

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



Megaproyecto: Implementación experimental de control
microbiológico en un ingenio azucarero.

Trabajo de investigación presentado por

Arturo José Letona Menéndez. Licenciatura en Ing. Industrial

Melissa Gabriela Pacheco Ochoa. Licenciatura en Ing. Química

Bárbara Pinto Classon. Licenciatura en Ing. Química

Sergio André Pratdesaba Domergue. Licenciatura en Ing. Química

Mario Andrés Tejeda Paz. Licenciatura en Ing. Industrial

para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química e
Ingeniería Industrial.

Guatemala

2010

Implementación experimental del control microbiológico en la
materia prima de un ingenio azucarero.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química



Megaproyecto: Implementación experimental de control
microbiológico en un ingenio azucarero.

Trabajo de investigación presentado por

Arturo José Letona Menéndez. Licenciatura en Ing. Industrial

Melissa Gabriela Pacheco Ochoa. Licenciatura en Ing. Química

Bárbara Pinto Classon. Licenciatura en Ing. Química

Sergio André Pratdesaba Domergue. Licenciatura en Ing. Química

Mario Andrés Tejeda Paz. Licenciatura en Ing. Industrial

para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Química e
Ingeniería Industrial.

Guatemala

2010

Vo. Bo. :

(f) _____
(Lic. Osbel Nuñez)

Tribunal:

(f) _____
(Ing. Gamaliel Zambrano)

(f) _____
(Ing. Estuardo Sierra)

(f) _____
(Ing. Jaime Rosales)

Fecha de aprobación: noviembre 2010.

CONTENIDO

Listado de ilustraciones	vii
Listado de tablas	x
Resumen	xiv
1. Introducción	15
2. Justificación	2
3. Antecedentes	3
3.1. Industria azucarera	3
3.2. Caña de azúcar	7
3.3. Extracción del jugo	24
3.4. Evaporación	37
3.5. Cristalización	53
3.6. Herramientas de análisis para evaluar y mejorar la logística en los procesos productivos.	71
4. Objetivos	78
4.1. Objetivo general	78
4.2. Objetivos específicos	78
5. Metodología	79
6. Resultados	105
7. Discusión	135
8. Conclusiones	199
9. Recomendaciones	203
10. Bibliografía	206
11. Anexo	209

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1	Características de calidad de la caña de azúcar	8
Ilustración 2	Síntesis de las dextranas ocurre a partir de la sacarosa	12
Ilustración 3	Diagrama de flujo de recolección de muestras	13
Ilustración 4	Vista general del Core Sampler	18
Ilustración 5	Toma de muestra con el Core Sampler	18
Ilustración 6	Equipo desfibrador	19
Ilustración 7	Muestra después de pasar por el desfibrador	19
Ilustración 8	Prensa hidráulica	20
Ilustración 9	Esquema de equipos de infrarrojo cercano para muestras líquidas y sólidas	22
Ilustración 10	Mesa de alimentación CAMECO a 45°	25
Ilustración 11	Transportador colador Ticon	26
Ilustración 12	Instalación típica de las cuchillas	28
Ilustración 13	Cuchillas oscilantes	28
Ilustración 14	Desfibradora de caña Gruender	29
Ilustración 15	Desfibradora Maxwell	30
Ilustración 16	Rompedor de caña	30
Ilustración 17	Deslibador	31
Ilustración 18	Deslibador picador	31
Ilustración 19	Imbibición compuesta	33
Ilustración 20	Imbibición integral	35
Ilustración 21	Pantalla de control de sistema de evaporación	46
Ilustración 22	Pantalla de control de un evaporador	47
Ilustración 23	Conjunto de símbolos estándar para diagramas de proceso	73
Ilustración 24	Diagrama de Flujo del procedimiento de la resazurina	84
Ilustración 25	Colores presentados en la reducción de la resazurina	85
Ilustración 26	Recipientes para toma de muestra de masas cocidas	99
Ilustración 27	Microscopio utilizado para el análisis de las masas cocidas	100
Ilustración 28	Portaobjetos con muestra de masa cocida para análisis	101
Ilustración 29	Manipulación de las muestras con pinzas	101
Ilustración 30	Análisis de masa cocida con la técnica #1	102
Ilustración 31	Muestras preparadas para análisis con técnica #2	103
Ilustración 32	Análisis de masa cocida con la técnica #2	104
Ilustración 33	Vista frontal y superior del equipo para análisis dinámico de bactericidas	115
Ilustración 34	Vista frontal del equipo para análisis dinámico de bactericidas	116
Ilustración 35	Vista superior del nuevo diseño propuesto para solucionar los problemas del primer equipo	117
Ilustración 36	Esquema de distribución de evaporadores, por efecto en la fábrica de ingenio Pantaleón	125
Ilustración 37	Parámetros de relevancia en cada efecto de la evaporación	127
Ilustración 38	Diagrama de recorrido del patio de caña	136
Ilustración 39	Laboratorio de caña	137
Ilustración 40	Volteo de caña	138
Ilustración 41	Lavado de caña	138
Ilustración 42	Caña en el patio	139
Ilustración 43	Diagrama de flujo de patio de caña	140
Ilustración 44	Diagrama de flujo del desarrollo de prueba de resazurina	141
Ilustración 45	Diagrama de generación de vapor y energía	146
Ilustración 46	Volteo de Caña	148
Ilustración 47	Montículos secundarios de caña en el patio	149
Ilustración 48	Apertura en conductor de caña	149
Ilustración 49	Diagrama de Flujo de caña en el patio	150
Ilustración 50	Layout de ubicación de los puntos de muestro en el área de molienda	169
Ilustración 51	Diagrama de bloques del proceso	172
Ilustración 52	Estado del EPP utilizado y la falta de EPP	189

Ilustración 53 Estado del EPP utilizado y la falta de EPP.....	189
Ilustración 54 Imagen del operador a un costado del molino.....	190
Ilustración 55 Diseño incorrecto de barandas del segundo piso y escaleras, falta de rodapié.....	191
Ilustración 56 Rodapié muy bajo en las escaleras que conducen al segundo nivel.....	191
Ilustración 57 Rodapié muy bajo en las escaleras que conducen al segundo nivel.....	192
Ilustración 58 Desperdicio de agua y peligro latente de quemaduras.....	196
Ilustración 59 Manual de procedimientos.....	215
Ilustración 60 Manual de procedimientos.....	216
Ilustración 61 Manual de procedimientos.....	217
Ilustración 62 Lazo de control.....	218
Ilustración 63 Diagrama de operación de procesos: Patio de caña.....	219
Ilustración 64 Diagrama de operación de procesos: Caña en el patio.....	220
Ilustración 65 Diagrama de operación de procesos: Desarrollo prueba resazurina.....	221
Ilustración 66 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	25227
Ilustración 67 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	25328
Ilustración 68 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	229
Ilustración 69 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	230
Ilustración 70 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	231
Ilustración 71 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	232
Ilustración 72 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	233
Ilustración 73 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	234
Ilustración 74 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	235
Ilustración 75 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	236
Ilustración 76 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	237
Ilustración 77 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.....	238
Ilustración 78 Diagrama de Flujo del procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem.....	272
Ilustración 79 Recorrido de la preparación inicial de la prueba de resazurina en el laboratorio de caña.....	274
Ilustración 80 Traslado de laboratorio de caña hacia el área de molinos para análisis de puntos críticos.....	274
Ilustración 81 Recorrido de procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem. Nivel 1 del ingenio.....	275
Ilustración 82 Recorrido de procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem. Nivel 2 del ingenio.....	276
Ilustración 83 Recorrido de área de molinos al laboratorio de caña para realizar prueba de resazurina.....	277
Ilustración 84 Diagrama de recorrido dentro del laboratorio de caña para realizar la prueba de resazurina.....	277
Ilustración 85 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en Jugo primario de tándem A y tándem B.....	278
Ilustración 86 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en molino 2 de tándem A y tándem B.....	279
Ilustración 87 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en molino 3 de tándem A y tándem B.....	280
Ilustración 88 Diagrama de Flujo del proceso de recolección de muestra en molino 4 tándem A y B.....	281
Ilustración 89 Diagrama de Flujo recolección de muestra en recirculación molino 3 de tándem A y B.....	282
Ilustración 90 Diagrama de Flujo recolección de muestra en recirculación de molino 2 de tándem A y B.....	283
Ilustración 91 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en jugos diluidos de tándem A y tándem B.....	284
Ilustración 92 Diagrama de Flujo para metodología propuesta para análisis de puntos críticos en tándem.....	286
Ilustración 93 Recorrido de preparación de prueba de resazurina en laboratorio de caña para la situación.....	287
Ilustración 94 Traslado de laboratoriori al área de molinos para puntos críticos en el tándem para la situación.....	288
Ilustración 95 Recorrido de análisis de puntos críticos en tándem para la situación. Nivel 1 del ingenio.....	289
Ilustración 96 Recorrido de análisis de puntos críticos en tándem para la situación. Nivel 2 del ingenio.....	290
Ilustración 97 Recorrido área de molinos a laboratorio para realizar prueba de resazurina para la situación.....	291
Ilustración 98 Recorrido dentro de laboratorio para realizar prueba de resazurina para la situación.....	291
Ilustración 99 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.....	293
Ilustración 100 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.....	294
Ilustración 101 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.....	295
Ilustración 102 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.....	296
Ilustración 103 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.....	297
Ilustración 104 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.....	298
Ilustración 105 Encuesta nivel de entrenamiento, conocimiento y seguridad en asepsia y resultados.....	299
Ilustración 106 Front – End Analysis realizado para evaluar la tarea de la limpieza de los molinos.....	300
Ilustración 107 Capacitación para el proceso de la asepsia de los molinos.....	301

Ilustración 108 Examen para la capacitación de la asepsia de los molinos.....	303
Ilustración 109 Requerimientos para barandales y rodapiés.	304
Ilustración 110 Manual para realizar la asepsia de los molinos.	305
Ilustración 111 Manual para realizar la asepsia de los molinos.	306
Ilustración 112 Manual para realizar la asepsia de los molinos.	307
Ilustración 113 Manual para realizar la asepsia de los molinos.	308
Ilustración 114 Manual para realizar la asepsia de los molinos.	309
Ilustración 115 Manual para realizar la asepsia de los molinos.	335
Ilustración 116 Manual para realizar la asepsia de los molinos.	311
Ilustración 117 Manual para realizar la asepsia de los molinos.	312

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de ceniza del bagazo libre de humedad.....	25
Tabla 2 Grados Brix del azúcar, según tipo de templa.....	66
Tabla 3 Tamaño de cristales según tipo de producto.....	67
Tabla 4 Clasificación de las acciones durante un proceso.....	74
Tabla 5 Valoraciones dadas al CM por su valor numérico.....	86
Tabla 6 Unidades analizadas dentro del Tándem A y sus abreviaciones en el reporte.....	87
Tabla 7 Puntos de muestreo en el Tándem A y sus abreviaciones correspondientes usadas en el reporte.....	87
Tabla 8 Unidades analizadas dentro del Tándem B y sus abreviaciones en el reporte.....	88
Tabla 9 Puntos de muestreo en el Tándem B y sus abreviaciones correspondientes usadas en el reporte.....	88
Tabla 10 Valoraciones de I.C.M para la comparación de puntos críticos del Tándem A y B.....	88
Tabla 11 Niveles de puntos críticos y medidas a tomar para dichos puntos.....	89
Tabla 12 Valoración coeficiente microbiológico (cosecha).....	105
Tabla 13 Valoración coeficiente microbiológico (precosecha).....	105
Tabla 14 Valoraciones dadas al CM por su valor numérico.....	123
Tabla 15 Clasificación de indicadores por categoría.....	13721
Tabla 16 Estado actual del indicador en ingenio Pantaleón.....	122
Tabla 17 Próximos pasos a dar para indicadores no vigentes.....	13923
Tabla 18 Próximos pasos a dar para indicadores vigentes.....	139
Tabla 19 Otros factores del proceso que influyen en los indicadores.....	124
Tabla 20 Usos del vapor vegetal de cada efecto.....	145
Tabla 21 Superficie calórica requerida en cada efecto de la evaporación.....	131
Tabla 22 Presión mínima del vapor vegetal en cada efecto.....	148
Tabla 23 Grados Brix del jugo en cada efecto del proceso de evaporación.....	132
Tabla 24 Proporciones de coeficiente de elongación por rangos.....	149
Tabla 25 Tiempo estándar de ejecución de prueba de resazurina.....	160
Tabla 26 Tiempo estándar de obtención de resultados de prueba de resazurina.....	160
Tabla 27 Tiempo estándar del proceso de recepción-preparación de caña.....	162
Tabla 28 Cuadro esquemático de pruebas analíticas.....	177
Tabla 29 Resumen de actividades desarrolladas en el análisis de puntos críticos en el tándem.....	174
Tabla 30 Cuadro comparativo de los tiempos y recorridos de la situación actual y la propuesta.....	178
Tabla 31 Resumen de actividades desarrolladas en el análisis de puntos críticos en el tándem.....	180
Tabla 32 Cuadro comparativo de los tiempos y recorridos de la situación actual y la propuesta.....	183
Tabla 33 Resultados prueba de resazurina en vial (cosecha).....	235
Tabla 34 Resultados prueba de resazurina en vial (precosecha).....	238
Tabla 35 Coeficiente microbiológico (patio).....	239

Tabla 36 Toma de tiempos: Tándem B, 30-04-2010.....	222
Tabla 37 Toma de tiempos: Alimentación conductor tándem B, 1-05-2010.....	223
Tabla 38 Toma de tiempos: Tándem A, 8-05-2010.	249
Tabla 39 Toma de tiempos: Caña en el patio, 8-05-2010.	225
Tabla 40 Toma de tiempos: Conductor tándem B, 30-04-2010.	251
Tabla 41 Tiempos de resazurina para muestras de puntos críticos del mes de Marzo 2010.....	264
Tabla 42 Tiempos de resazurina para muestras de puntos críticos del mes de Abril 2010.	240
Tabla 43 Tiempos de resazurina para muestras de puntos críticos del mes de Abril 2010.	241
Tabla 44 Tiempos de resazurina para el análisis estático de bactericida Labs SMB.....	242
Tabla 45 Tiempos de resazurina para el análisis estático de bactericida Labs SMB.....	268
Tabla 46 Tiempos de resazurina para el análisis estático de bactericida BETA Stab.	269
Tabla 47 Tiempos de resazurina para el análisis estático de bactericida BETA Stab.	270
Tabla 48 Tiempos de resazurina para comparación análisis estático y dinámico de bactericida Labs SMB..	271
Tabla 49 Tiempos de resazurina para comparación análisis estático y dinámico de bactericida BETA Stab.	272
Tabla 50 Tiempo de viraje y coeficiente microbiológico para muestras de puntos críticos de abril 2010.	278
Tabla 51 Tiempo de viraje y coeficiente microbiológico para muestras de puntos críticos de marzo 2010...	254
Tabla 52 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para análisis estático de bactericida Labs SMB. .	281
Tabla 53 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para análisis estático de bactericida Labs SMB. .	283
Tabla 54 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para análisis estático de bactericida BETA Stab.	285
Tabla 55 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para análisis estático de bactericida BETA Stab.	287
Tabla 56 Viraje y coeficiente microbiológico, comparación estático y dinámico de bactericida Labs SMB.	289
Tabla 57 Viraje y coeficiente microbiológico, comparación estático y dinámico de bactericida BETA Stab.	291
Tabla 58 ICM de los puntos de análisis para puntos críticos del tándem A para los días muestreados.....	292
Tabla 59 ICM de los puntos de análisis para puntos críticos del tándem B para los días muestreados.....	293
Tabla 60 Frecuencia categórica de valores de puntos de muestreo respecto a valor de CM en Tándem A....	293
Tabla 61 Frecuencia categórica de valores de puntos de muestreo respecto a valor de CM en Tándem B....	294
Tabla 62 Nivel de los puntos del Tándem A por día. Código de colores asignado según el Cuadro 9	294
Tabla 63 Nivel de los puntos del Tándem B por día. Código de colores asignado según el Cuadro 9	295
Tabla 64 Tiempos del procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem.	295
Tabla 65 Tiempos del procedimiento de análisis de los puntos críticos en tándem para la situación.	285
Tabla 66 Formato propuesto para el ingreso de datos para el cálculo del coeficiente microbiológico.....	292
Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.	313
Tabla 68 Caña molida, cenizas en melaza y cal añadida en cada día del periodo de zafra 2009-2010.	322
Tabla 69 Muestra #1 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	328
Tabla 70 Muestra #2 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	330
Tabla 71 Muestra #3 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	332
Tabla 72 Muestra #4 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	333

Tabla 73 Muestra #5 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	334
Tabla 74 Muestra #6 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	360
Tabla 75 Muestra #7 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	336
Tabla 76 Muestra #8 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	362
Tabla 77 Muestra #9 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	338
Tabla 78 Muestra #10 de masa cocida C para determinación de proporciones.....	339
Tabla 79 Día y fecha de recolección de muestras.....	365
Tabla 80 Análisis de masa cocida A de día #1.....	340
Tabla 81 Análisis de masa cocida B de día #1.....	344
Tabla 82 Análisis de masa cocida C de día #1.....	345
Tabla 83 Análisis de masa cocida A de día #2.....	348
Tabla 84 Análisis de masa cocida B de día #2.....	349
Tabla 85 Análisis de masa cocida C de día #2.....	375
Tabla 86 Análisis de masa cocida A de día #3.....	376
Tabla 87 Análisis de masa cocida B de día #3.....	377
Tabla 88 Análisis de masa cocida C de día #3.....	378
Tabla 89 Análisis de masa cocida A de día #4.....	379
Tabla 90 Análisis de masa cocida B de día #4.....	381
Tabla 91 Análisis de masa cocida C de día #4.....	382
Tabla 92 Análisis de masa cocida A de día #5.....	383
Tabla 93 Análisis de masa cocida B de día #5.....	384
Tabla 94 Análisis de masa cocida C de día #5.....	385
Tabla 95 Análisis de masa cocida A de día #6.....	386
Tabla 96 Análisis de masa cocida B de día #6.....	387
Tabla 97 Análisis de masa cocida C de día #6.....	388
Tabla 98 Análisis de masa cocida A de día #7.....	390
Tabla 99 Análisis de masa cocida B de día #7.....	391
Tabla 100 Análisis de masa cocida C de día #7.....	392
Tabla 101 Cantidad de cal añadida y porcentaje de ceniza en melaza por semana del periodo de zafra.....	396
Tabla 102 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #1 de masa cocida C.....	397
Tabla 103 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #2 de masa cocida C.....	398
Tabla 104 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #3 de masa cocida C.....	375
Tabla 105 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #4 de masa cocida C.....	376
Tabla 106 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #5 de masa cocida C.....	377
Tabla 107 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #6 de masa cocida C.....	378
Tabla 108 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #7 de masa cocida C.....	379
Tabla 109 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #8 de masa cocida C.....	380

Tabla 110 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #9 de masa cocida C.....	381
Tabla 111 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #10 de masa cocida C.....	382
Tabla 112 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #1.....	383
Tabla 113 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #1.....	386
Tabla 114 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #1.....	388
Tabla 115 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #2.....	390
Tabla 116 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #2.....	391
Tabla 117 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #2.....	392
Tabla 118 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #3.....	393
Tabla 119 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #3.....	394
Tabla 120 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #3.....	395
Tabla 121 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #4.....	396
Tabla 122 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #4.....	398
Tabla 123 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #4.....	398
Tabla 124 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #5.....	425
Tabla 125 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #5.....	426
Tabla 126 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #5.....	402
Tabla 127 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #6.....	403
Tabla 128 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #6.....	404
Tabla 129 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #6.....	405
Tabla 130 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #7.....	406
Tabla 131 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #7.....	407
Tabla 132 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #7.....	408
Tabla 133 Proporción de coeficiente de elongación por rango.....	408
Tabla 134 Promedio de cristales alargados por día de muestreo, para cada tipo de masa cocida.....	434
Tabla 135 Promedio de coeficiente de elongación del cristal por día de muestreo, por tipo de masa cocida.....	410

RESUMEN

Este trabajo da continuación a varios anteriores para el establecimiento de un sistema de control microbiológico en la industria azucarera; en éste se ha trabajado principalmente en pruebas pilotos para extraer experiencia que sirva para la implementación del sistema de forma sistemática que es el próximo paso. En particular se trabajó en forma piloto en la evaluación de la caña y del tándem; de los puntos críticos del tándem y del efecto de la aplicación de bactericidas.

Se lograron los objetivos propuestos y como resultado ya se cuenta con un manual de procedimientos para el control de la caña y la evaluación de los puntos críticos del tándem, así como de lineamientos para el control sistemático del tándem y determinación de efectividad de bactericidas. Se tiene además el estudio de la logística del inicio de la aplicación sistemática.

Se tienen resultados iniciales para mejorar el manejo de la caña dejada en el patio, posiblemente uno de los principales factores influyentes en el deterioro de los jugos y del proceso de limpieza y desinfección del tándem.

Por último se estudian las áreas de tratamiento y recuperación de azúcar elaborando la relación de indicadores de actividad microbiana anterior y las pruebas iniciales para la introducción de un parámetro llamado Coeficiente de Elongación de Cristales.

1. INTRODUCCIÓN

Durante más de tres años estudiantes de Ingeniería Química, Ingeniería Industrial y Licenciatura en Bioquímica y Microbiología, haciendo vida lo postulado en la visión, misión y objetivos estratégicos de la Universidad del Valle de Guatemala, han integrado equipos disciplinarios para trabajar en la solución de un problema de la industria nacional, al mismo tiempo en que desarrollan su iniciativa creadora, liderazgo y excelencia.

La industria azucarera, uno de los pilares de la economía guatemalteca ha sido el punto hacia el que se dirigió la atención, considerando que la mejora continua es parte esencial de la estrategia de cualquier sector que no quiera perder la posición alcanzada.

