantienen estos lugares.

De igual manera, según el análisis de actividad microbiológica en el bagazo acumulado en cada una de las áreas determinadas en el caite, las áreas que presentaron valores más altos en el coeficiente fueron los costados de la cola. Estos valores se deben a la calidad de la caña que ingresa al tándem, debido a que este conductor (caite) es el único que se encuentra en a nivel del suelo (no subterráneos) y presenta todos el equipo necesario para realizar lavados y la eliminación de suciedad y bagazo deteriorado por medio de un desagüe ubicado a unos cuantos metros de la cola.

d. **Análisis de las áreas críticas determinadas.** La determinación de las áreas críticas se basa completamente en los factores estudiados anteriormente, el flujo de acumulación de bagazo en cada una de las áreas y la actividad microbiológica que presenta el mismo. Mediante estos dos factores es posible determinar áreas que requieran una mayor importancia, a modo de reducir la actividad microbiológica total en el bagazo que se reintroduce al proceso. Ello mediante la reintroducción al proceso del bagazo que presente, en base al estudio, altos niveles de actividad microbiológica a modo que mediante la reducción del tiempo que pase acumulado también se puedan reducir estos niveles. Así mismo, el flujo de acumulación toma mucha más importancia en base al proceso de recolección y reintroducción al proceso, debido a que tiempos prolongados provocaran mayor contaminación del bagazo y una acumulación tan significativa del mismo que dificultará por completo la labor del trabajador.

Para el establecimiento de las áreas críticas se utilizó un método de ponderación, ya que mediante este se pudo determinar claramente las áreas tomando como base los valores más altos presentados en cada estudio (flujo de acumulación y actividad microbiológica) en las bandas y caites. A partir de estos, se sumaron las calificaciones de cada área, estableciendo como áreas críticas las que presentaron una mayor calificación.

1) **Tándem A.** Se determinaron las siguientes áreas críticas en la banda, estas son el costado inferior izquierdo del conductor y la terraza. El establecimiento de la primera está completamente ligada a que, a pesar que el flujo de acumulación determinado no es alto, esta área constantemente presenta altos niveles de actividad microbiológica. En el caso de la segunda, existe un alto flujo de acumulación de bagazo y los valores de actividad microbiológica no son bajos.

En cuanto al caite, los costados del conductor presentan un alto nivel de actividad microbiológica pero el flujo en el que se acumula es bajo. Sin embargo, las áreas de los costados de la cola presentan altos niveles tanto de flujo de acumulación como de actividad microbiológica.

2) **Tándem B.** En la banda se establecieron como áreas críticas la terraza y el costado derecho del conductor. Cabe resaltar que el área que se considera más crítica es la terraza, ello debido a que se obtuvieron los valores más elevados tanto de flujo de acumulación de bagazo así como actividad microbiológica. El costado derecho se estableció como área crítica debido al hecho que a pesar de que su flujo de acumulación de bagazo es medio, los niveles de actividad de microbiológica fueron significativamente altos.

En cuanto al caite, las áreas críticas establecidas son los costados de la cola. Cabe resaltar que a pesar que los costados del conductor presentan mayores niveles de actividad

microbiológica, las áreas ubicadas en los costados de la cola son los que mayor flujo de acumulación de bagazo presentan de todos los tándems. El hecho que se establezcan como críticas va ligado a niveles altos de actividad microbiológica, pero su flujo las hace determinantes ya que periodos largos de tiempo sin reintroducir el bagazo al proceso pueden provocar acumulaciones realmente significativas que no solo dificulten la recolección posterior sino aumenten la cantidad de bagazo contaminado.

3) Tándem C. En la banda se establecieron como áreas críticas la terraza y la cola. La terraza se considera como más crítica debido al hecho que presentó los mayores valores en los análisis de flujo de acumulación de bagazo y actividad microbiológica. La cola de la terraza se establece como crítica debido a que presenta un nivel elevado de actividad microbiológica y su flujo es más alto en comparación con las demás áreas de la banda.

En el caite se establecieron como áreas críticas los costados de la cola. Ello debido a que en los análisis tanto de flujo de acumulación de bagazo como de actividad microbiológica fueron los que presentaron valores más altos.

Los niveles de actividad en este tándem pueden no afectar del todo el proceso, ya que como se mencionó anteriormente, este tándem cuenta con proceso de lavado muy eficiente en el que mediante la utilización de desagües puede asegurarse de no reingresar al proceso el bagazo con malas propiedades.

**e. Análisis de estudio de la actividad microbiológica en el bagazo durante 8 horas.** Actualmente el ingenio no cuenta con establecimientos claros acerca del proceso de recolección y reintroducción del bagazo que se acumula debajo de los conductores (caite y banda). Los trabajadores llevan a cabo el mismo únicamente por cantidad, es decir, no importa el tiempo que lleve el bagazo acumulado en cierta área si la cantidad del mismo no es lo suficientemente alta.

Como se pudo determinar en los estudios anteriores, principalmente en el análisis del flujo de acumulación del bagazo, existen áreas en las que el flujo es bastante bajo. El bagazo acumulado en estas áreas puede llegar a tener niveles demasiado altos de actividad microbiológica por el hecho que, para los trabajadores, el único momento en que hay que recogerlo y reintroducirlo es cuando ya existe una cantidad alta que “valga la pena recoger”. Todo este tiempo que pasa acumulado el bagazo sin ser reintroducido, está en contacto con muchos factores que pueden elevar la actividad microbiológica en él como lo son los altos niveles de suciedad que mantienen estos lugares, y en muchos casos contacto con agua acumulada proveniente de lavados en áreas superiores.

La finalidad de este estudio tiene como base el establecimiento de límites de tiempo que el bagazo puede pasar sin ser reintroducido al modo que sus niveles de actividad microbiológica se mantengan bajos y el % de sacarosa se mantenga en los valores más altos posibles. Estos tiempos se establecieron mediante el análisis de bagazo proveniente de caña de corte mecanizado, estos desde estudios anteriores ha demostrado tener niveles más altos de actividad microbiológica. La utilización de este tipo de caña para el estudio está completamente ligada a definir tiempos correctos, para que, no importando de qué tipo de corte de caña provenga el bagazo, este mantenga sus propiedades lo mejor posible hasta el punto que pueda obtenerse la máxima sacarosa del mismo. La utilización de bagazo proveniente de caña mecanizada permite conocer los límites máximos de tiempo que el bagazo puede estar sin ser reintroducido al proceso.

La muestra de bagazo fue estudiada según los análisis de porcentaje de sacarosa, porcentaje de dextrana y el coeficiente de actividad microbiológica. Ello con la finalidad que los tiempo establecido permita la reintroducción al proceso del bagazo cuando este todavía cuenta con un porcentaje de sacarosa adecuado, el porcentaje de dextrana y el coeficiente de actividad microbiológica lo más bajos posibles. El análisis del porcentaje sacarosa permite ver determinar la manera en que el que este se va reduciendo con una tendencia lineal, hasta el punto que al final de 8 horas de estar acumulado su disminución llega hasta un 30.67%. El análisis de porcentaje de dextrana permite determinar la manera que este aumenta hasta en un 71.32% al final de las 8 horas de estar acumulado, este estudio muestra el aumento del porcentaje de dextrana con una tendencia lineal. El análisis de coeficiente de actividad microbiológica muestra un aumento con una tendencia exponencial.

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 porcentaje de sacarosa se mantiene adecuado ya que presenta un 90% de lo que es determinado como bueno. El porcentaje 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.

f. **Análisis de estudio del bagazo más deteriorado.** Existen áreas que forman parte de la estructura de los conductores (caite y banda) en cada uno de los tandems donde el bagazo se acumula. Este bagazo no es recogido y reintroducido al proceso todos los días debido al hecho que existen riesgos hacia el trabajador al colocar una de sus extremidades cerca de los ejes. Otra de las razones por las cuales este bagazo no es recogido y reintroducido todos los días es debido a que los trabajadores le dan prioridad únicamente al bagazo que se acumula en

el suelo y en las terrazas. El único momento en el que el trabajador puede recoger este bagazo es cuando el tándem es cual para por diferentes razones, entre las cuales están los mantenimientos. Estos mantenimientos se realizan una vez a la semana, por lo que existen casos en los cuales este bagazo acumulado en la estructura lleva aproximadamente una semana en ese lugar siendo afectado por factores contaminantes como lo es la suciedad que existe en estos lugares. Este bagazo luego de ser recogido suele reintroducirse al proceso, sin embargo, a simple vista se puede determinar que esto no es lo correcto, aunque ellos los hacen con la mentalidad de “no desperdiciar nada”.

Mediante el análisis de porcentaje de sacarosa y porcentaje de dextrana a una muestra de este bagazo, se determinó que el este bagazo no debe reintroducirse al proceso debido a que presenta valores totalmente altos de porcentaje dextrana, 65% más comparados con un bagazo en buenas condiciones. Además, lo más impactante de este análisis es el valor del porcentaje de sacarosa obtenido, los valores son sumamente bajos a los valores obtenidos en bagazo en buenas condiciones, 90% menos.

La determinación de no reintroducir este bagazo al proceso está completamente basado en el hecho que se está introduciendo bagazo del cual se va a extraer muy poca sacarosa, y dicho bagazo tienen niveles tan altos de dextrana que puede llegar a contaminar el bagazo que se encuentra en buenas condiciones en el proceso.

g. Análisis de la estandarización el proceso de recolección y reintroducción del bagazo. En el momento que los trabajadores son contratados para realizar el proceso de recolección y reintroducción del bagazo acumulado en la parte baja de los conductores (banda y caite), no tienen ninguna capacitación acerca de la manera más adecuada de realizarlo. A estos se les brinda con equipo de seguridad y herramientas como palas, carretas, escobones, etc. Sin embargo, es completamente necesario que los trabajadores desde el momento en que entran a trabajar a dichas áreas conozcan la manera más adecuada y eficiente de realizar el proceso.

En el estudio se determinó mediante observación las áreas donde el bagazo se acumula y las áreas donde este se reintroduce. Se determinaron rutas de recolección y reintroducción, las cuales guían al trabajador a recoger el bagazo, movilizarlo y reintroducirlo de una manera detallada. Esto toma mucha importancia en el sentido que los tándems no son iguales y cada uno de ellos presenta diferentes áreas donde el bagazo se acumula y es reintroducido. Es por ello que mediante el establecimiento de métodos de recolección y reintroducción de bagazo estandarizados el trabajador conocerá la manera más eficiente de llevar a cabo su trabajo sin importar en que conductor y tándem le toque trabajar, ello debido a que las áreas de trabajo

cambian cada semana para cada trabajador. Mediante el conocimiento adecuado de dichos procedimientos, se determina que el trabajador está preparado para ser ubicado en cualquier área y realizar el proceso adecuadamente.

#### h. Análisis de los factores que provocan una mayor actividad microbiológica en el bagazo acumulado.

1) Tándem A. En la banda se encuentra una bomba succionadora que tiene la función de succionar el agua proveniente de lavados realizados en el área superior de la banda. A esta bomba debe realizársele un mantenimiento preventivo, ello permite que la acumulación de agua sea lo menor posible. Cabe resaltar que la acumulación de esta agua proveniente de lavados es un factor que puede alterar la actividad microbiológica del bagazo acumulado. Por ello, al contar únicamente con mantenimiento correctivo de dicha bomba puede propiciar significativamente altas de agua que no solo contaminen el bagazo acumulado, sino dificulten el proceso de recolección y reintroducción del bagazo al proceso en el sentido que el agua provoca que el bagazo se mezcle con lodo y aumente su peso y/o consistencia.

2) Tándem B. En la banda se encuentra una bomba succionadora que tiene la función de succionar el agua proveniente de lavados realizados en el área superior de la banda. A esta bomba, el trabajador encargado de la limpieza del tándem B, debe darle un mantenimiento preventivo que permita el buen funcionamiento de la misma reduciendo al mínimo la cantidad de agua acumulada. Como se mencionó anteriormente, esta agua al combinarse con los altos niveles de suciedad que presentan estas áreas se convierten en un factor que puede alterar significativamente la actividad microbiológica del bagazo. Al hacer un mantenimiento preventivo el trabajador mantiene el área con la mínima acumulación de agua, además, este mantenimiento le permite al trabajador mayor tiempo para realizar el proceso de recolección y reintroducción del bagazo al proceso. En el momento de hacer un mantenimiento correctivo de la misma, el trabajador no solo pierde mucho tiempo, sino el bagazo se acumula en mayores cantidades y tiene se contamina más rápidamente al entrar en contacto con el agua acumulada y la suciedad.

3) Tándem C. El tándem C cuenta con ventajas que facilitan el proceso de recolección y reintroducción del bagazo al proceso. Estas ventajas no solo permiten al trabajador un trabajo más eficiente, si no permite al tándem obtener el bagazo en mejores condiciones. La razón de ello está completamente ligada al hecho que el caite este tándem se encuentra a nivel del piso (no subterráneos como los otros dos), y además, cuenta con un desagüe y un pequeño conductor de caña barrida. Este conductor facilita el proceso de reintroducción del bagazo ya que los trabajadores solo deben colocar el bagazo en el mismo para que este lo reintroduzca al proceso. Pero, tomando en cuenta los factores que pueden alterar la actividad microbiológica en

el bagazo, este tándem cuenta con un desagüe que permite el completo desecho de agua utilizada en los lavados, así como el desecho del bagazo que no se encuentre en las condiciones adecuadas para que siga en el proceso.

4) Selladores de la banda. La banda cuenta con selladores que tienen la función de evitar que el bagazo se escape de la misma y se acumule en diferentes áreas. Sin embargo, hay ocasiones en las que estos selladores no son mantenidos adecuadamente y presentan fallas que provocan grandes acumulaciones de bagazo que no solo dificultan el proceso de recolección y reintroducción del bagazo al proceso, sino aumenta la cantidad de bagazo acumulado en áreas donde al estar en contacto con factores como la suciedad pueden aumentar su actividad microbiológica. La realización de mantenimientos preventivos en los selladores asegura la reducción de bagazo acumulado principalmente en los costados de las bandas.

i. Análisis de instructivo del procedimiento de recolección y reintroducción del bagazo acumulado al proceso en las áreas del caite y la banda. Actualmente el Ingenio no cuenta con un instructivo que permita conocer el procedimiento adecuado de recolección y reintroducción del bagazo al proceso. Los trabajadores son colocados en estas áreas con la finalidad que mantengan limpio y reintroduzcan el bagazo al proceso. A estos trabajadores solamente se les brinda equipo de seguridad y herramientas para que realicen el procedimiento, sin embargo, no son instruidos adecuadamente acerca de la manera más eficiente de llevarlo a cabo.

Mediante la implementación del instructivo los trabajadores conocen adecuadamente las áreas en las que se acumula el bagazo en cada uno de los conductores de cada tándem (banda y caite). Así mismo, conocen las áreas donde el bagazo debe reintroducirse, el método más eficiente de recolección y reintroducción mediante las rutas que deben seguir, toman en cuenta que cada cierto tiempo deben realizar el procedimiento para que se tengan los mejores resultados y finalmente, conocen la importancia que tiene el desecho del bagazo deteriorado.

Mediante el instructivo los trabajadores toman en cuenta los mantenimientos preventivos en lugar de los correctivos. La realización de mantenimientos preventivos facilitan el procedimiento de recolección y reintroducción del bagazo acumulado, mediante la utilización de estos se logra un trabajo más eficiente del trabajador en el momento que las condiciones en las que se encuentra el lugar de trabajo no presentan factores como alta acumulación de agua que dificulten por completo la labor.

Realmente la utilización del instructivo le permite al Ingenio contar con el bagazo proveniente de estas áreas en donde se acumula con las mejores condiciones posibles, en las que pueda obtenerse de este la mayor cantidad de sacarosa y evitar una alta contaminación en el mismo

que pueda llegar a afectar el bagazo en buenas condiciones que se encuentre en el proceso. Todos los resultados, conclusiones y recomendaciones que se muestran en el instructivo fueron aprobados por los ingenieros que apoyaron durante la realización del trabajo. Esta información fue brindada a manera de capacitación a diferentes supervisores, quienes de ahora en adelante tienen la responsabilidad de asegurar que los trabajadores cumplan con el procedimiento de recolección y reintroducción del bagazo acumulado al proceso de la manera adecuada. Con lo cual se reducirán las pérdidas de sacarosa ligadas al manejo inadecuado de dicho bagazo.

## **B. Evaluación y propuesta de mejoras al procedimiento de asepsia en tándem en el Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena mediante investigación, la innovación y el desarrollo de nuevos procedimientos operativos.**

1. Comparación de la actividad microbiológica de los tándems del Ingenio Pantaleón, Concepción y Magdalena. Se calculó el índice total de actividad microbiológica de cada uno de los tándems de los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena. El tándem A de Magdalena es el que se encuentra en peores condiciones con un ITAM de 3.69. Este resultado probablemente se debe a las condiciones de la caña que entran al proceso y a que es el tándem más antiguo del ingenio. En las mazas de este se observó mucha más bagazo impregnado que en los otros dos tándems del Ingenio Magdalena pudiendo causar un incremento en la actividad microbiológica por un mayor tiempo de residencia. Al contrastarlo con el tándem C, el tándem más nuevo de Magdalena, se ve una gran diferencia en las condiciones microbiológicas. El tándem C del Ingenio Magdalena es el que se encuentra en mejores condiciones de los seis tándems analizados con un ITAM de 1.79.

El segundo mejor tándem analizado es el tándem B del Ingenio Pantaleón con un ITAM de 2.3, seguido por el tándem A del mismo ingenio con un valor de 2.55. En general, el Ingenio Pantaleón es que el mejor se encuentra en cuanto a condiciones de actividad microbiológica comparado con los otros dos ingenios, y es el ingenio cuyo Sistema de Control Microbiológico tiene más años de implementación. Debido a que llevan más años utilizando este sistema, se encuentran mejor establecidos los protocolos de asepsia que en los otros dos ingenios. El Ingenio Concepción, el cual únicamente tiene un tándem, es el cuarto mejor tándem con un valor de ITAM de 2.63. Por último, los dos tándems en peores condiciones son el tándem B y el tándem A del Ingenio Magdalena.

Un factor que tiene mucha influencia sobre el valor del ITAM es la condición de la caña que ingresa al proceso. Debido a que Magdalena se encuentra tan alejada de la carretera y los caminos tienen muchos túmulos y baches, al contrario de Pantaleón y Concepción, puede ser

que los camiones de caña se tarden más en llegar al área de preparación y extracción resultando en el deterioro de la caña. Sin embargo, esto se salía de los alcances del presente trabajo por lo que no se analizó.

## 2. Ingenio Pantaleón

a. Evaluación de las mejoras establecidas al sistema de limpieza y su control en la zafra 2011-2012. En la tabla “Cumplimiento de las propuestas y lineamientos en instructivos de asepsia de molinos” se observa que el cumplimiento general de dos instructivos que involucran la asepsia de molinos, el primero siendo “Instructivo para realizar la asepsia de los conductores de caña y de los molinos” que pertenece al ingenio Pantaleón y el segundo el “Instructivo para la mejora del procedimiento de limpieza en molinos del ingenio Pantaleón” propuesto por Édgar Aldana. Se realizó estas verificaciones con el fin de encontrar aspectos de mejora al procedimiento para realizar la asepsia de molinos. En esta misma tabla se observa que el cumplimiento de las propuestas realizadas durante la zafra 2011-2012 y el instructivo que involucra la asepsia de molinos del ingenio es de aproximadamente un 45%. La gráfica “Porcentaje de tiempo empleado en asepsia de molinos” muestra que se le dedica un 35% a la asepsia del molino interno, lo cual se determinó no es lo adecuado.

El operario de control operativo microbiológico es el encargado de evaluar la actividad microbiológica en el tándem y de actualizar el tablero indicador de puntos críticos del tándem. El criterio para evaluar un molino con color rojo consiste en la obtención de un IC crítico durante la toma de muestras de una corrida al tándem, entonces se modificaba en el tablero el estado del molino.

b. Evaluación de la incidencia de una mala o falta de asepsia con la actividad microbiana durante los mantenimientos programados en el área de tándem. De acuerdo a lo visto en campo se detectó la necesidad de evaluar la incidencia de una falta de asepsia o mala realización de la misma antes de hacer el mantenimiento, pues se observó material acumulado en la bandeja de los molinos, conocida en el área de extracción como tazas de los molinos. Se observó que este material en la mayoría de casos no era eliminado y los molinos no eran limpiados antes de empezar la molienda. Entonces se realizó el análisis para poder determinar si la falta de asepsia y una mala realización de la misma en los molinos (que conlleva el estancamiento de bagazo en las tazas y en molinos) durante los mantenimientos programados tiene una incidencia en la actividad microbiológica después de iniciar molienda.

Los estudios en el tándem A y tándem B fueron realizados con las condiciones y herramientas con que se contaba. Para realizar los mantenimientos programados a los molinos de un tándem se debe parar el funcionamiento del mismo, generalmente este paro inicia a las 8:00 AM y termina a las 12:00 PM. Esto indica que, como mínimo, el bagazo acumulado en los molinos y sus tazas pasa 4 horas estancado. La actividad microbiológica depende de varios factores, entre los cuales se incluye el tiempo de desarrollo. Otro aspecto a considerar para la contaminación del bagazo estancado es que durante mantenimiento se realizan operaciones de soldadura, las cuales tienen residuos que caen en las tazas de los molinos.

Como se muestra en la figura “Bagazo estancado en otras partes del tándem”, se observó que en mantenimientos en los cuales no se realiza la asepsia, se estanca bagazo en las tazas de los molinos. El riesgo del estancamiento de bagazo y material en tándem es el aumento de la actividad microbiológica en dicho bagazo y que, al no remover el material estancado al comenzar molienda, este contamine la caña que empieza el proceso de extracción de jugo. El estudio realizado permitió determinar si este material contaminado tiene incidencia en la actividad microbiológica al comenzar la moliendo luego de un mantenimiento programado.

En el estudio realizado al tándem A, se tomaron las muestras del bagazo estancado en las tazas de los molinos. Estas muestras fueron tomadas repetidamente cada hora durante cuatro horas que duró el mantenimiento, con el fin de evaluar el deterioro de contaminación o aumento de la actividad microbiológica progresiva del bagazo y material estancado en dichos lugares de muestra. En la gráfica “Coeficiente Microbiológico en bagazo en taza durante mantenimiento tándem A” se observa que a la primera hora después de empezado el mantenimiento y paro de molienda, el CM es crítico pues ya es mayor a 3. Esto indica que la actividad microbiológica en el bagazo muestreado es crítica y fuera de lo aceptado por el ingenio. El aumento de la actividad microbiológica es progresivo conforme pasa el tiempo según lo observado en la gráfica mencionada anteriormente.

Para determinar la incidencia de la falta de asepsia, se observa en la gráfica “Incremento del coeficiente microbiológico después de iniciar molienda luego de mantenimiento tándem A” el incremento del coeficiente microbiológico (IC) es positivo desde el comienzo de molienda. Un IC positivo nos indica, por sí solo, que en el tándem se ve aumentada la actividad microbiológica de la caña y subproductos. Para el cálculo del IC del tándem, se tomó como punto de entrada el jugo primario el cual es el resultante de la mezcla del agua de imbibición y la entrada de caña en trozos al tándem. Como punto de salida se tomó el jugo diluido que proviene de la extracción y es el que continúa al proceso de fabricación de azúcar. Este criterio es establecido por el ingenio Pantaleón.

En el estudio realizado al tándem B, se tomaron las muestras del bagazo estancado en las tazas de los molinos en intervalo de tiempos varios, debido a dificultades de acceso a los puntos de muestreo. En la gráfica “Coeficiente Microbiológico en bagazo en taza durante mantenimiento tándem B”

Se observa que, al igual que el estudio en el tándem A, a la primera hora después de empezado el mantenimiento y paro de molienda, el CM ya es crítico. El aumento de la actividad microbiológica es progresivo conforme pasa el tiempo según lo observado en la gráfica mencionada anteriormente. Se observa en la gráfica “Incremento del coeficiente microbiológico después de iniciar molienda luego de mantenimiento tándem B” y que el incremento del coeficiente microbiológico (IC) es positivo desde el comienzo de molienda y así se mantiene durante el tiempo de muestreo que fue de 25 minutos. Existió un aumento de la actividad microbiológica en el tándem después de iniciar molienda según lo observado en la gráfica mencionada anteriormente. En este estudio entonces se determinó que sí afectó la falta de asepsia en el tándem a la actividad microbiológica, en base a los resultados obtenidos de CM durante el mantenimiento y el comportamiento positivo y progresivo del IC después de empezar molienda.