El trabajo es una combinación de investigación de desarrollo, exploración y prueba de nuevos procedimientos, establecimiento de metodologías e implementación de monitoreos y rutinas de control en la práctica de producción, que finalmente están desembocando en el establecimiento de un sistema integral de control microbiológico en la industria azucarera guatemalteca.

En las fases anteriores se fue desarrollando la componente analítica que es la que sustenta el sistema, parte de los controles industriales y de evaluación. En la fase, cuyos resultados se muestran en el presente documento se ha trabajado en poner a punto lo que sería el monitoreo en determinadas áreas con posibilidad de implementarse en la próxima zafra, en especial el control sistemático de la caña, control sistemático del tándem, determinación de puntos críticos y evaluación de bactericidas.

Otros aspectos de esta fase, se trataron de forma preliminar, para continuar el estudio posteriormente como es la introducción de otros análisis diferentes al test de la resazurina, el del manejo de la caña del patio, los métodos de evaluación y optimización de la limpieza de los molinos y la introducción de modelos para evaluar el efecto de la actividad microbiológica en los jugos sobre las etapas de tratamiento del jugo y recuperación de azúcar.

Ya en la etapa de culminación de esta fase se ha sentido la satisfacción de que el Ingenio Pantaleón ha incluido en sus planes de la inminente próxima zafra el control microbiológico sistemático como una actividad de su plan de mejoras para lograr mayor eficiencia, y al mismo tiempo, su compromiso de apoyar en forma superior el desarrollo del proyecto.

Este logro, para una concepción que inicialmente no fue comprendida, es un fruto del trabajo de todos los que precedieron en el trabajo, del asesor, del Director del Departamento de Ing. Química con su apoyo permanente e imprescindible, del Decano de la Facultad de Ingeniería que desde el primer momento creyó en este proyecto, de los directores de los departamentos de Ing. Industrial y Bioquímica y en general de toda la comunidad de la UVG, al demostrar que “Excelencia que trasciende” es mucho más que un lema, es una manera de trabajar y de vivir.

2. JUSTIFICACIÓN

Como ya se ha descrito, la actividad microbiológica en los jugos de caña es un factor adverso para la industria azucarera y por eso, durante más de medio siglo se han tomado medidas técnico-administrativas para disminuir dicho efecto.

Sin embargo, no se ha podido lograr una regulación más efectiva de la acción de los microorganismos en los jugos de caña debido a la carencia de un sistema de control integral y procedimientos analíticos adecuados que la sustenten.

Durante los últimos años se ha trabajado con el test de la resazurina adaptándolo lo más posible para que cumpla los requisitos necesarios de ser el sustento un sistema de control integrado, lográndose resultados importantes que hacen que ya una parte del mismo esté casi listo para su implementación sistemática en la práctica industrial, para lo cual se necesitaba llevarlo a cabo primero como prueba piloto y de ahí extraer la experiencia de los últimos pormenores que se necesitan. Así mismo, es necesario contar con documentación normativa para la aplicación de forma sistemática.

Por otra parte, otros aspectos del proyecto general no han avanzado lo suficiente o no se han tratado con suficiente profundidad como ha sido la influencia de la caña que queda desperdiciada en el patio y la logística de su manejo, el control del proceso de limpieza del tándem, y sobre todo, la evaluación económica del efecto de la actividad y su propio control.

La dificultad de hacer evaluaciones generales debido a la complejidad del proceso azucarero aconsejan la combinación de indicadores generales con la utilización de mediciones y/o modelos puntuales que permitan reducir las fuentes de variación para después extrapolar los resultados.

Todos los procesos y actividades que llevan procedimientos necesitan un estudio de logística para optimizarlos, por lo que los relacionados con este proyecto también lo requieren.

3. ANTECEDENTES

3.1. Industria azucarera.

La agroindustria Azucarera de Guatemala se ha ubicado como el tercer exportador más importante de Latinoamérica después de Brasil y Cuba. Lo que muestra el nivel que ha logrado alcanzar la producción a nivel nacional. Anualmente, el impacto y participación que el sector azucarero tiene dentro de la economía guatemalteca crece a un paso firme.

La producción de la Agroindustria Azucarera ha aumentado considerablemente en los últimos 20 años. La expansión de la actividad cañera ha desplazando al pequeño agricultor, para darle paso a la caña. La rápida expansión de la industria y la alta rentabilidad permite que la industria gane terreno, a tal punto que los ingenios buscan alquilar tierras, pagando por adelantado y con una garantía mínima de dos años, para poder sembrar y cultivar la caña. En Guatemala, la actividad azucarera ha sido privada y no ha contado con apoyos externos del estado. Guatemala es autosuficiente en producción de azúcar y básicamente se ha concentrado en desarrollar su capacidad de exportación (Balsells, *et. al*, 2009).

A continuación se presenta el listado de ingenios que trabajan en Guatemala:

- Ingenio Concepción y Pantaleón
- Ingenio Palo Gordo
- Ingenio Madre Tierra
- Ingenio San Diego
- Ingenio Santa Teresa
- Ingenio Tzulá
- Ingenio La Sonrisa
- Ingenio La Unión
- Ingenio Santa Ana
- Ingenio Magdalena
- Ingenio El Pilar
- Ingenio Trinidad

«La industria azucarera se ha diversificado en los últimos años y ha logrado la elaboración de productos alternos que contribuyen con la economía guatemalteca. Los ingenios a través de la capacidad de generación eléctrica han aportado a la red eléctrica nacional una capacidad adicional para suplir la demanda energética del país (cogeneración). Este excedente de producción eléctrica se aporta al sistema nacional solo durante los meses del verano o zafra que coinciden con la baja en la capacidad de las centrales hidroeléctricas» (Balsells, *et. al*, 2009).

«Los microorganismos, los más sencillos, pequeños, fundamentales y a la vez ubicuos de los seres vivos constituyen varios reinos donde se incluyen las arqueas, bacterias, virus, hongos, algas, protozoos y grupos intermedios que trastornan a los trabajadores de la sistemática y constituyen la base de la biosfera. Durante miles de millones de años fueron transformándose y transformando el ambiente que los rodeaba, dando origen a nuevas especies cada vez más adaptadas a sus nichos biológicos y colonizando prácticamente todos los hábitats existentes en el planeta, de tal forma que es difícil encontrar un rincón de la Tierra donde no estén presentes» (Balsells, *et. al*, 2009).

Debido a su versatilidad metabólica, los microorganismos están presentes y se desarrollan de los medios que cuentan con las condiciones óptimas para que estos se desarrollen. En aquellos medios en donde encuentran los nutrientes necesarios para su nutrición que les da ventajas sobre otros que pudieran ser su competencia (Balsells, *et. al*, 2009).

El efecto de la actividad microbiológica es un factor que afecta con gran impacto negativo a la industria azucarera, ya que los productos que se manejan, en especial los jugos de caña y el propio tallo de ésta, tienen condiciones ideales para la instalación, crecimiento y desarrollo de una variada microbiota (Balsells, *et. al*, 2009).

3.1.1. Ingenio Pantaleón. El 20 de agosto de 1849, don Manuel María Herrera, adquirió la finca Pantaleón. A base de grandes esfuerzos y una gran visión, Pantaleón se diversificó, transformándose de una hacienda ganadera, a una finca de caña y productora de panela y finalmente convirtiéndose en un ingenio azucarero. En 1883 muere don Manuel María Herrera y sus herederos fundan Herrera y Compañía y en el año 1973 cambian el nombre de la empresa a Pantaleón, Sociedad Anónima (Pantaleón S.A.).

El ingenio Pantaleón alcanzó el liderazgo de la industria azucarera de Guatemala en 1976, convirtiéndose en el ingenio de mayor volumen de producción del área centroamericana. En 1984 asumió la administración y el control de las operaciones del Ingenio Concepción, ocupando un importante lugar en cuanto al volumen de producción en el país. En el mes de junio de 1998, continuando con la estrategia de crecimiento y diversificación geográfica, la organización adquirió el Ingenio Monte Rosa, localizado en la zona occidental de la República de Nicaragua. A finales del año 2000 se integran los tres ingenios y deciden participar como subsidiarias de la organización conocida como “Pantaleón” (Pantaleón S.A.).

En el año 2006 se asume otro gran reto en la estrategia de crecimiento al incursionar en Brasil, en una alianza estratégica con el grupo brasileño UNIALCO y el grupo MANUELITA de Colombia, para la construcción y operación del ingenio sucro-alcoholero Vale do Paraná, localizado en Suzanápolis Oeste del estado de São Paulo, Brasil (Pantaleón S.A.).

En el mes de agosto de 2008, Pantaleón obtiene la administración del Ingenio La Grecia, ubicado en Choluteca, Honduras. Esta nueva alianza contribuirá a afianzar el liderazgo en la industria azucarera en América Latina, cumplir con la visión a largo plazo de la organización y permitir combinar fortalezas y cooperar con el desarrollo sustentable de la industria en Honduras (Pantaleón S.A.).

En los últimos 36 años, Pantaleón ha mantenido un desarrollo acelerado, construyendo modernas plantas y realizando inversiones productivas en el agro y la industria, con tecnología de punta y procesos innovadores que le han permitido ser reconocido como uno de los principales productores eficientes de bajo costo en el mundo (Pantaleón S.A.).

En las áreas industriales se han efectuado mejoras en equipos y procesos, adquirido e implementado tecnologías modernas y realizadas importantes inversiones en sistemas de control automático en los procesos y operaciones clave, así como en los de soporte a la gestión. Estos avances contribuyen a incrementar la efectividad en toda la operación, desde la extracción de jugo de la caña hasta el envasado de los productos finales (Pantaleón S.A.).

Los ingenios utilizan para su operación controles estrictos de calidad, apoyados en un sistema de gestión ISO 9001, certificado desde hace tres años y en laboratorios equipados con tecnología avanzada que les permiten mantener condiciones adecuadas en sus productos. Para la zafra 2008-2009 se operó con una capacidad de molienda para Ingenio Pantaleón de 25,000 toneladas, Ingenio Concepción 8,500 toneladas, Ingenio Monte Rosa 13,000 toneladas e Ingenio La Grecia 7,800 toneladas métricas de caña por día para el procesamiento diario de 54,300 toneladas de caña durante un promedio de 150 días de zafra (Pantaleón S.A.).

En Guatemala, los Ingenios Pantaleón y Concepción, cuentan cada uno, con su propia refinería de azúcar, lo cual permite ofrecer a sus clientes otros tipos de azúcares especiales, generando con ello mayor valor agregado en sus productos. Además, se cuenta con la destilería de Bioetanol, que produce 150,000 litros por día de diferentes tipos de alcoholes para uso industrial a partir de la melaza de caña. En Brasil, el Ingenio sucro-alcoholero Vale do Paraná cuenta con una capacidad de molienda de 8,000 toneladas de caña para producir 750,000 litros de alcohol por día. Actualmente existen proyectos para incrementar la capacidad de producción de alcohol, tales como: la ampliación de la destilería de Bioetanol en Guatemala al agregar 450,000 litros de alcohol por día y la instalación de una destilería en el Ingenio Monte Rosa, en Nicaragua, con capacidad de 300,000 litros de alcohol diarios (Pantaleón S.A.).

Todos los ingenios que conforman la organización son pioneros en el área de cogeneración eléctrica. En 1990 se iniciaron proyectos en ésta área y ahora cuentan con una infraestructura completa para generar electricidad principalmente a base del bagazo de caña en época de zafra y con otros combustibles como fuente energética en tiempo de no-zafra. Los ingenios Pantaleón, Concepción, Monte Rosa y La Grecia generan para la venta de las distintas redes eléctricas nacionales, un total de 414,383 MWH durante la época de zafra (Pantaleón S.A.).

Pantaleón se especializa en la producción de diferentes tipos de azúcar, mieles y alcoholes, así como en la generación de energía eléctrica. Los ingenios han sido auditados por diversos clientes que buscan productos que se adhieran a los más altos estándares de calidad, lo cual ha permitido a la organización acreditarse como proveedor Premium Mundial y por ende competir en el mercado global (Pantaleón S.A.).

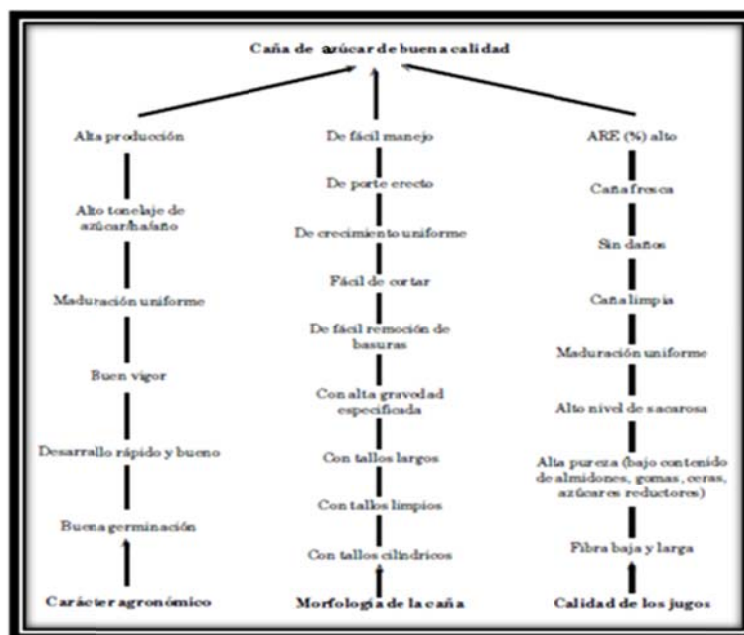
3.2. Caña de azúcar.

3.2.1. **Calidad.** El procesamiento de la caña de azúcar para la obtención de la sacarosa empieza realmente en el campo. La variedad de caña, el suelo en el cual se cultiva, las prácticas de manejo que incluyen las dosis y épocas de aplicación de los fertilizantes, y el grado de madurez determinan la calidad del material producido. La caña con óptima calidad da mayores rendimientos fabriles para el beneficio, tanto de los ingenios como de los cultivadores del sector azucarero (Larraondo, 1995).

La calidad se reconoce en el momento de la molienda por la cantidad de azúcar recuperable o rendimiento que se obtiene por tonelada de caña molida, lo cual depende de características como:

- Alto contenido de sacarosa.
- Bajo contenido de materiales extraños.
- Bajo contenido de sólidos solubles diferentes de la sacarosa.
- Bajos niveles de fibra.

Ilustración 1 Características de calidad de la caña de azúcar.



(Larraondo, 1995).

3.2.2. Principales constituyentes químicos y su relación con el proceso industrial. La caña de azúcar está constituida por jugo y fibra. La fibra es la parte insoluble en agua y está formada principalmente por celulosa, la cual, a su vez, está constituida por azúcares sencillos como glucosa (dextrosa). El contenido porcentual de sólidos (sacarosa, azúcares reductores y otros constituyentes) solubles en agua se denomina comúnmente brix (expresado en porcentaje). La razón porcentual entre la sacarosa en el jugo y el brix se conoce como pureza del jugo (Larrahondo, 1995).

El contenido aparente de sacarosa, expresado como un porcentaje en peso y determinado mediante un método polarimétrico, se denomina “pol”. Los sólidos solubles diferentes de la sacarosa, que incluyen los azúcares reductores como la glucosa y otras sustancias orgánicas e inorgánicas, se denominan usualmente “no-pol” o no-sacarosas, los cuales porcentualmente resultan de la diferencia entre el brix y el pol (Larrahondo, 1995).

3.2.3. Factores que afectan la calidad antes del corte. Los factores que contribuyen a la calidad de la caña de azúcar antes del corte están relacionados con:

- La variedad: el contenido de sacarosa, el proceso de maduración, el nivel de compuestos no sacarosos y la morfología de los tallos, son características variables que influyen directamente en la calidad de los jugos. Es difícil hacer una clasificación rígida de las variedades de acuerdo con su contenido de sacarosa; no obstante, existen marcadas diferencias entre ellas y, a menudo, se denominan variedades precoces o tardías, ya sea que a una edad temprana alcancen un contenido alto o bajo de sacarosa. La maduración es el proceso de acumulación de la sacarosa en el tallo y para que ocurra es necesario que se presente una disminución en la celeridad del crecimiento, que favorezca la acumulación de los azúcares producidos durante la actividad fotosintética (Larrahondo, 1995).
- Las prácticas culturales: el desarrollo de la planta está ligado a la nutrición mineral. La fertilización tiene por objeto estimular el crecimiento de la planta, pero algunos nutrientes tienen efectos adversos sobre la calidad en el momento de la cosecha, en tanto que otros la mejoran y son clave en el proceso fabril (Larrahondo, 1995).

Las aplicaciones excesivas de nitrógeno tienden a disminuir el contenido de sacarosa y a retrasar la maduración; no obstante, niveles altos de este nutriente están casi siempre asociados con un vigoroso desarrollo vegetativo, como lo demuestran los estudios realizados en Hawaii y México (Wang, 1976), donde se observaron disminuciones en el pol (% caña) e incrementos en la producción de la variedad de caña NCo310 con la aplicación de dosis altas de nitrógeno (Larrahondo, 1995).

Por otra parte, el fósforo mejora la calidad de los jugos. El fósforo, en forma de fosfatos solubles, además de ser un elemento clave para el crecimiento y el desarrollo del cultivo, es también de gran utilidad en el procesamiento y recuperación de azúcar de buena calidad (Larrahondo, 1995).

El potasio es importante en el metabolismo de los vegetales, ya que sirve para mantener en dispersión el protoplasma, para la asimilación del carbono y para la síntesis y traslocación de las proteínas. Cuando se presentan deficiencias de este nutriente en un cultivo de caña, el porcentaje de sacarosa se reduce y los niveles de azúcares reductores se incrementan, lo cual resulta, en bajo rendimiento y en la presencia de altas cantidades de materiales coloreados, debido a la descomposición térmica de los azúcares reductores (Larrahondo, 1995).

3.2.4. Factores que afectan la calidad después del corte. Los principales factores que afectan la calidad de la caña después del corte son:

- Altura de corte.
- Grado de quema y tiempo entre corte y molienda.
- Contenido de basura o material extraño.
- Acción de microorganismos.

El deterioro de la caña y la pérdida de sacarosa entre el corte y la molienda han sido objeto 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 molió o en el campo. La tasa de deterioro depende de las condiciones ambientales, de la variedad y del sistema de manejo.

Cuando el corte es mecánico, el deterioro es mayor, debido al incremento de las infecciones de origen bacteriano en los tallos (Larrahondo, 1995).

El porcentaje (en peso) de materia extraña es otro indicador de la calidad después del corte. La materia extraña está formado por suelo, hojas, etc... que afectan las actividades siguientes: (Larrahondo, 1995)

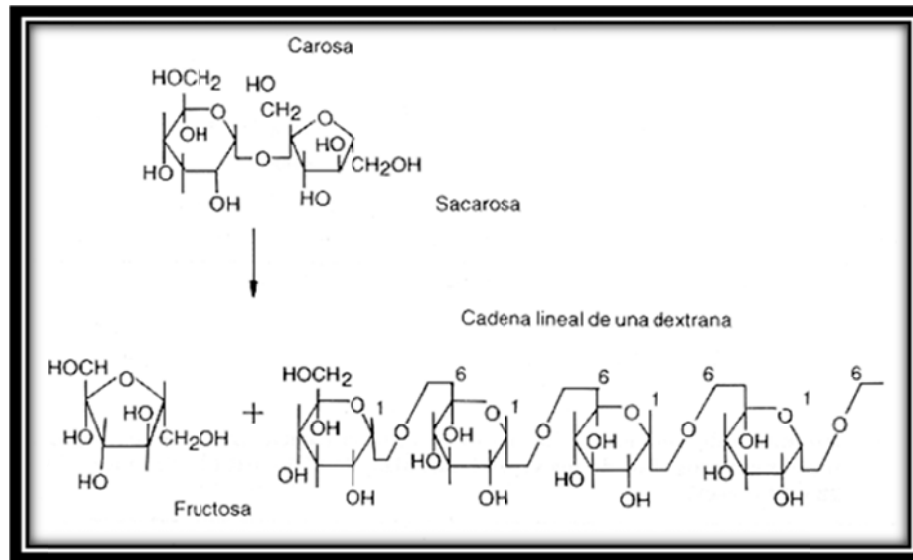
- La liquidación a los proveedores.
- El costo de la cosecha y el transporte.
- La eficiencia de la fábrica, ya que causa incrementos en el bagazo, la fibra y la cachaza, ocasionando disminuciones en la extracción y en la recuperación final del azúcar.
- El mantenimiento de los equipos utilizados en el proceso fabril y en la movilización de la caña.

No obstante, el régimen de lluvias puede influir en los contenidos de materiales extraños, ya que se espera una mayor cantidad de suelo adherido en la caña durante la época de lluvias o de mayor precipitación (Larrahondo, 1995).

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 contribuyen así, a la pérdida de esta última. Las dextranas son polisacáridos constituidos por unidades de glucosa unidas en forma de cadena recta mediante enlaces α -1.6. Al menos entre 50% y 60% de las uniones deben ser α -1.6 para que el polímero se defina como dextrana, existiendo un amplio rango de pesos moleculares entre ellos, ya que oscilan desde unos miles hasta varios millones de unidades de peso molecular. Las dextranas pueden presentar diferentes ramificaciones en su cadena molecular, dependiendo de la clase de bacteria que las produzca, lo cual causa diferencias estructurales en el polímero (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. Las dextranas tienen además la particularidad de elevar los valores de pol, debido a su poder altamente dextro-rotatorio (Larrañondo, 1995).

Ilustración 2 Síntesis de las dextranas ocurre a partir de la sacarosa.