En ambos estudios realizados se observaron comportamientos similares, el bagazo estancado en las tazas de molinos alcanzaron un nivel crítico de actividad microbiológica a la primera hora de empezado el mantenimiento y el incremento del coeficiente microbiológico (IC) observado después de empezar molienda fue positivo. La falta de asepsia en tándem influyó en el aumento de la actividad microbiológica en el área de extracción de jugo.

c. **Determinación del tiempo óptimo para la evaluación de la asepsia en tándem.** En la gráfica “Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem A molino 2” se observa que el comportamiento de la actividad microbiológica, medida mediante el incremento del coeficiente microbiológico (IC), antes de la limpieza era positivo y quiere decir que en el molino 2 del tándem A existía aumento en la actividad microbiológica. Después de la limpieza modelo el IC se ve claramente reducido hasta valores negativos, lo cual indica que la asepsia fue efectiva pues no solo freno el aumento de la actividad microbiológica sino la disminuyó. Vemos que al minuto 20 se da nuevamente el aumento del IC. En la gráfica “Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem A molino 3” se presentan los resultados promedio del análisis, pues en este molino se realizó dos veces el estudio. En esta gráfica observamos el mismo comportamiento de la actividad microbiológica antes y después de la asepsia modelo. Antes de la limpieza el IC es positivo y después de la misma es negativo. Esto indica que la asepsia fue efectiva, y vemos también que a los 20 minutos el IC vuelve a aumentar hasta alcanzar niveles positivos.

En la gráfica “Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem B molino 2” se observa los resultados obtenidos en el análisis realizado en el molino 2 del tándem B. Se tomaron muestras desde los 45 minutos antes de empezar la asepsia para contar con información de tiempos más largos, el IC es positivo con valores que alcanzan los 0.55 y es indicador del desarrollo de actividad microbiológica que amenaza la productividad del área de extracción. Vemos, al igual que en los estudios realizados en el tándem A, que después de la asepsia el IC disminuye hasta llegar a valores negativos. En este caso, al minuto 10 el IC alcanza un valor de 0, lo que indica que en ese momento el molino no tenía ninguna influencia en la actividad microbiológica en el bagazo y jugo. Se observa en este caso que al minuto 15, el IC aumenta hasta niveles positivos lo que indica que había en ese momento un aumento en la actividad microbiológica en el molino. Observamos en la gráfica “Comportamiento del incremento microbiológico en la limpieza modelo en el tándem A molino 2” que los resultados obtenidos en el estudio en el molino 3 del tándem B. En la misma se muestra que la limpieza modelo fue efectiva y siguió siendo así hasta los 30 minutos en que se tomó muestras.

El tiempo en que todos los estudios coinciden con un IC negativo es el minuto 10 después de realizada la asepsia modelo, pues como mínimo al minuto 10 el IC en la limpieza modelo es negativo en todos los casos por lo que en una asepsia no guiada es el momento para evaluar la efectividad de la misma. Los resultados obtenidos para los molinos 2 y 3 de ambos tándem se pueden generalizar para el tándem entero (6 molinos) ya que el fin del estudio fue determinar un tiempo teórico para la evaluación. En base a los resultados obtenidos en los 5 estudios realizados, se puede establecer que el tiempo óptimo para evaluar la asepsia en tándem es 10 minutos después de terminada la misma.

d. Establecimiento de una metodología estándar para la asepsia de tándem. Durante las visitas para la observación del orden y toma de tiempos de asepsia de molinos se determinó que no existe una metodología estándar para realizar la asepsia de molinos. Se encontró que entre operarios de asepsia de diferentes tándem no se sigue el mismo procedimiento para la asepsia, entre turnos diferentes se presenta la misma situación. Esto quiere decir que existen al menos 6 métodos diferentes para realizar la asepsia de molinos (2 por cada turno, existen 3 turnos). Se detectó que existe la necesidad del establecimiento de un método eficiente, que pueda ser seguido por todos los operarios sin importar el tándem.

El porcentaje de tiempo empleado para la asepsia del molino interno es apenas del 35%, del molino externo un 43% y del piso un 22%. En las metodologías utilizadas por operarios durante el estudio, se emplea más tiempo en la asepsia del molino externo que del interno. Debe emplearse el mayor tiempo y esfuerzo en la asepsia del molino interno, pues este es el que tiene contacto directo con el bagazo y el jugo extraído de la caña y, por ende, afecta a la actividad

microbiológica. Los resultados obtenidos con el estudio de tiempo nos indican que es necesario que el nuevo método para la asepsia, asegure un mayor tiempo de asepsia en molino interno.

En este mismo estudio de tiempos se determinó que en promedio se está empleando 106 minutos (1 hora 46 minutos) para la realización de la asepsia de molinos. Según encargados del área de extracción y los propios operarios de asepsia, la asepsia de molinos se realiza cada dos horas. Al emplear un tiempo promedio de 1 hora 46 minutos, es difícil cumplir con lo asegurado. Se observó en campo que la asepsia cada dos horas no se cumple siempre, en ocasiones se retrasa por diferentes motivos.

La asepsia de molinos tiene como objeto el control de la actividad microbiológica en el proceso de extracción de jugo, específicamente en el área de tándem y los molinos. La misma debe realizarse en los molinos de ambos tándem cada 2 horas (4 veces durante el turno), y la llevará a cabo el operario de asepsia. La asepsia comenzó en el segundo nivel del molino, siempre comenzado por el molino 6. Cada operario de asepsia es el encargado de un solo lado del tándem. El primer operario de asepsia comenzó la asepsia y al llegar al cuarto molino, comenzó el otro operario del otro lado del molino, manteniendo una distancia de dos molinos a lo largo de toda la asepsia con el fin de evitar riesgos por quemadura.

Luego de terminar con el segundo nivel o parte superior del molino, los operarios de asepsia deben continuar, en el mismo orden y distancia entre sí, con el primer nivel del tándem o inferior. Durante toda la asepsia se le dedico mayor tiempo de limpieza al molino interno, siendo la sección del molino que tiene contacto directo con el bagazo y jugo de la caña. En cada molino se limpió primero el molino externo, luego el molino interno y por último el piso. Este procedimiento aplica también para asepsia de molinos antes de mantenimiento programado.

En la implementación del nuevo método se tuvo la dificultad en el tándem B con el lado que cuenta únicamente con una manguera instalada. El problema es el alcance que tiene la misma manguera, pues no alcanza para limpiar el molino 5 y 6, por lo que hubo necesidad de emplear una manguera del lado opuesto para limpiar el molino 5 y 6. Por esto mismo se recomendó la instalación de por lo menos un manguera más del lado que cuenta con una sola manguera. Como molino externo se entiende: ejes de mazas de molinos, exterior de los chutes de alimentación, parte externa de vírgenes, puentes que permiten el paso de un lado del molino hacia el otro y la estructura externa del molino en general. Como molino interno se entiende: mazas, conductores intermedios, rastras de bagazo, canales de salida de jugo, parte interna de vírgenes y toda la estructura del molino que tiene contacto directo con el bagazo y jugo. Como piso se entiende: toda la superficie inferior en el área de tándem por donde transitan operarios y demás personal.

En la gráfica “Comportamiento del incremento microbiológico Jugo primario- bandeja en la asepsia propuesta en el tándem B” se muestra el IC entre el jugo primario y la bandeja. En este caso se tomó como entrada el jugo primario y como salida el jugo extraído en el molino 1 y es transportado en la bandeja. Se observa que el comportamiento del IC antes de comenzar la asepsia y durante la misma son en su mayoría positivos, lo que indica aumento en la actividad microbiológica en el tándem. Luego de terminada la asepsia, los valores del IC disminuyen hasta alcanzar valores negativos lo cual indica que la asepsia fue efectiva para disminuir la actividad microbiológica.

En la gráfica “Comportamiento del incremento microbiológico Jugo primario- jugo diluido en la asepsia propuesta en el tándem B (antes-durante-después)” se muestra el IC entre el jugo primario y jugo diluido, y es el más utilizado para evaluar el cambio en la actividad microbiológica en el tándem. Se muestra que antes de empezar la asepsia el IC mostraba valores positivos, pero al comenzar la asepsia y terminada la misma la actividad microbiológica frenó y bajo hasta niveles negativos. Estos resultados afirman que la asepsia fue efectiva. El nuevo método para realizar la asepsia tuvo una duración de 1 hora 15 minutos, lo que representa una disminución de aproximadamente 30 minutos en comparación con los resultados obtenidos por el estudio de tiempos.

### 3. Ingenio Concepción

a. Mediciones de actividad microbiológica en molinos 2 y 3 para la obtención del tiempo representativo de muestreo para evaluar la efectividad de la limpieza. Con la finalidad de obtener un tiempo representativo para evaluar la nueva propuesta de limpieza fue necesario hacer un análisis del material que entra y el que sale. El proceso de extracción es una operación por donde básicamente entra caña o bagazo, se exprime esta materia en las masas del molino y se extrae jugo, por lo que este es un proceso de flujo continuo. Por lo que para realizar un análisis de la efectividad de una limpieza, no es válido tomar puntos fijos o inmóviles dentro del molino ya que no serían representativos, para este propósito es necesario medir que tanto disminuye el coeficiente microbiológico de la caña o bagazo que entra en relación con el que sale, a este diferencial se le conoce como IC.

Para el análisis del molino 2 se consideró como punto de entrada el jugo primario proveniente del molino 1 y como salida el jugo resultante de las masas del molino 2, por lo que se tienen dos puntos de comparación válidos para un proceso de flujo continuo. El muestrear el coeficiente microbiológico en estas dos áreas del molino, permitió que se pudiera calcular la diferencia entre la actividad microbiológica de la caña o bagazo antes de entrar y al momento de pasar por el proceso de extracción del molino 2.

El estudio tenía como finalidad arrojar una tendencia de cómo podríamos esperar que se comportara la actividad microbiológica en todo el tándem antes y después de una limpieza más exhaustiva enfatizándola en la sección interna de los molinos, mediante el análisis de los resultados obtenidos de la asepsia de un solo molino. Este análisis sirvió como punto de partida sobre cómo y que partes deben limpiarse durante una limpieza dirigida en todo el tándem para tener resultados semejantes.

Como se puede observar en la Gráfica No. 2. En el muestreo realizado antes de la limpieza la actividad microbiológica tiene una tendencia al alza como se esperaba, esto tiene sentido ya que la actividad microbiológica como una población de bacterias aumenta directamente proporcional con el tiempo y es esta la finalidad de realizar limpiezas constantes en los molinos, controlar este crecimiento a niveles aceptables para la producción. En la gráfica podemos observar que existe un momento cero, el cual representa el momento en el que se llevó a cabo la limpieza, es necesario recalcar que ese momento no indica que la limpieza duro 20 minutos (-10 a 10) sino que durante este momento se llevó a cabo la limpieza con una duración de 25 minutos y esto no está contemplado en el eje de tiempo de la gráfica, está en cambio muestra la relación entre el tiempo en que se tomaron las muestras antes y después de la limpieza guiada.

Posterior a la limpieza, inmediatamente podemos observar un decaimiento pronunciado, esto indica que la actividad microbiológica 10 minutos después de realizada la asepsia se redujo considerablemente, el resultado negativo para el primer dato después de la limpieza indica que el coeficiente microbiológico de la materia que entra al molino es menor al que sale y los datos siguientes aunque presentan una tendencia al alza todos son mucho menores a los medidos antes de la limpieza. Estos resultados son satisfactorios porque aunque el IC después de la limpieza sigue adoptando una tendencia al alza, su incremento en el tiempo es menor y no alcanzan los niveles previos a la limpieza. Esto satisface el propósito anteriormente mencionado que es controlar la actividad microbiológica en el molino ya que eliminarla nunca será posible.

Para el molino 3 se tomó como punto de entrada el bagazo proveniente del molino 2 y como salida el jugo derivado de las masas del molino 3, nuevamente con el propósito de muestrear un proceso de flujo. Como se puede apreciar en la Gráfica No. 3 el comportamiento de los datos previos a la asepsia son similares, se observa una tendencia al alza previa a la limpieza con datos de IC altos, acabada la limpieza nuevamente se puede notar un decaimiento del CM lo que indica que la limpieza fue efectiva y como se esperaba los datos fueron en aumento a lo largo del tiempo, para este muestreo se obtuvieron datos irregulares que se salen de la tendencia esperada, esto puede deberse al error humano o la imprecisión de los instrumentos de medición, sin embargo la tendencia de los datos antes y después de realizada la asepsia es la prevista y

para el propósito del estudio aceptable para evaluar la calidad de limpieza y si el tiempo en que fueron tomados los datos es representativo para la misma.

**b. Implementación de limpieza guiada en el tándem del Ingenio Concepción.** La limpieza guiada fue un proceso basado en metodologías usadas en Pantaleón como el énfasis en la limpieza del molino interno sobre el molino externo y la base del mismo, la coordinación entre operarios y la reducción de tiempos extraños o no productivos, conjunto con el proceso actual de limpieza para reducir la resistencia al cambio, factor que fue muy repetitivo a lo largo de todas las visitas. La limpieza guiada tiene como objetivo reducir el tiempo de la limpieza actual, sin descuidar la calidad obteniendo resultados positivos.

Es muy importante resaltar que esta limpieza guiada depende del remover material excedente acumulado y atrapado en las distintas secciones de los molinos. A diferencia de una limpieza de un hospital, una clínica o herramientas para la producción de alimentos, la efectividad de la misma no depende del total exterminio de los microorganismos, ya que esto por el tipo de proceso y factores externos como las instalaciones y el clima lo hacen prácticamente imposible. Por lo que se recalca que no debe interpretarse la palabra “asepsia” con la erradicación total y completa de contaminantes, esta tiene una finalidad distinta que es la de mantener un control de la actividad microbiológica a niveles que no comprometan la calidad del producto al final del proceso de extracción.

Nuevamente al igual que se mencionó en el proceso de la obtención del tiempo representativo para evaluar la limpieza guiada, el muestreo para la evaluación de la limpieza guiada nuevamente debe realizarse por medio del análisis del material de entrada contra el de salida. En el caso del molino 2 se tomó como entrada el jugo primario proveniente del molino 1, el bagazo proveniente del molino1 y la maceración proveniente del molino3, para este análisis se consideró una entrada más con el objetivo de obtener datos más representativos.

En el punto 2 de los resultados, se realizó una limpieza de un solo molino y se tomaron muestras antes y después de la asepsia para evaluar la misa, esto es válido en esta análisis porque se está tomando en cuenta un solo molino como modelo para representar una limpieza del tándem completo y además lo que se busca es la obtención de un tiempo representativo. En cambio para validar la efectividad de la limpieza modelo es necesario realizar el muestreo mientras la limpieza aún se está dando, por ejemplo si se pretende analizar el molino 2 y se espera 10 minutos después de concluida toda la limpieza guiada de todo el tándem, este dato ya no es representativo porque desde el momento en que se concluyó de lavar el molino 2 y se finalizó la limpieza del tándem han pasado más de 40 minutos, por lo cual la actividad

microbiológica ya ha aumentado y el estudio no reflejaría el comportamiento de la actividad microbiológica justo después de limpiar este molino.

Considerando lo anterior se precisó de la ayuda de un compañero que tomara muestras 10 minutos después de que el operario de limpieza concluyera con el molino de análisis, previo a la limpieza no fue necesaria la asistencia ya que los datos en este caso son con la finalidad de comparación con los posteriores a la limpieza y su muestreo fue llevado a cabo de la misma forma que en el punto 2 de los resultados.

Como se observa en la Gráfica No. 4 se documentaron los resultados de la misma forma que en el punto 2 de los resultados y con tiempos de muestreo de 10 minutos debido a que en este mismo punto se evidenció que es un tiempo de muestreo apropiado para evaluar la asepsia. Se puede apreciar que los datos previos a la limpieza en el molino 2 son similares o al menos del mismo orden que en el estudio pasado y nuevamente se observa una tendencia al alza a lo largo del tiempo, esto se debe nuevamente a que mientras más tiempo se deje pasar después de la limpieza mayor será la actividad microbiológica. En esta gráfica también hay un tiempo cero que representa el tiempo en que se realizó la asepsia y a continuación los datos 10 minutos después de concluida la limpieza del molino 2. Se observa que los datos de IC son menores considerablemente, tendencia predicha considerando los resultados del punto anterior. Seguidamente los datos van en aumento con una tendencia al alza sin embargos menores a los tomados previo a la asepsia guiada.

Para el análisis del molino 3 se tomó como entradas el bagazo proveniente del molino 2 y la maceración proveniente del molino 4 y como salida el jugo derivado de las masas del molino, nuevamente para tener un control del flujo que pasa por el molino. El proceso de medición fue el mismo que para el molino 2 y con el mismo tiempo de muestreo de 10 minutos. Se observa nuevamente que la tendencia de los datos previos a la limpieza es al alza, similares a los obtenidos en el molino 2 y al concluir la asepsia se observa una disminución significativa, debido a que la actividad se ha reducido. Al pasar el tiempo los datos son cada vez más altos indicando que la actividad microbiológica va en aumento, consecuente con lo obtenido en el molino 2 sin embargo el crecimiento no es tan pronunciado y los datos no son tan altos.

c. Estudio de tiempos de la limpieza actual y la limpieza guiada. Con el propósito de evaluar la eficiencia de la limpieza guiada implementada se llevó a cabo un estudio de tiempos para medir dos aspectos; el primero la comparación del tiempo efectivo de limpieza que se lleva actualmente contra el de la limpieza guiada. El segundo el porcentaje de tiempo y recursos que se invierte en la limpieza interna del molino en la limpieza actual y compararlo con el de la limpieza guiada implementada. Este estudio de tiempos se basó en la metodología propuesta en el libro de texto "Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo",

ya que este texto propone tablas de registro válidas para este estudio y métodos para obtener números de ciclos dependiendo del proceso, suplementos y holguras recomendadas por la ILO, herramientas de medición a utilizar, ecuaciones para obtener tiempos normales y tiempos estándares.

Para el estudio de la limpieza actual se realizaron 3 ciclos de muestreo, que según el libro de texto para un proceso mayor a 40 minutos es representativo. Las observaciones del estudio se realizaron con el método de regreso a cero con el objetivo de medir el tiempo individual que se invierte en cada sección del molino; el molino externo, molino interno, sección transportadora de bagazo y base del molino. De esta manera fue posible tener un punto de comparación entre el tiempo efectivo de la limpieza actual y posteriormente compararlo con el de la limpieza guiada.

Con los datos obtenidos en el anexo B fue posible calcular los resultados observados en la Tabla No. 7, se puede apreciar que el tiempo invertido en la parte superior es un poco mayor a una hora ya que el proceso de la limpieza superior es más minucioso y se le da mayor importancia a comparación del tiempo invertido en la base que fue de 40.49 en promedio. También se observa que la limpieza completa del tándem se lleva a cabo en un tiempo promedio de 1 hora 45 minutos. También podemos observar el tiempo promedio total invertido en el molino interno es 34% en comparación de 37%, lo cual nos indica que actualmente se usa más tiempo y recursos en la asepsia del molino externo que la del interno. Por medio de los métodos propuestos por el libro y utilizando las holguras y suplementos recomendados por la ILO para calcular estándares de tiempo fue posible determinar que el tiempo estándar o promedio para un operario calificado siguiendo la metodología actual de limpieza no debería ser mayor a 1 hora y 52 minutos.

Para el estudio de la limpieza guiada se realizó un solo ciclo ya que el propósito no es obtener un estándar, debido a que este no es un proceso establecido, sino lo contrario es una propuesta de asepsia en la cual el operario no tiene experiencia y en donde el objetivo es obtener un promedio que pueda ser comparado con la limpieza actual el cual ya es un proceso repetitivo. Si comparamos los datos de la Tabla No. 7 con la Tabla No. 8 vemos que el tiempo en la limpieza se reduce a 1 hora 33 minutos, esto se logró evitando tiempos extraños e improductivos y enfocando todos los esfuerzos y recursos a la limpieza, coordinando a los operarios de asepsia para no perder tiempo en alistar su equipo y reduciendo el tiempo de limpieza en áreas en donde no era tan necesario como en otras. Consecuencia de estas mejoras implementadas fue posible reducir el tiempo de la sección externa del molino a un 31% e invertir 45% a la sección interna del molino en donde se lleva a cabo el proceso de extracción y la actividad microbiológica es mayor, es aquí en donde la limpieza agrega valor al proceso y debe invertirse más tiempo.

También se observa que siguiendo esta metodología de limpieza y agregando los mismos suplementos que en la limpieza actual un operario capacitado y ya familiarizado con el proceso no debería demorar más de 1 hora 37 minutos. Es importante mencionar que estos porcentajes, mediciones y observaciones están sujetas al factor humano, por lo que son susceptibles a errores e imprecisiones, sin embargo proporcionan una idea aceptable y respaldada de la reducción de tiempo no productivo que se puede alcanzar cambiando aspectos de conducta e implementando prácticas más eficientes.

Adicional al estudio de tiempos realizados en la limpieza actual y la limpieza guiada se decidió añadir un factor económico para demostrar el impacto que una limpieza eficiente y de menor tiempo puede tener en los costos de producción. Como se observa en la tabla N°9 el estudio del impacto económico está sujeto a supuestos, como el salario de un operario que en este caso se utilizó el salario mínimo actual en Guatemala, un turno de 8 horas una zafra de 5 meses y 23.57 días laborados estos supuestos están pensados para calcular la diferencia mínima que podría representar la implementación de la limpieza guiada. El análisis se basa en que en un turno de 8 horas el número máximo de limpiezas de la manera actual con el tiempo estándar o promedio calculado que se puede llevar a cabo son 3, en cambio realizando la limpieza guiada con los tiempos estándar o promedio calculado son 4. Esto representa añadir una asepsia más al turno por lo que el operario limpiará 5 molinos más por el mismo salario y de una manera eficiente. Si se analiza el salario del operario por molino, quiere decir que el costo de que un operario lave un molino es de Q. 161.45 y aplicando la nueva limpieza es de Q. 121.09, en función del tiempo, en un mes estos costos se pueden reducir a Q. 951.40 por mes y 4,757.01 por zafra, cabe mencionar que en el caso que se añadieran operarios al análisis y que sus sueldos fueran mayores la reducción de costos puede ser mucho menor. En el caso de dos operarios la reducción de costos puede ser hasta de Q.9514.02.

d. **Elaboración del indicador visual de puntos críticos “Semáforo de Limpieza”** Adicional a la limpieza guiada implementada se llevó a cabo la realización de un indicador de limpieza como una propuesta a implementar en la zafra 2013-2014, este indicador está basado en los principios de manufactura esbelta, específicamente un KANBAN, el cual tiene como objetivo la limitación de la cantidad de materiales entre procesos para acortar el periodo de asepsia, por medio de la indicación de puntos críticos que deben ser lavados con mayor minuciosidad. Lograr que el control de las asepsias sea más fácil y sencillo mediante la comunicación entre el laboratorio de caña y los operarios de asepsia y que exista una herramienta gráfica clara que sirva como indicación clara para los operarios.

Este KANBAN fue diseñado con la forma de un semáforo de limpieza basado en la implementación de un modelo similar en Pantaleón en años pasados por estudiantes de la

Universidad del Valle de Guatemala, dentro de este se establecen puntos críticos de los molinos del 1 al 3 y tiene como objetivo ser implementado siguiendo el procedimiento PR-SE-00-001 como se indica en el anexo C. Por último el indicador semáforo de limpieza tendrá como objetivo final en la zafra 2013-2014 junto con la limpieza mejorada reducir sustancialmente los tiempos, mejorar la calidad de la asepsia y optimizar los recursos del ingenio.

#### 4. Ingenio Magdalena

a. Evaluación del lavado en los molinos, para juzgar la eficiencia del mismo en la disminución de la actividad microbiológica. Como se observa en la gráfica de tiempos promedio de lavado, se cumple con los horarios establecidos en los turnos en cada tándem, los cuales son de 45 minutos. Este estudio nos permitió seguir con la evaluación de horas de lavado y horas de no lavado. Dicha evaluación la podemos observar en la gráfica de lavado vs no lavado. En donde vemos que 2.5 horas de un turno de 8 horas es el tiempo que el operador se dedica a su labor, representando el 31% del turno como tiempo productivo. Mientras que el restante 69% del turno, que representa 5.5 horas como lo vemos en la gráfica es el tiempo en que no se está lavando y por lo tanto tiempo del operador sin ser productivo.

Por otra parte para la distribución del lavado se delimitaron tres áreas. Como se observa en la gráfica de distribución de lavado en el Ingenio Magdalena, solamente el 34% del turno se dedica a lavar partes internas del molino (que son las que inciden en la productividad del ingenio). Se puede ver que el 37% se dedica al área de molino externo y el restante 29% a lavar el piso, siendo estas dos últimas actividades no productivas para el ingenio. Con las aplicaciones implementadas, se espera reducir el tiempo de molino externo a un 30% y el piso a un 15%, dejando el restante 55% al lavado del molino interno. Con esto se lograría aumentar la productividad ya que se aumentará el tiempo de lavado de molino interno.

Por último se puede observar una disminución en el incremento de actividad microbiana en la gráfica de IC antes y después del lavado del molino 1. Con esto se corroboró que el lavado se realiza de manera correcta y es eficiente ya que no solo reduce el incremento de actividad microbiológica, sino que también se mantiene siempre cercano a 0 el factor.

b. Evaluación del cuidado de la asepsia durante los mantenimientos para determinar la actividad microbiológica durante los mismos. En la gráfica bandejas 2, 3 y 4 durante los mantenimientos podemos observar que se cuenta con un incremento de actividad microbiana con el pasar de las horas en el jugo estancado en las bandejas a la hora de parar la molienda. Esto representa que dicho jugo está perdiendo sacarosa, por lo que se

implementó una nueva medida para vaciar las bandejas al realizar algún paro, ya sea por mantenimiento o paro no planificado.