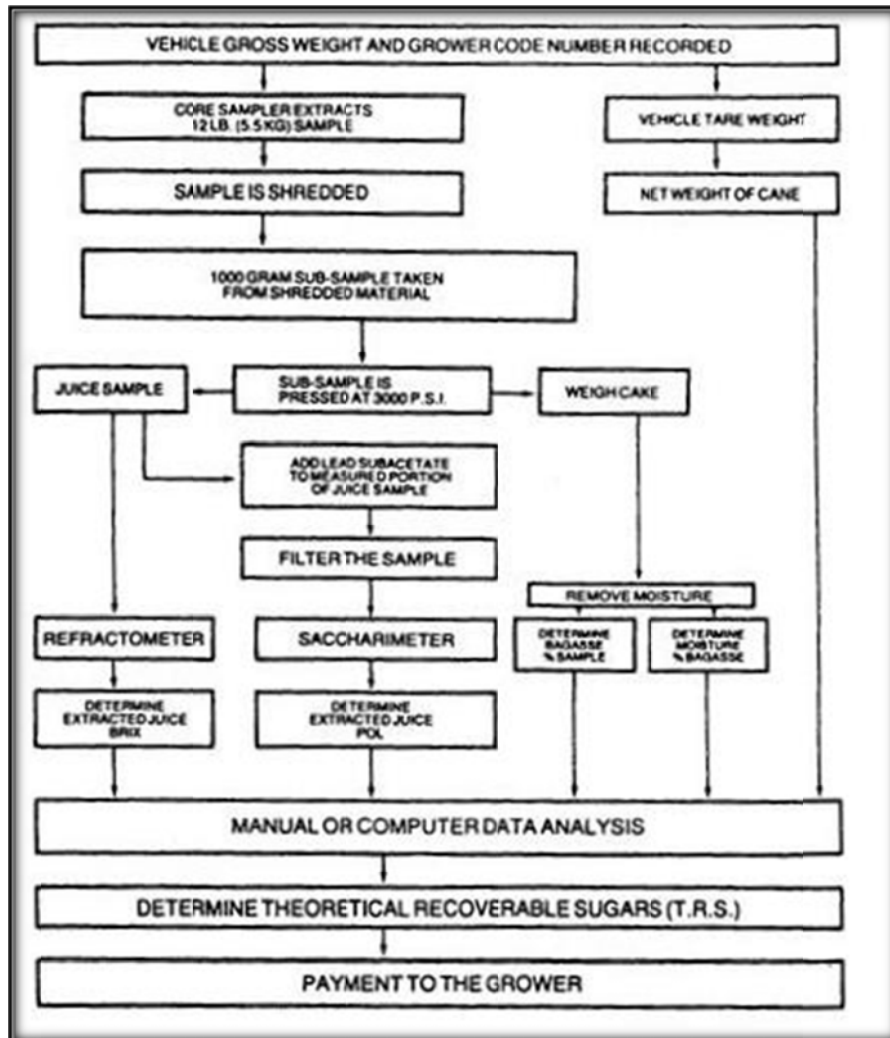
(Larrañondo, 1995).

La síntesis de las dextranas ocurre a partir de la sacarosa mediante la acción de la enzima dextranucrasa. 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. Los principales subproductos originados durante la acción microbiológica de *Leuconostoc* y de otros microorganismos como las levaduras después del corte de la caña, son los ácidos acéticos, lácticos y butíricos, el manitol y el etanol, los cuales ayudan, aún más, al descenso del pH de los jugos y a la síntesis de materiales coloreados (Larrañondo, 1995).

Por último, 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 buen medio de cultivo para *Leuconostoc* y otros microorganismos (Larrahondo, 1995).

Ilustración 3 Diagrama de flujo de recolección de muestras.



(Chen, Meade, & George, 1985).

3.2.5. **Control de calidad de materia prima.** Actualmente el concepto de Azúcar Recuperado es el que debe primar, ya que es el que está asociado a la rentabilidad agroindustrial. Este concepto puede ser evaluado de diferentes maneras: por un lado el denominado Método Indirecto, que valora a partir de las determinaciones de Pol% y Pureza en el Jugo de Primera Presión, y por otro el Método Directo que muestrea y analiza caña, determinando, además de los valores en jugo, la Fibra% caña (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

3.2.5.1. **Método indirecto.** En este método la valoración de la calidad de la caña se realiza a través del análisis de Jugo de Primera Presión (desmenizador o masas de entrada al primer molino de fábrica) y en algunos casos, submuestras del Jugo Primario, entendiéndose a éste como el jugo de la caña sin dilución. Este sistema presenta resultados aceptables cuando la materia prima está libre de trash y con buenas condiciones de manejo (sin deterioro). Esto implica que el sistema indirecto de control de calidad, debe ser acompañado por un buen manejo en la cosecha, el transporte, a fin de evitar estacionamientos prolongados que provocarían errores insalvables en los resultados obtenidos. En el Método indirecto deben tomarse los recaudos necesarios para evitar la mezcla de caña de diferentes productores en el conductor principal del tándem de molienda. Es preferible marcar el inicio y final de la muestra a fin de hacer coincidir la extracción del jugo mientras dure el proceso de molienda de la misma. Existen sistemas de marcación automáticos que permiten acompañar a la muestra desde su posición en la mesa alimentadora hasta el primer molino (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Es conveniente tomar la muestra del jugo a lo largo de la masa del equipo de primera presión en una relación de 2 a 3 litros por tonelada de caña molida. Una submuestra perfectamente homogénea debe ser derivada al laboratorio para las determinaciones analíticas. Una alternativa para mejorar las operaciones de toma de muestra del jugo, es un sistema constituido por un par de bombas dosificadoras, que desde un pulmón recolector envían proporcionalmente una submuestra directamente al laboratorio. Cualquier otra forma de codificación, que permita la correcta identificación de la muestra, es mejoradora del sistema, en el sentido de garantizar la individualidad del resultado (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

3.2.5.1.1. Determinaciones analíticas. Para la aplicación del sistema es necesario realizar dos determinaciones físicoquímicas sobre el jugo muestreado:

- El contenido de Sólidos Solubles Totales % (Brix%).
- El contenido de sacarosa aparente % (Pol%).

Cada una de estas determinaciones puede realizarse de dos maneras diferentes, en función de la disponibilidad de equipamiento (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

- Determinación de Brix%:

Se efectúa por lectura en un aerómetro con escala en grados Brix a temperatura controlada, o por la determinación con refractómetro. El aerómetro (Brixómetro) es un equipo de peso constante capaz de evaluar el cambio volumétrico sobre una escala calibrada, mientras que el refractómetro, es un instrumento capaz de compensar el cambio de dirección de la luz al atravesar la interfase entre dos medios. En ambos casos, debe observarse la ausencia de material en suspensión y de aire incluido, ya que inciden en el resultado final (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

- Determinación de Pol% jugo:

Se puede realizar sobre lectura directa de una submuestra clarificada, o aprovechando la definición del grado sacarimétrico sobre una solución de 26 gramos de jugo disuelta hasta 100 ml con agua destilada libre de materia orgánica. A su vez, cada determinación puede efectuarse con polarímetros ópticos o digitales. Cuando se realiza mediante lectura directa, se utiliza el valor de Brix% para la determinación de la Pol% jugo como indicador de la densidad de la solución, a fin de conocer la concentración de azúcar en la misma. La utilización de equipos digitales con salidas de resultados, permite automatizar las determinaciones excluyéndolas de los errores operativos asociados. En este método la Pol% caña se calcula indirectamente a partir de la Pol% jugo utilizando el denominado Factor Java, realizando así una estimación teórica del contenido de fibra de la caña que le quita precisión a la determinación de la Pol% caña y constituye la principal desventaja del sistema. El sistema indirecto debe complementarse con una determinación física de la materia extraña (Trash), que acompaña a la muestra (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

- Determinación de la materia extraña (Trash %):

Antes del ingreso de la caña al proceso de molienda, se extrae una muestra para determinar el contenido de materias extrañas o trash que acompaña a los tallos maduros. El procedimiento consiste en pesar la muestra y luego separar en forma manual el tallo molible de todo aquel material que acompañe a la caña (hojas verdes y secas, despunte, porciones inmaduras del tallo, tierra, malezas, raíces, tallos deteriorados, etc.) (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Cabe aclarar que se considera tallo inmaduro, a toda aquella porción del tallo que tiene una cantidad de azúcar que no justifica la molienda. Para determinar la inmadurez del tallo se fija como nivel mínimo de calidad 12 ó 13% Brix. Todo entrenudo que tenga un nivel de Brix% inferior no es materia prima y por lo tanto debe formar parte del trash (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Los tallos molibles que se recuperan de la muestra son pesados y la diferencia de peso respecto al total de la muestra indica la cantidad de materia extraña o trash presente. La referencia de esta diferencia a 100 kg de muestra, indica el valor de Trash%. Cálculo del Azúcar Recuperado Los valores determinados de Brix% y Pol% en jugo son los indicadores a utilizar para el cálculo de las siguientes variables:

$$\text{Pureza\%} = \text{Pol\% jugo} \times 100 / \text{Brix\% jugo}$$

$$\text{Pol\% Caña} = \text{Pol\% jugo} \times \text{Factor de Java (Fj)}$$

$$\text{Azúcar Recuperado} = \text{Pol \% caña} \times \text{RW} \times \text{ES} \times \text{EI} \times 1/\text{Pol Azúcar}$$

Donde:

RW = Recuperación Teórica Winter.

ES = Extracción de Sacarosa.

EI = Eficiencia Industrial.

Como ya se ha mencionado, la incidencia del trash y el deterioro de la caña atentan contra la exactitud del sistema indirecto de evaluación de calidad en caña, lo que se traduce en diferencias significativas entre el azúcar ingresado a proceso y el determinado individualmente a cada productor. Para subsanar estos desfasajes se emplean actualmente diferentes criterios de ajuste, tanto sobre el valor del Factor Java (tomando valores diferentes en función de la época de cosecha), como correcciones de algunos de los parámetros de la ecuación de azúcar recuperado. Un ejemplo es la introducción de un factor que modifica el valor medido de Pureza del Jugo de Primera Presión, para ser utilizado en la Recuperación Teórica de Winter, ya que la fórmula requiere como dato la pureza del Jugo Mixto realmente extraído (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Es factible también encontrar, en algunos casos, la utilización de relaciones matemáticas entre el contenido de fibra industrial y la extracción de sacarosa y además modificaciones que ajustan la eficiencia industrial para cada intervalo de tiempo convenido, asociados al cambio de calidad por el estado madurativo de la caña de azúcar durante el período de molienda. Estas modificaciones, como así también, la participación de cada sector sobre el azúcar recuperado, deben ser acordadas entre los sectores involucrados (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

3.2.5.2. Método directo. La característica principal de este método reside en que evalúa la calidad fabril en una muestra de caña tomada antes de la molienda. El hecho de que se determine el porcentaje de fibra de la caña, entendiéndose a la misma como todo material insoluble en agua (fibra + trash), lo señala como un método de evaluación más confiable cuando la caña es cosechada usando sistemas semi mecanizados y/o mecanizados que incorporan una mayor cantidad de materia extraña (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

La muestra se toma directamente del transporte, lo que asegura su individualidad. Además, otra ventaja es que permite liberar los equipos de tracción una vez realizado el muestreo. Se puede señalar como desventaja que, debido al reducido tamaño de la muestra sobre la cual se realizan los análisis, tiene una menor representatividad que la muestra del sistema indirecto. Sin embargo, el número de muestreos mejora sustancialmente esta limitante, por lo que para productores medianos y grandes que envían a molienda varios equipos/día durante la zafra, los errores se compensan al final de la campaña (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

- Toma y preparación de la muestra:

La muestra de caña a analizar se extrae mediante una sonda. La que alcanzó mayor difusión en la industria cañera es el muestreador conocido como Core Sampler. Esta sonda penetra en el cargamento de materia prima en forma horizontal u oblicua (generalmente 45°). En función del diámetro de la sonda se extraen muestras de 12 kg (sonda de 20,3 cm de diámetro) ó 6 kg (sonda de 15,2 cm). La muestra extraída es desfibrada y luego se separa una submuestra de 1 kg para realizar la extracción del jugo por prensado. El equipo desfibrador empleado es de martillos, capaz de asegurar valores superiores al 90% de células abiertas, lo que permite una elevada extracción en prensa (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Ilustración 4 Vista general del Core Sampler.



(Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Ilustración 5 Toma de muestra con el Core Sampler.



(Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Ilustración 6 Equipo desfibrador.



(Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Ilustración 7 Muestra después de pasar por el desfibrador.



(Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

3.2.5.2.1. Determinaciones analíticas. Las determinaciones básicas que requiere el Sistema de Análisis Directo son: Brix% y Pol% en jugo y Fibra% caña. Las determinaciones en jugo pueden realizarse según las metodologías explica muestra previamente homogeneizada y se obtienen dos productos: el jugo donde se efectuarán las determinaciones de Brix% y Pol% jugo, y un residuo fibroso que se utilizará para la determinación de Fibra% caña (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Ilustración 8 Prensa hidráulica.



(Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

La determinación de fibra en caña, en general, se realiza mediante el uso de ecuaciones de regresión entre el peso del residuo fibroso obtenido en la operación de prensado y el valor de fibra% presente en la muestra. Estas ecuaciones muestran un buen grado de correlación cuando el material inorgánico que acompaña a la materia prima es relativamente bajo. Cuando se requiere mayor precisión se utilizan además, las determinaciones de humedad en el residuo fibroso, y en algunos casos, la determinación de material insoluble por lavados sucesivos (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

- Cálculo del azúcar recuperado:

Desde su implementación hasta nuestros días, el sistema de análisis directo fue objeto de modificaciones, con el fin de poder predecir cada vez con mayor exactitud, el azúcar posible de recuperar. Con los valores obtenidos de Pol% jugo, Fibra% y Pureza, se calcula el azúcar Recuperado empleando diferentes fórmulas que deben ser consensuadas según las características de cada región y sistema productivo (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

El método directo de control de calidad puede y debe mejorarse en función de las características regionales, dando al conjunto agroindustrial precisiones con respecto al verdadero potencial cualitativo de la materia prima, e identificando los problemas que requieren optimización (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

3.2.5.3. Calidad para la elaboración simultánea de diferentes productos comerciales. Cuando el único producto final de valor comercial es el azúcar, los métodos directos o indirectos para determinar el azúcar recuperable, cumplen con el objetivo con diferentes grados de error. Sin embargo, cuando el objetivo de producción cambia, como es el caso de aumentar la producción de etanol a expensas del azúcar, debe contemplarse otro sistema de evaluación de calidad de la materia prima, en función del potencial para elaborar ambos productos. Un ejemplo actual de este tipo de modificación es el sistema de valoración de calidad de caña que se utiliza en Brasil, donde se determinan las concentraciones en Azúcares Fermentecibles Totales, por ser la base de los hidratos de carbono a partir de los cuales se realiza la elaboración dual de azúcar y etanol (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

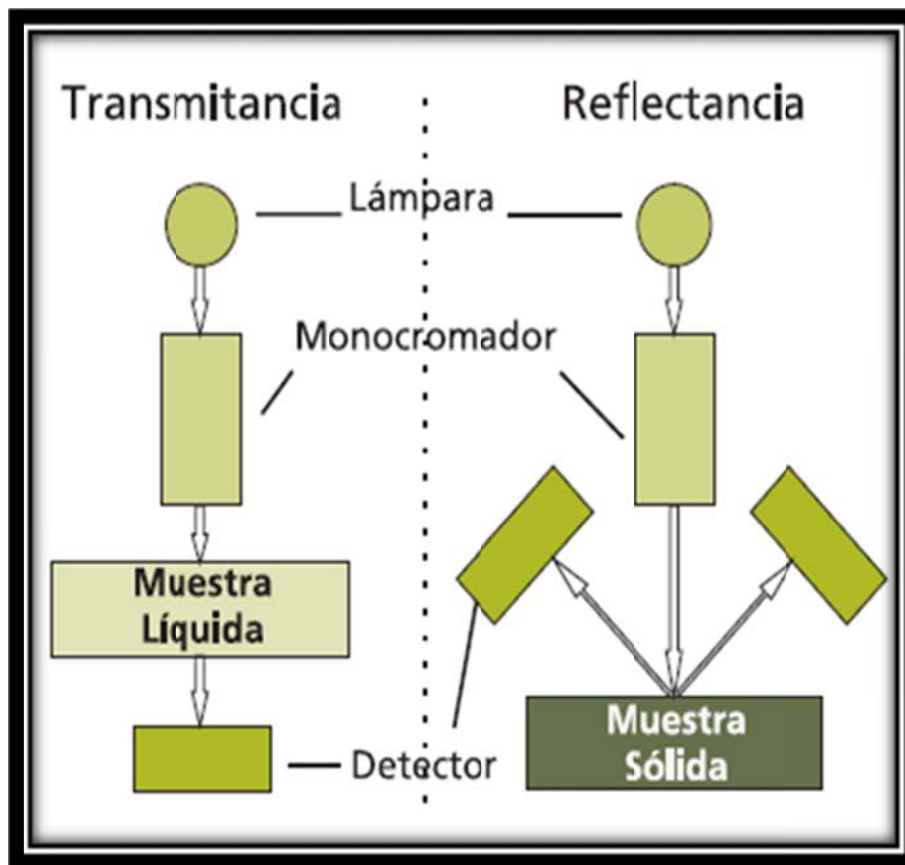
En el contexto de la crisis energética mundial del petróleo, cultivos energéticos como la caña de azúcar muestran un potencial interesante para la generación de energía eléctrica a partir de la fibra. En la actualidad existen fábricas azucareras que han desarrollado sistemas industriales de producción de azúcar, alcohol y energía eléctrica como productos finales del proceso, emprendimientos estos que requerirán reajustes en los sistemas de valoración que midan apropiadamente la calidad de la materia prima para este tipo de producción simultánea (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

La adecuada valoración de la materia prima, es la clave de optimización del proceso agroindustrial, ya que cuando se realiza en forma correcta permite identificar las pérdidas reales y abrir el camino para optimizar los procesos y mejorar la rentabilidad (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

3.2.5.4. Nuevas tecnologías. En países como Estados Unidos, Colombia, Australia y Sud África se ha incorporado el uso de comparadores analíticos para determinaciones de calidad y madurez de caña. Este nuevo equipamiento conocido como NIR, (por sus siglas en inglés de Espectroscopia de Infrarrojo Cercano), permite, mediante comparaciones del espectro generado con una base de datos previamente confeccionada, entregar resultados analíticos diversos en tiempos muy cortos. En esencia, estos equipos utilizan ecuaciones de regresión entre el espectro generado y los valores encontrados por métodos primarios de análisis.

La cantidad de datos y la calidad de los métodos primarios utilizados para la calibración, definen el error de comparación que puede lograrse. Existen comercialmente equipos NIR para determinaciones en muestras líquidas y sólidas con detectores diferenciales para el producto a analizarse. En el caso de líquidos se utilizan los de transmitancia y en el caso de sólidos los de reflectancia (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Ilustración 9 Esquema de equipos de infrarrojo cercano para muestras líquidas y sólidas.



(Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

Por último, se deben considerar los mecanismos para asegurar la calidad y/o la aplicación de normas internacionales para gerenciar este tipo de actividad, ya que estos sistemas tienen como objetivo establecer las metodologías y procedimientos que se aplicarán y el control de los mismos, para asegurar la homogeneidad del sistema, brindando transparencia y conocimiento cierto de lo realizado. Este avance permitirá generar un estado de mayor confiabilidad, que es importante para estimular condiciones de trabajo de mayor productividad en la agroindustria (Diez, Digonzelli, Scandal, & Romero).

3.2.6. Pruebas analíticas.

3.2.6.1. ICUMSA. ICUMSA (Comisión Internacional para la Unificación de los Métodos de Análisis del Azúcar) es un organismo mundial que agrupa a las actividades de los Comités Nacionales de Análisis del Azúcar en más de treinta países miembros. Icumsa es la única organización internacional que trabaja con métodos analíticos para la industria azucarera. Además los métodos Icumsa son reconocidos por las autoridades como la Comisión del Codex Alimentarius, la OIML, la UE y los EE.UU. Food Chemicals Codex (ICUMSA).

Los métodos son recomendados para Provisional (T) la aprobación por ICUMSA en primera instancia. Al encontrarse con todos los requisitos de la Comisión, los métodos se otorgan Oficial (O) de estado (ICUMSA).

El libro contiene Métodos Icumsa, tablas y cualquier otra información que se cree que son de uso general en la industria del azúcar del mundo y se ofrecen en cumplimiento de los objetivos de la Comisión para proporcionar un servicio de información a los miembros. Además, hay otros usuarios y Métodos Icumsa que son reconocidos por las autoridades como la Comisión del Codex Alimentarius, la OIML, la UE y los EE.UU. Food Chemicals Codex (ICUMSA).

La primera edición del libro Métodos Icumsa se publicó en 1994. La última edición del libro Icumsa se publicó en 2009. Este libro contiene los 109 métodos enumerados en Métodos individuales (ICUMSA).

3.3. Extracción del jugo.

3.3.1. **Pesaje de la caña.** La caña se pesa por lo general en grandes básculas de plataforma junto con la unidad de transporte la que se recibe en el ingenio (carro de ferrocarril, camión, carreta, etc.). La caña almacenada por más de 12 horas en camiones, carros o pilas está sujeta a pérdidas de azúcar que en gran parte se pueden evitar por una pronta molienda (Chen, 1985).

3.3.2. **Dispositivos de descarga.** Todos los ingenios modernos emplean descargadores mecánicos. Las grandes grúas de pluma que cubren un radio de 30.5 m para apilar la caña suministran caña al ingenio durante las horas de la noche. Esta misma pluma levanta la caña de las pilas y la deposita directamente en el transportador, o durante el día, deposita la caña descargada sobre el transportador. Cuando la caña llega a la fábrica en carros de ferrocarril, es práctica común dejarla en los carros hasta que se entrega al transportador; esta operación se realiza ya sea alzando la caña por atados mediante malacates con una capacidad de 5 a 10 toneladas, o bien volteando la carga del carro o del camión sobre una plataforma de volteo. Los dispositivos basculantes en los grandes carros de ferrocarril son de volteo lateral, con el lado del carro que bascula articulado en la parte superior. En el caso de carros, camiones y remolques de menor capacidad son corrientes los arreglos de volteo en los extremos. Muchos camiones están equipados con dispositivos automáticos de volteo (Chen, 1985).