En la gráfica de vaciado de tanques y su incidencia en que no apareciera biofilm, se observa que hay una relación entre las veces que se vacía el tanque con la no aparición de biofilm. Se observa que en el tándem B, que fue el que vació todas las veces el tanque, cuando hubo mantenimiento, fue en el que mayormente no se encontró biofilm. Vemos que el tándem C fue el segundo que más veces vació los tanques y también fue el segundo en que menos veces se encontró biofilm. Por último vemos que el tándem A fue el que menos veces se vació el tanque y fue en el que más veces apareció biofilm. Por lo tanto en las implementaciones del nuevo instructivo se estableció que siempre que se realizara un paro por mantenimiento o no planificado se debía de vaciar los tanques de jugo.

c. Colocación de un semáforo en forma de manta como instrumento de comunicación. Se estableció un Kanban, en forma de manta vinílica, para poder así hacer más eficiente la comunicación entre los operarios del laboratorio y los operarios de lavado en el tándem. De igual manera sirve para reportarles gráficamente a los supervisores como se encuentra la actividad microbiológica en el tándem.

Se espera que esta manta gráfica cumpla con una mejora en la comunicación entre operarios del tándem, como método de comunicación más efectivo, el cual no se tenía antes. Según los resultados en el Ingenio Pantaleón, éste se ha establecido junto con las mejoras del lavado, propuestas a los lavadores de los tándems y se ha logrado un avance del 60% en cuanto a lo esperado de sistemas de comunicación y coordinación entre operarios.

Figura 51. SEMÁFORO en forma de manta que indica puntos críticos de Asepsia en el tándem B de Ingenio Magdalena



d. Documentación de los procedimientos y mejoras al proceso por medio del manual correspondiente. En el cuadro cumplimiento de cuidado de asepsia luego de implementaciones, se observa el cumplimiento de los 5 puntos clave según el ingenio para el procedimiento de asepsia luego de la implementación de las mejoras y el manual de documentación. Vemos que el cumplimiento pasó de un 40% de cumplimiento total a un 80%. Cumpliendo así con 4 de los 5 puntos clave, solamente faltando el del comienzo en el sexto molino. Para lograr que el operario de lavado inicie en el sexto molino, se realizó una capacitación en el mes de octubre, en la cual se explicó a los trabajadores del ingenio, la importancia de que se inicie el lavado del sexto molino y finalice en el primero. Con dicha capacitación a los trabajadores, con los supervisores de acuerdo, se espera que para la zafra 2013-2014 se esté implementando ya esta medida.

Figura 52. Capacitación a supervisores y operarios de tándem en el Ingenio Magdalena (4/10/2013)



### C. Evaluación de las condiciones higiénicas en el colador y tanque de jugo mezclado (diluido) de jugo

El objetivo era evaluar y cuantificar la presencia de material acumulado y biopelículas en los tanques recolectores de jugo de tres ingenios azucareros de Guatemala. Siguiendo la metodología descrita anteriormente, se obtuvieron los resultados descritos en la Tabla Presencia de material acumulado y biopelículas en los tanques colectores de jugo durante mantenimiento.

En el tándem B del ingenio Magdalena se observó una alta cantidad de material acumulado y biopelículas. Esta se inspeccionó de manera visual y táctil. El material era extremadamente viscoso y de color grisáceo. La presencia de estas biopelículas se debe a una combinación de limpieza inadecuada, retención de jugo y temperaturas que propician la actividad microbiológica. Nadie tenía una fecha exacta de cuándo era la última vez que se habían limpiado y no tenían la costumbre de vaciar los tanques por completo. Durante el mantenimiento, se quedaba jugo retenido debajo de la toma de la bomba, lo cual incrementaba el tiempo de retención del jugo y le daba a los microorganismos las condiciones ideales para producir dextrana y formar estas biopelículas.

También se observó una gran cantidad de biopelícula en las zonas en donde salpicaba jugo por encima del nivel del tanque. En la paredes donde siempre había jugo circulando no se observó presencia de biopelícula. Esto se debe al tiempo de residencia, ya que en las zonas salpicadas no existía flujo de jugo aumentando el tiempo de residencia de los microorganismos en la superficie.

El tanque de jugo cristal se encontraba en peores condiciones que el de jugo mezclado. Esto se debe a que este jugo entra al proceso directamente de la extracción de caña y a temperatura ambiente lo cual propicia el crecimiento microbiológico, mientras que el mezclado, se forma de las diferentes extracciones del resto de los molinos cuyas corrientes presentan temperaturas más altas que incrementan la temperatura promedio del jugo en el tanque.

Otra área problemática era la tubería de bypass, debido a que por la insignificante pendiente se quedaba jugo retenido propiciando el crecimiento microbiano que causó la formación de la sustancia grisácea y mucilaginoso encontrada.

En el tándem C, se encontró menor cantidad de biopelículas que en el tándem B. Esto se pudo deber a que, como se explicó en el apartado anterior, el tándem C tiene en general un menor índice total de actividad microbiológica (ITAM). También se pudo deber a que el tándem C tenía tapaderas que limitaba el contacto con microorganismos del aire.

En las gráficas del número de muestras malas de jugo primario y diluido del Ingenio Magdalena, se muestra la incidencia de muestras malas tanto para el jugo diluido como para el jugo primario. Se puede observar que antes de la semana nueve el jugo diluido presentaba más muestras malas que el jugo primario. A partir de la semana 9 se da un cambio que continua por el resto de la zafra 2012-2013. Es durante esta semana, la semana 9, que se implementan los protocolos de limpieza de los tanques de jugo mezclado y cristal durante cada parada programada. No se puede decir que este es el único factor que contribuyó a esa inversión en la incidencia de muestras malas ya que también se implementaron otros protocolos de limpieza en

los molinos, pero sí existe evidencia de que la limpieza ayudo a mejorar las condiciones en los tanques colectores.

En Pantaleón, no se encontró una presencia significativa de biopelículas. Esto se pudo deber a que los regímenes de limpieza y asepsia durante paradas por mantenimiento estaban bien establecidos. Si existía material acumulado en las paredes y fondo del tanque pero este era eliminado durante la parada. Y el tanque se dejaba completamente limpio.

Los resultados de Villatoro que mostraban presencia de biopelículas en el colador y tanque de jugo diluido del tándem B en cantidades abundantes, no se encontraron durante esta zafra. Esto indica que mejoraron sus procedimientos de limpieza y asepsia respecto a los tanques colectores de jugo.

En el Ingenio Concepción, la cantidad de material acumulado era mucho mayor que en los demás tanques analizados. Esto se debía probablemente a un colador menos efectivo para la remoción de bagazo. Sin embargo, se observó una cantidad insignificante de material mucilaginoso. Esto se debe al diseño del tanque, ya que por las inclinaciones, el jugo diluido siempre se encontraba circulando.

En la parte de la desarenadora se encontraron puntos en donde sí se sentía el inicio de sustancias viscosas. Estos probablemente se debían a que en estos puntos era casi imposible de lavarlos por el tema de seguridad industrial, debido a que el ángulo provocaría que agua caliente le salpicara al operario de asepsia.

Con base en las observaciones de presencia de material acumulado y biopelículas, se realizó un procedimiento preliminar de asepsia para realizar durante paradas de mantenimiento. En este se detalla la importancia de eliminar todo el material acumulado utilizando agua fría para que el operario pueda observar con claridad que todo se esté removiendo. Después se debe utilizar agua caliente como medida preliminar de asepsia, ya que los microorganismos estudiados no pueden sobrevivir a temperaturas tan altas. Por último, se puede aplicar biosida para desinfectar con mayor efectividad el área en donde se aplicó.

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

Núñez (2013) realizando investigaciones en el Ingenio La Grecia de Honduras, notó que el jugo del tanque diluido mostraba un coeficiente microbiológico menor comparado con los otros ingenios en los que trabajaba. También observó que en este ingenio se realizaba un retorno de jugo sulfitado—los clarificadores estaban subdimensionados—al tanque recolector. Según esta

observación se realizaron pruebas a escala laboratorio con diferentes volúmenes de jugo sulfitado para verificar si podría utilizarse como biosida.

Las pruebas fueron realizadas utilizando jugo sulfitado y diluido A del Ingenio Pantaleón. Se realizaron diluciones de 1, 2,3, 4 y 5% volumen/volumen. Después de 10 minutos, se puede observar que las diluciones de 3,4 y 5% son efectivas debido a que se observa un menor coeficiente microbiológico que el jugo patrón. Estos son resultados preliminares y se deben realizar más pruebas con estas tres concentraciones utilizando jugo diluido y sulfitado de los demás ingenios. Después de 20 minutos, se empieza a perder el efecto de disminución de actividad microbiológica del jugo sulfitado, pero aun así se tiene un coeficiente de actividad microbiológica menor que el patrón.

Después de ver que a escala laboratorio los jugos con cierto porcentaje de jugo diluido sí ayudaban a disminuir el coeficiente microbiológico, se realizaron dos pruebas utilizando el sistema descrito en el apartado C de la metodología. Los resultados obtenidos son prometedores debido a que después de cinco minutos en que estuvo en contacto el flujo de jugo sulfitado con el jugo diluido, sí se observa una disminución en el coeficiente microbiológico de la salida, lo que en la gráfica se refleja como un Incremento del Coeficiente Microbiológico (IC) negativo.

Todavía se tienen que indagar más sobre el beneficio del jugo sulfitado como bactericida pero estas primeras aproximaciones muestran que sí tiene ciertas capacidades como biosida. Debido a que es un químico que se produce internamente, su costo de recirculación va a ser menor que el costo de bactericida. También se debe explorar en qué parte del proceso de extracción se debe aplicar este flujo continuo de jugo sulfitado. Probablemente lo mejor sería agregarlo en la maceración del tercer molino, para que después pase a ser maceración del segundo en el cuál se presentan los incrementos más críticos del coeficiente de actividad microbiológico.

El tanque de jugo diluido es el área del proceso en donde reside una gran cantidad de jugo por mucho tiempo y las temperaturas son óptimas para el crecimiento de bacterias mesófilas por lo que es importante combatir de alguna forma la actividad microbiológica. Debido a que el producto final de las fábricas de azúcar es un producto de grado alimenticio, los ingenios se encuentran muy limitados en la cantidad y concentración de bactericidas químicos que pueden utilizar. Por lo consiguiente, siempre van a tener presencia de bacterias que consumen sacarosa en el proceso y únicamente se limitan a mantener lo más bajo posible el crecimiento y actividad microbiológica utilizando protocolos de asepsia y dosis por choque de bactericida cuando existan coeficientes microbiológicos muy altos. Si el jugo sulfitado puede evitar un incremento en la actividad microbiológica esto va a ser muy beneficioso debido a que no existen regulaciones respecto a recircular el jugo sulfitado. También como se observó anecdóticamente en el Ingenio

La Grecia de Honduras se puede disminuir el coeficiente microbiológico del jugo diluido con respecto al jugo primario.

Este sistema puede resultar muy efectivo durante los últimos meses de zafra en donde las condiciones de la caña que entra al proceso empeoran debido al inicio de lluvias. Durante este período de la zafra, el coeficiente microbiológico en todas las partes de la zona de extracción aumenta, pero no se puede incrementar el uso de bactericidas sin embargo un flujo continuo de jugo sulfitado podría disminuir las pérdidas de sacarosa que se dan durante esta época.

## E. Desarrollo de un sistema administrativo para el proyecto, mejorando los sistemas de control y evaluación económica de la metodología de asepsia de tándem propuesta

### 1. Evaluación económica de la implementación de los procedimientos propuestos para el control microbiológico en el área de extracción del ingenio

a. Ingenio Pantaleón. Es necesario establecer que el siguiente análisis fue hecho en base a las premisas siguientes:

- El costo del m<sup>3</sup> de agua utilizado para la asepsia del tándem no se conoce y su determinación conllevaría un análisis minucioso y detallado de otros procesos dentro del ingenio: el agua utilizada para la asepsia en tándem es reutilizada durante todo el proceso de molienda (esta se reincorpora en distintos puntos y se reutiliza en reiteradas ocasiones).
- El costo de la energía eléctrica utilizado por la bomba de agua de las mangueras, así como la energía necesaria para elevar su temperatura, es insignificante: se conoce que el Ingenio Pantaleón produce energía eléctrica para su propio consumo e inclusive es uno de los grandes proveedores de energía eléctrica para el mercado mayorista. Por lo tanto dicho costo es insignificante y para fines prácticos es irrelevante.

Establecido esto, la única manera de poder evaluar monetariamente la implementación del procedimiento propuesto para la asepsia del tándem es mediante establecer el costo de oportunidad de realizarlo durante la diferencia de tiempos dada por el tiempo actual y el tiempo propuesto de la metodología. Dicha evaluación económica se hace en base al costo mensual por operario de asepsia. Cabe mencionar que todos los datos obtenidos fueron a través del Ingenio Pantaleón y a través del análisis hecho por el integrante a cargo de dicho trabajo.

Dada la presentación de resultados del análisis y evaluación económica de lo propuesto, se determina que actualmente el costo de mano de obra por asepsia de un tándem es de Q28.27, bajo las condiciones actuales reales, en donde por cada tándem es necesario dos operarios de

asepsia, donde se realizan 9 asepsias de tándem al día y el tiempo promedio de duración por asepsia es de 1 hora y 46 minutos. Esto indica que el costo diario por asepsia de ambos tándems, bajo las mismas condiciones mencionadas, es de Q 508.77; lo cual, a su vez, representa un costo de Q 10,799.46 mensuales. Ampliando dichas estimaciones se pudo establecer que el costo total por este rubro durante la Zafra 2012-2013 fue de Q 93,614.52, sabiendo de fuentes fidedignas que los días efectivos de molienda fueron 184 durante la mencionada zafra. Es decir que el costo de oportunidad de realizar la metodología de asepsia en tándem como se hace actualmente es de Q 27,377.83, lo que representa un 29.2% del costo total.

Cabe mencionar que para ampliar el análisis y poder determinar la sensibilidad del modelo a los cambios en las condiciones establecidas, se realizó un análisis de sensibilidad por cada una de las variables que se consideraron más probables de cambio. Dicho análisis se realizó mediante condiciones "ceteris paribus" en donde se mantienen constantes todas las variables exceptuando aquella cuya influencia al modelo se desea analizar. Esto permite simplificar el análisis, ya que si no fuera así sería muy difícil imposible determinar el efecto de cada variable individual.

Mencionado lo anterior, se procede a identificar 5 variables, las cuales se describen y analizan a continuación:

Tiempo de metodología de asepsia actual: se refiere al aumento o disminución porcentual del tiempo de duración de una asepsia por tándem actual. Cabe mencionar que se toma en cuenta el tiempo promedio analizado durante la Zafra 2012-2013. Es decir que se evalúa la sensibilidad del modelo a un cambio en dicho tiempo, sea éste mayor o menor.

Como se observa en el modelo es realmente sensible a esta variable. Se determina que con un cambio porcentual del tiempo de asepsia actual de  $\pm 25\%$ , el costo de oportunidad dada la propuesta en la metodología variaría en un  $\pm 85\%$ . Es decir que la razón de cambio entre el tiempo de la metodología actual y el costo de oportunidad es de 1:3.4

Tiempo de metodología de asepsia propuesta: se refiere al aumento o disminución porcentual del tiempo de duración de una asepsia por tándem utilizando la metodología propuesta. Cabe mencionar que se toma en cuenta el tiempo promedio en la implementación esporádica durante Zafra 2012-2013. Es decir que se evalúa la sensibilidad del modelo a un cambio en dicho tiempo, sea éste mayor o menor.

El modelo es menos sensible a esta variable que al tiempo de asepsia actual. Se determina que con un cambio porcentual del tiempo de asepsia con la metodología propuesta de  $\pm 25\%$ , el costo de oportunidad variaría en un  $\pm 60\%$ . Cabe mencionar que dicha variación es inversamente

proporcional, es decir que si el tiempo se disminuye, el costo de oportunidad aumente y viceversa. Este fenómeno ocurriría en una proporción de 1:2.4

Número de asepsias por tándem diarias: se refiere al aumento o disminución del número de asepsias realizadas a cada tándem por día. Se conoce que actualmente en promedio se realizan 9 asepsias diarias a cada tándem, incluso cuando la guía de asepsia actual menciona que debería de realizarse cada hora. Se evalúa esto dado que si se implementa la metodología propuesta el tiempo necesario por asepsia se reduciría, permitiendo así el aumento de asepsias diarias. Esto aplica también en el otro caso, en donde pueden reducirse la cantidad de asepsias realizadas por tándem al día si la operatividad sigue de la misma forma.

El modelo es menos a esta variable que al tiempo de asepsia propuesta. Se determina que con un cambio en el número de asepsias diarias de  $\pm 3$  asepsias, el costo de oportunidad variaría en un  $\pm 33\%$ . Cabe mencionar que dicha variación es directamente proporcional, es decir que si se reduce el número de asepsias diarias, el costo de oportunidad se reduciría de igual forma pero en una proporción de 1:0.11

Operarios de asepsia por tándem: se refiere al aumento o disminución del número de operarios de asepsias por tándem. Se conoce que actualmente son necesarios 2 operarios de asepsia cada vez que se realiza una de estas en un tándem, más ha habido ocasiones en las que se observa a 3 de ellos en el mismo tándem.

El modelo es más sensible a esta variable que a cualquier otra analizada. Se determina que con un cambio unitario en el número de operarios de asepsia necesarios para realizar la misma, el costo de oportunidad variaría en un 50%. Cabe mencionar que dicha variación es directamente proporcional, es decir que si se reduce el número operarios asepsia, el costo de oportunidad se reduciría de igual forma pero en una proporción de 1:0.5

**b. Ingenio Magdalena.** Los resultados obtenidos en el Ingenio Magdalena se obtienen mediante la comparación del costo actual del lavado en el área de extracción, versus el costo de oportunidad de no realizar la misma y las consecuencias que esta decisión pueda provocar en la producción del Ingenio.

Así mismo, se comparan los tiempos de toma de muestras por corrida de parte del operario del Ingenio Magdalena, antes y después de la implementación de tecnología por medio de un computador, en el área de toma de muestras en dicho Ingenio.

Los tiempos de limpieza se obtuvieron mediante la medición del tiempo de lavado de cada tándem en el Ingenio Magdalena en el área de los molinos, pasillos y demás partes del tándem.

En dicho estudio, se obtuvo que el tiempo promedio de lavado en el área de extracción es de 2.13 horas representado un costo de Q18.98. El mismo, trasladado a un día entero de labor en el Ingenio Magdalena, es decir 24 horas, representa Q227.75; que al mes se convierte a Q6,832.53 y por Zafra Q34,162.67.

Al momento de realizar la comparación entre el costo actual de realizar el lavado versus el costo de oportunidad de no realizar el mismo, se obtiene un ahorro de casi el 100%. Dicho costo de oportunidad, se obtiene mediante el costo de no producir un día en el Ingenio Magdalena gracias a la falla de los tándems por la falta de dicho lavado.

El costo de no producir, se basa en que la no realización de lavados en los tándems, pueda afectar de tal manera dicha maquinaria hasta el momento en que esta se dañe y el Ingenio se vea en la necesidad de adquirir una nueva máquina.

Así mismo, se basa en la producción total de caña a moler en el Ingenio Magdalena por Zafra, mes y día; multiplicándolo por el precio del quintal de azúcar, para obtener la cantidad total en quetzales de pérdida debido a la falta de producción por el daño de la maquinaria.

Los tiempos de corridas en el Ingenio Magdalena, se obtuvieron mediante la realización de un estudio de tiempos basado en las acciones que el operario de dicho Ingenio, realizaba al momento de la toma de muestras en los respectivos tándems del mismo.

En el presente estudio, se comparan los tiempos antes y después de ser implementado el computador en el área de toma de muestras del Ingenio Magdalena.

Antes de realizada la implementación del computador, el tiempo promedio por corrida era de 40 minutos representando un costo de Q5.95. Dicha corrida se divide en el recorrido que realiza el operario desde la bodega donde se almacenan las muestras hasta los respectivos tándems, el llenado e incubado de muestras, ingreso de datos en las hojas de control y el lavado y revisión de tubos de muestras.

Luego de implementado el computador, dicho proceso de corrida cambia en el momento de ingresar los datos directamente al computador y ya no de forma manual, calculando e ingresando los datos a las hojas físicas de control.

El tiempo de corrida con el computador implementado, disminuye a un promedio de 23.5 minutos por corrida que representa Q3.50. Esto muestra un ahorro promedio de 16.5 minutos que trasladado a dinero es una cantidad de Q2.45.

Convirtiendo este costo a un día entero de labor en el Ingenio Magdalena, se obtiene un ahorro de Q36.82, que al mes se convierte a Q1, 104.47 y por Zafra a Q5, 522.34; representando así, un 41% de ahorro en dinero para dicho Ingenio.

c. **Ingenio Concepción.** Los resultados obtenidos en el Ingenio Concepción se obtienen mediante la implementación de una limpieza dirigida para obtener el tiempo óptimo para la asepsia de las unidades del área de extracción.

Los tiempos de limpieza anterior y los tiempos de limpieza dirigida se obtuvieron mediante observaciones detalladas del proceso de limpieza efectuado por los operarios del Ingenio Concepción realizando un estudio de tiempos.

En dicho estudio, se obtuvo el tiempo total de limpieza anterior y el tiempo total de limpieza dirigida. Estos se detallan por día, mes y Zafra con el fin de obtener un ahorro representativo de la implementación.

Se define una tabla que permite visualizar los datos requeridos para la obtención de resultados, así como los ingresos que percibe el operario encargado de la realización de la limpieza en el área de extracción.

Se observa una tabla de ahorro de tiempos tanto en minutos como en horas detallando los mismos por día, mes y Zafra que luego son trasladados a términos monetarios con el fin de visualizar el ahorro obtenido debido a la implementación.

El costo de la limpieza era de Q15.63 llevando un tiempo de 1.75 horas que al día representaba Q187.59, al mes Q5, 627.57 y por Zafra Q28, 137.85. Mientras que con la limpieza dirigida el costo se redujo a Q13.42 con un tiempo de 1.50 horas representando Q161.06, Q4, 831.82 y Q24, 159.08 respectivamente.

## IX. CONCLUSIONES

1. Según el análisis de CM realizado a las diferentes muestras de la caña barrida (patio y limpia jaulas) se determinó que el reingreso de la caña barrida representa un riesgo.
2. Existen áreas consideradas como críticas donde el bagazo se acumula, su grado de importancia está ligado al flujo volumétrico en el que se acumula o la actividad microbiológica presente en ella.
3. El tiempo límite que el bagazo puede pasar acumulado sin ser reintroducido es de 2 horas, así mismo existen fallas en la maquinaria que pueden alterar la cantidad de bagazo acumulado la actividad microbiológica presente en el mismo.
4. Mediante el análisis de porcentaje de sacarosa y porcentaje de dextrana a una muestra de bagazo en la estructura, se determinó que el este bagazo no debe reintroducirse al proceso
5. El bagazo y material estancado en las tazas de los molinos y alrededores durante mantenimientos generales, alcanza un nivel crítico de actividad microbiológica antes de la primera hora del paro de molienda en el Ingenio Pantaleón.
6. El tiempo óptimo para evaluar analíticamente la asepsia del tándem es 10 minutos después de terminada la misma, según los resultados obtenidos en el Ingenio Pantaleón.
7. El nuevo método de asepsia de tándem en el Ingenio Pantaleón fue 31 minutos más rápido que el tiempo promedio empleado antes del estudio.
8. Se propuso el rediseño del área de trabajo del operario de control microbiológico en el Ingenio Pantaleón, el cual incluye rediseño de la mesa, instalación de tapete antifatiga, instalación de iluminación adecuada a la tarea, utilización de un banco cómodo tipo industria, entre otros.
9. De acuerdo a muestreos puntuales, el tándem A del Ingenio Magdalena es el que se encuentra en peores condiciones respecto a la actividad microbiana lo cual fue corroborado mediante un análisis de todos los datos obtenidos durante la zafra.
10. Mediante el análisis del Índice Total de Actividad Microbiológica utilizando todas las muestras obtenidas por el Laboratorio de Control Microbiológico de los tres ingenios, se determinó que orden de asepsia de cada tándem era el siguiente: Tándem C Magdalena (1.79), Tándem B Pantaleón (2.3), Tándem A Pantaleón (2.55), Tándem Concepción (2.63), Tándem B Magdalena (2.88), Tándem A Magdalena (3.69).