Los rastrillos de caña han sido sustituidos en gran parte por las grúas de pluma para el manejo de la caña. Dichos dispositivos jalan la caña fuera de los carros o camiones y la depositan sobre el transportador o una mesa de alimentación lateral (Chen, 1985).

En el sistema de contenedores para caña picada, los contenedores son llevados a una mesa de vaciamiento donde son volteados para verter la caña en trozos sobre dicha mesa. Después de ser descargada, la caña va hacia los molinos en transportadores de diversos tipos y diseños provistos de madera o metal, y en muchos casos de arrastres por cadena. Los transportadores o elevadores de caña son movidos por motores independientes de los que mueven los molinos, con el objeto de obtener mayor flexibilidad y uniformidad en la alimentación a la desmenuzadora, y por consiguiente, a todo el tren de molinos (Chen, 1985).

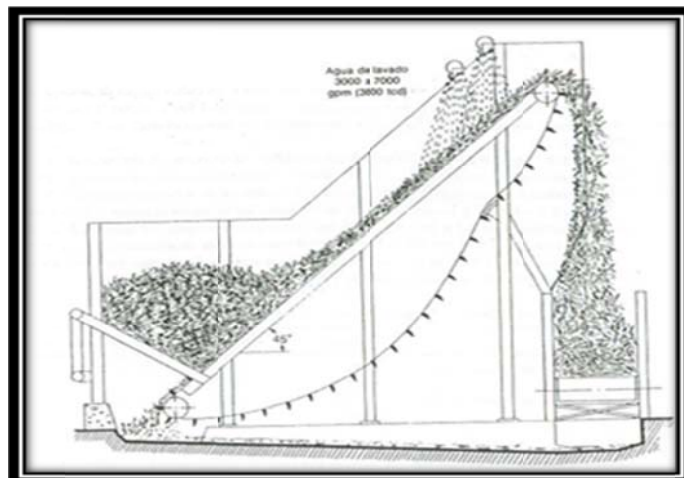
3.3.3. **Equipo para la limpieza de la caña.** El proceso de limpieza de la caña forma parte del equipo transportador, o constituye un proceso auxiliar del mismo, y es necesario en aquellas regiones donde predominan los métodos mecánicos de recolección de caña. En Luisiana, donde no abundan las rocas en el terreno, se somete la caña sobre el transportador a una lluvia de agua caliente que procede del sistema de condensación y que se aplica a alta presión a través de toberas. El agua de desecho, que arrastra el lodo y gran parte de la basura, es conducida al mismo sistema de drenaje del agua del condensador, o se trata por separado antes de proceder a la descarga final (Chen, 1985).

Tabla 1 Porcentaje de ceniza del bagazo libre de humedad.

	Antes	Después	% de reducción
Procedente del Ingenio SDN	11.2	5.7	49.1
	11.9	7.9	33.6
Procedente del Ingenio GWD	9.0	5.5	38.9
	10.3	7.5	37.2

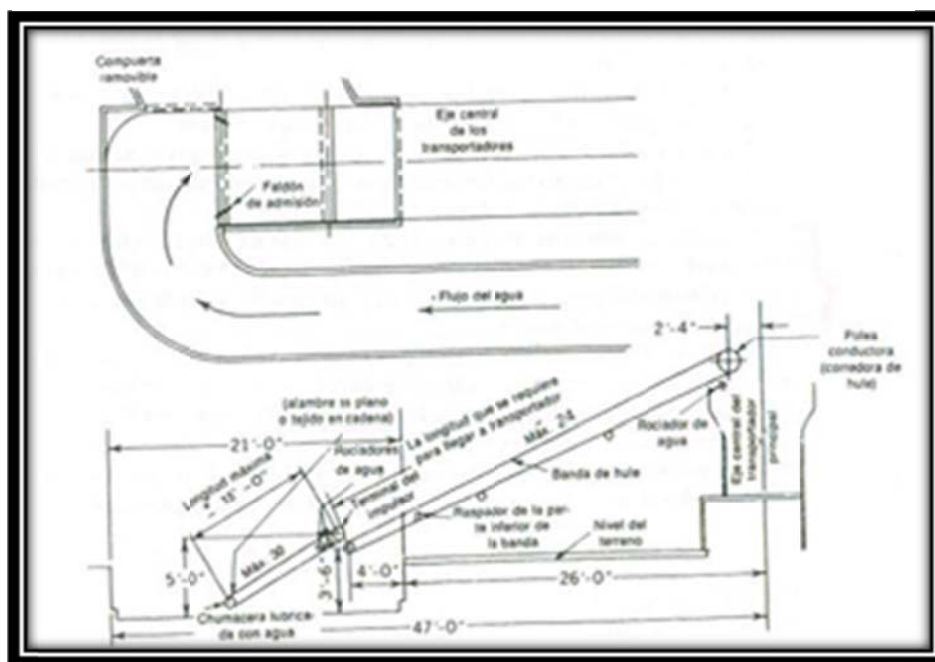
En 1972 se desarrolló un sistema que consiste en una mesa alimentadora con una inclinación de 45° (ilustración 10) y se obtuvo una delgada capa continua de caña de 12 a 18 pulgadas (0.3 a 0.5 m), utilizando el agua de lavado de una manera eficiente. La efectividad del lavado en una mesa a 45° se comprende mejor si se menciona que la ceniza en el bagazo se reduce del 27 al 49% (Chen, 1985).

Ilustración 10 Mesa de alimentación CAMECO a 45°.



Esto significa que el aumento de la energía en el bagazo es de un 3.0 a un 4.6%. Además, el lavado ahorra de 6 a 8 lb de azúcar por tonelada de caña (Chen, 1985).

Con el objetivo de retirar la caña utilizable de la corriente de agua y depositarla de nuevo en el transportador principal, muchos ingenios de Luisiana han instalado el transportador cribador móvil, diseñado por R. J. Tricon Co. Figura No. 2 (Chen, 1985).



(Chen, 1985).

Una limpieza minuciosa de la caña da por resultado un menor desgaste del equipo de molienda y del sistema de bombeo del jugo y permite que el ingenio opere a plena capacidad. Reduce asimismo las pérdidas de sacarosa en la cachaza del filtro debido a que se reduce la cantidad de lodo en el mismo (Chen, 1985).

3.3.4. **Preparación de la caña para la molienda.** El proceso de la molienda se divide en dos partes: el rompimiento de las estructuras duras y las células, y la verdadera molienda de la caña. La preparación de la caña se lleva a cabo de varias maneras:

Mediante cuchillas giratorias que cortan la caña en trozos pero no extraen el jugo.

Con desfibradoras que reducen la caña a tiras, sin extraer el jugo.

Por medio de desmenuzadoras que quiebran y aplastan la caña y extraen una gran parte del jugo.

Mediante combinaciones de algunos o todos los medios antes enumerados.

El índice de preparación (IP) es el porcentaje del lavado de Pol extraído por desintegración. El IP se correlaciona bien con la extracción del molino. Los resultados muestran una mejor extracción con una preparación mejor (Chen, 1985).

3.3.5 **Cuchillas cortacaña giratorias.** Por lo general, se utilizan dos juegos de cuchillas que giran a velocidades que oscilan entre 450 y 700 rpm. En la Figura No. 3 se ilustra una instalación típica. Al presente, se cuenta con varios diseños patentados de cuchillas que han sido desarrolladas en el transcurso de los años y facilitan la sustitución y el afilado, además de reducir la rotura de las hojas. Algunos prefieren las hojas oscilantes del tipo Ramsey, otros las hojas con filos serrados, o las hojas de doble filo, y aun otros las hojas autoafilantes (Ilustración 12); también se utilizan hojas de filo curvo. Varios informes determinan que la potencia requerida para operar un juego de cuchillas varía entre 1 y 2 caballos de fuerza por tonelada de caña por hora. El número de cuchillas se calcula mediante la ecuación (Chen, 1985).

Ecuación 1

$$N = \frac{L}{P} - 1$$

En donde,

N= número de cuchillas

L= ancho del transportador (pulg.)

P= Paso de las cuchillas (pulg. Generalmente se adopta un paso de 2 pulg.)

Ilustración 12 Instalación típica de las cuchillas.

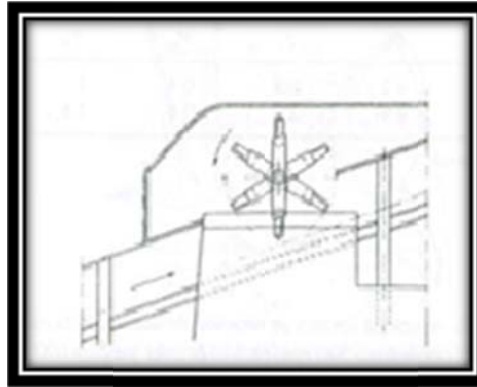
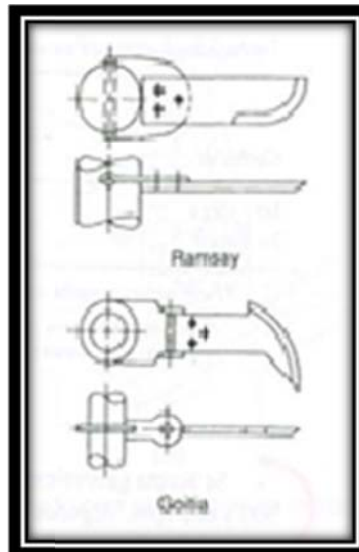


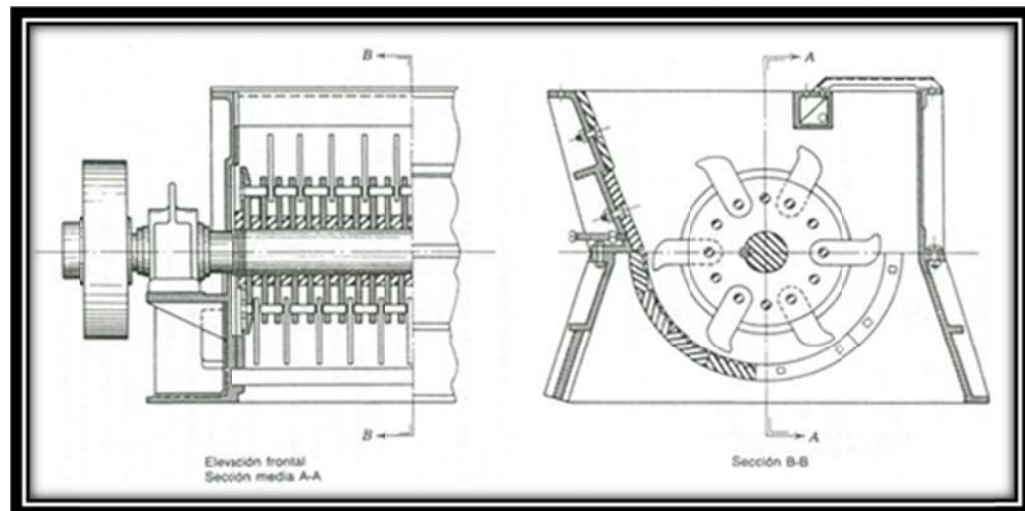
Ilustración 13 Cuchillas oscilantes.



Se acepta generalmente que la velocidad óptima de rotación de una cuchilla oscila entre 500 y 600 rpm. Algunos autores recomiendan 500 rpm para el primer juego y 600 rpm para el segundo. Otros prefieren la misma velocidad para ambos juegos. Es práctica general que las cuchillas cortacaña giren en la misma dirección con que avanza la caña (Chen, 1985).

3.3.6 **Desfibradoras.** Como su nombre lo indica, una desfibradora desgarrar los pedazos de caña provenientes de las cuchillas convirtiéndolos en tiras sin extraer jugo alguno. Las desfibradoras más modernas son del tipo de martillos oscilantes (1200 rpm), ejemplificadas por las desfibradoras Searby y Gruendler (Ilustración 14). En la mayoría de los países, la desfibradora precede a la desmenuzadora o trituradora. La desfibradora no es capaz de manejar tallos enteros, pero en trenes en los que las cuchillas han cortado la caña en astillas. La desfibradora puede sustituir a la desmenuzadora. A pesar que la caña picada tiene una apariencia esponjosa, tiene una densidad 40% mayor que la de la caña suelta y entera, debido a la ausencia de espacios vacíos. Esto permite una alimentación más uniforme de los molinos, asegura un aumento en la capacidad del trapiche y en la extracción de sacarosa, y hace que se pierda menos sacarosa en el bagazo. La práctica usual es mover las desfibradoras con motores eléctricos de corriente directa y acoplamiento flexible (Chen, 1985).

Ilustración 14 Desfibradora de caña Gruender.



La desfibradora Maxwell constituye otra modificación que consiste en un rodillo dentado instalado en el lado de salida de la desmenuzadora, y que gira en dirección contraria a la del rodillo inferior de la desmenuzadora (Ilustración 16). Los dientes limpian los trozos de caña de la misma manera que una cardadora. Es fácil de instalar y de bajo costo (Chen, 1985).

Ilustración 15 Desfibradora Maxwell.



En el sistema de difusión Silver, el equipo requerido para la preparación de la caña consiste en un rompedor y un desfibrador; la construcción se muestra en la Ilustración 16 y la Ilustración 17. El último adelanto lo constituye el Unigrator (Ilustración 18) que funciona tanto como cortadora o como desfibradora. Esta unidad realiza el corte y la desfibración en una sola operación, y requiere 3.75 caballos de fuerza por tonelada de caña por hora. Puede acoplarse en el lugar del segundo juego de cuchillas, actuando el primer juego como nivelador (Chen, 1985).

Ilustración 16 Rompedor de caña.

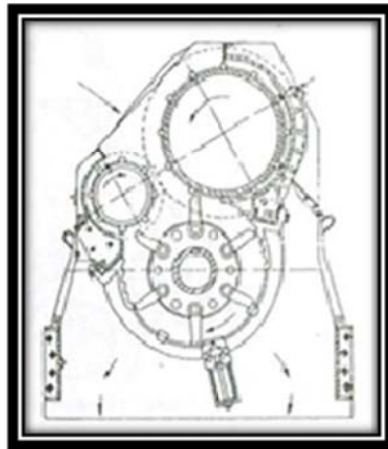


Ilustración 17 Deslibador.

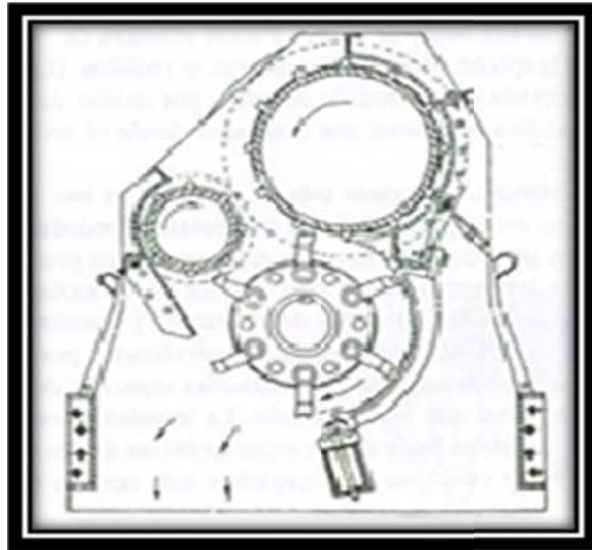
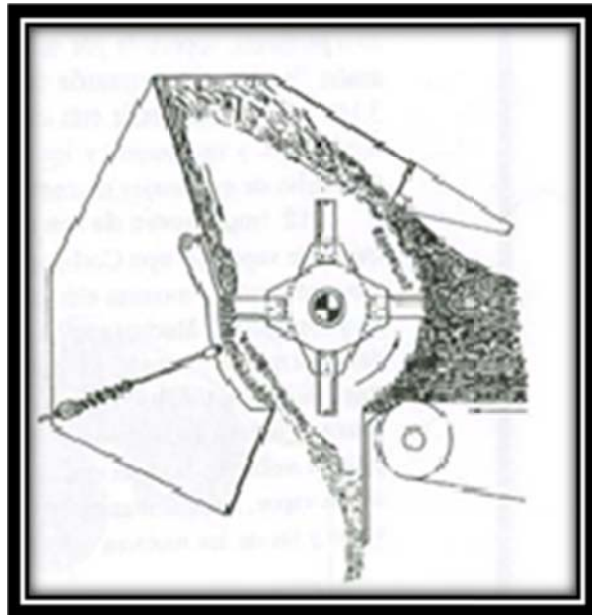


Ilustración 18 Deslibador picador.



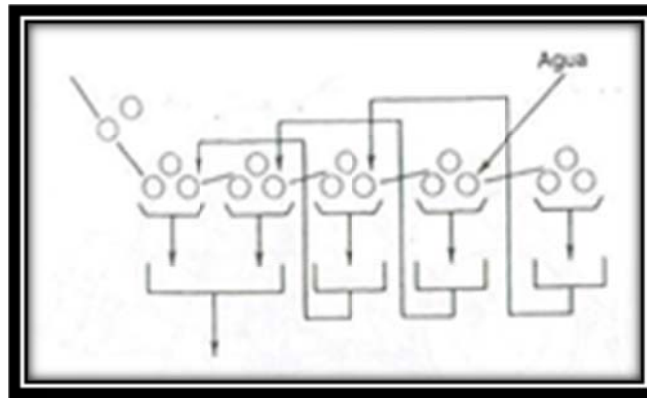
3.3.7 Desmenuzadoras o trituradoras. En general, las desmenuzadoras son de dos rodillos (ocasionalmente de tres) con muescas profundas que desmenuzan o pican la caña, exprimiendo de un 40 a un 70% del jugo. Las cuchillas giratorias, ya descritas, son suplementarias a las desmenuzadoras. Todos los rodillos de desmenuzadora tienen dos tipos de ranuración: el tipo Krajewski, con ranura en zigzag o chevron en sentido longitudinal, y el tipo Fulton, con dientes cortantes en forma de V dispuestos en espiral con una separación o paso de 2 a 3 pulgadas. La ranuración tipo Krajewski tiene a impedir el libre flujo del líquido y ha sufrido modificaciones: 1) ranurando verticalmente, 2) cortando las ranuras chevron a intervalos para formar rombos, y 3) mediante la adición de ranuras Messchaert para facilitar el flujo de jugo. En Cuba se utilizaron desmenuzadoras dobles antes de que se hiciera predominante el uso de las cuchillas giratorias, y se instalaron algunas trituradoras triples. La primera desmenuzadora tiene dientes más largos que la segunda, o el acanalamiento es de un diseño diferente. Las desmenuzadoras de tres rodillos, llamadas trituradoras de molino, son en realidad molinos de tres rodillos con ranuras profundas en V. Se han recibido informes favorables de ellas procedentes de Hawaii, donde se siguen usando ampliamente (Chen, 1985).

3.3.8 Molienda. Con el equipo que se acaba de describir, la caña preparada con el 70 al 80% de su peso en jugo pasa a través de la desmenuzadora y los siguientes molinos. La molienda en seco produce una mezcla aproximadamente igual de fibra leñosa y jugo. El añadir agua o jugo diluido al bagazo después de cada molino diluye a su vez el jugo contenido y aumenta la extracción a medida que se exprime este jugo. Este uso del agua se conoce como maceración, imbibición o saturación (Chen, 1985).

3.3.8.1 Maceración. La ISSCT define la maceración como «una forma de imbibición en la que el bagazo se impregna con un exceso de fluido. El término se aplica asimismo al fluido utilizado, y vagamente como una alternativa del término imbibición» el proceso en el que se aplica agua o jugo a un bagazo para aumentar la extracción de jugo en el siguiente molino. El término se aplica también al fluido utilizado con este fin. La verdadera maceración se practica en Australia y Fidji, pero no es corriente en otros países azucareros (Chen, 1985).

La práctica general de la imbibición se conoce como imbibición compuesta aplicable a trenes de cuatro o más molinos. Se aplica agua al bagazo que se dirige al último molino, el jugo del último molino es devuelto al bagazo que va al penúltimo molino; este jugo, a su vez, regresa al bagazo del molino anterior, y así sucesivamente (Ilustración 19) (Chen, 1985).

Ilustración 19 Imbibición compuesta.



En Australia se utiliza la verdadera maceración o maceración en baño. Este sistema requiere un mayor consumo de agua con un mayor grado de dilución. Debido a que el bagazo está saturado, su alimentación al siguiente molino crea algunos problemas. Resulta así esencial el uso de un empujador o del alimentador a presión como el desarrollado en Australia, en la verdadera maceración. El fluido penetra en el bagazo de una manera más eficaz, pero la extracción adicional raras veces justifica las complicaciones implicadas (Chen, 1985).

3.3.8.2 Imbibición compuesta. La imbibición compuesta se utiliza actualmente en todas las instalaciones modernas. El procedimiento corriente consiste en enviar el jugo proveniente de la desmenuzadora y del primero y segundo molino al proceso, pero el jugo del segundo molino puede manejarse por separado. La aplicación de agua y jugos tanto a la superficie superior como a la inferior del colchón de bagazo resulta más eficaz, aunque presenta algunas dificultades prácticas. El agua aplicada a presión en chorros es más efectiva, pero este método no se puede emplear con los jugos debido a la presencia del bagazo (bagazo fino). Existen diversos métodos para distribuir el jugo sobre el colchón de bagazo, cada uno de los cuales trata de esparcir el flujo del jugo a todo lo ancho del molino: canales con bordes serrados, vaciar la corriente de guarapo contra una placa distribuidora, canales de rebose, etc. Como regla el agua o el jugo se aplica al bagazo a medida que éste sale del molino, con la idea de que el bagazo absorba el líquido como una esponja que se expande. Los líquidos no penetran hasta las capas inferiores del colchón, no importa dónde ni cómo sean aplicados (Chen, 1985).

El porcentaje de agua de imbibición que se aplica varía según el país, la capacidad de los molinos, las características de la caña (sobre todo su contenido de fibra) y los costos relativos del

combustible y del azúcar. Los molinos modernos utilizan del 25 al 30% de agua, como se acostumbra en las fábricas más grandes (Chen, 1985).

Hugot demuestra que de manera general se alcanza la imbibición óptima cuando la proporción en cuanto a peso entre el agua de imbibición y la fibra es igual a 2. Hace hincapié en que la proporción, no la cantidad de agua, lo que caracteriza a la imbibición:

Ecuación 2

$$\lambda = \frac{W}{F}$$

En donde,

W= % de imbibición de la caña

F= % de fibra de la caña

El sitio donde se aplica la imbibición es muy importante. Valdés define el sitio óptimo para la adición de la imbibición como el lugar donde el tiempo requerido para penetrar el colchón es igual al tiempo necesario para que la caña pase hasta la siguiente entrada de alimentación es decir, (Chen, 1985):

Ecuación 3

$$Z = \frac{V_1}{V_2} \times h_1$$

En donde,

Z= distancia antes de la entrada de alimentación

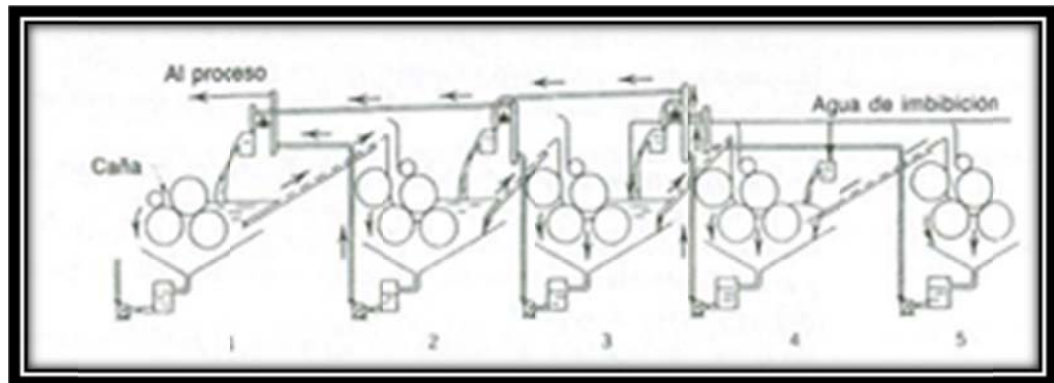
V1= rapidez de percolación

V2= velocidad del transportador de caña

h1= profundidad del colchón

3.3.8.3 **Imbibición integral.** Éste es el desarrollo más reciente, la extracción depende menos de la cantidad de imbibición. A pesar de que se utiliza menos imbibición, se logra una mayor extracción. Hugot atribuye los buenos resultados de bagazo de alimentación con alto contenido de humedad a: 1) la sustitución del fondo liso del transportador por uno perforado y 2) el acondicionamiento de dos rodillos alimentadores antes del rodillo de alimentación, además de una pequeña placa para la basura entre el rodillo de alimentación debajo del bagazo y el rodillo normal de alimentación (Ilustración 20). Los resultados obtenidos en varios molinos muestran una menor imbibición, mayor extracción y menos pérdida de Pol en el bagazo (Chen, 1985).

Ilustración 20 Imbibición integral.



Existe cierta controversia sobre si se debe usar agua fría o caliente en la imbibición. Los argumentos a favor del agua caliente son los siguientes: se logra alguna economía en cuanto a combustible; la ruptura de algunas células por la acción del calor del agua (por arriba de 160°F ó 70°C); se obtiene una ligera evaporación del bagazo en tránsito; se puede usar parte del condensado de retorno procedente de los cuerpos de los evaporadores, y por último se obtiene una pequeña mejora en la extracción, la que no siempre es perceptible. Aún en las mejores condiciones, el proceso de imbibición no es totalmente efectivo en cuanto a que no diluye todo el jugo que contiene el bagazo. Las desventajas de la imbibición en caliente son: mayor extracción de gomas e impurezas provenientes de la hojarasca; los molinos no se alimentan en forma óptima; y se facilita el crecimiento de los microorganismos productores de dextrana (Chen, 1985).

3.3.8.4 Influencia de la estructura de la caña sobre la molienda.

La estructura de la caña de azúcar tiene una marcada influencia sobre los resultados de la molienda. Con una molinada eficiente, algunas cañas producen bagazo que contiene 50% de fibra y 45% humedad; otras cañas, al ser molidas en los mismos molinos ajustados en la misma forma y con una eficiencia aparentemente igual, producen un bagazo con contenido de fibra de 45% y 50% de humedad (Chen, 1985).

El porcentaje de fibra tiene una influencia notable sobre la extracción; a mayor cantidad de fibra, menor extracción, trabajando con la misma eficiencia de molienda. En Luisiana, el porcentaje de fibra se ha elevado de 9 ó 10% a 15 ó 16% debido al cambio en las variedades de caña y la basura proveniente del campo. Las hojas adheridas y las puntas inmaduras de los tallos, que permanecen en la caña debido a la recolección mecánica, aumentan la cantidad de fibra que debe pasar por los molinos y afectan adversamente a la extracción (Chen, 1985).

3.3.8.5 Asepsia. La asepsia es la ausencia de microorganismos patógenos

en los tejidos vivos. La asepsia también se le conoce como asepsis. La técnica aséptica consiste en evitar la contaminación. Para poder eliminar todos los microorganismos se debe de llevar un proceso de esterilización mediante la utilización de gases, calor y productos químicos. (Ingenio Santos, 2010)

El antiséptico es diferente del desinfectante. El antiséptico es un agente químico que destruye los microorganismos patógenos e inhibe su crecimiento. Se utiliza antiséptico para los seres vivos (Paciente o cirujano) El desinfectante es un agente químico bactericida que se aplica sobre los objetos. (Ingenio Santos, 2010)

Al mantener un área de trabajo limpia se reducen los riesgos, se evitan accidentes e incidentes, se alarga el tiempo de vida de los equipos, se facilita el mantenimiento y se mejoran los estándares de calidad de un producto o servicio.

La asepsia en los molinos es importante ya que evita que se den pérdidas de azúcar debido a la transformación de la sacarosa en glucosa (la azúcar no cristalizable, que influye en la cantidad de miel que se produce; con esto se la aparición de la bacteria del *leuconostoc mesenteroides*. El

leuconostoc mesenteroides se reproduce en aquellos lugares donde se acumula el bagazo. (Ingenio Santos, 2010)

La asepsia evita que se puedan dar focos de infección; al llevar a cabo la asepsia hay que darle suma importancia y debido cuidado a los lugares de difícil acceso. La acumulación de bagazo contribuye a la aparición de la bacteria *Leuconostoc mesenteroides*.

3.4. Evaporación.

La evaporación es la remoción de un solvente de una solución por vaporización. En la industria azucarera el solvente es agua y el soluto es en gran parte sacarosa, que a la temperatura de evaporación tiene una baja presión de vapor. El vapor superior en la fábrica de azúcar es en su mayoría agua, contaminada solamente por pequeñas cantidades de sacarosa e impurezas originalmente presentes en la fase líquida. La estación de evaporación en la fabricación del azúcar crudo elimina típicamente alrededor del 90% del agua del jugo clarificado, lo que aumenta los sólidos presentes en el jugo. (Chen, 1993) (Chi Chou, 2000)

En una fábrica de azúcar cruda o azúcar blanca, el jugo extraído y clarificado es concentrado por evaporación y ebullición. Es frecuente el empleo de dos estaciones de evaporación. El principio involucrado es el mismo, pero la estación de evaporación concentra el jugo solamente a un jarabe de aproximadamente 60 a 65% total de sólidos, mientras que la ebullición produce una concentración total de sólidos de alrededor de 90%. La evaporación es para concentrar el jugo ralo a un jarabe lo más rápidamente posible a temperaturas de ebullición reducidas, para minimizar las pérdidas de sacarosa (inversión) y formación de color, con el mínimo consumo de vapor. Es posible llevar a cabo la evaporación de 72 a 75 brix. Los evaporadores están diseñados y operados de manera que el brix del jarabe se mantenga entre 60 y 70 brix, en la fábrica de azúcar crudo, y entre 50 y 60 brix para azúcar blanco. (Chen, 1993) (Chi Chou, 2000)

El jugo ingresa a la evaporación, procedente de los clarificadores y conteniendo aproximadamente 85% de agua y 15% de sólidos. La superficie calórica necesaria para un ingenio es de 15 pies cuadrados por tonelada de caña a moler. (Chen, 1993) (Chi Chou, 2000)

En esta etapa el jugo es concentrado al evaporar, por medio de ebullición, toda el agua extra, llevándose este jugo al grado de jarabe, conocido como meladura o miel virgen. La concentración de la solución a la salida de la etapa de evaporación es medida en grados Brix, que indica la concentración de sólidos en una solución. (Chen, 1993) (Chi Chou, 2000)

En la evaporación, se concentra el jugo de 16 a 70 Brix, aproximadamente. Se evapora el agua del jugo y se obtiene una meladura o jarabe con una concentración aproximada de sólidos solubles entre 55 y 70%. (Chen, 1993) (Chi Chou, 2000)

Para este proceso se emplea el múltiple efecto, que consiste en tomar varios evaporadores y conectarlos de tal manera que la evaporación producida en el primero sirva de vapor para el segundo evaporador y así sucesivamente. Para esto es necesario disminuir la presión de operación en cada uno de los efectos, en forma sucesiva, para que se produzca el gradiente, en la temperatura, que produce la evaporación. La evaporación en múltiple efecto es utilizada para eliminar el agua mediante un sistema de bajo consumo de vapor. (Chen, 1993) (Chi Chou, 2000)

3.4.1 Simple y múltiples efectos. Un evaporador de simple efecto, en su forma más sencilla, estaría representado por un recipiente o vaso cerrado a presión dividido en dos secciones por un divisor que no permite la pérdida de presión. Una sección está conectada a una fuente de vapor de agua y la otra está parcialmente llena de agua (jugo). Si el vapor de agua se halla a una temperatura más elevada que el punto de ebullición del agua (jugo) en la otra sección, ocurrirán dos cosas: (Chen, 1993) (Chi Chou, 2000)

- El vapor de agua se condensará y transferirá calor al agua (jugo).
- El agua (jugo) hervirá y desprenderá vapor de agua.

El múltiple efecto se extiende por lo general a tres, cuatro y más efectos. El requerimiento básico para asegurar la operación es que la temperatura de ebullición del líquido en cada efecto sucesivo sea más baja que la temperatura del vapor que entra al efecto. Se llega a ello haciendo vacío en el último evaporador y escalonando progresivamente la presión desde el último al primer evaporador, en el que el vapor está a la presión de escape. Cuanto mayor sea el vacío la

temperatura de ebullición es más baja. La diferencia de temperatura suministra la fuerza impulsora para efectuar la transferencia de calor del vapor al líquido y, a su vez, se provee haciendo que la presión de vapor en el lado del líquido sea más baja que la presión en el lado del vapor. (Chen, 1993) (Chi Chou, 2000)

3.4.2 Principios que rigen la evaporación en múltiple efecto.

Estos principios se conocen como principios de Rillieux (Norbert Rillieux, inventor de los evaporadores de múltiple efecto operados al vacío en 1843), para obtener una mejor economía de vapor. Estos son todavía útiles hoy en día como guías para estimar el diseño y comportamiento de un evaporador. Estas reglas o principios son: (Chen, 1993)

- En un evaporador de múltiple efecto, una unidad de vapor será capaz de evaporar tantas unidades de agua como efectos existan. (Este principio tiene como suposición y limitación básicas que el agua que entra a cada efecto está a la temperatura de ebullición o cerca de ésta).
- El uso de vapor vegetal extraído de un evaporador de múltiple efecto, para sustituir vapor de escape en un proceso externo, dará un ahorro global de vapor, igual a la cantidad extraída multiplicada por el número del efecto donde se extrajo y dividida por el número total de efectos.
- Siempre que se condense vapor de agua o vapor de jugo, se deben tomar medidas para la extracción continua de los gases no condensables.

La acumulación de los gases no condensables ha seguido importunando a los diseñadores y operadores de los evaporadores y calentadores, y constituye un factor importante en el funcionamiento del equipo. (Chen, 1993)

3.4.3 Evaporador de calandria. En la fabricación del azúcar crudo se utilizan recipientes equipados con calandrias para la evaporación del jugo clarificado, y en la refinación, para la evaporación de las aguas dulces. (Chen, 1993)

Un típico evaporador de múltiple efecto de calandria, consta de tres a cinco cuerpos de evaporación conectados en serie. Cada cuerpo, o efecto, es un cilindro vertical con un fondo abombado, de poca profundidad y de diámetro igual al del cilindro, sobre el que se encuentra una

sección de calandria del mismo diámetro anterior. La calandria tiene una altura entre 4 y 6 pies entre las placas para tubos superior e inferior y una gran bajada central rodeada de tubos, los que tienen por lo general un diámetro de 3.18 a 5.72 cm. Los tubos son generalmente de cobre o acero inoxidable y un calibre de 16 a 18. La tasa efectiva neta de transferencia de calor entre el cobre y el acero inoxidable presenta sólo una diferencia mínima, la del acero inoxidable es sólo 0.3% menor que la del cobre. La reducida formación de incrustaciones tanto en los calentadores del jugo primario como en los evaporadores se atribuye no sólo a la buena superficie del acero inoxidable sino también a su elevada resistencia a la erosión y daño mecánico. La nucleación resulta mínima y los puntos clave para la formación de incrustación la hace más fácil de remover. (Chen, 1993)

Aproximadamente 3 metros por encima de la calandria se extiende una zona o faja de vapores de diámetro igual al del cuerpo. Esta zona sirve como un separador inicial de los arrastres, en el que la gravedad retrasa al líquido arrastrado mientras que los vapores pasan hacia arriba al domo del cuerpo. (Chen, 1993)

El diámetro del domo del evaporador de calandria es igual a la mitad o menor que el del cuerpo y contiene por lo general un separador de arrastres o captador. El domo está también equipado con un dren separador y una salida de vapor de jugo que conduce a la cámara de vapor de agua del efecto siguiente o a un condensador barométrico en el caso del efecto final. El vapor de agua y el líquido fluyen normalmente en paralelo, ambos entran al primer efecto y dejan el efecto final. (Chen, 1993)

Los evaporadores de calandria están asimismo equipados con conductos de bajada o bajantes (tubo central) sellados, los que conducen el líquido desde el pozo central de la calandria directamente a la descarga sin recirculación. (Chen, 1993)

3.4.4 Control de los arrastres. Los vapores generados en cualquier efecto de un evaporador de múltiple efecto siempre contienen pequeñas gotas que llevan azúcar. Este líquido arrastrado resulta inconveniente por muchas razones. Si los vapores van a utilizarse, después de la condensación, como agua para alimentación de las calderas, el azúcar presente en la misma podría dañar a las calderas. En el caso de que se utilice en la dilución del proceso, el azúcar se recirculará con la subsiguiente degradación por el calor. Si los vapores proceden del último efecto y se condensan en un condensador barométrico, el líquido arrastrado que contiene azúcar representa una pérdida monetaria y una descarga de contaminantes a las aguas receptoras. (Chen, 1993)

El control y la minimización del arrastre se llevan a cabo mediante dos métodos. El método implica evitar el arrastre del líquido en los vapores generados; el segundo, separar el líquido arrastrado de la corriente de vapor.

El arrastre se puede minimizar mediante velocidades más bajas del vapor en el recipiente, adecuado espacio de desligamiento por encima del líquido en ebullición, y condiciones de estado uniforme en la velocidad de evaporación, presión absoluta, presión del vapor y nivel del líquido. (Chen, 1993)

Los parámetros básicos implicados en la prevención del arrastre dentro del cuerpo del evaporador son la velocidad y la gravedad. En el caso de los evaporadores de calandria, el aumento de la velocidad ascendente promueve el arrastre, mientras que la fuerza hacia abajo de la gravedad tiende a obligar a las gotas a regresar a la superficie del líquido. Los trastornos en las condiciones de régimen permanente de la presión absoluta, presión del vapor de agua, nivel del líquido, etc., los que tienden a incrementar la velocidad del vapor de jugo en el cuerpo del evaporador por encima del líquido, aumentarán el arrastre. (Chen, 1993)

Una vez que las gotas del líquido han sido arrastradas, es necesario proceder a separarlas del vapor. Se han utilizado muchos tipos de separadores, montados interna o externamente con respecto al recipiente de evaporación, pero todos se basan en un principio común de operación. Las gotas son obligadas a chocar sobre una superficie colectora y se remueven sin que sean reintroducidas a la corriente de vapor de alta velocidad. El choque es acompañado por un cambio en la dirección de la corriente de vapor. (Chen, 1993)

3.4.5 Condensadores y gases no condensables. El vapor de agua introducido al primer cuerpo de un evaporador de múltiple efecto se condensa dentro del primer cuerpo. Igualmente, el vapor de jugo producido en cada efecto se condensa en cada cuerpo subsiguiente. Asimismo, el vapor de jugo producido en el último efecto debe condensarse a fin de mantener las caídas escalonadas de presión y temperatura a través del evaporador de múltiple efecto. El vapor de jugo del último efecto, normalmente a una presión absoluta de 12.7 cm Hg o menos, está por lo general demasiado frío para utilizarse en el proceso y es condensado por contacto directo con agua más fría en un condensador barométrico. (Chen, 1993)

Básicamente un condensador barométrico es un recipiente cerrado en el que el vapor de jugo entrante se mezcla íntimamente con, y es condensado por, una corriente de agua más fría. (Chen, 1993)

Tanto los condensadores barométricos de corrientes en igual sentido como de contracorriente requieren una bomba externa de vacío o un eyector de chorro de agua para el arrastre y eliminación de los gases no condensables. (Chen, 1993)

La importancia de un condensador barométrico radica en una extracción uniforme del agua y poco en la disposición interna de los deflectores. Es aconsejable aumentar el área de condensación, emplear líneas de descarga verticales rectas de gran diámetro e incorporar conos de aceleración con pendiente pronunciada. (Chen, 1993)

Los variados tipos de condensadores barométricos tienen ventajas y desventajas teóricas: (Chen, 1993)

- En el condensador de contracorriente, la temperatura del agua de descarga debe acercarse lo más posible a la temperatura del vapor, para utilizar así un mínimo de agua. La temperatura del aire debe aproximarse lo más posible a la temperatura del agua que entra. Se producirá así un mínimo de gases no condensables en consecuencia se requerirá una menor capacidad en las bombas o eyectores de los no condensables.

- En condiciones de flujo bajos de vapor, el flujo de agua es a menudo más elevado que el que requieren en condiciones similares de flujo bajo de vapor los condensadores de corriente en igual sentido o los de contracorriente.
- El condensador barométrico de corriente en igual sentido tiene una eficiencia teórica de condensación en un punto situado entre las de los condensadores de contracorriente y los de chorros múltiples.

La eficiencia de condensación de un condensador barométrico se expresa usualmente como una temperatura de acceso, la diferencia de temperatura entre el vapor que entra y el agua que sale del condensador. (Chen, 1993)

Los no condensables entran al condensador barométrico procedentes de diversas fuentes: gases disueltos en los jugos o licores, gases disueltos en el agua del condensador, ventilación de las cámaras de vapor de jugo de los evaporadores a las líneas de vapor de jugo corriente abajo y fugas de aire en los recipientes al vacío. Estos no condensables se eliminan por lo general de los condensadores de corrientes en igual sentido y de contracorriente mediante eyectores de vapor o bombas de vacío rotatorias o reciprocantes. (Chen, 1993)

Los eyectores de chorro de vapor de agua y las bombas de vacío remueven volúmenes esencialmente constantes de no condensables. El peso de los no condensables removidos se hace menor según se disminuye la presión absoluta en el condensador barométrico. Siempre que se exceda la capacidad de remoción de los no condensables se elevará la presión absoluta en el condensador hasta que se restaura el equilibrio. (Chen, 1993)

3.4.6 Remoción del condensado y ventilación de los no condensables. La presencia del condensado en el evaporador representa una mala noticia. Es necesaria su rápida remoción para evitar que éste recubra la parte inferior del haz de tubos y reduzca así la transferencia de calor. Las trampas de vapor de agua o las válvulas de control del nivel del receptor de condensado deben ser del tamaño adecuado para impedir la acumulación de condensado dentro de cuerpo del evaporador. Se debe tener cuidado de que la caída de presión en las válvulas y líneas del condensado sea menor que la carga disponible del condensado y de la presión del vapor de agua. (Chen, 1993)

La presencia de condensado fuera del evaporador está comprendida dentro de la categoría de buenas noticias. El condensado procedente de la parte inicial, es decir de los efectos de alta presión, se utiliza como agua de alimentación de calderas. Las altas temperaturas y pureza resultan provechosas. El condensado proveniente de los efectos de alta presión e intermedios se evapora súbitamente en su trayectoria a los efectos de presión más baja, lo que suministra una economía adicional de vapor de agua. Los condensados restantes proveen agua caliente relativamente limpia para ser utilizada en el proceso. (Chen, 1993)

Los gases no condensables están siempre presentes en las cámaras de vapor de agua de los evaporadores; se originan del aire en el vapor de agua de escape, aire que entra al recipiente a través de filtraciones y gases provenientes del jugo o licores. Si se deja que se acumulen, dichos gases tapizan la superficie de transferencia de calor y llegan finalmente a detener la transferencia de calor del vapor de agua o el vapor al líquido. (Chen, 1993)

A continuación se presentan varios enunciados que describen lo mencionado anteriormente y que son relevantes para el entendimiento del presente tema: (Chen, 1993)

- Junto con el condensado salen cantidades muy pequeñas de no condensables, pero tienen la tendencia a acumularse en las cavidades e interfieren la transferencia de calor, por lo que es necesario darles salida a una presión más baja.
- El flujo del vapor de agua o de jugo tiende a barrer los no condensables, haciéndose cada vez más ricos en dichas sustancias a medida que se condensan dichos vapores. Así, donde existe una trayectoria definida de flujo, los no condensables son barridos hasta el final de la trayectoria donde se pueden fácilmente purgar.
- Los no condensables no se asientan por gravedad sino que permanecen suspendidos en el flujo de los vapores.
- Los evaporadores verticales de tubos largos pueden desfugarse mejor en el extremo del cuerpo más alejado de la entrada de vapor de agua. A las calandrias, con una trayectoria menos definida del flujo de vapor de agua, se les instala por lo general deflectores, a fin de promover una trayectoria de flujo.
- Las cámaras de vapor de agua por encima de la presión atmosférica deben desfugarse a la atmósfera. Las cámaras de vapor de agua sometidas a vacío se deben desfugar directamente al condensador. Este desfogue fuera de las cámaras de los efectos subsiguientes evitará la posibilidad de una más baja transferencia de calor en dichos efectos.