11. De los tanques colectores de jugo evaluados, se encontró presencia abundante de biopelícula en el tándem B y C de Magdalena, mientras que en el tándem A y B de Pantaleón y en el de Concepción la presencia fue mínima.
12. De los tanques colectores de jugo evaluados, el del Ingenio Concepción presentaba la mayor cantidad de material acumulado.
13. A escala laboratorio, soluciones de 3, 4 y 5% volumen jugo sulfitado/volumen jugo diluido, fueron efectivas reduciendo el coeficiente microbiológico comparadas con una muestra testigo de jugo diluido.
14. A escala piloto, se mostraron resultados prometedores con un flujo continuo de jugo sulfitado de 5% del caudal de jugo diluido.
15. Se realizó la estimación del costo de oportunidad dado por realizar la asepsia de tándem mediante la metodología actual, en donde se estableció que el tiempo propuesto por la metodología actual es un 29.2% menor al actual, lo cual en términos monetarios representaría aproximadamente un costo de oportunidad de Q 27,377.83 en el Ingenio Pantaleón.
16. El ahorro total de las mejoras implementadas en el Ingenio Concepción representa un 14% de los costos anteriores en el proceso de lavado en el área de extracción.
17. El ahorro debido a la implementación de tecnología por medio de un computador en el área de toma de muestras en el Ingenio Magdalena es del 41% sobre los costos anteriores.
18. La variable más sensible del modelo de estimación del costo de oportunidad es el número de operarios de asepsia necesarios para la asepsia en tándem, dado que un cambio unitario en estos representaría un cambio del 50% en el costo evaluado en el Ingenio Pantaleón y la variable menos sensible del modelo de estimación del costo de oportunidad es la cantidad de asepsias diarias por tándem, dado que un cambio de  $\pm 3$  asepsias representaría un cambio de  $\pm 33\%$  en el costo evaluado.
19. El lavado actual tiene buena efectividad ya que logra mantener el IC cercano a cero, permitiendo solamente valores no mayores a 0.03 de IC en el tándem A, 0.13 de IC en el tándem B y 0.04 de IC en el tándem C, en el Ingenio Magdalena.
20. El tiempo de lavado durante un turno, de parte de los lavadores es mucho menor al tiempo en que no están lavando. El tiempo de lavado representa solamente el 31.25% del total del turno en el Ingenio Magdalena. Mientras que en el restante 68.75% no se realiza ninguna actividad. Se planteó que estos trabajadores ayuden al área de conductores donde se reciben constantes quejas por falta de personal.

21. La nueva limpieza guiada implementada se lleva a cabo en un tiempo promedio menor, aproximadamente 12 minutos menos que la limpieza actual, un 10.64% menor, además se invierte en esta mayor tiempo de lavado en el molino interno que en el externo a diferencia de la anterior por lo que para los propósitos de asepsia del tándem es más eficiente en el Ingenio Concepción.
22. El semáforo de limpieza en el Ingenio Concepción fue elaborado como una herramienta de manufactura esbelta KANBAN y fue instalado en el área de extracción de caña y fue documentado como una propuesta de implementación junto con su procedimiento en la zafra 2013-2014.
23. El material de capacitación es un recurso para desarrollar las competencias necesarias para llevar a cabo las mejoras implementadas durante el megaproyecto, su confección e implementación agrega continuidad, estandarización y valor a los procesos nuevos.

## X. RECOMENDACIONES

1. Establecer un muestreo sistemático para la evaluación de la actividad microbiológica de las pilas de bagazo que se acumulan en los conductores de los tandems A y B del Ingenio Pantaleón.
2. Implementar sistema de gestión para la caña del patio propuesto en la Zafra 2011-2012 basado en principios básicos para el manejo de la caña, sistemas de control de movimientos y tiempos, procedimientos estándares, muestreos sistemáticos y controles operativos.
3. Realizar capacitación constante a operarios de limpieza para que los mismos estén familiarizados con el instructivo mejorado del procedimiento de limpieza de los conductores y hacer énfasis en importancia de reincorporación de pilas de bagazo acumuladas en conductores tomando en cuenta actividad microbiológica para los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena.
4. Se deben realizar mantenimientos preventivos en las áreas basados en la recolección y reintroducción del bagazo al proceso, el hecho de tomar en cuenta mantenimientos correctivos aumenta la cantidad de bagazo acumulado y altera significativamente la actividad microbiológica en los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena.
5. Analizar y estudiar las implementaciones y mejoras realizadas en los Ingenios Magdalena y Pantaleón, previo a realizar propuestas en el área de extracción.
6. Implementar nuevas propuestas de mejora en relación a la comunicación del área de laboratorio de caña y los operarios de asepsia en el Ingenio Concepción.
7. Dar seguimiento a los manuales y propuestas para la asepsia, a manera de disminuir la actividad microbiológica en los tandems en los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena.
8. Documentar todos los procedimientos y mejoras de manera que se pueda tener procedimientos estandarizados y a los cuales se pueda avocar un trabajador ante cualquier duda en los ingenios Pantaleón, Concepción y Magdalena.
9. Aplicar el semáforo microbiológico en forma de manta en los tandems A y C para lograr una información visual y más fluida en forma de kanban, en el Ingenio Magdalena.
10. Realizar un estudio de tiempos con el nuevo método implementado, con datos históricos y determinar un tiempo estándar de asepsia por tandem en el Ingenio Pantaleón.
11. Mejorar el área de trabajo y las condiciones de trabajo del operario de control operativo microbiológico en el Ingenio Pantaleón.

12. Instalar una manguera extra en el nivel superior del tándem A cerca del molino 5, para hacer más fácil la realización de la asepsia en el Ingenio Pantaleón.
13. Actualizar el “Instructivo para realizar la asepsia de los conductores de caña y de los molinos” del Ingenio Pantaleón pues se encontró evidencia que no se cumple con todos los aspectos establecidos en el mismo y se corre el riesgo de No Conformidades en auditorías al Sistema de Gestión de Calidad.
14. Evaluar las condiciones que incrementan la actividad microbiológica en la caña del Ingenio Magdalena.
15. Continuar la asepsia sistemática del colador y tanques recolectores de jugo durante mantenimiento para contribuir a la reducción de la actividad microbiológica y evitar la formación de biopelículas para los Ingenios Concepción, Magdalena y Pantaleón.
16. Continuar las pruebas de jugo sulfitado a escala laboratorio utilizando jugos de los Ingenios Concepción y Magdalena.
17. Evaluar otros flujos continuos de jugo sulfitado utilizando el sistema de simulación de tanque de jugo diluido para determinar el caudal óptimo de jugo sulfitado.
18. Evaluar a escala industrial la habilidad del jugo sulfitado de sustituir a agentes químicos biosidas.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Aldana, Édgar. 2012. *Reingeniería de las mejoras realizadas al sistema de limpieza y control en el tándem del Ingenio Pantaleón*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. 58 págs.
2. Álvarez, C, et al. 2008. *Establecimiento de un sistema de control microbiológico para la industria azucarera*. Megaproyecto Universidad del Valle. Guatemala. 431 págs.
3. Álvarez, C.F., García, R.A., Granai, V., Guzmán, C.M., Lemus, M.I., Lou, M.J., Rosales, A., Valle, J.P., y Wyss, A.M. 2008. *ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE CONTROL MICROBIOLÓGICO PARA LA INDUSTRIA AZUCARERA*. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala.
4. Álvarez, j, Ramírez. J, Rosero, j. *Modelo del Tren de Molinos en un Ingenio Azucarero*. Universidad del Valle de Cali. 7 págs.
5. Arzú, A. 2003. *IMPACTO SOCIAL DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA EN GUATEMALA*. En: <<http://www.tesis.ufm.edu.gt/pdf/3734.pdf>> [Visitado el 23 de Mayo del 2013].
6. Asazgua (Asociación de azucareros de Guatemala). Economía[Web en línea]: <http://www.azucar.com.gt/economia.html>[Consultada en Agosto de 2013]
7. Asazgua. 2012. *INGENIOS ACTIVOS*. En: <<http://www.azucar.com.gt/index.html>> [Visitado el 25 de mayo de 2013].
8. Asociación Bancaria de Guatemala (ABG). Año 2012. Sector azucarero. Guatemala.
9. Avelar, A., et al. 2011. *Control microbiológico, sistemático y gradual en un ingenio azucarero*. Megaproyecto Universidad del Valle. Guatemala. 366 págs.
10. Balsells, D. P.; De la Peña, B.L. y Rodriguez, F.J. 2009 *Optimización de procedimientos de laboratorio y económicos en control microbiológico en la industria azucarera*. Universidad del Valle de Guatemala. 201 pags.
11. Banguat (Banco de Guatemala). *Exportaciones a mayo 2013*. [Web en línea]: [http://www.banguat.gob.gt/exportaciones\\_mayo\\_2013.pdf](http://www.banguat.gob.gt/exportaciones_mayo_2013.pdf)[Consultada en Agosto de 2013]
12. Basterrechea, Rafael. 2011. *Logística de la implementación del control microbiológico en el tándem*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 53págs.
13. Blanco B. O. 1995. *Implementación del test de Resazurina como prueba rápida para estimar el número de microorganismos presentes en el jugo de caña*. Guatemala; Tesis: Universidad de San Carlos de Guatemala.
14. 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.
15. 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.
16. Cenicaña (Centro de investigación de la caña de azúcar de Colombia). *Caña de azúcar* [Web en línea]: [http://www.cenicana.org/pdf/documentos\\_no\\_seriados/libro\\_el\\_cultivo\\_cana/](http://www.cenicana.org/pdf/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/)[Consultada en Agosto de 2013]

17. Connolly, Thomas; Begg, Carolyn. 2002. Database Systems. New York: Harlow.
18. Delden, Edward. 1981. *Standard Fabrication Practices for Cane Sugar Mills*. Amsterdam, Elsevier. 248 págs.
19. Eggleston, G. (2002). Deterioration of cane juice-sources and indicators. *Food Chemistry*, 78, 95-103.
20. Fauconnier, R. y. 1975. *La caña de azúcar*. Barcelona, España: Editorial Blume. IMSA. 2013. HISTORIA. En: < [http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page\\_historia](http://iasmag.imsa.com.gt/sitio/#!/page_historia) > [Visitado el 28 de septiembre de 2013].
21. Flores, Silverio. 1976. *Manual de caña de azúcar*. Guatemala. INTECAP. 172 págs.
22. Gon Yu, H., Chung, H., Suk Yu, Y., Seo, J.-M., & Won Heo, J. (2003). *A New Rapid and Non-radioactive Assay for Monitoring and Determining the Proliferation of Retinal Pigment Epithelial Cells*. *Korean J Ophthalmol*, 17, 29-34.
23. Guerin, T. F., Mondido, M., McCleen, B., & Peasley, B. (2001). *Application of resazurin for estimating abundance of contaminant-degrading micro-organisms*. *Letters in Applied Microbiology*, 340-345.
24. Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®) Tercera Edición 2004 Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA.
25. Guines Elao, Jose D. *Recuperación de Aceites Hidráulicos usados en la compañía Azucarera Valdez*. S.A. Trabajo de Graduación. Universidad Estatal El Milagro. Ecuador. 81 págs.
26. Haggerty, 2008. *Development of a "Smart" tracer for the assessment of microbiological activity and sediment-water interaction in natural waters: The resazurina-resorufin system*. *Water Resources Research*, Vol. 44, W00D01, doi:10.1029/2007WR006670, 2008.
27. Haggerty, R., Argerich, A., & Martí, E. (2008). *Development of a "smart" tracer for the assessment of microbiological activity and sediment-water interaction in natural waters: The resazurin-resorufin system*. *Water Resources Research*, 44, W00D01.
28. Iturriaga, Guido. 2011. *Mejoras a la logística del proceso de limpieza y desinfección en el tándem*. Trabajo de graduación Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 38 págs.
29. Kirk, R. y. 1962. *Enciclopedia de tecnología química*. México: Editorial Hispanoamericana.
30. Larrahondo, J.E. *Calidad de la caña de azúcar*. En: CENICAÑA. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*, Cali, CENICAÑA, 1995. p337-354.
31. Letona, Arturo. 2009. *Logística de la implementación en el área de molida y mejora del procedimiento de asepsia*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 66 págs.
32. Letona, Juan José. 2011 «*Logística general de la implementación del sistema y de la participación de estudiantes del proyecto*». Tesis Universidad del Valle de Guatemala.
33. López, P. y C. De Armas. 1980. *La potencialidad de la caña como recurso energético renovable*. Seminario de Racionalización Energética de la Industria Azucarera. ONUDI-OLADE. La Habana. Cuba.
34. Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O., & Espinosa, R. (2012). *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*. Guatemala: Artemis Edinter.
35. Mirón, Danilo. 1998. *Conozca la industria azucarera en Guatemala*. 1ª ed. Guatemala, Artemis Edinter. 109 págs.
36. Niebel, Benjamin; Freivalds, Andris. 2009. *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. 12va ed. México. McGraw-Hill. 587 págs.

37. Niebel, Benjamín W., Freivalds, Andris. *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. Alfaomega, 11ª edición, Grupo Editor, S.A. de C.V. 2004.
38. Nuñez, O. (2013). Comunicación personal. (S. García Salas, Entrevistador)
39. Ortiz Campos, Karla María. 2012 « *Implementación de mejoras a la base de datos del sistema y estimación de costos del efecto de la actividad microbiana en el tratamiento de jugo* ». Tesis Universidad del Valle de Guatemala.
40. Pantaleón S.A. (s.f.) Historia, Recuperado el 17 de Septiembre de 2013, de <http://www.pantaleon.com/>
41. Pérez, José Manuel; Pratt, Lawrence. 1997. *Industria azucarera en Guatemala. Análisis de sostenibilidad* [Web en línea]:  
<http://www.incae.ac.cr/ES/clacds/investigacion/pdf/cen720.pdf> [Consultada en Agosto de 2013]
42. Portabella Lou, Jose R. *Sistematización del Manejo de las Acetamilidas para el control permanente de malezas en el cultivo de caña de azúcar en Guatemala*. Trabajo de Graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 126 págs.
43. 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.
44. Ruiz, Agustín; Floría, Pedro y González Diego. 2006. *Manual para el técnico en prevención de riesgos laborales*. 5aed. España. FC Editorial. 1,497 págs.
45. Shingo, Shigeo. 1993. *El Sistema de Producción Toyota desde el punto de vista de la Ingeniería*. 2da. ed.
46. Siap (Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera). *Características caña de azúcar*. [Web en línea]: <http://w4.siap.gob.mx/sispro/Integra/Caracteristicas/CanaAzu.html> [Consultada en Agosto de 2013]
47. Soto, GJ. 1995. *Prototipo varietal de caña de azúcar para la agroindustria azucarera guatemalteca*. Escuintla, Guatemala, CENGICAÑA. (Documento Técnico no. 5).
48. Vander poel P.W., Schiweck H., Schwartz T. 1998. *Sugar technology: Beet and Cane Sugar Manufacture*. p. 993 – 1007.
49. Villatoro, Crista. 2012. *Sectorización de los procedimientos para evaluar y controlar la actividad microbiológica en jugos*. Universidad del Valle de Guatemala. 92 págs.
50. Zamora, Jorge. 1978. *Estudio de los niveles tecnológicos utilizados en las fincas que cultivan caña de azúcar en el departamento de Escuintla*. Guatemala. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala. 102 págs.

## XII. ANEXOS

**ANEXO A: INSTRUCTIVO DE LIMPIEZA EN EL ÁREA DE CONDUCTORES INGENIO  
PANTALEÓN**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



**Instructivo para la mejora de procedimiento de  
limpieza en conductores del Ingenio Pantaleón**

Realizado por:

Luis Fernando Colindres Sierra

Guatemala, noviembre de 2013

## ÍNDICE

I. OBJETIVO.....	1
II. SEGURIDAD INDUSTRIAL .....	1
A. Clases de peligros asociados a la tarea .....	3
1. Mecánico .....	3
2. Biológico.....	3
B. Instrucciones y/o equipos de seguridad específica .....	3
C. Equipo de protección personal (EPP) .....	4
III. LIMPIEZA EN CONDUCTORES.....	4
A. Preparación previa.....	4
B. Procedimiento .....	4
C. Posterior a la limpieza .....	5
D. Diagrama de flujo del proceso de limpieza en conductores de caña de tándems A y B .....	6
IV. MANEJO DE CAÑA EN CONDUCTORES .....	8
A. Factores a considerar para manejo de pilas de bagazo acumuladas .....	8
1. Actividad microbiológica .....	8
2. Tamaño de pilas de bagazo .....	8
3. Área y condiciones en las que se encuentran las pilas de bagazo .....	8
4. Tiempo determinado para toma de decisión sobre reincorporación o desecho de las pilas de bagazo en base a actividad microbiológica. ....	8
B. Áreas de acumulación de pilas de bagazo para limpieza de conductores de los tándems A y B .....	8
C. Orientaciones generales para el manejo de la caña de los conductores de los tándems A y B. ....	11
D. Procedimiento .....	13
E. Posterior a manejo de caña .....	13
F. Diagrama de flujo del proceso de manejo de caña en conductores de tándems A y B .....	14

## **I. OBJETIVO**

El objetivo del presente instructivo es estandarizar y establecer los pasos para realizar la limpieza y el manejo de la caña de los conductores de los tándems A y B y facilitar la capacitación e inducción de operarios para que estos al realizar los procedimientos, puedan contribuir a la inocuidad de la azúcar producida.

## **II. SEGURIDAD INDUSTRIAL**

El Ingenio Pantaleón tiene un compromiso firme con el cuidado de la seguridad y salud de sus colaboradores por lo que han establecido programas que garantizan en los distintos procesos la seguridad industrial y la salud como una prioridad, cumpliendo con todas las leyes y regulaciones en esta materia.

Por lo anterior se realizan diagnósticos y evaluaciones de riesgos en las distintas áreas de trabajo para prevenir daños e impactos en la salud, la seguridad y el medio ambiente. Se cuenta con la certificación de las normas OHSAS 18001:2007 y una política que involucra los elementos principales para la gestión de prevención de riesgos, haciendo énfasis en la responsabilidad de los niveles de supervisión y dirección, en conformidad con las actuales tendencias de la salud ocupacional.

En la realización de la limpieza y el manejo de la caña en los conductores de los tándems A y B existen diversos riesgos intrínsecos a la operación, ya que se trabaja en espacios angostos, que en algunas ocasiones no cuentan con iluminación adecuada para la realización de las tareas y con un ambiente de trabajo ruidoso y caluroso por lo que puede existir riesgo de fatiga, caídas y lesiones. El operario que realiza la limpieza se moviliza en algunas áreas a una distancia muy corta de los conductores en movimiento por lo que puede existir un riesgo de atrapamiento en zonas convergentes como por ejemplo, en los ejes de cola. Lo anterior se muestra en la Figura No.1 y Figura No.2

Figura No.1 Eje de cola y espacios de conductor de tándem



Figura No. 2 Eje de cola y espacio de conductor de tándem B



Existe un riesgo por quemadura debido a que para realizar la limpieza se utiliza agua caliente a una temperatura mínima de 60°C. Lo anterior puede provocar que alguna persona entre en contacto con el agua caliente o generación excesiva de vapor caliente. Esto se muestra en la Figura No.3

Figura No. 3 Manguera posicionada en conductor de tándem A



Existe también un riesgo de incumplimiento de la utilización de equipo de protección y de falta de conocimiento sobre los peligros por la falta de señalización que existe en los conductores de los tándems A y B sobre los aspectos mencionados.

En cuanto al uso de equipo de protección personal, debe mencionarse que según la norma OHSAS 18001:20007 los operarios deben llevar a cabo una evaluación de los riesgos en sus lugares de trabajo para identificarlos y poder requerir el uso del equipo de protección personal adecuado y para mantenerlo en condiciones sanitarias y fiables. El uso de equipo de protección personal suele ser esencial, pero es generalmente la última alternativa luego de los controles de ingeniería (modificación física de maquinaria o ambiente de trabajo), de las prácticas laborales y de los controles administrativos (modificaciones a la manera de realizar las tareas).

#### **A. Clase de peligros asociados a la tarea**

**1. Mecánico.** Traumatismos por atrapamiento en conductores en movimiento, muerte por atrapamiento en conductores en movimiento, traumatismos por caídas por piso resbaloso y quemaduras por contacto con agua caliente

**2. Biológico.** Enfermedades cutáneas por exposición a bacterias, traumatismos por exposición a fauna peligrosa.

#### **B. Instrucciones y/o equipos de seguridad específica**

- Utilizar el equipo de protección personal

- Instalar las señales de seguridad para evitar el paso de personas durante la ejecución del lavado
- Verificar que no se encuentren personas en el área antes de hacer el lavado y evitar el riesgo de provocar quemaduras.

### **C. Equipo de protección personal (EPP)**

- Tapones de espuma con cordón con una atenuación de 29 dB
- Casco de polietileno de alta densidad con sus elementos
- Capa y pantalón impermeable
- Botas de hule
- Guantes de cuero de res y lona
- Lentes de policarbonato transparentes

## **III. LIMPIEZA DE CONDUCTORES**

El objetivo de realizar la limpieza en los conductores de caña es mantener condiciones que ayuden a mantener la calidad e inocuidad del proceso productivo de fabricación de azúcar.

### **A. Preparación previa**

#### **1. Verificar la temperatura del agua**

-Verificar que el agua caliente tenga una temperatura mínima de 60°C (176°F) y a una presión mínima de 1.034 kPa (150 psi)

**2. Colocar señales de seguridad para evitar el paso de personal no autorizado durante la limpieza**

#### **3. Verificar que el área está despejada**

### **B. Procedimiento**

#### **1. Colocarse equipo de protección personal**

- Tapones de espuma con cordón con una atenuación de 29 dB
- Casco de polietileno de alta densidad con sus elementos
- Capa y pantalón impermeable Botas de hule
- Guantes de cuero de res y lona
- Lentes de policarbonato transparentes

2. Verificar que manguera esté en buen estado
3. Tomar manguera de su lugar de resguardo
4. Sujetar la manguera en el extremo donde se expulsa el agua
5. Abrir válvula de manguera para dar salida al agua
6. Dirigir la manguera hacia las siguientes áreas de los conductores de los tándems A y B asegurando la completa remoción de bagazo dos veces por turno. Repetir procedimiento cada dos horas.
  - Estructura de conductores de caña
  - Duelas y cadenas de los conductores de caña
  - Piso y paredes de fosas de conductores de caña
  - Ejes de cola de conductores de caña
7. Realizar limpieza haciendo movimientos de arriba abajo y de derecha a izquierda
  - a. Realizar limpieza de duelas de manera que una duela de referencia pase dos veces por la limpieza. Repetir el paso cada dos horas

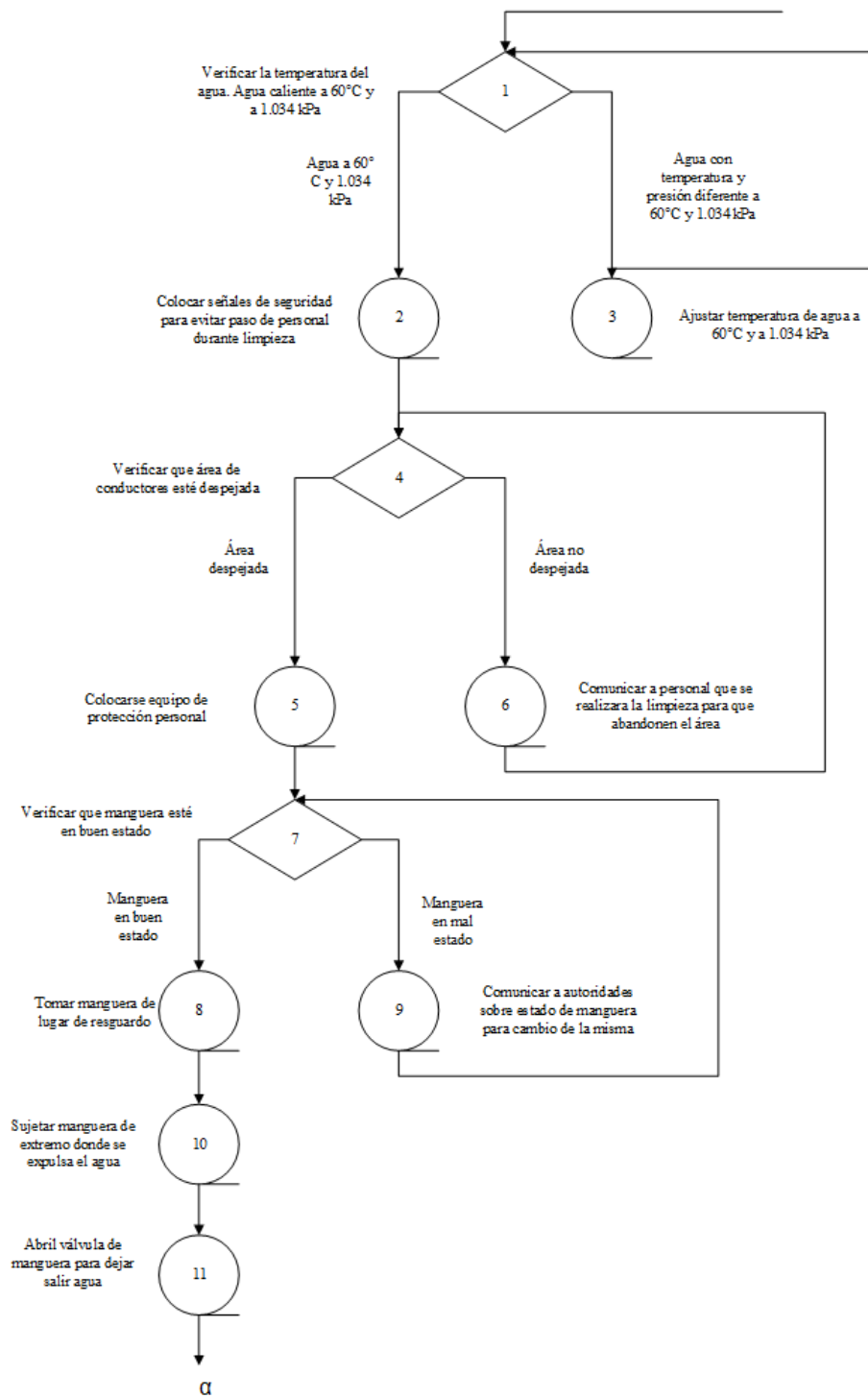
### **C. Posterior a la limpieza**

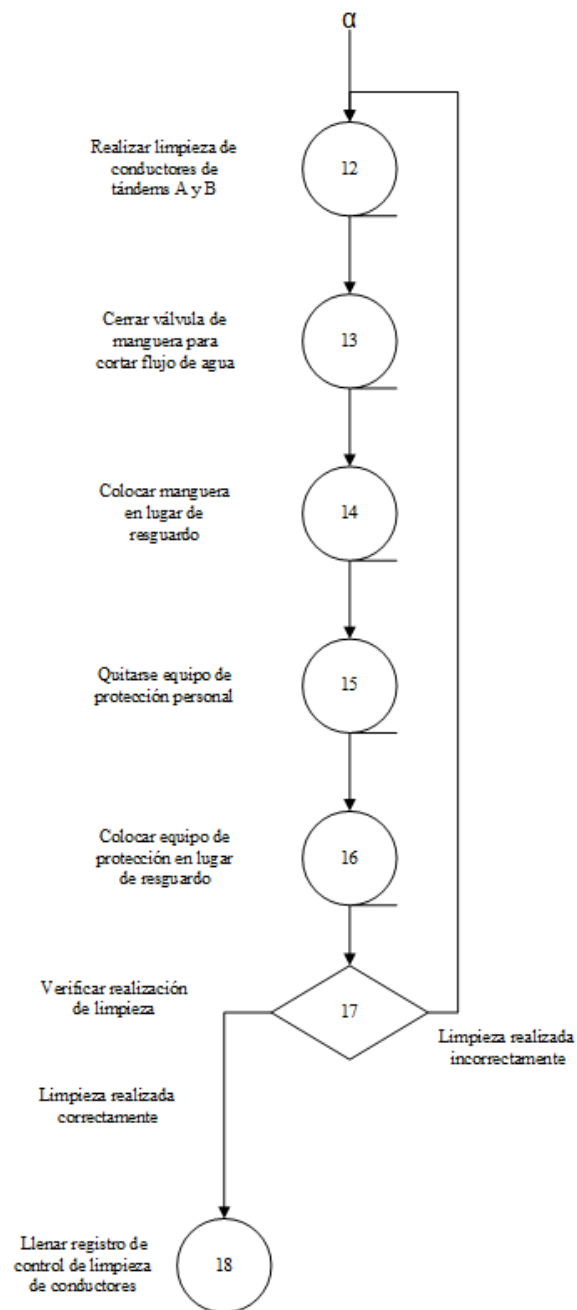
1. Cerrar la válvula para cortar el flujo de agua
2. Colocar la manguera en su lugar de resguardo
3. Quitarse equipo de protección personal
4. Colocar equipo de protección personal en lugar de resguardo
5. Realizar verificación de limpieza
6. Llenar el registro del control de la limpieza de los conductores

## D. Diagrama de flujo del proceso de limpieza en conductores de caña de tándems A y B

Diagrama de flujo de proceso de limpieza en conductores de caña de tándems A y B

Dibujado por: Luis Colindres





#### IV. MANEJO DE CAÑA EN CONDUCTORES

El objetivo de realizar el manejo de caña en conductores es el aprovechamiento de la misma para ser reincorporada al proceso y mantener condiciones que ayuden a mantener la calidad e inocuidad del proceso productivo de fabricación de azúcar.