Se debe poner mucha atención en la cantidad y la calidad de los gases nocivos extraídos. El funcionamiento del evaporador podría sufrir pérdidas de 1 a 8% a causa de la acumulación de gases. (Chen, 1993)

La capacidad y aspectos económicos de los evaporadores pueden mejorarse mediante una mejor atención a los detalles en lo que respecta a la eliminación de las bolsas de gas en las superficies de calefacción. (Chen, 1993)

3.4.7 Sistema de control de la instrumentación del evaporador. Un sistema típico de evaporador de múltiple efecto tiene las siguientes variables de control principales: (Chen, 1993)

- Proporción de la alimentación del líquido o nivel del tanque de suministro (entrada al primer efecto).
- Gasto del vapor de agua o presión (entrada de calor al primer efecto)
- Nivel del líquido en el cuerpo del evaporador.
- Brix del licor producto
- Presión absoluta del último efecto.

La alimentación del líquido se puede medir directamente por medio de un sensor de flujo o indirectamente por el nivel del tanque. El gasto del líquido es controlado directamente por un controlador del nivel del tanque de alimentación o bien por un controlador de flujo que reciba su punto de ajuste del nivel del tanque de suministro. (Chen, 1993)

Los controles individuales del nivel del cuerpo en los evaporadores de calandria detectan el nivel interno del líquido y regula la alimentación del líquido a los cuerpos. El control de la presión absoluta en el último efecto detecta la presión del vapor de jugo del efecto y regula el flujo de agua al condensador barométrico. (Chen, 1993)

El control de Brix del producto detecta la densidad del líquido que sale del último efecto. El licor de bajo Brix puede recircularse, por lo general al último efecto. La señal de la densidad puede

asimismo utilizarse para reajustar el flujo de vapor de agua o la presión al primer efecto, la velocidad de alimentación del líquido al primer efecto, o la presión absoluta en el último efecto, para obtener un producto de mayor Brix. Si el Brix es muy bajo, se aumenta el vapor de jugo, pero si es muy alto, se diluye el jugo espeso con jugo diluido. (Chen, 1993)

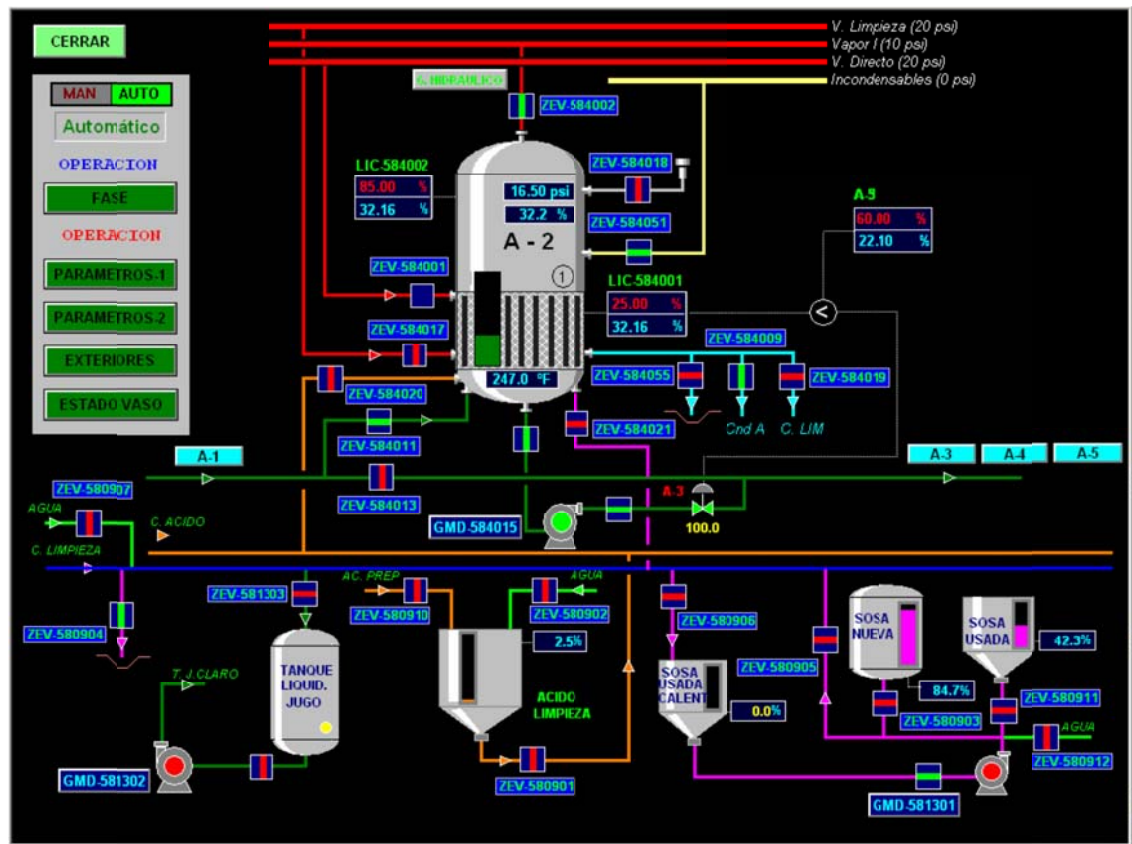
En Ingenio Pantaleón, el sistema de control con el que se cuenta, es una pantalla general que muestra todos los evaporadores y los cinco efectos. Dicha imagen se muestra a continuación:

Ilustración 21 Pantalla de control de sistema de evaporación



Además de contar con la pantalla de todo el sistema de evaporación, también se cuenta con pantallas individuales para cada uno de los evaporadores. En dicha pantalla se muestran los parámetros controlados en cada uno, a continuación se muestra una imagen de esto:

Ilustración 22 Pantalla de control de un evaporador



3.4.8 Transmisión de calor y equilibrio calórico de un evaporador: consideraciones básicas. El funcionamiento y capacidad de los sistemas de evaporadores existentes en condiciones reales de operación es una de las principales preocupaciones de la mayoría de Ingenios Azucareros. Pocos ingenieros consideran necesario o práctico, desde el punto de vista económico, diseñar evaporadores totalmente nuevos para un conjunto dado de condiciones. (Chen, 1993)

Sin embargo, el ingeniero se encuentra con un sistema existente de evaporadores, con un número fijo de efectos y de superficies de calefacción, además de un conjunto dado de condiciones de operación. Se debe entonces, determinar las velocidades de transferencia de calor del sistema, comparar el funcionamiento con las especificaciones del equipo original o con los valores aceptados y realizar cualquier corrección en el equipo o las condiciones que sean necesarias. Se supone que un sistema de evaporación existente debe evaluarse contra el diseño original y modificarse para la capacidad adicional. (Chen, 1993)

3.4.8.1 *Transferencia de calor.* La evaporación depende de la transferencia de calor a partir de un vapor de jugo condensante caliente a través de las paredes de los tubos hasta un líquido en ebullición a una temperatura más baja. Mientras más rápido se transfiera el calor, más rápidamente tendrá lugar la evaporación. La relación se caracteriza mediante la ecuación: (Chen, 1993)

Ecuación 4

$$Q = UA\Delta t$$

Donde:

Q = cantidad de calor transferido (Btu/h)

U = coeficiente total de transferencia de calor Btu/(h)(°F) (pie³)

A = área efectiva de transferencia de calor (pie³)

Δt = diferencia de temperatura entre vapor y líquido en ebullición (°F)

El coeficiente U es la variable de mayor interés. El área de transferencia de calor se fija; la diferencia de temperatura y la cantidad de calor transferido son cantidades que se determinan. El valor de U está relacionado con tres resistencias aditivas de transferencia de calor: (Chen, 1993)

- Resistencia en el lado del vapor de agua (R_v)
- Resistencia en la pared del tubo (R_p)
- Resistencia en el lado del líquido (R_l)

En un sistema de evaporación en línea, no resulta práctico determinar dichas resistencias individuales. Cada resistencia es afectada por diversos factores. (Chen, 1993)

Los tubos de un evaporador del tipo de calandria requieren un nivel mínimo de líquido en los tubos para asegurar que la superficie de los tubos esté siempre humedecida. Esto es necesario para impedir la desecación del líquido con la consiguiente carbonización del azúcar, obstrucción de los tubos y una mayor depositación de incrustaciones. El mantenimiento de este nivel en los tubos aumenta el punto de ebullición del líquido en la parte inferior de los tubos. (Chen, 1993)

En el caso de los evaporadores de calandria, este nivel, o su diferencial equivalente de presión, se mantiene a un valor óptimo empíricamente determinado, de esta manera es escasamente cubierto por la mezcla turbulenta de vapor y jugo que sale de los tubos. Los niveles óptimos para las calandrias varían ampliamente entre las diferentes instalaciones y resultan afectados por el espesor de la incrustación. (Chen, 1993)

Los niveles más elevados del primer efecto se atribuyen a la calefacción del licor requerida antes de la ebullición mientras el licor se evapora súbitamente en los efectos restantes. Así, el nivel óptimo es función de muchas variables: diámetro de los tubos, dimensiones de la incrustación, Brix del licor, presión del vapor de jugo y el gasto de jugo. Los niveles más bajos son favorecidos por los menores diámetros de los tubos, las longitudes más cortas de los mismos, las presiones más altas, el Brix más bajo y los gastos más altos. (Chen, 1993)

Una corrida de dos horas constituye el periodo mínimo para obtener la información de la prueba si el flujo y el Brix del licor influente, la presión del vapor de agua y la presión absoluta del condensador son razonablemente uniformes. Las lecturas de presión, flujo y temperatura se deben hacer cada 10 a 15 minutos; las muestras para Brix se deben tomar a los mismos intervalos. (Chen, 1993)

El Brix del licor entre los efectos no cambia por lo general. Sólo se requiere muestrear el Brix de la descarga, excepto en el caso del primer efecto. Los cálculos del balance calórico, dan por supuesto que la presión de vapor de jugo en un efecto es igual a la presión de la cámara de vapor de agua del siguiente efecto. Vale la pena medir tanto la presión del vapor de agua como la del vapor de jugo en cada uno de los cuerpos de manera que sea posible observar cualquier caída de presión en las tuberías, separadores de arrastre, etc. (Chen, 1993)

Estos valores de la caída de presión pueden afectar seriamente el funcionamiento del evaporador al disminuir los valores de la diferencia total de temperatura disponible. Una caída de presión de 2.54 cm Hg para las condiciones supuestas, podrían reducir la diferencia total de temperatura en alrededor de 8%. (Chen, 1993)

3.4.9 Utilización del vapor de jugo (extracción del vapor de jugo). El vapor de agua constituye la fuente de calor para los calentadores del jugo. La economía térmica se puede mejorar todavía más si se sustituye el vapor de agua por los vapores del primer efecto del evaporador en los calentadores del jugo. El ahorro térmico de esta situación puede ser estimado aproximadamente mediante el uso del segundo principio de Rillieux. (Chen, 1993)

Es preciso aumentar la superficie de calefacción de los calentadores a fin de ajustarse a la disminución en la diferencia de temperatura entre los primeros vapores y el jugo. Es probable que haya que aumentar la superficie de calefacción del primer efecto del evaporador y cambiar la superficie de los efectos subsiguientes, así como las presiones del vapor de jugo o ambas. (Chen, 1993)

Las cantidades de vapor de jugo producido son menores en relación a la evaporación y utilización totales del vapor de agua en el proceso. Los vapores producidos en los evaporadores y tachos al vacío se utilizan a veces en las refinerías para calentar el agua. (Chen, 1993)

3.4.10 Limpieza de los evaporadores, aislamiento, etc.

3.4.10.1 Formación de costras en los evaporadores. El jarabe de los evaporadores en los ingenios modernos tiene una concentración de por lo menos 60 Brix y generalmente más alto. Una considerable cantidad de las impurezas, especialmente las sales minerales, se hacen menos solubles a medida que progresa la concentración del jugo, y una parte de estas impurezas se depositan en la superficie de calefacción de evaporador, formando una incrustación muy dura. Esta incrustación es un mal conductor de calor y se debe remover periódicamente a fin de mantener la eficiencia de los efectos. (Chen, 1993)

3.4.10.2 Composición de la incrustación del evaporador. El tipo de incrustación depositada por el jugo durante la concentración depende de muchos factores, y el principal entre todos es la composición de la ceniza del jugo crudo. El procedimiento de clarificación especialmente donde se practica la sulfitación o la carbonatación, tiene asimismo un marcado efecto. El primer cuerpo tendrá mucho menos incrustación en los tubos que los cuerpos subsiguientes, mientras que el último cuerpo contiene la incrustación de mayor espesor y la más difícil de eliminar. Más de la mitad de la incrustación del primer cuerpo es posible que esté formada de fosfato de calcio, y el sulfato, carbonato y silicato de calcio constituyan gran parte del resto. La incrustación del último cuerpo consiste principalmente en sílice, aunque están asimismo presentes oxalato, silicato, carbonato, sulfato y fosfato de calcio. Las incrustaciones de sulfato predominan en los ingenios que utilizan la sulfitación. Los departamentos de carbonatación tienen depósitos de incrustaciones con un alto contenido de oxalato de calcio. La incrustación no se deposita de forma uniforme en los tubos, sino que tiene un mayor espesor en el fondo, donde la circulación es más lenta. (Chen, 1993)

3.4.10.3 Remoción de la incrustación. La práctica más corriente para remover la incrustación consiste en una ebullición durante varias horas con una solución de sosa cáustica, o una mezcla de sosa cáustica y carbonato de calcio anhidro, luego lavar con agua y hervir con ácido clorhídrico diluido. La solución cáustica se almacena y utiliza repetidamente, el ácido se descarta después de empleado. (Chen, 1993)

Las cantidades del producto químico utilizado varían dependiendo del ingenio. La sosa cáustica y el carbonato sódico anhidro se usa juntos por lo general (el carbonato de sodio ayuda a disolver la incrustación de silicatos en el último cuerpo) en proporciones de dos tercios a tres cuartos de sosa cáustica y de un tercio a un cuarto de carbonato sódico. La concentración de álcali es alrededor de 4% y el periodo de ebullición de 3 a 6 horas. La solución de ácido clorhídrico varía de 1 a 3% en peso, y se hierve por lo general de 1.5 a 2.5 horas. (Chen, 1993)

En algunos casos se usa una concentración más alta de caustico por arriba de 8% y además se incrementa la concentración de ácido muriático hasta un valor entre 4 y 5%. Ambos aumentos tienen por objeto reducir el tiempo total de ebullición, o cuando menos, aumentar la eficiencia del tratamiento dentro del tiempo permitido. El ácido sulfámico, un sólido más fácil de manejar que el ácido muriático y menos corrosivo, se ha utilizado en algunos ingenios. (Chen, 1993)

En muchos casos, la mezcla cáustica se asperja sobre los tubos en vez de aplicarse como un baño hirviente. La sosa cáustica concentrada, el carbonato de sodio, o una mezcla de los mismos, se bombea a través de boquillas rociadoras de jardín a manera que la solución caiga en forma de lluvia fina sobre los tubos calientes. Resulta suficiente un tratamiento de dos horas, seguido por el lavado con agua y la ebullición usual. (Chen, 1993)

Los evaporadores de primero, segundo y tercer efecto para las aguas dulces de baja pureza, que son unidades de tubos de latón sumergidos, y calandria de acero inoxidable 316, se remojan en agua o se lavan cada diez días. Los evaporadores de cuarto y quinto efecto de los evaporadores para las aguas dulces de baja pureza, ambos con calandrias de acero inoxidable 316, se someten a una ebullición de 6.5 horas con carbonato de sodio, seguido por una ebullición de 3 horas con ácido clorhídrico a intervalos de cinco días. Se utiliza la miel como inhibidor de los ácidos. Cada tercer lavado con carbonato de sodio es seguido por una limpieza mecánica. (Chen, 1993)

La ebullición con hidróxido de sodio seguida por la sosa cáustica y el calentamiento de los tubos con vapor de agua reduce grandemente el cepillado mecánico en comparación con el que se requiere cuando sólo se utiliza la ebullición con hidróxido de sodio. (Chen, 1993)

3.4.10.4 Suciedad en el lado de vapor de las calandrias. Los tubos del primer cuerpo de los evaporadores y, en menor grado, otras superficies de intercambio de calor se ensucian del lado del vapor con el hollín y el aceite que contiene el vapor de escape. Por lo general, cuando se encuentran dichos depósitos, su eliminación por medio de disolventes orgánicos al terminar la zafra suele ser suficiente. (Chen, 1993)

Algunos tubos tienen suciedad en el lado de vapor que no es posible eliminar mediante disolventes orgánicos, pero se limpian con facilidad con un sistema de limpieza de dos etapas. La primera solución ataca a los componentes orgánicos y la segunda a los inorgánicos. (Chen, 1993)

3.4.10.5 Limpieza por medios mecánicos. En las regiones donde la limpieza química no ha resultado efectiva se ha recurrido al uso de limpiadores rotatorios, del tipo utilizado para limpiar tubos de calderas. Esta operación exige mucho tiempo y mano de obra y se suele llevar a cabo cuando la zafra ha terminado. (Chen, 1993)

3.5 Cristalización.

La cristalización es la segunda fase de la concentración, seguida del proceso de evaporación. En esta etapa, es cuando se forma el grano y se aumenta su tamaño. La operación, que es la más delicada de la fabricación, se efectúa bajo vacío a simple efecto, en un aparato de cocción, un evaporador para concentrar una materia viscosa y consistente. De la cristalización se obtienen los cristales (azúcar) y líquido. (Chen, 1993)

Es la producción y desarrollo de cristales a partir de la meladura y/o mieles que se alimentan a un tacho. Depende del tipo de azúcar que se vaya a fabricar deber ser el número de templas que se deben realizar antes de alcanzar el producto deseado. En el proceso de cristalización, la materia prima utilizada es la meladura, que es una solución justo debajo de la saturación. (Chen, 1993)

Los equipos utilizados son los denominados Tachos, que trabajan al vacío para el cocimiento a una baja temperatura. El proceso se lleva a cabo concentrando la meladura hasta un Brix de 80° lo que permite garantizar una solución sobresaturada. A cada batch se le denomina templa y cada una de ellas da como resultado un 55% de miel y un 45% de azúcar. (Chen, 1993)

Todas las templas siguen un patrón que consiste en alimentar un tacho con una cantidad de cristales que servirán de focos para el depósito de la sacarosa que contiene la meladura. Al depositarse la sacarosa que contiene la meladura, dado que, al depositarse la sacarosa sobre los pequeños cristales estos comienzan a crecer, regulándose este crecimiento con el control de alimentación de la meladura. Este proceso se hace al vacío para que la temperatura no sea muy alta, evitando pérdidas por inversión de sacarosa.

El proceso está enfocado hacia la máxima recuperación de sacarosa, con el menor consumo de energía posible, esto ha llevado a utilizar diferentes técnicas de operación: aumento del brix en las mieles, calentamiento de mieles, separación de mieles en centrífugas, disminución del uso de agua en la preparación de magmas y disueltos, acondicionamiento de masas y mediciones en los consumos de vapor y agua al proceso. (Chen, 1993)

Se opera con un sistema de tres templas y doble magma. Se producen simultáneamente azúcar crudo, blanco directo y refino. Para la elaboración de azúcar blanco se cuenta con un tacho continuo con capacidad de alrededor 60 m³/hora de masas A2. En la refinería se opera con un sistema de cuatro templas, retornando el jarabe de cuarta a la tanquería de meladura, así mismo se produce con una capacidad de alrededor de 400 toneladas/día. (Chen, 1993)

Las características más importantes de la operación de un tacho al vacío son las condiciones de circulación y temperatura. Para que ocurra la ebullición en los tubos de una calandria o en la superficie de un serpentín, es necesario que la temperatura alcance la correspondiente al vacío, disminuido por la carga hidrostática que el peso de la masa cocida por encima del punto de observación aplica. (Chen, 1993)

Cuando la superficie se halla sumergida en 1.5 m (5 pies) de masa cocida con un vacío de menos de 66.04 cm al nivel del mar, la ebullición sólo podrá tener lugar forzando la temperatura a un nivel tan alto que se llegue a la insaturación, cuando los cristales de azúcar empezarán a disolverse. (Chen, 1993)

3.5.1 Departamento de tachos al vacío. La función de los tachos al vacío es producir cristales de azúcar satisfactorios a partir del jarabe o las mieles. La concentración de la alimentación suministrada a los tachos es por lo general de 60 a 65 Brix, y puede llegar hasta 74 Brix en una refinería. Las altas densidades reducen el consumo de vapor y acortan la duración del ciclo, pero una densidad demasiado alta puede implicar el riesgo de producir conglomerados y falso grano. El volumen normal de granulación de los tachos modernos varía de 30 a 32% de la capacidad de la templa terminada. (Chen, 1993)

3.5.2 Tipos de tachos. De manera general, existen dos tipos de tachos, los que utilizan vapor vivo, y los de tipo de calandria, mismo que utilizan vapor de agua o de jugo de escape a baja presión. Los tachos de serpentín presentan tres desventajas principales: (Chen, 1993)

- Restringen la economía del vapor de agua al utilizar vapor vivo;
- Los costos de mantenimiento son elevados;
- No es posible la instalación de circuladores mecánicos, sólo los serpentines perforados de vapor de agua suministran una circulación adicional limitada.