**A. Factores a considerar para manejo de pilas de bagazo acumuladas.** Los factores a considerar para el manejo de las pilas de bagazo que se acumulan en los conductores de los tandems A y B son los siguientes:

**1. Actividad microbiónica.** La actividad microbiónica es un factor crítico para el manejo de las pilas de bagazo acumuladas ya que afecta la calidad del bagazo y provoca que haya pérdidas en la cantidad de sacarosa que puede ser obtenida y un aumento de costos considerable en limpieza y mantenimiento. Por lo tanto si la actividad microbiónica es demasiado alta no se deben reincorporar las pilas de bagazo al proceso productivo. Esta se puede observar por medio de los coeficientes de actividad microbiónica cuando sea realiza la prueba de resazurina para las pilas de bagazo.

**2. Tamaño de pilas de bagazo.** El tamaño de las pilas de bagazo es un factor importante para el manejo de las mismas en los conductores ya que esto puede contribuir a un aumento de actividad microbiónica y a dificultar el manejo de las mismas por los grandes volúmenes de bagazo que se tienen que manejar.

**3. Área y condiciones en las que se encuentran las pilas de bagazo.** El área y condiciones en las que se encuentran las pilas de bagazo son factores muy importantes ya que los mismos pueden contribuir al aumento de actividad microbiónica como lo es en el caso del conductor del tandem A en el que las pilas están en contacto con agua sucia o en el caso del conductor del tandem B en el que las áreas son cerradas y existe contacto con agua también.

**4. Tiempo determinado para toma de decisión sobre reincorporación o desecho de las pilas de bagazo en base a actividad microbiónica..** El tiempo determinado para toma de decisión sobre reincorporación o desecho de las pilas de bagazo en base a actividad microbiónica es un factor crítico para el manejo de las pilas de bagazo ya que se determinó lo siguiente:

- El tiempo máximo que pueden pasar las pilas de bagazo en los conductores de los tandems A y B para poder ser reincorporadas es de 2 horas.
- El manejo de las pilas de bagazo debe realizarse en cada turno de limpieza ya que este se realiza cada 2 horas.

**B. Áreas de acumulación de pilas de bagazo para limpieza de conductores de los tandems A y B.** Para el manejo de caña en los conductores se deben considerar las pilas de

bagazo que se acumulan por el proceso de transporte de la caña en las siguientes áreas descritas en la Figura No.4 y Figura No.5 de los conductores de los tandems A y B.

**Figura No. 4** Áreas de conductor de tandem A



**Figura No. 5** Áreas de conductor de tándem B

Eje de cola No.2



Eje de cola



Área debajo de mesa



### C. Orientaciones generales para el manejo de la caña de los conductores de los tándems A y B.

Las orientaciones generales para el manejo de caña en los conductores de los tándems A y B se muestran en las siguientes tablas. Estas están basadas en los factores a considerar para el manejo de las pilas de bagazo acumuladas.

**Tabla No. 1** Orientaciones generales para el manejo de la caña en el conductor del tándem A

Área	Actividad microbiológica	Volumen de pilas de bagazo (tamaño)	Orden para realizar reincorporación de pilas de bagazo	Observaciones
Área No.1	Alta	Alto	2	En esta área se acumulan 5 pilas de bagazo de volúmenes altos en cada esquina. Esta área es la segunda para realizar la reincorporación al proceso de las pilas de bagazo debido a la distancia con el Eje de cola No.1
Área No.2	Alta	Alto	3	En esta área se acumulan 4 pilas de bagazo de volúmenes altos en cada esquina. Esta área es la tercera para realizar la reincorporación al proceso de las pilas de bagazo debido su proximidad con el Área No.1
Área No.3	Alta	Alto	4	En esta área se acumulan 6 pilas de bagazo de volúmenes altos (4 en cada esquina y 2 en el centro). Esta área es la cuarta para realizar la reincorporación al proceso de las pilas de bagazo debido a su proximidad con el Área No.2
Eje de cola No.1	Alta	Bajo	1	En esta área se acumulan pilas de bagazo de volúmenes bajos. Esta área es la primera para realizar la reincorporación al proceso de las pilas de bagazo ya que es en el Eje de cola donde se realiza la misma y donde se termina el proceso de limpieza de la primera parte del conductor.

Eje de cola No.2	Alta	Bajo	5	En esta área se acumulan pilas de bagazo de volúmenes bajos. Esta área es la última para realizar la reincorporación por su ubicación en el conductor del tándem A.
------------------	------	------	---	---

**Tabla No. 2** Orientaciones generales para el manejo de la caña en el conductor del tándem B

Área	Actividad microbiológica	Volumen de pilas de bagazo (tamaño)	Orden para realizar reincorporación de pilas de bagazo	Observaciones
Eje de cola	Alta	Bajo	1	En esta área se acumulan pilas de bagazo de volúmenes bajos debido al diseño del conductor. Esta área es la primera para realizar la reincorporación al proceso de las pilas de bagazo debido a su ubicación en el conductor.
Área debajo de mesa	Alta	Bajo	2	En esta área se acumulan pilas de bagazo de volúmenes bajos debido a que se forman por el bagazo que cae de los conductores y que es desplazado por las corrientes de agua del área. Esta área es la segunda para realizar la reincorporación al proceso de las pilas de bagazo debido su proximidad con el eje de cola.



#### **D. Procedimiento**

1. Verificar que pilas de bagazo de áreas de los conductores de los tándems A y B hayan sido recolectadas y reincorporadas al proceso en turno de limpieza anterior.

2. Verificar que las herramientas de trabajo estén en buen estado. Las herramientas a utilizar son las siguientes:

- Pala o rastrillo
- Carreta de transporte

3. Tomar pala o rastrillo y carreta de su lugar de resguardo

4. Sujetar pala o rastrillo de forma que la muñeca permanezca recta con el antebrazo

5. Realizar recolección de bagazo de pilas por pila de cada área de los conductores de los tándems A y B por medio de pala o rastrillo en carreta de transporte.

6. Transportar carreta con bagazo hacia eje de cola para reincorporación al proceso tomando la misma de los dos mangos.

7. Realizar reincorporación a proceso de bagazo en eje de cola

#### **E. Posterior a manejo de caña**

1. Colocar pala o rastrillo y carreta de transporte en lugar de resguardo

2. Quitarse equipo de protección personal

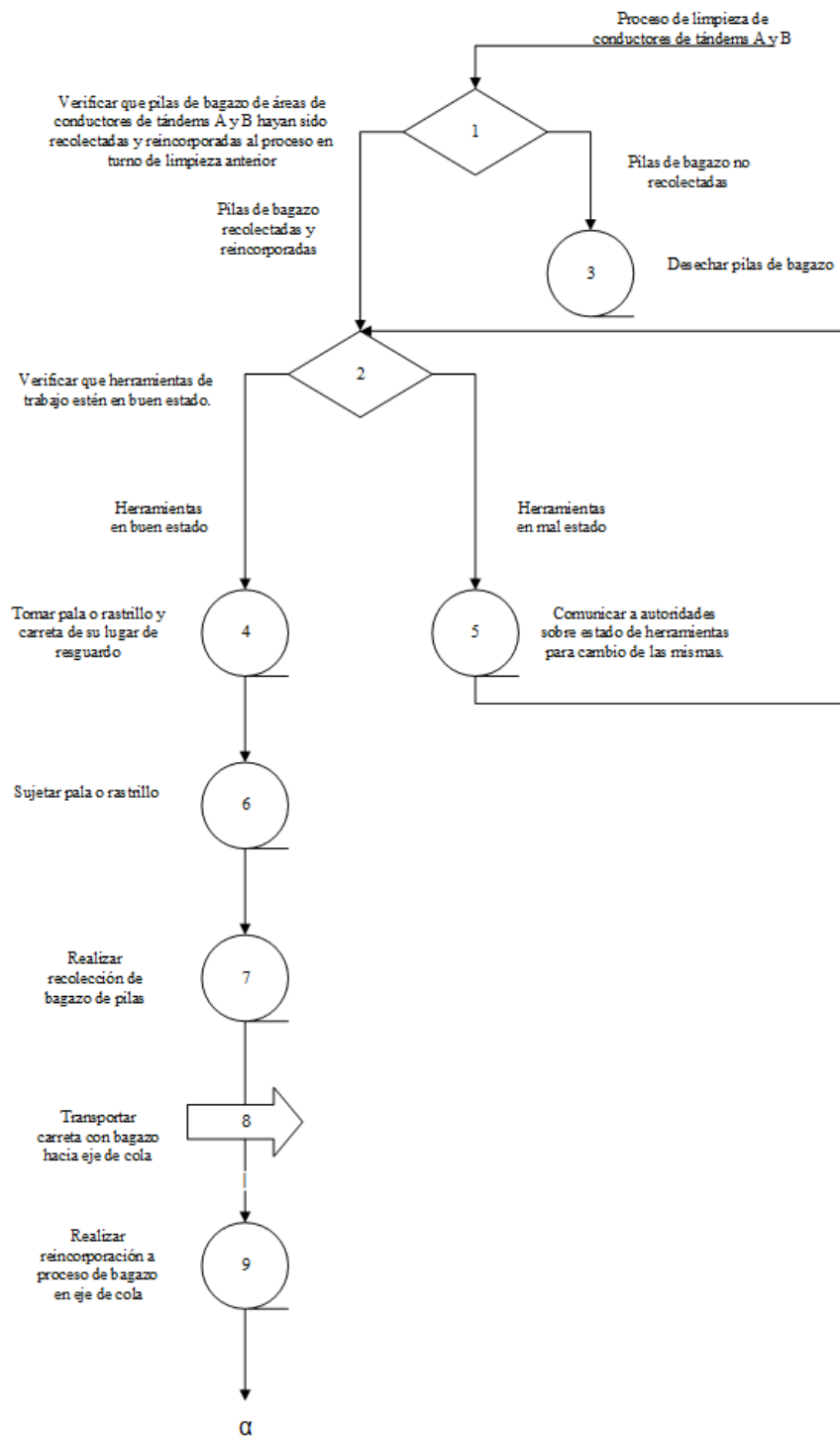
3. Colocar equipo de protección personal en lugar de resguardo

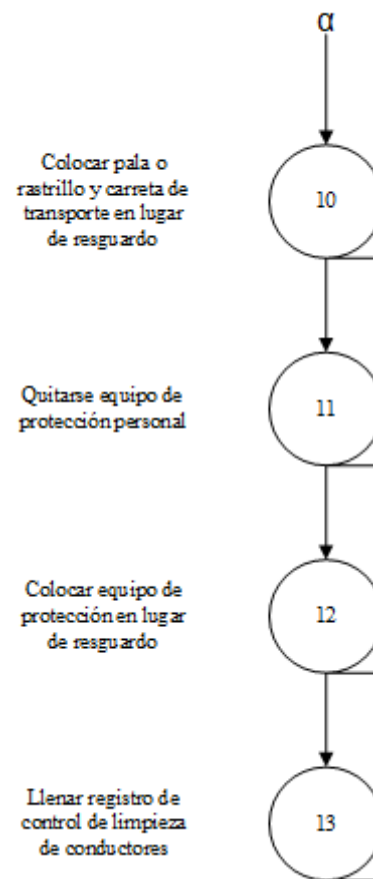
4. Llenar el registro del control de la limpieza de los conductores

## F. Diagrama de flujo del proceso de manejo de caña en conductores de tándems A y B

Diagrama de flujo de manejo de caña en conductores de tándems A y B

Dibujado por: Luis Colindres





**ANEXO B: INSTRUCTIVO DE LIMPIEZA PARA EL ÁREA DE CONDUCTORES INGENIO  
CONCEPCIÓN**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



**Instructivo para la mejora de procedimiento  
de limpieza en conductores del Ingenio  
Concepción**

Realizado por:

Diego Fernando Sánchez García

Guatemala, noviembre de 2013

## ÍNDICE

I. OBJETIVO .....	1
II. ALCANCE .....	1
III. DEFINICIONES .....	1
IV. GENERALIDADES .....	1
V. SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	1
A. Tipo de riesgos expuestos .....	2
1. Estructural.....	2
2. Mecánico.....	2
3. Temperatura .....	2
B. Equipo de protección a utilizar .....	2
VI. GESTIÓN DE CALIDAD.....	2
A. Política integral de gestión .....	3
VII. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DEL ÁREA DE CONDUCTORES .....	3
A. Tipo de asepsia .....	3
B. Áreas donde se realiza la asepsia.....	3
C. Equipos e instalaciones requeridas.....	3
D. Generalidades .....	3
1. Orden de limpieza .....	3
2. Control de puntos críticos .....	4
3. Áreas de limpieza .....	4
E. Procedimiento de limpieza .....	4
1. Previo a la limpieza .....	4
2. Durante la limpieza .....	4
3. Posterior a la limpieza .....	5

## **I. OBJETIVO**

Establecer los lineamientos necesarios para la limpieza en el área de conductores, a través de un ordenamiento lógico y controlado de las actividades.

Obtener la mejora continua a través de la implementación de controles que permitan disminuir el nivel de riesgo microbiológico para Ingenio Concepción y lograr la satisfacción para colaboradores y clientes finales.

## **II. ALCANCE**

Es aplicable a las áreas de conductores en la parte previa a la extracción de jugos, las cuales incluyen mesa, cadenas, conductores, cadenas y túneles.

## **III. DEFINICIONES**

- Actividad microbiológica: toda aquella acción que llevan a cabo los microorganismos para su supervivencia (acciones metabólicas).
- Microorganismo: un microorganismo, también llamado microbio, es un ser vivo que solo puede visualizarse con el microscopio.
- Caña de azúcar: la caña de azúcar es una planta proveniente del sureste asiático con numerosos entrenudos alargados vegetativamente, dulce y jugosos.
- Fibra: producto resultante de la desintegración de la caña (Bagazo).
- Seguridad Industrial: la Seguridad Industrial se ocupa de dar lineamientos generales para el manejo de riesgos en la industria.
- Conductores: área de acondicionamiento de caña previa a la extracción de jugos.
- CM: coeficiente microbiológico (CM) calculado por una metodología analítica el cual está en función del tiempo en que se decolora el medio de cultivo de resazurina.
- Resazurina: medio de cultivo líquido.

## **IV. GENERALIDADES**

Para el cumplimiento de este procedimiento será responsabilidad de los colaboradores y de los supervisores de área, de coordinar y supervisar las actividades que se realizan y el cumplimiento adecuado de las mismas, además de capacitar a otras personas para ejecutarlas, en caso de ausencia de las personas responsables.

## **V. SEGURIDAD INDUSTRIAL**

Por seguridad del trabajo se entiende la “técnica no médica de prevención cuya finalidad se centra en la lucha contra los accidentes de trabajo, evitando y controlando sus consecuencias” (Cortés, 1995).

Es precisamente su objeto, la lucha contra los accidentes de trabajo, el que permite distinguir a la seguridad de otras técnicas no médica de prevención, como la higiene o la ergonomía.

Son dos formas fundamentales de actuación de la seguridad:

- **Prevención:** actúa sobre las causas desencadenadas del accidente.
- **Protección:** actúa sobre los equipos o las personas expuestas al riesgo para aminorar las consecuencias del accidente.

#### **A. Tipo de riesgos expuestos**

**1. Estructural:** Caídas si el trabajo existe en superficies que son resbalosas o contienen pendientes muy elevadas, gradas pequeñas, agujeros expuestos, obstrucciones y pisos que no son estables.

**2. Mecánico:** Choques con equipos en movimiento, rotura de estructuras del equipo y enredamiento o atrapamiento en enganajes o equipos en movimiento.

**3. Temperatura:** Fatiga térmica en ambientes con temperaturas muy elevadas o uso de equipo que limite la disipación del calor, además de quemaduras con equipo y materiales calientes.

#### **B. Equipo de protección a utilizar:**

- Gabacha y mangas de cuero
- Tapones de espuma con cordón con una atenuación de 29dB
- Casco de polietileno de alta densidad con sus elementos
- Guantes
- Lentes de policarbonato transparentes
- Calzado industrial con suela antideslizante
- Pantalones largos.

## **VI. GESTIÓN DE CALIDAD**

Los ingenios Pantaleón, Concepción y Monte Rosa están certificados bajo la norma internacional ISO 9001:2000 y en el 2008, fueron auditados para una nueva re-certificación con la norma ISO 9001:2008, habiendo obtenido resultados satisfactorios y demostrando que mantienen altos niveles de productividad, calidad y servicio en sus operaciones. Al mismo tiempo, en el 2008, la destilería Bio-Etanol, obtuvo su certificación ISO 9001:2008, luego de realizar las respectivas actividades de implementación.

Adicionalmente Pantaleón y Concepción se certificaron en el 2008 con la norma HACCP (Análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos) y en marzo del presente año ratificaron

nuevamente su certificación. Como parte de la mejora del Sistema, se implementó un programa diario de inspecciones de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y HACCP a los procesos de diversas áreas de los ingenios y bodegas externas, lo cual ha venido a fortalecer los programas de Calidad e Inocuidad de los productos.

En el 2009, Pantaleón y Concepción fueron auditados por diversos clientes, entre ellos The Coca Cola Latin America con auditorías del sistema de calidad y responsabilidad social empresarial. El Ingenio Monte Rosa fue auditado en el mismo año por el cliente Kraft Foods con auditorías del sistema de calidad e inocuidad. Los resultados obtenidos para los tres ingenios fueron excelentes, permitiendo posicionar a Grupo Pantaleón como proveedor Premium Mundial y logrando con ellos aperturas en el mercado global.

#### **A. Política Integral de Gestión**

Con un enfoque en procesos, servicios y mejora continua, transformamos los recursos en azúcar, sus derivados y energía de forma responsable y sostenible.

Cumplimos los requisitos legales y regulaciones aplicables con nuestros colaboradores, proveedores y nuestros públicos interesados, con ética, eficacia y eficiencia logrando rentabilidad y excelencia. Siempre fomentaremos la salud y seguridad en el trabajo conservando el medio ambiente. Comunicamos de forma efectiva nuestros compromisos a todas las personas involucradas en la elaboración y comercialización de nuestros productos.

### **VII. LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DEL ÁREA DE CONDUCTORES**

**A. Tipo de Asepsia:** Lavado con agua caliente

**B. Áreas donde se realiza la asepsia:** Conductores de caña

**C. Equipos e instalaciones requerida**

- Tubería para agua
- Cronómetro
- Manguera de hule resistente a la presión y temperatura de operación
- Agua caliente
- Tanque
- Bombas

**D. Generalidades**

**1. Orden de limpieza:** La limpieza debe de realizarse empezando por la parte más alta debajo de los conductores, de esta forma se irá avanzando pendiente abajo hasta llegar a la parte final debajo de los mismos. Luego de que la limpieza se lleve a cabo en estos puntos se avanzará al área debajo de la mesa.

**2. Control de puntos críticos:** El operario encargado del control microbiológico llevará un reconocimiento de puntos de acumulación crítica de fibra y de caña en el área de conductores, de esta forma se le informará a cada operario antes de que inicia la limpieza a que puntos debe de prestarle más atención.

### **3. Áreas de limpieza**

- Estructura de los conductores de caña
- El piso y las paredes de las fosas
- Cadena y duelas de los conductores de caña
- Ejes de los conductores de caña
- Superficie debajo de cadenas en mesa de caña

## **E. Procedimiento de limpieza**

### **1. Previo a la limpieza**

- a. Consultar sobre observaciones en el área con el encargado de control microbiológico.
- b. Colocar señalización de limpieza en el área a intervenir y sus alrededores.
- c. Colocarse equipo de protección personal.
- d. Verificación de estado de temperatura y presión en el agua a un mínimo de 60°C (140°F).

### **2. Durante la limpieza**

- a. Abrir la válvula de la línea de agua entre 60-70°C (140-158°F).
- b. Sujetar la manguera de los extremos.
- c. Dirigirse al lado más alto de los túneles debajo de conductores.
- d. Apuntar la manguera a la estructura de los conductores de caña.
- e. Abrir el paso del agua.
- f. Limpiar de lado a lado hasta dejar libre de fibra.
- g. Apuntar la manguera a cadena y duelas de los conductores de caña.
- h. Limpiar de lado a lado hasta dejar libre de fibra.
- i. Apuntar la manguera a piso y las paredes de las fosas.
- j. Limpiar de lado a lado hasta dejar libre de fibra.
- k. Avanzar y repetir hasta llegar a la parte más baja de los túneles debajo de conductores.

- l. Dirigirse al área debajo de la mesa
- m. Apuntar la manguera de la parte con pendiente más elevada hasta la parte más baja.
- n. Limpiar de lado a lado hasta dejar libre de caña.
- o. Apuntar la manguera a banda conductora.
- p. Limpiar de lado a lado hasta dejar la banda conductora libre de caña.

### **3. Posterior a la limpieza**

- a. Cerrar la válvula de la línea de agua.
- b. Colocar equipo de limpieza en su lugar.
- c. Remover señalización de limpieza.
- d. Quitarse el equipo de protección personal.
- e. Anunciar al encargado y al operario de control microbiológico el fin de la limpieza.
- f. Proceder a la verificación y toma de muestras de las áreas de limpieza.