3.5.3 Tachos de calandria. Un tacho de calandria es un evaporador de simple efecto especialmente diseñado, equipado con tubos cortos de gran diámetro y un tubo central o bajante para la circulación de una masa cocida densa y viscosa producida en lotes. El jarabe y las mieles en determinadas proporciones desarrollan cristales de azúcar. Este proceso se inicia cuando la superficie calefactora se cubre sólo lo suficiente para obtener circulación y termina con una carga completa, llamada una templa. En el diseño y uso de un tacho, es necesario tener en cuenta lo siguiente: (Chen, 1993)

- *Fondo.* El fondo es cónico y la válvula de descarga se encuentra en el centro. El ángulo de los lados no debe formar un ángulo menor de 20° con la horizontal. De igual modo, entre el cono y la calandria situada más arriba debe haber una pequeña sección cilíndrica con una altura no menor de 8 pulgadas, a fin de dejar espacio para la expansión de los tubos.

- *Alimentación.* Si el tacho está equipado con circulación mecánica, la alimentación debe entrar ya sea por la válvula de descarga o cerca de la misma a fin de que se proyecte hacia el centro por debajo del impulsor. Es necesario tener especial cuidado en distribuir la alimentación de manera uniforme sobre el fondo por debajo de la calandria y lejos del tubo central. Cuando la alimentación se cierra para llevar la templa a su concentración final, la válvula de vapor debe permanecer abierta, cerrándose solamente cuando se termine la templa. Cuando se vacía el tacho, esta conexión hace más fácil la limpieza del fondo con vapor.

- *Calandria.* Es necesario considerar la longitud y diámetro de los tubos, así como el material de los mismos. Estas consideraciones permitirán obtener la superficie de calefacción

requerida para cumplir con la demanda de la planta. Debe buscarse la mejora de la transmisión de calor y el volumen del pie de templa es materialmente menor.

3.5.4 Materiales de construcción de los tachos al vacío. Los tachos se fabrican por lo general de placas de acero; anteriormente, el hierro colado constituía el material corriente para los cuerpos. Los serpentines y tubos de cobre constituyen la mejor superficie calefactora, aunque todavía se utilizan bastante los tubos de acero. Éstos se oxidan en el lado del vapor, reduciendo la transferencia de calor. (Chen, 1993)

En el caso de los tachos para el azúcar refinado, se deben seleccionar materiales no corrosivos a fin de evitar las manchas de herrumbre en el refinado, particularmente después de las paradas. Los tachos más modernos, en su mayoría para la elaboración de azúcar blanco, son de materiales no corrosivos, con recubrimiento inoxidable, recubrimiento de níquel, totalmente inoxidables, de cobre o de otros aceros especiales. (Chen, 1993)

Con el fin de evitar la oxidación durante las paradas, en muchas refinerías se omite la operación de limpieza con vapor después de las últimas templas para dejar en las superficies una capa de jarabe y azúcar. La aplicación de vapor para la limpieza (por lo general una ebullición con agua) se lleva a cabo antes del arranque. (Chen, 1993)

3.5.5 Control del tacho y uso de instrumentos.

3.5.5.1 Consideraciones teóricas. A menos que una solución esté supersaturada, no se forman cristales, ni crecen, ni se depositan, lo que quiere decir que deben estar en solución más sólidos de los que el agua puede disolver a una temperatura determinada. El grado de supersaturación se divide en tres fases. La primera, o fase metastable, incluye una zona de concentración en la que los cristales existentes aumentan de tamaño, pero no se forman cristales nuevos. La segunda fase, exactamente arriba de la metastable, es la fase intermedia, en la cual no sólo crecen los cristales existentes sino que también se forman nuevos cristales. Más allá de la fase intermedia, se halla la fase lábil, en la que se forman espontáneamente los cristales sin que sea necesaria la presencia de otros. (Chen, 1993)

En el caso de las soluciones de azúcar, las zonas tienen un ancho suficiente para permitir un uso práctico de los principios. Se ha establecido que la zona metastable se extiende de 1.00 hasta cerca de 1.40, pero para usos prácticos, el control es operativo entre 1.25 y 1.40. (Chen, 1993)

3.5.5.2 Determinación de puntos críticos. Para determinar el punto de saturación con la concentración de jarabe en un tacho, se colocan cristales de azúcar bien definidos en la varilla de ensayo y se les expone al jarabe. Tan pronto como las esquinas de dichos cristales dejan de redondearse, conforme se observan con un microscopio, se ha alcanzado la saturación. (Chen, 1993)

Para determinar la línea metastable, que separa la zona metastable de la zona intermedia, cuando se tiene una templa en el tacho, se aumenta la concentración hasta que empiezan a aparecer nuevos núcleos. Esto constituye el límite superior de la zona metastable. (Chen, 1993)

La línea lábil representa la demarcación entre la zona intermedia y la zona lábil. Sobre esta línea se obtiene un punto mientras se fabrica grano mediante el antiguo sistema de “dejar que venga”. Una vez que aparecen los núcleos microscópicos, se ha alcanzado la zona lábil. (Chen, 1993)

Los tachos se deben sembrar mientras la concentración se encuentre en la zona metastable. Después de que se haya obtenido el grano, se debe mantener la masa cocida dentro de dicha zona hasta el final de la templa. Si se permite que la concentración caiga por debajo de dicha zona, los cristales de azúcar se disolverán. Si aumenta por arriba, aparecerá inmediatamente el falso grano. (Chen, 1993)

La siembra por choque se efectúa en la zona metastable y se hace subir la concentración a la zona intermedia para inducir la formación de grano nuevo. Después de asegurar una cantidad suficiente de núcleos, es preciso regresar la templa a la zona metastable como se mencionó anteriormente. (Chen, 1993)

3.5.5.3 Elevación del punto de ebullición y supersaturación o sobresaturación. La elevación del punto de ebullición (epe), o aumento del punto de ebullición (ape), es la diferencia que existe entre la temperatura de una solución en ebullición y la de los vapores que se desprenden de la misma. La epe disminuye conforme baja la temperatura. La epe aumenta a medida que disminuye la pureza. A una temperatura y pureza determinadas, la epe es exactamente proporcional a los sólidos disueltos por 100 partes de agua. Luego, si se conoce la epe en la saturación, resulta fácil determinar la supersaturación dividiendo sencillamente la epe observada entre la epe en la saturación. (Chen, 1993)

3.5.5.4 Determinación de la temperatura de la masa cocida. La temperatura de la masa cocida no se puede determinar satisfactoriamente mediante el termómetro angular corriente con el que vienen equipados los tachos al vacío. Lo que se requiere es la temperatura en la superficie de ebullición de la masa, y ésta es inaccesible para el instrumento, el que indica por lo común una temperatura más alta, ya que la masa cocida acaba de pasar por la superficie de calefacción antes de llegar al mismo. Se obtienen mejores resultados si se hace la observación en el tubo central a través del cual la masa circulante regresa por debajo de la superficie de calefacción después de haber liberado el calor por autoevaporación súbita al nivel de ebullición. (Chen, 1993)

3.5.5.5 Determinación de la viscosidad de la masa cocida. La viscosidad de la masa cocida afecta las operaciones de los tachos al vacío y la recuperación del azúcar crudo. La influencia de las impurezas sobre la viscosidad aumenta rápidamente con el incremento del contenido de las mismas. La viscosidad puede variar ampliamente debido a la naturaleza y cantidad de los no azúcares. Sin embargo, para la misma masa cocida, a una temperatura fija, la viscosidad depende probablemente del contenido de cristales y la sustancia seca de las mieles. (Chen, 1993)

3.5.5.6 Sistemas de control de los tachos al vacío. Existen varias indicaciones importantes que deben tomarse en cuenta para la máxima producción de buen grano: (Chen, 1993)

- Utilizar una carga mínima para granulación a fin de reducir el relleno y el tiempo de concentración.

- Sembrar cuando el jarabe alcance la adecuada supersaturación y hervir tan rápidamente como sea posible para mantener la circulación.
- Elevar la supersaturación al límite máximo después de que el grano pase del tamaño crítico de la conglomeración.
- Alimentar a fin de mantener la supersaturación al límite máximo de seguridad y así depositar el azúcar a su máxima tasa.
- Conforme se junte la masa cocida, alimentar con el fin de mantener una buena consistencia en la ebullición.
- Llevar el nivel de la masa cocida lo más alto posible antes de suspender la alimentación.
- Mantener la supersaturación por debajo del límite de seguridad durante el periodo final de concentración.
- Llevar la consistencia final a su punto más alto posible antes de bajarla a fin de obtener el máximo rendimiento.

Son cuatro las mediciones esenciales que deben hacerse durante el proceso de cristalización: sobresaturación, consistencia, presión absoluta y nivel. Se ha encontrado que la temperatura a la que tiene lugar la ebullición parece revestir una importancia secundaria, como sucede con la relación entre el cristal y el licor durante la ebullición, en tanto no exceda de un valor que impida la circulación y transferencia de calor. (Chen, 1993)

3.5.6 El proceso de ebullición del azúcar.

3.5.6.1 Principios básicos. El primer paso consiste en la elaboración del grano. En la industria del azúcar crudo, el grano se produce generalmente para templeas de bajo grado; la templa de grano se transfiere a un cristalizador de almacenamiento donde se pueden extraer pies para iniciar templeas de bajo grado. Una templa de bajo grado es suficiente para tres pies de templa de bajo grado.

Si se tienen dos cristalizadores de almacenamiento en vez de uno, la combinación de la operación permite obtener grano para nueve templeas. Este procedimiento ahorra mucho tiempo al proveer el triple de núcleos, cada uno de los cuales adsorben sacarosa a la misma velocidad, y así se constituye el volumen a una velocidad de tres a nueve veces más rápido. (Chen, 1993)

Es preferible preparar el grano a un vacío no mayor de 63.5 cm, lo que significa temperaturas de 66 a 71°C, dependiendo de la pureza. A dichas temperaturas, la viscosidad será más baja y la velocidad de crecimiento del cristal será más rápida.

El tacho se cierra, se aumenta el vacío y se envía toda la cantidad de agua de inyección al condensador a fin de obtener una rápida velocidad de evaporación con el licor, azúcar, o miel, antes de la granulación. La llave del vapor se abre después de que la superficie de calefacción esté cubierta de líquido. La carga en el tacho no debe ser demasiado alta, ya que esto retardaría las operaciones debido al efecto de la carga hidrostática. Después que se inicia la ebullición, la alimentación debe ser continua a fin de mantener el nivel ligeramente más alto que el requerido para formar grano; la alimentación se cierra antes de que se inicie la granulación. La cristalización se puede llevar a cabo de dos formas distintas: por semillamiento completo y por choque. (Chen, 1993)

3.5.6.2 Siembra por choque. En lugar de dejar que el grano se forme espontáneamente, este método consiste en introducir una pequeña cantidad de azúcar en polvo cuando el jarabe esté concentrado por encima de la saturación. Las partículas de polvo no constituyen núcleos para el grano, pero constituyen un choque sobre la solución supersaturada que induce la formación de grano nuevo más pronto. El choque se debe aplicar tan pronto como se haya pasado la saturación. (Chen, 1993)

La aplicación del choque demasiado tarde implica el riesgo de la formación de conglomerados debido a la excesiva concentración. La velocidad de adsorción de azúcar de cualquier cristal dado es proporcional a su superficie, la que varía con el cuadrado de su dimensión lineal, mientras que el volumen o el peso varían con el cubo de sus dimensiones. De aquí que, la superficie de un cristal en comparación con su peso es inversamente proporcional a su tamaño, de esta manera, para un peso de azúcar dado, mientras menores sean los cristales, mayor será la superficie de acreción, y por lo tanto más rápido será el crecimiento. Esto corrige las irregularidades iniciales del grano, ya que los granos más pequeños crecen con mayor rapidez que los grandes. (Chen, 1993)

La irregularidad del grano en la templa final puede ser causada por: (Chen, 1993)

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

El grano no aparecerá inmediatamente después de la introducción del azúcar pulverizado. Se admite un mínimo de aire junto con el material de choque a fin de evitar la alteración del equilibrio de temperatura. Cuando el grano empieza a formar, después de unos minutos, será necesario determinar cuándo se debe parar. Hasta que el grano no se haya desarrollado por completo, la supersaturación no debe aumentar demasiado. De otra manera, aun antes de que aparezca el falso grano, tendrá lugar la formación de conglomerados, después de lo cual nada podrá hacerse, excepto fundir el azúcar. (Chen, 1993)

3.5.6.3 Siembra completa. El proceso se realiza en varias etapas para conseguir el mayor agotamiento de la sacarosa presente en la miel y convertirla en miel final pobre. Se inicia con una semilla de 10 micras, para obtener un tamaño final de 1000 micras. (Chen, 1993)

El mejor método de obtener un buen grano para semilla consiste en añadir en el momento apropiado la cantidad total de grano de tamaño predeterminado para igualar el número total de granos en la templa terminada. No se forma grano alguno en el tacho en ningún momento, y la concentración se debe mantener en la fase de crecimiento del cristal o metastable. La semilla se introduce tan pronto como se alcanza el punto de saturación. Para determinar la cantidad apropiada de finos de un tamaño determinado que se ha de introducir en un tacho para preparar una templa de azúcar de cierto tamaño, se procede como sigue: (Chen, 1993)

- Hallar el peso de azúcar que se espera obtener de la templa.
- Contar y pesar alrededor de 500 cristales de este grado de azúcar.
- Contar y pesar 500 cristales de la semilla en polvo que se va a utilizar.

- Dividiendo (3) entre (2) multiplicando por (1), se obtiene el peso de la semilla.

El método de siembra completa se utiliza ahora de manera universal en las refinerías para la producción de azúcar de grano grande, estándar, medio y grueso. Con la cantidad correcta de semilla para el grano, estos azúcares especiales se pueden producir con un cristal mucho más regular y enteramente libres de conglomerados. La siembra completa en la ebullición de alto grado aumenta la capacidad del tacho y mejora la calidad del azúcar. (Chen, 1993)

Ya se mencionó que el momento apropiado para la siembra es cuando se sobrepasa la saturación. Con 83% de pureza y una temperatura de la templa de 66°C la epe en la saturación es de -10°C. Si se permite un margen de 1.5, el punto apropiado para la siembra sería de una epe de 16, a la que la supersaturación es de 1.10. Para efectuar esta determinación en forma manual, se coloca un gramo de azúcar grueso en la muesca de la varilla de prueba, se humedece con jarabe de tacho y se retira de éste. Si con un lente de aumento se aprecian los cristales redondeados, aún no se ha alcanzado la saturación. Si los ángulos se mantienen afilados y a escuadra, se ha sobrepasado la saturación y se puede proceder a efectuar la siembra o el choque. (Chen, 1993)

3.5.6.4 Falso grano y conglomerados. A menos que se utilice la siembra completa, cuando se detiene la formación del grano (mediante el aumento de la temperatura del tacho, por dilución o ambos) es fácil exceder el límite, lo que hace que la masa caiga por debajo de la saturación y se disuelva todo el grano, y hace necesario comenzar de nuevo. Aun cuando no se destruya todo el grano, puede destruirse parte de éste, lo que deja una cantidad insuficiente y hace que se requieran núcleos adicionales para compensar la pérdida. Resulta fundamental que después de obtener el grano, se regrese la concentración a la fase metastable o de crecimiento del cristal, donde debe permanecer mientras dure la templa. (Chen, 1993)

Si se lleva a un valor muy alto la concentración, se formará falso grano o manchado, que será preciso disolver por dilución, preferiblemente con agua. Aun antes de que aparezca el falso grano es posible que se formen conglomerados. (Chen, 1993)

La conglomeración, el grano montado, el grano unido y el grano enrollado representan el agrupamiento de varios cristales que luego crecen como uno sólo. Una vez formados, los conglomerados permanecerán así hasta el final de la templa. Estos grupos de cristales resultan indeseables debido a que la suciedad y las impurezas se alojan en los intersticios, lo que impide el lavado adecuado y hace que se obtenga un producto de mala calidad, con mucho color y baja filtrabilidad. En el caso de los azúcares refinados y de consumo directo, los conglomerados disminuyen la calidad del azúcar en conjunto y hacen muy difícil el secado completo en los granuladores. Tomar en cuenta lo siguiente: (Chen, 1993)

- Los conglomerados se forman con más facilidad a altas purezas.
- Las purezas bajas casi nunca forman conglomerados.
- Si se conglomeran los finos seleccionados para semilla, el producto final resultante también se conglomerará, puesto que los conglomerados nunca se destruyen.
- La conglomeración tiene lugar en el borde superior de la zona metastable, justo antes de la formación del falso grano. En otras palabras, si se ha formado el falso grano, es casi segura la presencia de conglomerados.

Los finos que se utilizan para la siembra se deben preparar triturando azúcar grueso bien formado. Las piezas rotas no formarán conglomerados. Volverán a su formar perfecta rápidamente debido a las fuerzas físicas que imponen la forma definida del cristal: por consiguiente, los finos así preparados para la siembra crecen más rápidamente que el azúcar pulverizado procedente de la caja de polvo del granulador. (Chen, 1993)

Si se inicia la granulación sembrando mieles de baja pureza con polvo preparado como se indicó anteriormente, es probable que no se forme conglomerado alguno. (Chen, 1993)

3.5.6.5 Reunión de la masa. Después de asegurar el grano, o después de que se ha tomado un pie para una nueva templa, el paso más difícil e importante es reunir la masa. No existe una superficie de cristales que sea suficiente para adsorber la sacarosa con la misma rapidez con que ésta sea hecha disponible por la evaporación, debido a que los granos pequeños están muy separados y existe una condición crítica. El vacío debe ser extremadamente alto y la evaporación restringirse a la capacidad de crecimiento de los cristales. Los instrumentos resultaran muy útiles en este punto ya que indican la supersaturación o la epe. Si la evaporación es demasiado rápida y la supersaturación o epe ascienden cerca del punto peligroso, se deben aplicar las medidas siguientes: (Chen, 1993)

- Disminuir el vacío en alrededor de 7.62 cm, elevando -7°C la temperatura de ebullición; esto hará bajar la supersaturación bastante adentro de la zona metastable, lo que hace que los cristales crezcan con mayor rapidez en más de un 100%, se reduzca la evaporación en casi una tercera parte y se evite el riesgo inmediato.
- Alimentar agua al tacho para hacer bajar y mantener la evaporación a un valor tolerable, indicado por la supersaturación. Ésta es la llamada *agua de movimiento*. A medida que aumente la superficie del cristal, se reduce la cantidad de agua y finalmente se cierra. Este procedimiento ofrece la ventaja de no alterar en modo alguno el vacío existente. Asimismo, la pequeña cantidad de agua que se agrega no es significativa: el procedimiento es muy utilizado.
- Alimentar más licor al tacho a fin de obtener los mismos resultados que si se alimentara agua. Éste constituye el procedimiento menos conveniente debido a que incrementa la cantidad de licor madre dentro del tacho, y de este modo retrasa la operación al introducir la necesidad de concentrar dicho licor.
- Si el tacho está equipado con control de vacío y un circulador mecánico, es posible reducir la presión de vapor o incluso cortarla del todo debido a que el movimiento de la masa cocida en el tacho continuara sin cambios no importa lo que ocurra a la evaporación. Reducir la presión de vapor en el tacho, lo que retarda la evaporación, es peligroso a menos que el tacho esté equipado con control automático de volumen.

3.5.6.5.1 *Compactación o cerrado de la masa.* No es aconsejable aumentar el volumen de la templa hasta que los cristales hayan crecido lo suficiente para casi llenar los espacios vacíos ocupados por el jarabe o el licor madre, cuando se dice que la masa cocida está cerrada. La velocidad de crecimiento de los cristales es más rápida en dichas

condiciones. Cuando los cristales están muy juntos, se friccionan y remueven el jarabe o la miel parcialmente agotados que se adhieren a su superficie y sustituyen esa película con una fresca. Especialmente en el caso de altas purezas, cuando una templa es compactada dentro de límites razonables al llegar a un cierto punto crítico, la epe cae súbitamente varios grados, mostrando que la masa ha perdido fluidez, no a causa de la concentración del licor madre, sino debido a que su volumen se está acercando al de los huecos entre los cristales. (Chen, 1993)

Este punto óptimo constituye una fase que precede a la fuerte agitación en el tacho causada por la falta de fluidez. Si el tacho vibra excesivamente, la templa está demasiado concentrada y se debe alimentar con mayor rapidez. Los sistemas automáticos de alimentación utilizados, regulan el suministro en proporción a la carga de potencia sobre el mecanismo de impulsión, o bien por otros métodos adecuados. (Chen, 1993)

El control de alimentación regula las operaciones de manera tal que se obtiene la velocidad máxima de desarrollo del cristal y se evita la formación de conglomerados y falso grano. Si la templa se hace demasiado inconsistente, se formará falso grano. (Chen, 1993)

Conforme avanza la operación, la velocidad de absorción de la sacarosa por los cristales se hace más grande que la velocidad a la que se concentra el suministro en el tacho, y es entonces permisible elevar lentamente el vacío a una velocidad no mayor de 1 pulgada cada 5 minutos. (Chen, 1993)

3.5.6.6 Limpieza con vapor y con agua. Después de la descarga es preciso remover totalmente la masa cocida que se adhiere al interior del tacho antes de iniciar la próxima templa; de otro modo, los cristales podrían alterar las operaciones de formación del grano. Son más convenientes las aspersiones de agua debido a que mantienen más limpias las superficies de calefacción y dan por resultado un menor color. Para esto, es necesario que los chorros lleguen a todas las partes de la superficie de calentamiento y los cascotes, y el agua esté caliente y choque con fuerza considerable. (Chen, 1993)

3.5.6.7 **Temperatura durante la ebullición.** La tendencia es utilizar tachos menos calientes debido a la menor inversión y color. Con el fin de evitar el aumento del color, casi todas las refinerías hacen sus templeas a 66°C o menos. Asimismo, el azúcar crudo se hierve a temperaturas más bajas. La viscosidad es más baja a altas temperaturas y la cristalización relativamente más sencillas, pero con una siembra completa para el establecimiento del grano desaparece dicha ventaja. Los azúcares de bajo grado se hierven siempre a un vacío elevado; por lo tanto, a bajas temperaturas, para evitar el riesgo de la fermentación espumosa y favorecer el trabajo subsiguiente de los cristalizadores cuya capacidad de enfriamiento es por lo general limitada. Los “azúcares blandos” de refinería se hierven siempre al más alto vacío obtenible, con lo que se obtiene un grano suave y aterciopelado. (Chen, 1993)

3.5.6.8 **Brix y evaporación.** El Brix aparente de las propias templeas en un ingenio de azúcar crudo es más o menos como sigue: (Chen, 1993)

Tabla 2 Grados Brix del azúcar, según tipo de templa.