**ANEXO C: INSTRUCTIVO DE LIMPIEZA PARA EL ÁREA DE CONDUCTORES INGENIO  
MAGDALENA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



**Instructivo para la mejora de procedimiento  
de limpieza en conductores del Ingenio  
Magdalena**

Realizado por:

Luis Enrique Josué Ortiz Ramírez

Guatemala, noviembre de 2013

## ÍNDICE

I. OBJETIVO .....	1
II. SEGURIDAD INDUSTRIAL .....	1
A. Clase de peligros asociados a la tarea .....	1
1. Mecánico.....	1
2. Biológico .....	1
B. Instrucciones y/o equipos de seguridad específicas .....	1
C. Equipo de protección personal (EPP) .....	2
III. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN Y REINTRODUCCIÓN DEL BAGAZO ACUMULADO AL PROCESO.....	2
A. Tándem A .....	3
1. Áreas en la banda.....	3
2. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en la banda .....	3
3. Áreas en el caite .....	4
4. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en el caite .....	4
B. Tándem B .....	5
1. Áreas en la banda.....	5
2. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en la banda .....	5
3. Áreas en el caite .....	6
4. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en el caite .....	7
C. Tándem C.....	7
1. Áreas en la banda.....	7
2. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en la banda .....	8
3. Áreas en el caite .....	8
4. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en el caite .....	9
D. Desecho de bagazo acumulado en estructura.....	10
E. Mantenimiento preventivo de maquinaria .....	11
1. Bomba succionadora en la banda del tándem A.....	11
2. Bomba succionadora en la banda del tándem B.....	12
3. Selladores de la banda .....	13

## **I. OBJETIVO**

El objeto del presente instructivo es estandarizar el procedimiento de recolección y reintroducción del bagazo que se acumula en diferentes áreas en los conductores (caite y banda). Tomando en cuenta factores importantes como mantenimientos preventivos de esas áreas para evitar altas cantidades de bagazo acumulado y reducir la actividad microbiológica del bagazo que se reintroduce al proceso, dándole mayor importancia a las áreas críticas. Así mismo toma en cuenta cada cuanto tiempo debe realizarse este procedimiento, el desecho del bagazo acumulado en la estructura (deteriorado) y el mantenimiento preventivo de bombas succionadoras que pueden acumular agua proveniente de lavado en las áreas donde se acumula el bagazo. Con ello se facilitará la capacitación e inducción a nuevos operarios y así mismo se orientará a su rutina de recolección y reintroducción del bagazo a modo de contribuir para que este ingrese con la menor actividad microbiológica y pueda extraerse de él la mayor cantidad de sacarosa.

## **II. SEGURIDAD INDUSTRIAL**

En la realización de este procedimiento existen diversos riesgos intrínsecos a la operación. El ambiente de trabajo es caluroso lo cual produce fatiga en el operario; el operario transita cerca de maquinaria en movimiento, existiendo riesgo de atrapamiento en zonas convergentes o caída en el interior de los molinos. El operario debe tener conocimiento de los peligros y la obligación de utilizar equipo de protección personal para minimizarlos.

El equipo de protección personal está diseñado para proteger a los empleados en el lugar de trabajo de lesiones o enfermedades serias que puedan resultar del contacto con peligros físicos, químicos, eléctricos, mecánicos u otros.

### **A. Clase de peligros asociados a la tarea**

**1. Mecánico:** Traumatismos por atrapamiento de equipos en movimiento, muerte por atrapamiento de equipos en movimiento, desvanecimientos por lugares encerrados con altas temperaturas y humedad.

**2. Biológico:** Enfermedades cutáneas por exposición a bacterias, traumatismos por exposición a fauna peligrosa.

### **B. Instrucciones y/o equipos de seguridad específicas**

- Utilizar equipo de protección personal.

- Evitar la introducción de extremidades (brazos) en áreas de la banda y caite donde la estructura esté en movimiento, esta limpieza se dejará para cuando haya mantenimiento o el tándem pare.
- Avisar con anterioridad antes de lavados con vapor para evitar el paso de personas durante este.
- Verificar que no se encuentren personas en el área en el momento de hacer el lavado con vapor.
- Ingresar al área de trabajo cuando ya no haya vapor, a modo que el ambiente no ponga en riesgo la situación del trabajador.

### C. Equipo de protección personal (EPP)

- Casco de polietileno de alta densidad.
- Taponos de espuma con cordón con una atenuación de 29dB.
- Botas de hule con punta de acero
- Mascarilla (en áreas donde caiga mucho bagazo, tierra o basura).
- Lentes (en áreas donde caiga mucho bagazo, tierra o basura).

### III. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN Y REINTRODUCCIÓN DEL BAGAZO ACUMULADO AL PROCESO

Según estudios realizados, este procedimiento debe llevarse a cabo en base a que el **bagazo no puede pasar más de dos horas acumulado sin ser reintroducido al proceso.**

**Figura No. 1** Bagazo en áreas de conductores



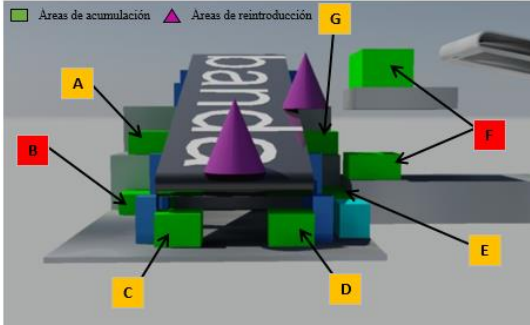
A pesar si el área tiene un flujo de acumulación de bagazo leve, si no se hace este procedimiento por periodos largos de tiempo se dan altas acumulaciones y es mayor la cantidad de bagazo que se contamina debido al contacto con factores que alteran la actividad microbiológica en el mismo. No importa la cantidad que se tenga que recoger, este procedimiento debe realizarse según lo establecido, cada 2 horas.

En el momento de realizar el procedimiento de recolección y reintroducción del bagazo a al proceso, el trabajador debe darle mayor prioridad a las áreas críticas. De no hacerlo se puede acumular grandes cantidades de bagazo y/o la contaminación del mismo puede aumentar significativamente.

## A. Tándem A

### 1. Áreas en la banda

**Tabla No. 1.** Diseño de la banda de conductores en el Tándem A del Ingenio Magdalena

Diseño de la banda	Áreas de acumulación y su grado de importancia.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Costado izquierdo superior, importante.</li> <li>B. Costado izquierdo inferior, crítico.</li> <li>C. Costado izquierdo cola, importante.</li> <li>D. Costado derecho cola, importante.</li> <li>E. Costado derecho, importante.</li> <li>F. Terraza, crítico.</li> <li>G. Costado derecho superior, importante.</li> </ul>

### 2. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en la banda

Las siguientes Figuras muestran la manera que debe realizarse el proceso, tomando en cuenta:

- ➔ Rutas de recolección del bagazo.
- ➔ Rutas de reintroducción del bagazo.

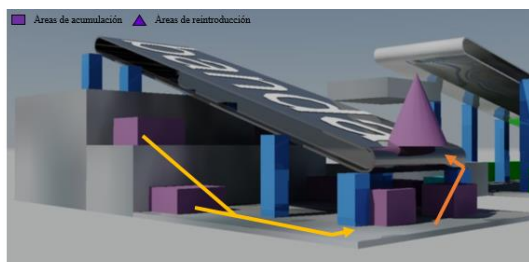
**Tabla No. 2.** Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo a la banda del Tándem A del Ingenio Magdalena

#### Diseño de áreas y rutas

#### Descripción

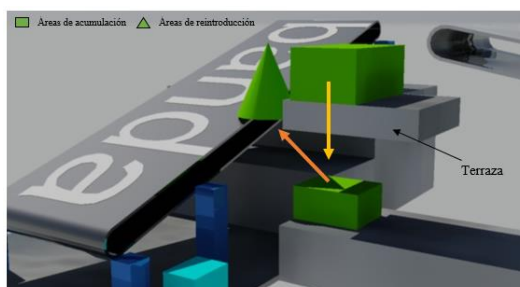
El bagazo que se acumula en los costados

### Diseño de áreas y rutas



### Descripción

de la banda deberá transportarse mediante el uso de palas, paletas y escobones hacia la cola de la banda. Este bagazo sumado al que se encuentra a los costados de la cola debe palearse para su introducción a la banda.



El bagazo que se acumula en la terraza deberá botarse mediante el uso de rastrillo o escobones a modo de acumularlo debajo de la terraza, para luego palearlo a modo de introducirlo en la compuerta lateral de la banda.

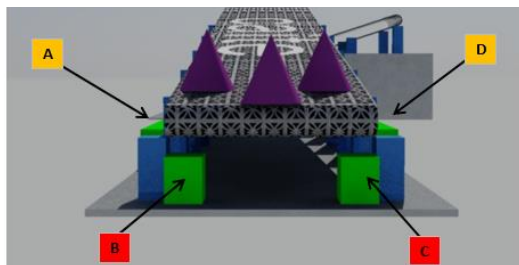
### 3. Áreas en el caite

**Tabla No. 3.** Diseño del caite del Tándem A del Ingenio Magdalena

#### Diseño del caite

#### Áreas de acumulación y su grado de importancia.

- A. Costado izquierdo, importante.
- B. Costado izquierdo cola, crítico.
- C. Costado derecho cola, crítico.
- D. Costado derecho, importante.



#### 4. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en el caite

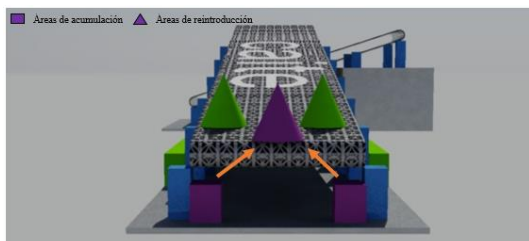
Las siguientes Figuras muestran la manera que debe realizarse el proceso, tomando en cuenta:

- Rutas de recolección del bagazo.
- Rutas de reintroducción del bagazo.

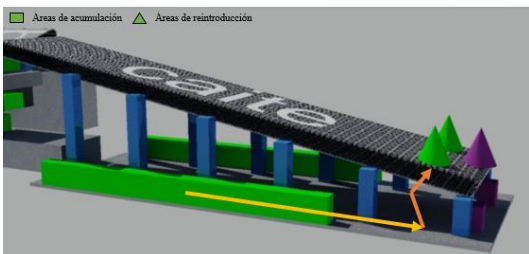
**Tabla No. 4.** Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo al caite del Tándem A del Ingenio Magdalena

##### Diseño de áreas y rutas

##### Descripción



El bagazo que se acumula en los laterales de la cola del caite debe ser paleado para introducirlo en el caite.

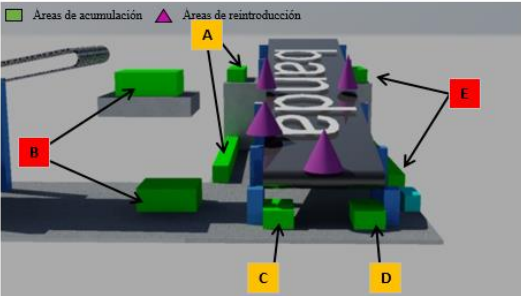


El bagazo que se acumula en los costados de la cola deberá ser transportado mediante botes al costado de la cola. Una vez allí, sumado a lo que se acumula en ese lugar deberá ser paleado hacia la cola del caite. El mismo procedimiento se realiza en el otro costado.

## B. Tándem B

### 1. Áreas en la banda

**Tabla No. 5.** Diseño de la banda de conductores en el Tándem B del Ingenio Magdalena

Diseño de la banda	Áreas de acumulación y su grado de importancia.
 <p>El diagrama muestra una banda transportadora con varias plataformas y rampas. Se han marcado cinco áreas clave: A (un triángulo púrpura en la parte superior), B (un cuadrado rojo en el lado izquierdo), C (un cuadrado amarillo en la parte inferior izquierda), D (un cuadrado amarillo en la parte inferior derecha) y E (un cuadrado rojo en el lado derecho). Una leyenda indica que los triángulos púrpura representan 'Áreas de reintroducción' y los cuadrados verdes representan 'Áreas de acumulación'.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Costado izquierdo, importante.</li> <li>B. Terraza, crítico.</li> <li>C. Costado izquierdo cola, importante.</li> <li>D. Costado derecho cola, importante.</li> <li>E. Costado derecho, crítico.</li> </ul>

### 2. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en la banda

Las siguientes Figuras muestran la manera que debe realizarse el proceso, tomando en cuenta:

- ➔ Rutas de recolección del bagazo.
- ➔ Rutas de reintroducción del bagazo.

**Tabla No. 6.** Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo a la banda del Tándem B del Ingenio Magdalena

#### Diseño de áreas y rutas

#### Descripción

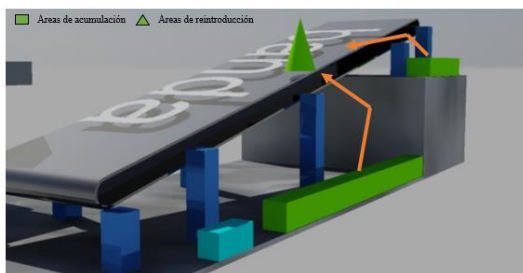
El bagazo que se acumula en los laterales de la cola de debe palearse a modo de introducirlo en la banda.

## Diseño de áreas y rutas

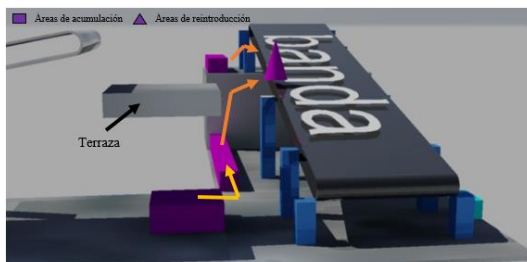


## Descripción

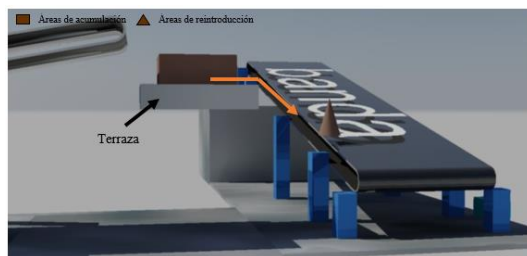
El bagazo que se acumula en el costado derecho de la banda deberá palearse a modo de que sin transportarlo pueda introducirse en a la banda por ese mismo lado.



El bagazo que se acumula en el costado izquierdo de la banda deberá introducirse a esta por ese mismo lado, mediante paleo. El bagazo que se acumula en el área debajo de la terraza debe transportarse mediante el uso de carretas para su posterior introducción a la banda por el lado izquierdo.



El bagazo que se acumula en la terraza debe ser introducido a la banda por ese mismo lado mediante el uso de botes y/ palas.

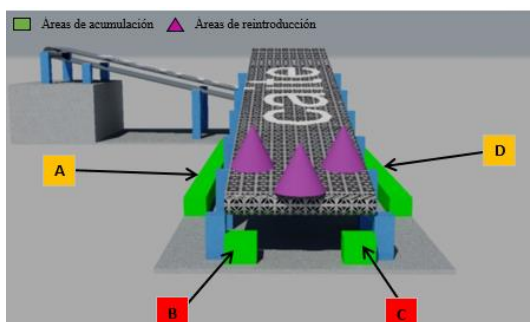


### 3. Áreas en el caite

**Tabla No. 7.** Diseño del caite del Tándem B del Ingenio Magdalena

**Diseño del caite**

**Áreas de acumulación y su grado de importancia.**



- A. Costado izquierdo, importante.
- B. Costado izquierdo cola, crítico.
- C. Costado derecho cola, crítico.
- D. Costado derecho, importante.

### 4. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en el caite

Las siguientes Figuras muestran la manera que debe realizarse el proceso, tomando en cuenta:

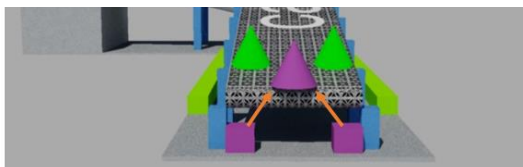
- Rutas de recolección del bagazo.
- Rutas de reintroducción del bagazo.

**Tabla No. 8.** Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo al caite del Tándem B del Ingenio Magdalena

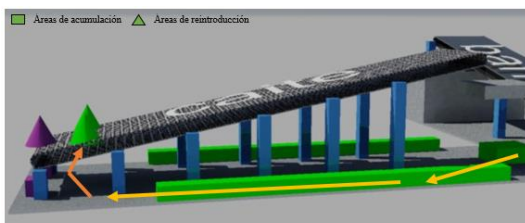
**Diseño de áreas y rutas**

**Descripción**

El bagazo que se acumula en los laterales de la cola del caite debe palearse a modo de introducirlo en el caite.



El bagazo que se acumula en los costados de la cola deberá ser transportado mediante carretas al costado de la cola. Una vez allí, sumado a lo que se acumula en ese lugar deberá ser paleado hacia la cola como se muestra en la imagen. El mismo procedimiento se realiza en el otro costado.



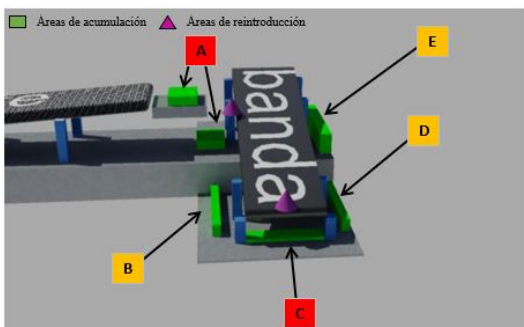
## C. Tándem C

### 1. Áreas en la banda

**Tabla No. 9.** Diseño de la banda de conductores en el Tándem C del Ingenio Magdalena

**Diseño de la banda**

**Áreas de acumulación y su grado de importancia.**



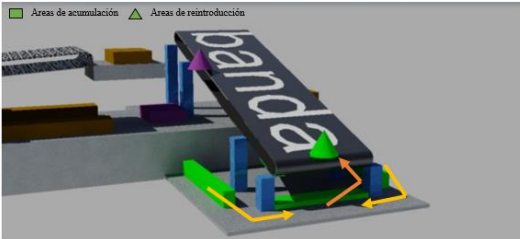
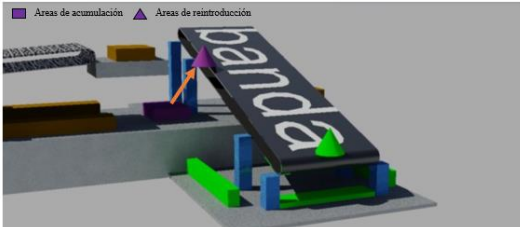
- A. Terraza, crítico.
- B. Costado izquierdo, importante.
- C. Cola, crítico.
- D. Costado derecho, importante.
- E. Costados superiores, importante.

## 2. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en la banda

Las siguientes Figuras muestran la manera que debe realizarse el proceso, tomando en cuenta:

- ➔ Rutas de recolección del bagazo.
- ➔ Rutas de reintroducción del bagazo.

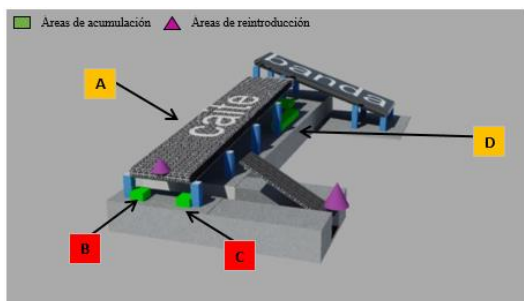
**Tabla No. 10.** Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo a la banda del Tándem C del Ingenio Magdalena

Diseño de áreas y rutas	Descripción
 <p>Este diagrama muestra un sistema de banda transportadora con una banda negra que tiene el texto 'banda' escrito en ella. Hay una zona de acumulación de bagazo (representada por un rectángulo verde) a la izquierda de la banda y una zona de reintroducción (representada por un triángulo verde) a la derecha. Se ven flechas amarillas que indican las rutas de recolección y flechas naranjas que indican las rutas de reintroducción.</p>	<p>El bagazo que se acumula en los costados de la banda deberá transportarse mediante el uso de palas, paletas y escobones hacia la cola de la banda. Este bagazo sumado al que se encuentra ya en la cola debe palearse para su introducción a la banda.</p>
 <p>Este diagrama muestra un sistema de banda transportadora similar al anterior, pero con una zona de acumulación de bagazo (representada por un rectángulo morado) debajo de la terraza y una zona de reintroducción (representada por un triángulo morado) a la izquierda de la banda. Se ven flechas amarillas que indican las rutas de recolección y flechas naranjas que indican las rutas de reintroducción.</p>	<p>El bagazo que se acumula en pequeñas cantidades debajo de la terraza debe introducirse en la compuerta de la banda, de ese mismo lado. Este procedimiento debe hacerse con una cantidad pequeña de bagazo ya que de lo contrario puede trabarse la banda.</p>

## 3. Áreas en el caite

**Tabla No. 11.** Diseño del caite del Tándem C del Ingenio Magdalena

Diseño del caite	Áreas de acumulación y su grado de importancia.
------------------	---



- A. Costado izquierdo, importante.
- B. Costado izquierdo cola, crítico.
- C. Costado derecho cola, crítico.
- D. Costado derecho, importante.

#### 4. Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo en la banda

Las siguientes Figuras muestran la manera que debe realizarse el proceso, tomando en cuenta:

- ➔ Rutas de recolección del bagazo.
- ➔ Rutas de reintroducción del bagazo.

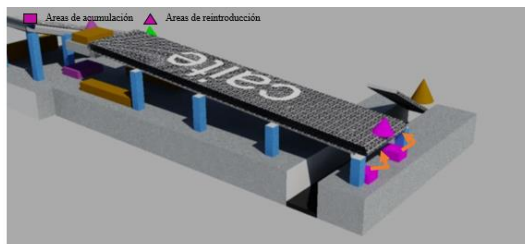
**Tabla No. 12.** Método estandarizado de recolección y reintroducción de bagazo al caite del Tándem A del Ingenio Magdalena

#### Diseño de áreas y rutas

#### Descripción

El bagazo que se acumula en el área superior de la banda debe palearse y trasladarse en carretas hasta la banda que lleva caña barrida para introducirlo allí. De la misma manera, el bagazo acumulado en los costados de la terraza.

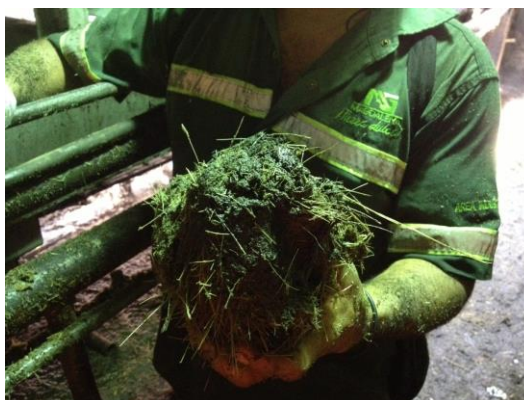
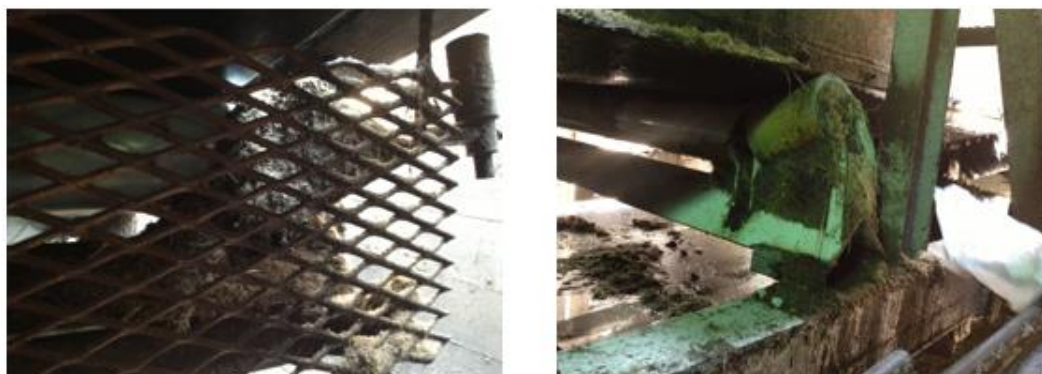




El bagazo que se acumula en los laterales de la cola del caite deberá ser paleado a modo de introducirlo en el caite.

#### D. Desecho de bagazo acumulado en estructura

Figura No. 2 Bagazo acumulado en la estructura del área de conductores



El bagazo en queda atrapado en la estructura de los conductores. Por cuestiones de seguridad para el trabajador no es recomendable que este lo recoja cuando el tándem está en funcionamiento. Este bagazo debe ser recogido cuando se hagan mantenimientos en el tándem y este pare. Cabe resaltar que este bagazo normalmente se encuentra bastante deteriorado, sus propiedades son del todo malas en el sentido que la cantidad de sacarosa en él es muy pequeña, mientras su actividad microbiológica es elevada así como su dextrana. Su reintroducción al proceso provoca el riesgo de contaminar el bagazo en buenas condiciones. Es por ello que **este bagazo no debe ser reintroducido en el proceso, debe ser desechado.**

## E. Mantenimiento preventivo de maquinaria

### 1. Bomba succionadora en la banda del Tándem A

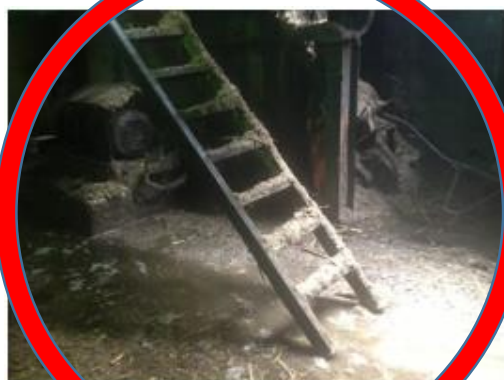
**Figura No. 3** Nivel de bagazo acumulado adecuado y no adecuado en el área de la bomba succionadora del Tándem A



Debe realizarse mantenimientos preventivos a la bomba succionadora en la banda del tándem A. Mediante estos se logra mantener el área con la mínima acumulación de agua y tener el tiempo necesario para recoger el bagazo en su adecuado tiempo para que la acumulación de este sea la menor posible. El hecho de hacer mantenimientos correctivos de la misma puede acarrear mayor cantidad de agua acumulada, y pérdidas de tiempo en la recolección por lo que el bagazo se acumula en mayor cantidad, causando que este se contamine y que el trabajo del operario se complique significativamente.

## 2. Bomba succionadora en la banda del tándem B

**Figura No. 4** Nivel de bagazo acumulado adecuado y no adecuado en el área de la bomba succionadora del Tándem B



Debe realizarse mantenimientos preventivos a la bomba succionadora en la banda del tándem A. Mediante estos se logra mantener el área con la mínima acumulación de agua y tener el tiempo necesario para recoger el bagazo en su adecuado tiempo para que la acumulación de este sea la menor posible. El hecho de hacer mantenimientos correctivos de la misma puede acarrear mayor cantidad de agua acumulada, y pérdidas de tiempo en la recolección por lo que el bagazo se acumula en mayor cantidad, causando que este se contamine y que el trabajo del operario se complique significativamente.

### 3. Selladores de la banda

**Figura No. 5** Nivel de bagazo acumulado adecuado y no adecuado en el área de los selladores de la banda del Tándem B



Fallas en el mantenimiento de los selladores provocan que el bagazo se salga del proceso y se vaya acumulando en cantidades que pueden llegar a ser totalmente significativas. Ello dificulta el proceso de recolección y reintroducción, así como aumenta la probabilidad que el bagazo se contamine. Debe realizarse un mantenimiento preventivo de dichos selladores para que la acumulación de bagazo sea bastante leve y facilite su recolección y reduzca la cantidad de bagazo que puede contaminarse.

**ANEXO D: INSTRUCTIVO DE ASEPSIA DE MOLINOS INGENIO PANTALEÓN**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



**Instructivo para la mejora de procedimiento  
de limpieza en molinos del Ingenio Pantaleón**

Realizado por:

Carlos Boanerges López Guízar

Guatemala, noviembre de 2013

## ÍNDICE

I. OBJETIVO .....	1
II. TERMINOLOGÍA .....	1
III. SEGURIDAD INDUSTRIAL .....	1
A. Clase de peligros asociados a la tarea .....	1
1. Mecánico.....	1
2. Biológico .....	1
B. Equipo de protección personal (EPP) .....	1
IV. RESPONSABLES .....	2
V. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ASEPSIA DE MOLINOS .....	2
VI. CONTENIDO .....	3
A. Preparación antes de comenzar la asepsia .....	3
B. Asepsia de molinos .....	3
1. Asepsia del segundo nivel del tándem A y/o tándem B .....	3
2. Asepsia del primer nivel del tándem A y/o tándem B .....	4
C. Finalización de la asepsia .....	5
D. Verificación y Control de la asepsia .....	5
VI. ANEXOS .....	6
A. Hoja de verificación de requisitos para la asepsia de molinos.....	6
B. Ilustraciones.....	7

## I. OBJETIVO

La aplicación de este procedimiento asegura que la asepsia realizada para los molinos del área de tándem sea la adecuada, con el fin de controlar la actividad microbiológica en molinos, y se cumplan con estándares de calidad propuestos por el área de extracción.

## II. TERMINOLOGÍA

- Actividad microbiológica: se refiere a la presencia, desarrollo y proliferación de microorganismos.
- Molino interno: sección de cada molino que tiene contacto directo con el bagazo o jugo de caña.
- Molino externo: sección del molino que no tiene contacto directo con el bagazo y jugo de caña.
- Piso: se refiere a la superficie inferior del tándem y que no tiene contacto directo con el bagazo o jugo de caña, es decir, no incide en la actividad microbiológica de la caña durante el proceso de extracción.
- Material acumulado: se refiere a todos aquellos restos derivados del proceso de producción que pudieron haberse acumulado en ciertas áreas del molino.
- Contenedor de manguera: se entiende como los aparatos instalados en cada tándem, el cual tiene como fin resguardar las mangueras.
- Boquilla de manguera: es la pieza de metal instalada en el extremo de la manguera que permite la salida del agua en cierta dirección y el tipo de chorro que saldrá de la manguera.

## III. SEGURIDAD INDUSTRIAL

### A. Riesgos asociados a la tarea

**1. Mecánico:** Traumatismos por atrapamiento de equipos en movimiento, muerte por atrapamiento de equipos en movimiento, traumatismos por caída por piso resbaloso, quemaduras por contacto con agua caliente, traumatismos por rotura de manguera.

**2. Biológico:** Enfermedades cutáneas por explosión por exposición, traumatismos por exposición a fauna peligrosa.

### B. Equipo de protección personal (EPP)

- Gabacha y mangas de cuero
- Tapones de oído con atenuación de 29 dB
- Casco de polietileno de alta densidad
- Botas de punta de acero con suela antideslizante
- Guantes de cuero
- Lentes de policarbonato transparentes

#### **IV. RESPONSABLES**

- Operario de asepsia 1
- Operario de asepsia 2
- Supervisor de extracción PSA
- Operario de control operativo microbiológico

#### **V. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ASEPSIA DE MOLINOS**

La asepsia de molinos tiene como objeto el control de la actividad microbiológica en el proceso de extracción de jugo, específicamente en el área de tándem y los molinos. La misma debe realizarse en los molinos de ambos tándem cada 2 horas (4 horas durante el turno), y la llevará a cabo el Operario de asepsia 1 y Operario de asepsia 2 en cada tándem. La asepsia deberá comenzar en el segundo nivel del molino, siempre comenzado por el molino 6. Cada operario de asepsia es el encargado de un solo lado del tándem. El Operario de asepsia 1 deberá comenzar la asepsia y al llegar al cuarto molino, deberá comenzar el Operario de asepsia 2 del otro lado del molino, manteniendo esta distancia de dos molinos a lo largo de toda la asepsia con el fin de evitar riesgos por quemadura.

Luego de terminar con el segundo nivel o parte superior del molino, los operarios de asepsia deben continuar, en el mismo orden y distancia entre sí, con el primer nivel del tándem o parte inferior.

Durante toda la asepsia debe ponerse especial atención y dedicarle mayor tiempo de limpieza al molino interno, siendo la sección del molino que tiene contacto directo con el bagazo y jugo de la caña. En un molino deberá limpiarse primero el molino externo, luego el molino interno y por último el piso. Este instructivo aplica también para asepsia de molinos antes de mantenimiento programado.

Como molino externo se entiende: ejes de mazas de molinos, exterior de los chutes de alimentación, parte externa de vírgenes, puentes que permiten el paso de un lado del molino hacia el otro y la estructura externa del molino en general. Como molino interno se entiende: mazas, conductores intermedios, rastras de bagazo, canales de salida de jugo, parte interna de vírgenes y toda la estructura del molino que tiene contacto directo con el bagazo y jugo. Como piso se entiende: toda la superficie inferior en el área de tándem por donde transitan operarios y demás personal.

## VI. CONTENIDO

Las indicaciones mencionadas a continuación aplican al tándem A y tándem B.

### A. Preparación antes de comenzar la asepsia

El Operario de asepsia 1 y/o Operario de asepsia 2 debe:

**1.** Colocarse el equipo de protección personal (EPP):

- Gabacha y mangas de cuero
- Tapones de oído con atenuación de 29 dB
- Casco de polietileno de alta densidad
- Botas de punta de acero con suela antideslizante
- Guantes de cuero
- Lentes de policarbonato transparentes

**2.** Verificar que el área esté despejada.

**3.** Instalar señales de seguridad (Ilustración 5, anexo B) para evitar el paso de personas por el área de molinos durante la asepsia para evitar quemaduras.

**4.** Verificar el estado de las mangueras, si encuentra una fuga de agua o cualquier otra falla deberá notificarlo al **Supervisor de extracción PSA**.

**5.** Consultar al **Operario de control operativo microbiológico** y/o el tablero de indicador de puntos críticos del tándem (Ilustración 6, anexo B), para tenerlos en especial consideración durante la asepsia.

**6.** Verificar que el agua de las mangueras tenga una temperatura mínima de 60 °C (176°F) y a una presión mínima de 1.034 kPa (150 psi).

**7.** Completar la Hoja de Verificación de requisitos para la asepsia de molinos (Anexo A).

**8.** Entregar al **Supervisor de extracción PSA** la Hoja de Verificación de requisitos para la asepsia de molinos, quien debe firmar y autorizar el comienzo de la asepsia.

**Nota 1:** Se deberá verificar los aspectos considerados en el punto 5.1.6 cuando se cuente con el equipo necesario para realizar las mediciones. En caso no se cuente con el equipo, el **Operario de asepsia** podrá continuar con el punto 5.1.6.

**Nota 2:** La asepsia no podrá comenzar sin antes haber cumplido con los requisitos especificados en los puntos del 5.1.1 al 5.1.8

### B. Asepsia de molinos

**1. Asepsia del segundo nivel del tándem A y/o tándem B**

El **Operario de asepsia 1** y/o **Operario de asepsia 2** debe:

- a. Desenrollar la manguera que va a utilizar.

- b. Sujetar la manguera por la boquilla, es decir, el extremo por el cual sale el agua.
- c. Abrir la válvula de paso de agua a la manguera y dirigirse al molino.
- d. Limpiar el lado del molino asignado por el **Supervisor de extracción PSA** según lo descrito en el punto 5.
- e. Limpiar el molino externo, dirigiendo el chorro en sentido de arriba hacia abajo.
- f. Limpiar el molino interno, removiendo el material acumulado en las mazas, canales de salida de jugo y conductores intermedios de molinos, en sentido de arriba hacia abajo.
- g. Limpiar el piso dirigiendo el chorro del centro del molino hacia afuera, para evitar que el material removido ingrese en el molino interno o ensucie el molino externo.
- h. Completar estos lineamientos en todos los molinos.

**Nota 1:** Las ilustraciones de las secciones para limpiar según los puntos 6.2.5, 6.2.6 y 6.2.7 se encuentra en el Anexo B.

**Nota 2:** El equipo de protección personal no deberá ser removido por el **Operario de asepsia 1** y/o **Operario de asepsia 2** bajo ninguna circunstancia durante la asepsia de molinos.

**Nota 3:** Cualquier otro punto o área no mencionada anteriormente pero que requiera de asepsia, deberá ser limpiado por el **Operario de asepsia 1** y/o **Operario de asepsia 2**.

**Nota 4:** Para el caso de mantenimiento programado, este inciso no se realizará.

## **2. Asepsia del primer nivel del tándem A y/o tándem B**

El Operario de asepsia 1 y/o Operario de asepsia 2 debe:

- a. Proceder según los lineamientos establecidos del punto 6.2.1.1 al 6.2.1.8.
- b. Abrir la válvula para la limpieza de las duelas de la rastra de bagacillo de manera que una duela de referencia pase dos veces por la limpieza de vapor.
- c. Limpiar con el chorro de la manguera las duelas.
- d. Cerrar la válvula para la limpieza de duelas de la rastra de bagacillo.

**Nota 1:** El equipo de protección personal no deberá ser removido por el **Operario de asepsia 1** y/o **Operario de asepsia 2** bajo ninguna circunstancia durante la asepsia de molinos.

**Nota 2:** Cualquier otro punto o área no mencionada anteriormente pero que requiera de asepsia, deberá ser limpiado por el **Operario de asepsia 1** y/o **Operario de asepsia 2**.

### C. Finalización de la asepsia

El **Operario de asepsia 1** y/o **Operario de asepsia 2**, al finalizar la asepsia de los molinos, debe:

1. Sujetar la manguera por la boquilla y desplazarse al punto donde se encuentra la válvula de paso de agua.
2. Cerrar la válvula de paso de agua.
3. Enrollar la manguera en el contenedor de manguera hasta el punto que la misma no tenga contacto con el piso.
4. Remover las señales de seguridad instaladas antes de comenzar la asepsia.
5. Notificar verbalmente al **Supervisor de extracción PSA** y al **Operario de Control operativo microbiológico** de la finalización de la asepsia.
6. Quitarse el equipo de protección personal y guardarlo en un lugar adecuado.

### D. Verificación y control de la asepsia

El **Supervisor de extracción PSA**, al finalizar la asepsia, debe:


1. Verificar que la asepsia se haya realizado efectivamente.
2. Llenar el registro para el control de asepsia de molinos 2-EJ-R003

El **Operario de control operativo microbiológico**, a los 10 minutos de terminada la asepsia debe:

3. Tomar la muestra para evaluar la efectividad de la asepsia del tándem.

## VII. ANEXOS

## A. Anexo A: Hoja de verificación de requisitos para la asepsia de molinos

 <b>PANTALEÓN</b> Pantaleón, S.A	<b>Hoja de Verificación de requisitos para la asepsia de molinos</b>	
	Elaborado por: Carlos Boanerges López Guízar	Fecha de elaboración: 04/09/2013

## VERIFICACIÓN DE REQUISITOS ZAFRA 2013-2014

Fecha: \_\_/\_\_/\_\_

Día de zafra: \_\_\_\_\_

Tándem: \_\_\_\_\_

Turno: \_\_\_\_\_

Limpieza número: \_\_\_\_\_

Marcar con una X el campo que corresponda.

No.	Equipo de protección personal (EPP)	Cumple	No cumple	Observaciones
1	Gabacha y mangas de cuero			
2	Tapones de oído con atenuación de 29 dB			
3	Casco de polietileno de alta densidad			
4	Botas de punta de acero con suela antideslizante			
5	Guantes de cuero			
6	Lentes de policarbonato transparentes			
7	Ropa adecuada para la tarea (no holgada)			

No.	Aspectos de seguridad	Cumple	No cumple	Observaciones
8	Área despejada			
9	Señales de seguridad instaladas			
10	Estado de mangueras apto para funcionamiento			
11	Temperatura del agua mínima de 60 °C (176°F)			

12	Presión mínima de 1.034 kPa (150 psi)			
Operario de asepsia: _____ Supervisor: _____				

## B. Anexo B: Ilustraciones

Figura 1: partes del molino externo (ejemplos)

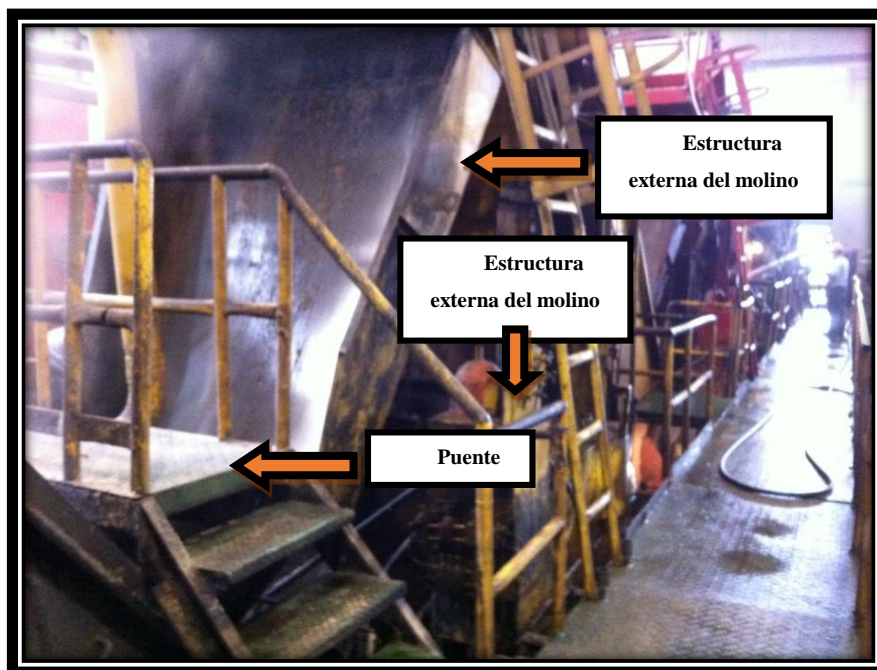


Figura 2: partes del molino interno (ejemplos)

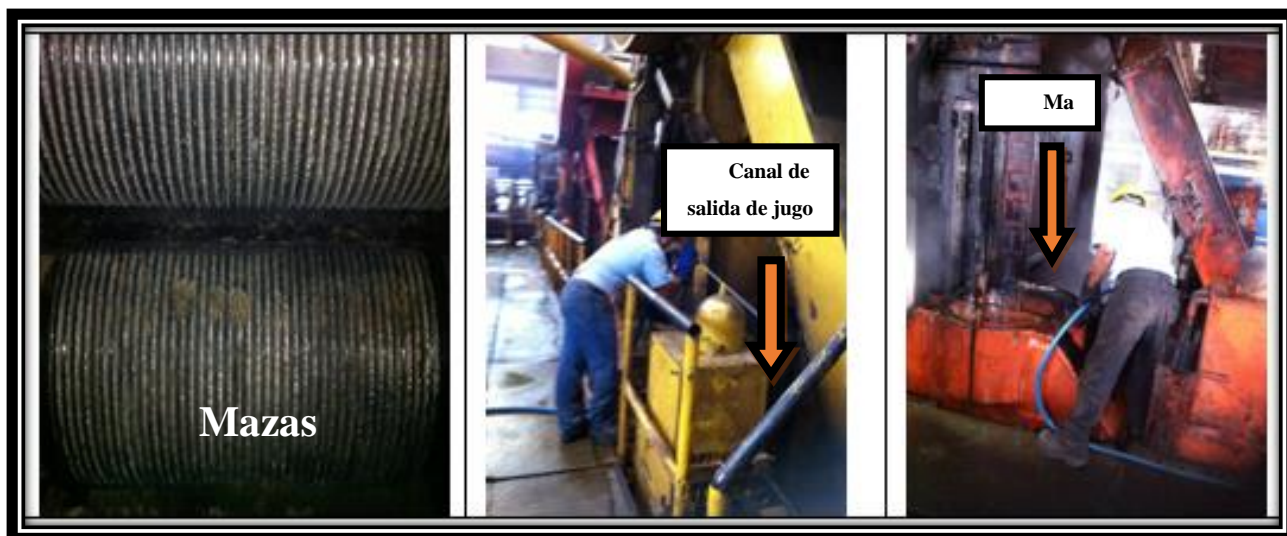
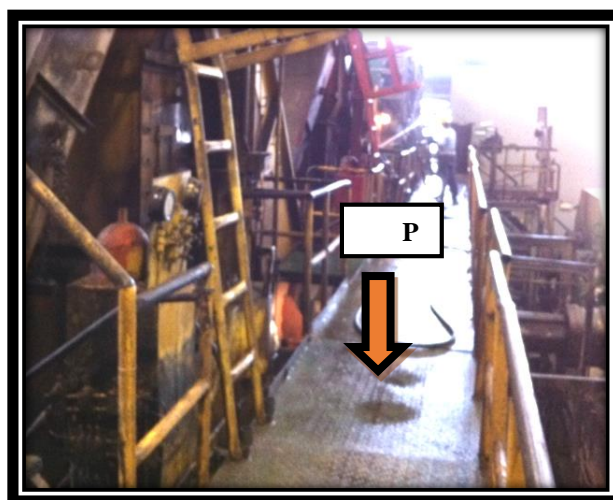


Figura 3: Piso en el segundo nivel del tándem



**ANEXO E: INSTRUCTIVO DE ASEPSIA DE MOLINOS INGENIO CONCEPCIÓN**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



**Instructivo para la mejora de procedimiento  
de limpieza en molinos del Ingenio Concepción**

Realizado por:

Julio Enrique Morfin Aja

Guatemala, noviembre de 2013

## ÍNDICE

I. OBJETIVO .....	1
II. ALCANCE .....	1
III. TERMINOLOGÍA .....	1
IV. RESPONSABLES .....	2
V. CONTENIDO .....	2
A. Verificación del semáforo de limpieza .....	3
B. Medidas de seguridad .....	3
C. Preparación del equipo de limpieza .....	5
D. Consideraciones previas a la limpieza del área de extracción/molinos .....	5
E. Asepsia del área de extracción molinos, parte superior del tándem: lado A .....	3
F. Asepsia del área de extracción/molinos, parte superior del tándem: lado B .....	3
G. Cambio de operarios y preparación para el turno .....	5
H. Limpieza de la base de los molinos: lado A .....	5
I. Limpieza de la base de los molinos: lado B .....	5

## I. OBJETIVO

Por medio de la aplicación de este procedimiento se asegura el cumplimiento correcto y eficiente de la asepsia del área de molinos y se asegura que se lleve a cabo de manera segura abarcando la totalidad del área de extracción.

## II. ALCANCE

Este procedimiento aplica a todos los operarios de asepsia de los molinos y supervisores de asepsia.

## III. TERMINOLOGÍA

- Actividad microbiológica: se refiere a la presencia, desarrollo y proliferación de microorganismos.
- Material riesgoso: todo material ajeno al proceso de producción, que pueda contaminar y afectar directamente al producto final.
- Bagazo: se entiende como la forma de salida de la caña después de pasar por el proceso de molienda y trituración y ya ha perdido su jugo.
- Bagacillo: se refiere a aquel bagazo que ya no es útil para el proceso de extracción y ha quedado acumulado en ciertas áreas del molino.
- Materia acumulada: se refiere a todos aquellos restos derivados del proceso de producción que pudieron haberse acumulado en ciertas áreas del molino y puedan afectar la asepsia de los molinos.
- Cadena del molino: para este procedimiento se entiende como la cadena ubicada en la parte trasera del molino, que forma parte del conductor que transporta la caña
- Cojinete: se refiere al cilindro metálico giratorio del molino donde se produce la extracción por medio de trituración.
- Masa auxiliar: se refiere al cilindro metálico de menor tamaño que en conjunto con el cojinete llevan a cabo la extracción por medio de trituración.
- Bagacera: para este procedimiento se refiere a la sección del molino por donde sale el bagazo para dirigirse a otro molino.
- Base: se entiende como aquellas partes inferiores del molino sobre las que se sostiene la estructura de la máquina.
- Rastra de cush-cush: sección inferior del molino por donde se transporta bagacillo y jugo diluido.
- Jugo primario: se refiere al producto derivado de la primera extracción por el primer molino

- Llave de agua: es aquel extremo de tubería por el cual se puede conectar una manguera y por la cual se transportará agua.
- Fibra: se refiere al resultado del producto de la primera trituración de la caña, que entra a la bandeja.
- Jugo diluido: se refiere al jugo contenido en los tanques situados en la parte inferior de los molinos, donde se juntan los jugos de dos molinos.
- Rebozo: se refiere al jugo de caña que es conducido por canales en la parte inferior del tanque y llega a juntarse en tanques más pequeños.

#### IV. RESPONSABLES

- Supervisor de asepsia del tándem
- Operario de asepsia del tándem
- Operario de asepsia del tándem2
- Supervisor de seguridad industrial

#### V. CONTENIDO

##### A. Verificación del semáforo de limpieza

1. Previo a comenzar la limpieza el **Supervisor de asepsia**, el **Operario de asepsia del tándem** y el **Operario de asepsia del tándem 2** deberán verificar en el semáforo de limpieza si existe algún punto “rojo” en algún área específica del tándem en donde a lo largo de la limpieza deberán poner especial atención y minuciosidad para controlar la actividad microbiológica que exista en esta parte del tándem. Si existe se procederá según el Procedimiento para el semáforo de limpieza (PR-SE-00-001)

##### B. Medidas de seguridad

El **Supervisor de asepsia** en conjunto con el **Supervisor de seguridad industrial** debe velar por la integridad física del **Operario de asepsia del tándem**. Por lo que deben siempre exigir e incentivar al personal a portar el equipo de seguridad industrial siempre que se lleve a cabo el proceso de asepsia del tándem.

El **Operario de asepsia del tándem** antes de comenzar el procedimiento de limpieza de los molinos debe portar:

- Casco
- Botas de hule
- Pantalón de lona

- Guantes
- Careta protectora
- Gabacha térmica

**Nota:** El **Supervisor de asepsia** y el **Supervisor de seguridad industrial** facilitarán el equipo y capacitarán sobre la importancia de su uso, sin embargo la obligación y responsabilidad final de portar el equipo es del **Operario de asepsia del tándem**.

### **C. Preparación del equipo de limpieza**

1. Después que el **Operario de asepsia del tándem** se haya colocado el equipo de seguridad industrial deberá verificar que la temperatura del agua este entre los 70°C y 80°C y que el barómetro marque una presión de 80 psi.

2. Al terminar de verificar los aspectos técnicos del agua y la manguera, el **Operario de asepsia del tándem**, deberá instalar la manguera en la llave de agua ubicada en el segundo nivel del molino uno.

3. Antes de accionar la manguera o encender cualquier llave el **Operario de asepsia del tándem**, deberá colocar en los corredores que conduzcan hacia los molinos y por cualquier vía que conduzca a hacia el área de extracción y una distancia que el **Supervisor de seguridad industrial**, apruebe como apropiada, "rótulos de precaución". Con la finalidad de advertir a los demás colaboradores de la limpieza y evitar que atraviesen el área donde se estará llevando a cabo la asepsia y corran el riesgo de ser afectados por el agua caliente.

**Nota:** El **Operario de asepsia del tándem** es responsable de colocar los rótulos, y el **Supervisor de seguridad industrial** de verificar que se coloquen a distancias prudentes y en lugares visibles. Sin embargo cada colaborador es responsable de su integridad física y debe atenerse a las consecuencias de no acatar las normas de seguridad industrial del ingenio.

4. Al haber finalizado de instalar los rótulos de precaución, Operario de Asepsia del Tándem, deberá informar al **Supervisor de asepsia**, que procederá a realizar la limpieza para que este junto con el **Supervisor de seguridad industrial**, puedan verificar que ningún otro colaborador se acerque a tomar muestras o alguna otra actividad mientras el **Operario de asepsia del tándem**, se ocupa de la limpieza de los molinos.

### **D. Consideraciones previas a la limpieza del área de extracción/molinos.**

1. El **Operario de asepsia del tándem**, debe situarse en la parte superior del molino 1 al lado de la llave de agua donde conecto la manguera. Antes de comenzar la limpieza, dirigirá el

flujo de agua hacia el jugo primario, para verificar que el caudal del agua, la presión y la temperatura sean las correctas.

**Nota:** La verificación del caudal, presión y temperatura del agua de la manguera quedan a criterio propio del **Operario de asepsia del tándem**, si este considera que no se cumple alguno de los aspectos, procederá a repetir el punto 5.2.

**2.** Durante la limpieza el **Operario de asepsia del tándem** deberá considerar siempre los siguientes aspectos:

- La limpieza siempre debe hacerse de arriba hacia abajo
- Se limpiará siempre la totalidad de la parte superior de los molinos y luego la inferior
- Siempre prestar atención a material riesgoso o agentes externos a la producción.

**3.** Durante la limpieza el **Operario de asepsia del tándem**, nunca por ningún motivo faltará a los siguientes puntos:

- Retirar cualquiera de su persona cualquier parte del equipo de seguridad industrial.
- Dirigir el flujo de agua de la manguera en otra dirección que no sea la designada por el procedimiento.
- Retrasar la limpieza perdiendo el tiempo durante la misma.
- Desperdiciar el agua en actividades que no se relacionen con la asepsia.

#### **E. Asepsia del área de extracción/molinos, parte superior del tándem: lado A**

**1.** El **Operario de asepsia del tándem** comenzará el proceso por la parte superior del molino 1, desde aquí comenzará a remover todos los residuos de caña, fibra y material riesgoso que visualice, poniendo especial atención y minuciosidad a la parte interior del molino.

**2.** El **Operario de asepsia del tándem** deberá dirigir el flujo de agua de lado a lado prestando especial atención a las áreas donde se conduce fibra, ya a puntos del molino como la bandeja propensos a que se acumule bagacillo.

**3.** Después de haber eliminado cualquier material riesgoso o residuo del cojinete, sin detener el flujo de la manguera se colocara a un costado del molino, buscando bagacillo acumulado y removiéndolo, prestando atención a las áreas convergentes.

**4.** Seguidamente el **Operario de asepsia del tándem** deberá dirigir el flujo de la manguera hacia las cadenas que transportan bagacillo y buscará residuos o material riesgoso que pueda haber quedado atrapado.

5. Seguidamente se deberá buscar cualquier desperdicio o material riesgoso que haya quedado en las secciones del tanque y en las esquinas convergentes del mismo.

6. Al llegar al molino 3 deberá hacer una pausa no mayor a 5 minutos para cambiar la manguera de llave, siguiendo los aspectos técnicos mencionados en el punto 5.2, durante esta operación no deberá remover de su cuerpo ninguna parte de su equipo de seguridad industrial.

7. El **Operario de asepsia del tándem** continuará el proceso de limpieza de la misma forma, a un paso constante y minucioso prestando atención a las zonas convergentes del tanque y áreas del molino donde se conduce fibra y pueda quedar atascado.

8. El proceso de asepsia de la parte superior del área de extracción de molinos concluye cuando el **Operario de asepsia del tándem** finaliza de limpiar el molino 5, como se ha descrito en el procedimiento.

**Nota:** Las partes internas del Molino en las cuales se debe limpiar con gran minuciosidad y cuidado por el **Operario de asepsia del tándem** y el **Operario de asepsia del tándem 2** son el Cojinete, la Bagacera y la Masa Auxiliar.

#### **F. Asepsia del área de extracción/molinos, parte superior del tándem: lado B**

1. El proceso comienza nuevamente desde el molino 1, en este punto el **Operario de asepsia del tándem** deberá trasladarse del molino 5 al molino 1 en un intervalo de tiempo no mayor a 5 minutos. Seguidamente deberá instalar la manguera siguiendo los aspectos técnicos mencionados en el punto 5.2

2. El procedimiento de limpieza continúa de la misma forma que en el punto 5.4, tomando en cuenta las distintas áreas convergentes que existan entre el lado A y el lado B, removiendo todo el material riesgoso y bagacillo que pueda quedar acumulado.

3. Al llegar al molino 3 deberá hacer una pausa no mayor a 5 minutos para cambiar la manguera de llave, siguiendo los aspectos técnicos mencionados en el punto 5.2, durante esta operación no deberá remover de su cuerpo ninguna parte de su equipo de seguridad industrial.

4. El procedimiento de limpieza del lado B del área de extracción de molinos concluye cuando el **Operario de asepsia del tándem** finaliza de limpiar el molino 5 como se ha descrito en el procedimiento.

**Nota:** El proceso de limpieza para los molinos 1,2 y 3 deberá ser especialmente exhaustivo ya que según las mediciones de IC realizadas, es en estos molinos donde existe mayor actividad microbiológica que pueda afectar directamente la producción.

**Nota 2:** Las partes internas del Molino en las cuales se debe limpiar con gran minuciosidad y cuidado por el **Operario de asepsia del tándem** y el **Operario de asepsia del tándem 2** son el Cojinete, la Bagacera y la Masa Auxiliar.

#### **G. Cambio de operarios y preparación para el turno**

1. Mientras el **Operario de asepsia del tándem** procede con la limpieza de la parte superior del tándem, el **Operario de asepsia del tándem 2** deberá estar atento al proceso de su compañero de manera que cuando concluya la limpieza del molino 3 y comience la limpieza del molino 4 el **Operario de asepsia del tándem 2** deberá comenzar a colocarse el equipo de seguridad industrial completo. Con la finalidad que cuando el **Operario de asepsia del tándem** concluya con la parte superior del tándem, el **Operario de asepsia del tándem 2** esté listo y no se pierda tiempo en reanudar la limpieza en la base de los molinos.

2. El equipo de seguridad y especificaciones técnicas para el **Operario de asepsia del tándem 2** son las mismas especificadas en el punto 5.1 y 5.2 del procedimiento.

#### **H. Limpieza de la base de los molinos: lado A**

1. El **Operario de asepsia del tándem** comenzará la limpieza en la base del molino 1, asegurándose que no permanezca ningún residuo o material riesgoso en las zonas convergentes del molino.

2. Seguidamente se limpiara por debajo de la cadena y toda la parte inferior del molino tomando en cuenta los lugares donde se puedan acumular restos de bagazo y material de riesgo.

3. El **Operario de asepsia del tándem** deberá abrir cada una de las bandejas de jugo de cada molino para dedicar especial atención al área interna de, donde buscará restos de bagacillo que pudieron haber quedado atrapados tanto en las partes del molino como en el piso cercano al área de extracción.

4. Se deberá prestar especial atención a la rastra de cush cush que pasa por debajo de todos los molinos, el **Operario de asepsia del tándem**, debe verificar que no se produzca acumulación de bagazo y material de riesgo en esta área en especial.

5. El procedimiento de limpieza del lado B del área de extracción de molinos concluye cuando el **Operario de asepsia del tándem** finaliza de limpiar la base del molino 1 como se ha descrito en el procedimiento.

**Nota:** Las partes internas del Molino en las cuales se debe limpiar con gran minuciosidad y cuidado por el **Operario de asepsia del tándem** y el **Operario de asepsia del tándem 2** son el Cojinete, la Bagacera y la Masa Auxiliar.

#### **I. Limpieza de la base molino: lado B**

1. El proceso comienza nuevamente desde el molino 1, en este punto el **Operario de asepsia del tándem** deberá trasladarse del molino 5 al molino 1 en un intervalo de tiempo no mayor a 5 minutos. Seguidamente deberá instalar la manguera siguiendo los aspectos técnicos mencionados en el punto 5.2

2. El procedimiento de limpieza continúa de la misma forma que en el punto 5.4, tomando en cuenta las distintas áreas convergentes que existan entre el lado A y el lado B, removiendo todo el material riesgoso y bagacillo que pueda quedar acumulado.

3. Al llegar al molino 3 deberá hacer una pausa no mayor a 5 minutos para cambiar la manguera de llave, siguiendo los aspectos técnicos mencionados en el punto 5.2, durante esta operación no deberá remover de su cuerpo ninguna parte de su equipo de seguridad industrial.

4. El procedimiento de limpieza de la base del lado B del área de extracción de molinos concluye cuando el **Operario de asepsia del tándem** finaliza de limpiar el molino 5 como se ha descrito en el procedimiento.

**Nota:** Las partes internas del Molino en las cuales se debe limpiar con gran minuciosidad y cuidado por el **Operario de asepsia del tándem** y el **Operario de asepsia del tándem 2** son el Cojinete, la Bagacera y la Masa Auxiliar.

**ANEXO F: INSTRUCTIVO DE ASEPSIA DE MOLINOS INGENIO MAGDALENA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

Facultad de Ingeniería



**Instructivo para la mejora de procedimiento  
de limpieza en molinos del Ingenio Magdalena**

Realizado por:

Mauricio José Vargas Lemus

Guatemala, noviembre de 2013

## ÍNDICE

I. OBJETIVO .....	1
II. SEGURIDAD INDUSTRIAL .....	1
A. Peligros asociados a la tarea .....	3
1. Mecánicos .....	3
2. Biológicos.....	4
B. Instrucciones y equipos de seguridad específicas .....	3
C. Equipo de protección personal .....	5
III. LIMPIEZA EN LOS MOLINOS.....	1
A. Durante la molienda .....	3
1. Orden de la limpieza .....	3
2. Verificación de punto críticos .....	4
B. Durante los mantenimientos o cualquier paro no planificado .....	3
1. Limpieza de los tanques de jugo .....	3
2. Vaciado de las bandejas.....	4

## **I. OBJETIVO**

El presente trabajo tiene el objeto de documentar y facilitar el cumplimiento de las mejoras propuestas en el área de molinos con respecto a la Asepsia. De la misma manera facilitar y resolver cualquier duda o problema que se pueda tener en cualquier procedimiento de los estudiados.

## **II. SEGURIDAD INDUSTRIAL**

En el Ingenio Magdalena se cuenta con la certificación OHSAS 18,000, la cual vela por las políticas de seguridad y salud ocupacional de los trabajadores. Por lo tanto hay compromiso del ingenio con un ambiente laboral sano y seguro, enfocado en la prevención de lesiones y enfermedades ocupacionales.

En las actividades relacionadas con la Asepsia en los molinos, se cuenta con varios peligros que pueden acontecer en un accidente. El lavado se realiza con agua caliente, a unos 90°C ya que esta se obtiene de las calderas y el vapor generado en estas. Por lo tanto es un peligro para el lavador o para las personas en las áreas aledañas ya que hay un riesgo por quemadura. Hay riesgo de caída debido al piso resbaloso y a la exposición de sustancias como desinfectantes. Hay riesgo de atrapamiento debido a varias zonas convergentes que se ubican en el área de trabajo, las cuales podrían causar la pérdida de un miembro del cuerpo o la muerte incluso. También hay que tomar en cuenta que el ambiente de trabajo es caluroso y ruidoso, lo cual puede causar fatiga en el operario.

### **A. Peligros asociados a la tarea**

**1. Mecánicos:** Traumatismo por atrapamiento en equipos en movimiento con áreas convergentes. Traumatismo por caídas en pisos resbalosos. Quemadura por rotura de mangueras o mal manejo de mangueras de parte del operario.

**2. Biológicos:** Enfermedades cutáneas o pulmonares debido a la exposición a bacterias.

### **B. Instrucciones y equipos de seguridad específicas**

- Utilizar equipo de protección personal
- Instalar las señalizaciones adecuadas y revisar que estén funcionando a diario, en este caso la luz parpadeante que indica que están lavando.
- Verificar que la manguera no tenga ninguna abertura o daño antes de empezar el turno.
- Verificar que no se encuentren personas, equipo o herramientas de trabajo

entre los molinos o en áreas aledañas a estos, antes de comenzar el lavado.

### C. Equipo de protección personal

- Gabacha, mangas protectoras, guantes que cubran el brazo.
- Tapones auditivos, ya sea de espuma o de polímero, con cordón.
- Casco de Seguridad Industrial de Polietileno de alta densidad.
- Lentes de Policarbonato transparentes.
- Calzado industrial con punta de acero y suela antideslizante.

## III. LIMPIEZA EN LOS MOLINOS

La limpieza en los molinos es de mucha importancia para reducir la actividad microbiológica en el jugo que está pasando por ellos.

### A. Durante la molienda

Se debe de comenzar el lavado de atrás para adelante, es decir en orden contrario al orden que sigue la molienda. Se comenzará en el molino 6 para el tándem A y en el molino 5 para los tándems B y C, terminando todos en el molino 1.

Es necesario enfocarse más en las áreas de molino por donde pasa el bagazo y donde se puede estar acumulando este. De manera que el lavado remueva este bagazo atorado en cualquier parte. De la misma manera cada lavador debe de enfocarse lo menos posible en el piso, ya que esta actividad debe de quitarle el menor tiempo posible a la lavada del molino, ya que como se sabe el tiempo de lavado es corto.

#### 1. Orden del lavado:

Figura 1: Paso 1 (solo Tándem A)

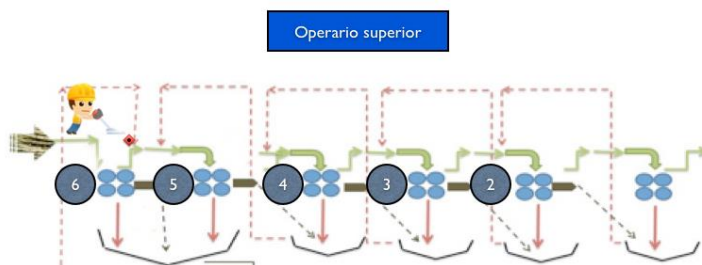


Figura 2: Paso 2

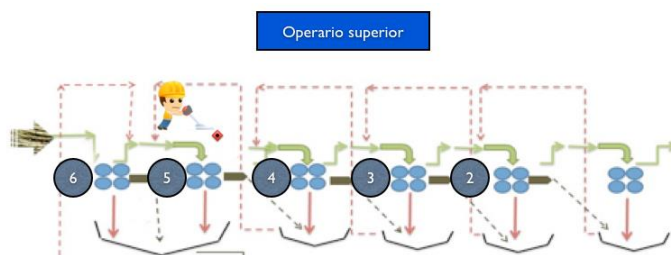


Figura 3: Paso 3

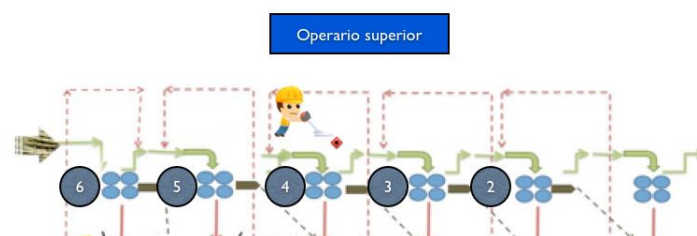


Figura 4: Paso 4

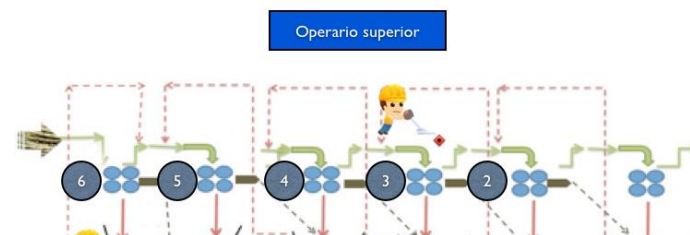


Figura 5. Paso 5

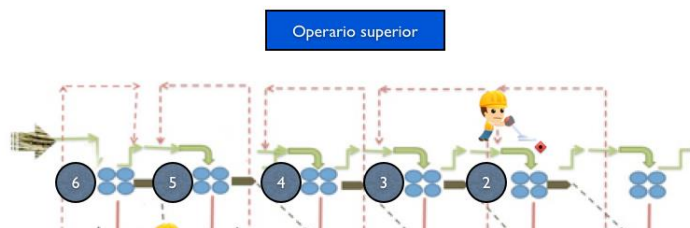


Figura 6. Paso 6

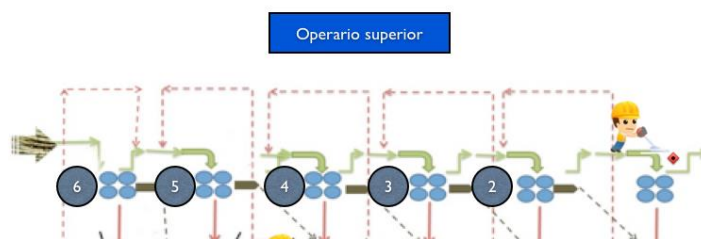


Figura 7. Paso 7 (Solo Tándem A)

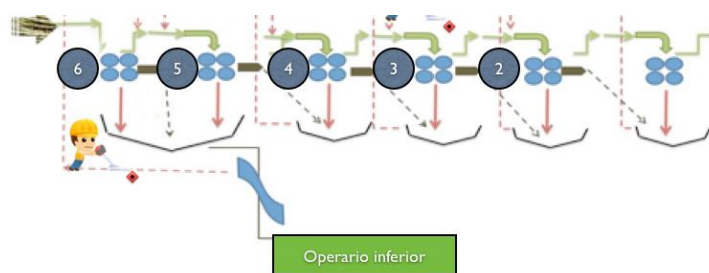


Figura 8. Paso 8

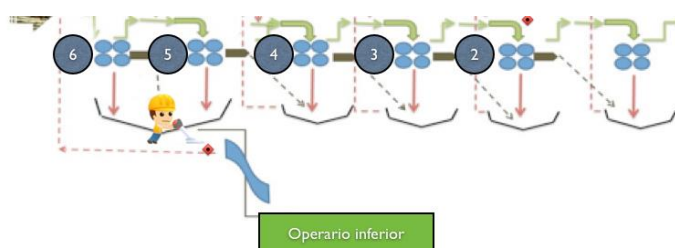


Figura 9. Paso 9

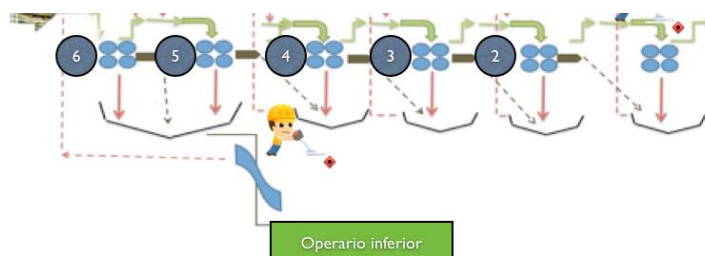


Figura 10. Paso 10

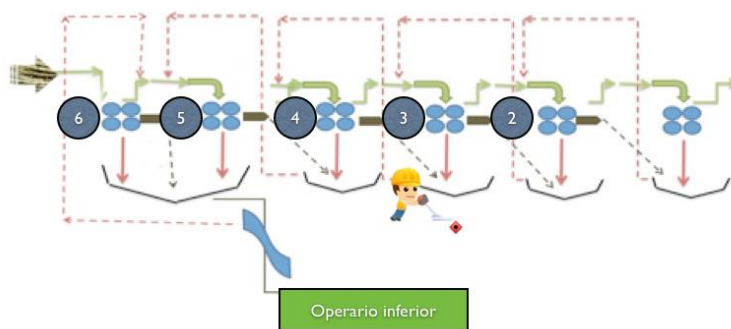


Figura 11. Paso 11

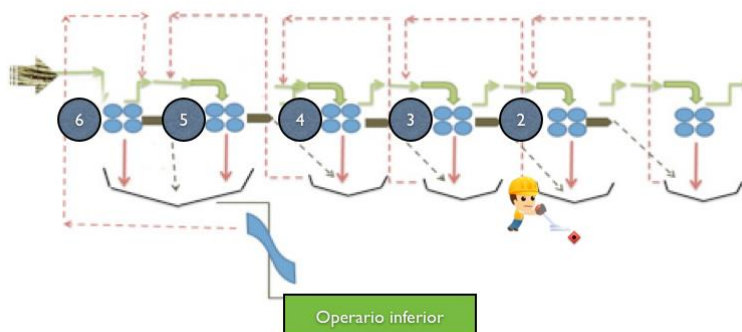
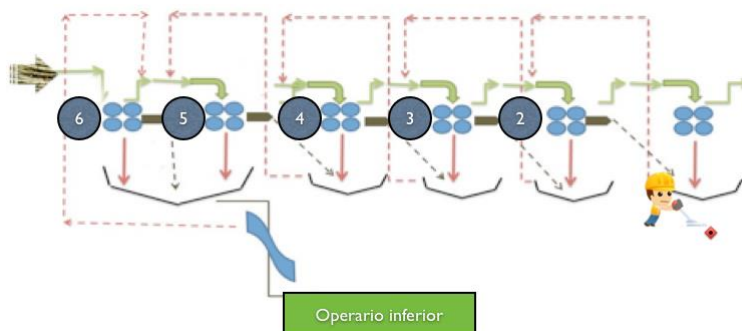


Figura 12. Paso 12



## 2. Verificación de puntos críticos

El lavador debe de prestarle atención al semáforo en forma de manta y enfocarse en los puntos críticos, es decir los que están causando un incremento microbiológico. De esta forma al realizar el lavado asegurarse que cualquier punto crítico quede lo más limpio posible.

Figura 13. Semáforo indicador de puntos críticos



### **B. Durante los mantenimientos o cualquier paro no planificado.**

Se debe de prestar una atención importante a cualquier paro de molienda, ya sea por mantenimiento o por alguna falla del sistema. Durante éste los lavadores deberán de prestar atención a los tanques de jugo y realizarles una limpieza. También se deberá de vaciar las bandejas, para evitar que quede jugo o “marino” estancado ahí.

#### **1. Limpieza de tanques de jugo**

Para la limpieza de los tanques se deberá de cumplir con las 3 siguientes condiciones:

- Vaciado de los tanques en su totalidad.
- Lavado de las paredes internas de los tanques evitando que sobren residuos pegajosos o “biofilm” en ellas.
- Lavado de las tuberías que conectan los tanques de jugo diluido y cristal.
- 

#### **2. Vaciado de las bandejas**

Se deberá de vaciar las bandejas para evitar cualquier estancamiento de jugo que luego influirá en el IC al reanudar la molienda.

### XIII. GLOSARIO

1. **Actividad microbiológica:** Conjunto de acciones realizadas por microorganismos en un medio con el fin de sobrevivir.
2. **Coefficiente microbiológico:** Valor numérico que indica el índice de actividad microbiológica en una solución.
3. **Fibra:** Nombre que se le da a la caña que pasa por el proceso de preparación antes de ingresar al proceso de extracción.
4. **Incremento de coeficiente microbiológico (IC):** Diferencia entre la salida y la entrada de un órgano analizado.
5. **Índice Total de Actividad Microbiológica (ITAM):** Índice utilizado para comparar tandems e ingenios realizado con los porcentajes de muestras buenas, alertas, malas y críticas obtenidos durante una zafra completa.
6. **Jugo cristal:** El jugo en el Ingenio Magdalena que se extrae en el primer molino.
7. **Jugo mezclado/diluido:** El jugo que se obtiene después de recorrer los 6 molinos y ya está listo para seguir hacia el proceso de sulfitación.
8. **Jugo primario:** El jugo que se extrae en el primer molino.
9. **Jugo sulfitado:** El jugo que se obtiene después del proceso de sulfitación.
10. **Resazurina:** Es una sustancia química de color azul que es reducida por productos de la actividad microbiológica.
11. **Tándem:** Conjunto de molinos en serie.
12. **Test de resazurina:** Análisis realizado con resazurina para determinar el coeficiente microbiológico de una muestra. El análisis se lleva a cabo determinando el tiempo en horas que tarda en cambiar de color la solución analizada a su color inicial.
13. **Sulfitación:** Proceso mediante el cual se le introduce anhídrido sulfuroso en forma gaseosa en contracorriente con el jugo diluido para ayudar a blanquear el azúcar.