Templa	Brix
Templa de grano	90.0
Templa A	93.0
Templa B	94.0
Templa C	96.0 hasta 100.0

3.5.7 **Sistemas de ebullición de los tachos.**

3.5.7.1 **Selección del sistema.** En la industria del azúcar de caña, la sacarosa disponible en el jarabe se cristaliza en varias etapas de pureza descendente. Los procedimientos que se siguen para llevar a cabo las operaciones en los tachos constituyen el sistema de ebullición de los tachos, el cual puede consistir en dos, tres o cuatro etapas. La última ebullición requiere el mayor tiempo, la etapa final de la cristalización en movimiento, en la que se enfría lentamente la masa cocida antes de ser purgada en las centrífugas. (Chen, 1993)

3.5.7.2 Designación de las masas cocidas. En la práctica del azúcar crudo, los diferentes grados de la masa cocida se designan por letras (A, B, C, etc.) o por números (primera, segunda, tercera, etc.). Las mieles purgadas de las masas cocidas toman los mismos símbolos. Los azúcares producidos por las masas cocidas son azúcar A, azúcar B, o primer azúcar, segundo azúcar y así sucesivamente. Por lo general, aunque no siempre, las masas cocidas de refinería se denominan templa de licor, templa de jarabe, refundido alto, refundido bajo, etc. (Chen, 1993)

3.5.7.3 Tamaño de los cristales. En la operación de los tachos al vacío se forman cristales de los siguientes tamaños: (Chen, 1993)

Tabla 3 Tamaño de cristales según tipo de producto.

Tipo	Tamaño (mm)
Pies de grano para templas C	0.243
Azúcar y magma C	0.350
Pies primarios	0.506
Pies secundarios	0.730
Azúcar comercial	1.050

3.5.7.4 Determinación del tamaño del grano en el azúcar de grado bajo. Es importante conocer la distribución de tamaño de los cristales y el tamaño medio de los mismos en el azúcar de bajo grado, ya que estos controlan el rendimiento de las centrifugas y la calidad del producto terminado. Una masa cocida C típica contiene cerca del 65% de miel (por peso) mientras que un azúcar C de 85 de pureza puede contener un 30% de miel (por peso). El diámetro medio del cristal, d , está dado por: (Chen, 1993)

Ecuación 5

$$d = d_1 \sqrt{\frac{D}{D_1}}$$

Donde d_1 es el diámetro medio del cristal en la masa cocida testigo. D y D_1 son las densidades ópticas de los azúcares de bajo grado de prueba y testigo, respectivamente. (Chen, 1993)

3.5.7.5 Datos sobre los sistemas de doble ebullición. Prescindiendo de las purezas del jarabe, la templa A se debe mantener a una pureza de 83 volviendo a hervir la miel A según sea necesario. El permitir que las templeas A permanezcan en los cristalizadores durante algunas horas bajo la pureza de las mieles A y permite el uso de templeas de mayor pureza, de este modo se evita la recirculación en grado limitado. Las mieles procedentes de dichas templeas tendrán purezas de alrededor de 63, a partir de las cuales se preparan templeas C sin la adición de ningún otro producto. (Chen, 1993)

3.5.7.6 Otras causas de la variación del tamaño de los cristales. Otras causas de las variaciones en el tamaño del grano que no se hallan dentro del control de los operadores son las siguientes: (Chen, 1993)

- Ruptura del grano durante la descarga de las centrífugas.
- La atrición que resulta del uso de transportadores.
- Daño causado al grano por el manejo ya sea de la masa cocida o el magma mediante una bomba.
- Operación deficiente por los tacheros.
- Elongación del grano a causa de los no azúcares, como dextranas, presentes en el licor madre.

3.5.7.7 Nuevo sistema de triple ebullición. Al igual que en el sistema de doble ebullición, se han preparado diagramas de proceso para el nuevo sistema de triple ebullición con grano de miel, en el que se evita toda recirculación e interpone una pequeña templa B entre las templeas A y C a fin de proveer suficiente miel B para mezclarla con la miel A y obtener una templa C de la pureza requerida no mayor de 63.0. En el sistema de triple ebullición debe emplearse el mismo proceso de distribución y desarrollo de los cristales, y sólo un tipo y pureza de pie de templa se emplea tanto en las templeas A como en las B. (Chen, 1993)

Este procedimiento ha eliminado la recirculación, pero el sistema produce una cierta cantidad de azúcar B a partir de masas cocidas con purezas que varían de 69 a 75. El azúcar A formado por este método, mezclado con azúcar B, es posible que no sea tan bueno como el azúcar A producido por el sistema de doble ebullición descrito anteriormente. (Chen, 1993)

3.5.8 Cristalización continua.

3.5.8.1 Ventajas de la ebullición continua. Los principales beneficios que se obtienen al utilizar una ebullición continua son: (Chen, 1993)

- Aumento de la capacidad de cuando menos 25%. Esto está basado en un ciclo promedio del tacho de 1 hora 40 minutos, del cual se requieren 25 minutos para evaporar, alcanzar la supersaturación apropiada, sembrar y desarrollar el grano antes de que la templa pueda empezar a ser alimentada. Esta parte del ciclo del tacho no es productiva.
- Ahorros en el vapor, reevaporación y recirculación.
- Reducción de las pérdidas de azúcar, ya que prácticamente no ocurre ningún arrastre.
- El tacho es más fácil de automatizar; por lo tanto, un operador es capaz de manejar más de un tacho en cualquier momento.
- Los parámetros de operación, tales como presión absoluta, movilidad, flujo de vapor, temperatura y cargas de potencia son notablemente uniformes, y no alcanzan valores máximos (picos).

3.5.8.2 Concepto de cristalización continua. El sistema debe tener todas las evaporaciones A, B y C conectadas en un flujo continuo. No es muy diferente del presente sistema por lotes, excepto que la cristalización total se lleva a cabo en tres etapas en lugar de seis. Los estudios en la fábrica confirman que la cristalización del azúcar crudo se puede llevar a cabo mejor en unidades consistentes en celdas bien mezcladas. (Chen, 1993)

3.5.8.3 Técnicas de siembra. A diferencia de otros tachos al vacío del tipo continuo, los que utilizan una semilla en suspensión preparada con azúcar pulverizada en un portador de alcohol isopropílico o mezclada con una solución saturada de sacarosa. El tamaño promedio de las partículas está en el orden de las 200μ y el coeficiente de variación es de 20 a 25. (Chen, 1993)

3.5.8.4 Cantidad de semilla. La velocidad de inyección de la semilla se calcula a partir de la combinación del tiempo de retención y la velocidad de crecimiento. Puesto que el volumen de la templa del tacho se conoce y mantiene constante, además de que la velocidad de descarga en pies cúbicos (o metros cúbicos) está controlada, se establece el tiempo de retención. Si se desea duplicar el tamaño de los cristales con base en el tiempo de retención, la cantidad necesaria será igual a 2 elevado a la tercera potencia, o sea $1/8$ del volumen de la masa cocida. Dicha suspensión se inyecta a 82°C desde la tubería de descarga, colocada por encima de la masa cocida en ebullición, a fin de aprovechar la temperatura más baja del vapor saturado a la presión absoluta predominante; de esta manera se minimiza la disolución de los cristales finos de semilla a la elevada temperatura de la masa cocida. (Chen, 1993)

3.5.8.5 Tachos de semilla. Cualquier tacho convencional de calandria del tipo intermitente o de lote que cuente con un circulador mecánico y la totalidad de los instrumentos necesarios para la operación semiautomática puede ser utilizado para la preparación de semillas en suspensión. (Chen, 1993)

La clave para obtener la distribución del tamaño de los cristales requerida por un producto de calidad procedente de un tacho continuo, es inherente a las siguientes condiciones de un estado estacionario: (1) velocidad constante de descarga, (2) velocidad predeterminada de la inyección de semilla y (3) relación fija entre el tamaño del cristal de la semilla y el tamaño del cristal del producto. Se concluye entonces: (Chen, 1993)

- El tacho continuo al vacío es operacionalmente confiable.
- La instrumentación debe ser completa.
- El sistema es aplicable a la producción tanto de azúcar crudo como refinado.

3.6 Herramientas de análisis para evaluar y mejorar la logística en los procesos productivos.

3.6.1 Ingeniería de Métodos. Los términos análisis de operaciones, simplificación del trabajo e ingeniería de métodos se utilizan con frecuencia como sinónimos. Sin embargo, la ingeniería de métodos implica trabajo de análisis de dos etapas de la historia de un producto. Inicialmente, el ingeniero de métodos está encargado de idear y preparar los centros de trabajo donde se fabricará el producto. En segundo lugar, continuamente estudiará una y otra vez cada centro de trabajo para hallar una mejor manera de elaborar el producto (Niegel, 2007).

Para desarrollar un centro de trabajo, fabricar un producto, o proporcionar un servicio, el ingeniero de métodos debe seguir un procedimiento sistemático, el cual comprenderá las siguientes operaciones:

- Selección del producto.
- Obtención de los hechos.
- Presentación de los hechos.
- Efectuar un análisis
- Desarrollo del método ideal.
- Presentación del método.
- Implantación del método.
- Desarrollo de un análisis de trabajo
- Establecimiento de estándares de tiempo.
- Seguimiento del método.

La ingeniería de métodos se puede definir como el conjunto de procedimientos sistemáticos para someter a todas las operaciones de trabajo directo e indirecto a un concienzudo escrutinio, con

vistas a introducir mejoras que faciliten más la realización del trabajo y que permitan que éste se haga en el menor tiempo posible y con una menor inversión por unidad producida. Por lo tanto, el objetivo final de la ingeniería de métodos es el incremento en las utilidades de la empresa (Garcial, 1999).






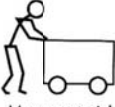



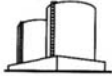
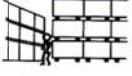









3.6.2 Métodos gráficos. Los diagramas generales son una representación gráfica que muestran en forma clara las diferentes actividades, que se llevan a cabo durante un proceso industrial y administrativo. Se clasifican en diagramas de proceso, operación y recorrido, cada uno de los cuales tiene aplicaciones específicas (Garcial, 1999).

3.6.2.1 Diagrama de flujo de proceso. Representa gráficamente todas las actividades que se realizan durante la elaboración de un producto, es decir, visualiza operaciones, inspecciones, transportes, almacenajes y demora a fin de analizar costos ocultos, actividades ocultas en el proceso productivo. Permite un análisis completo de la fabricación de una pieza o componente (Garcial, 1999).

Además de registrar las operaciones e inspecciones, muestra las siguientes actividades: transporte, representado con una flecha; almacenamiento, el cual se representa con un triángulo equilátero sobre uno de sus vértices; y demora, la cual se representa con una letra D mayúscula.

A continuación se presenta el conjunto de símbolos estándar para diagramas de proceso.

Ilustración 23 Conjunto de símbolos estándar para diagramas de proceso.

Operación  Un círculo grande indica una operación, como	 Martillar	 Mezclar	 Taladrar o barrenar
Transporte  Una flecha indica un transporte, como	 Mover material en vehículo	 Mover material por banda transportadora	 Mover material cargado (mensajero)
Almacenamiento  Un triángulo indica un almacenamiento, como	 Materia prima almacenada a granel	 Producto terminado apilado en tarimas	 Archivo de documentos
Demora  Una letra D mayúscula indica una demora, como	 Esperar el elevador	 Material en espera de ser procesado	 Documentos en espera para archivarlos
Inspección  Un cuadrado indica una inspección, como	 Examinar calidad y cantidad	 Lectura de niveles en caldera	 Examinar información en forma impresa

(Niebel. 2008).


3.6.2.2 Diagrama de operaciones. Permite visualizar solo operaciones e inspecciones que se ejecutan durante la elaboración de un producto, a fin de analizar las relaciones existentes entre operaciones (Garcial, 1999).

3.6.2.3 Diagrama de recorrido. Es la representación del diagrama de proceso en un plano, donde se indica el recorrido y el descongestionamiento (si existe) durante el proceso productivo, además permite revisar la distribución del equipo en la planta. Existen dos tipos:

- Tipo "Material": presenta el proceso según los hechos ocurridos al material.
- Tipo "Hombre": presenta el proceso referidos a las actividades del hombre.

3.6.2.4 Simbología.

Tabla 4 Clasificación de las acciones durante un proceso.

Actividad	Símbolo	Resultado predominante
Operación		Se produce o efectúa algo
Transporte		Se cambia de lugar o se mueve
Inspección		Se verifica calidad o cantidad
Demora		Se interfiere o retrasa el paso siguiente
Almacenaje		Se guarda o protege

(Niebel, 2007).

3.6.2.5 Operación. Ocurre cuando un objeto está siendo modificado en sus características, se está creando o agregando algo o se está preparando para otra operación, transporte, inspección o almacenaje. Una operación también ocurre cuando se está dando o recibiendo información o se está planeando algo.

3.6.2.6 Transporte. Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son movidos de un lugar a otro, excepto cuando tales movimientos forman parte de una operación o inspección.

3.6.2.7 Inspección. Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son examinados para su identificación o para comprobar y verificar la calidad o cantidad de cualesquiera de sus características.

3.6.2.8 Demora. Ocurre cuando se interfiere en el flujo de un objeto o grupo de ellos. Con esto se retarda el siguiente paso planeado.

3.6.2.9 **Almacenaje.** Ocurre cuando un objeto o grupo de ellos son retenidos y protegidos contra movimientos o usos no autorizados.

3.6.2.10 **Operaciones combinadas.** Cuando se desea indicar actividades conjuntas por el mismo operario en el mismo punto de trabajo, los símbolos empleados para dichas actividades (operación e inspección) se combinan con el círculo inscrito en el cuadro.

3.6.3 Estudio de movimientos. El estudio de movimientos es el análisis cuidadoso de los diversos movimientos que efectúa el cuerpo al ejecutar un trabajo. Su objeto es eliminar o reducir los movimientos ineficientes, y facilitar y acelerar los eficientes. Por medio del estudio de movimientos, el trabajo se lleva a cabo con mayor facilidad y aumenta el índice de producción. Los esposos Gilbreth fueron de los primeros en estudiar los movimientos manuales y formularon leyes básicas de la economía de movimientos que se consideran fundamentales todavía. A ellos se debe también la técnica cinematográfica para realizar estudios detallados de movimientos, conocidos por "estudios de micromovimientos", que han demostrada su gran utilidad en el análisis de operaciones manuales repetidas (Niebel, 2007).

El estudio de movimientos, en su acepción más amplia, entraña dos grados de refinamiento con extensas aplicaciones industriales. Tales son el estudio visual de los movimientos y el estudio de micromovimientos.

El estudio visual de movimientos se aplica con mayor amplitud, porque la actividad que se estudia no necesita ser de tanta importancia para justificar económicamente su empleo. Este tipo de estudio comprende la observación cuidadosa de la operación y la elaboración de un diagrama de proceso del operario, con el consiguiente análisis del diagrama considerando las leyes de la economía de movimientos.

Debido a su mayor costo, el método de micromovimientos resulta generalmente práctico sólo en el caso de trabajos de mucha actividad, cuya duración y repetición son grandes. Las dos clases de estudios pueden compararse a la observación de un objeto con una lupa o mediante un microscopio. La mayor cantidad de detalles que proporciona el microscopio sólo tiene aplicación en trabajos de alta producción.

3.6.3.1 **Objetivo del estudio de tiempos y movimientos.** Los objetivos principales de esta actividad es aumentar la productividad, la confiabilidad del producto y reducir el costo por unidad, permitiendo así que se logre la mayor producción de bienes y/o servicios para mayor número de personas. La capacidad de producir más con menos, dará como resultado, más trabajo para más personas, durante un mayor número de horas por año mediante la aplicación inteligente de los principios de los métodos.

Los fines de este estudio son: someter cada operación de trabajo de una pieza dada un análisis minucioso, para eliminar toda operación innecesaria y determinar el procedimiento más rápido y mejor para realizar cada una de las opera que se precisen. Estandarizar el equipo, los métodos y las condicione de trabajo, para determinar por medio de mediciones científicas el número de horas estándares en las cuales puede ejecutar la tarea un operario medio. Las responsabilidades del analista de tiempos suelen ser las siguientes:

- Minimizar el tiempo requerido para la ejecución de trabajos.
- Mejorar continuamente la calidad y confiabilidad de los productos y servicios.
- Conservar los recursos y minimizar los costos especificando los materiales directos e indirecto más apropiada para la producción de bienes y servicios.
- Minimizar la seguridad, la salud y el bienestar de todos los empleados o trabajadores.
- Realizar la producción considerando cada vez más la protección de las condiciones ambientales.

3.6.3.2 **Principio del estudio de tiempos y movimientos.** Más allá del concepto de la división básica del trabajo en elementos, según lo formulado por primera vez los esposos Gilbret, se tienen los principios de la economía de movimientos, también desarrollados por ellos y perfeccionados por otros investigadores, principalmente por Ralph M. Barnes. (Niebel, 2007).

No todos estos principios son aplicables a todo trabajo, y algunos sólo tienen aplicación por medio del estudio visual de los movimientos, así como los aplicables en la técnica de micromovimientos, los cuales deben tenerse en cuenta en la mayoría de los casos. Los principios de economía pueden clasificarse en tres subdivisiones principales, atendiendo:

- El uso del cuerpo humano.
- La disposición y condiciones en el lugar de trabajo.
- El diseño de herramientas y el equipo.
- Con los principios visuales de la economía de movimientos, de modo que pueda detectar las deficiencias o fallas del método siguiente, con una rápida inspección del sitio de trabajo y de la operación. La clasificación básica es:
 - Relativo al uso del cuerpo humano
 - Disposición y condiciones en el sitio de trabajo.
 - Diseño de las herramientas y equipo.

4.OBJETIVOS

4.1 Objetivo general.

Desarrollar experimentalmente los principales segmentos del control microbiológico y establecer logística, lineamientos, metodologías y procedimientos para la implementación del sistema en un ingenio azucarero.

4.2 Objetivos específicos.

- Establecer y optimizar los lineamientos principales del segmento de control de actividad microbiológica en “materia prima”.
- Desarrollar y optimizar el sistema en el tándem. Puntos críticos, limpieza y desinfección y evaluación de bactericidas.
- Explorar y/o probar experimentalmente algunos procedimientos para medir el impacto de la actividad microbiológica en los jugos de caña sobre el tratamiento de jugos y la fase de recuperación de azúcar.

5.METODOLOGÍA

5.1 Materia prima.

El segmento de materia prima (caña) se dividió en tres fases importantes:

5.1.1 Fase 1: prueba piloto. La prueba piloto es un ensayo de modificación. Para fines de esta prueba se trabajó experimentalmente en el laboratorio de materia prima (caña) del ingenio Pantaleón, durante cuatro semanas, implementando un sistema de control microbiológico durante la zafra 2009-2010.

Este sistema incluyó las siguientes pruebas analíticas:

- Prueba de resazurina.
- Fermentación espontánea.
- Capacidad Buffer.
- Acidez / pH.
- Gomas.

Para propósitos de la prueba piloto, se capacitó a los operarios del laboratorio de caña, para realizar la prueba de resazurina, durante los turnos establecidos en el ingenio. Los datos obtenidos fueron utilizados para construir un manual de operaciones estandarizado.

5.1.2 Fase 2: Estudio de viabilidad: Establecimiento de logística para la utilización de resultados analíticos de caña en el patio.

Esta fase consiste en un estudio y análisis preliminar del manejo de la caña en el patio. Se integra por una investigación descriptiva del patio y muestras analíticas del mismo. Los datos obtenidos se utilizarán para futuras orientaciones operativas.

Se aplicaron herramientas de métodos, estándares y diseño del trabajo para analizar cada uno de los elementos del patio de caña del Ingenio Pantaleón. Como parte del estudio preliminar se realizó un estudio de tiempos y movimientos. El propósito del mismo es eliminar o reducir los movimientos no efectivos, y facilitar y acelerar los movimientos efectivos. Para ello se elaboraron diagramas de operación de proceso, diagramas de flujo y diagramas de recorrido.

5.1.3 Fase 3: Manual de procedimientos.

Un manual de procedimientos contiene la descripción de las actividades que deben seguirse. Este manual permite conocer la descripción, el funcionamiento y requerimientos de la prueba de resazurina. Es un método de inducción y adiestramiento para el personal responsable en el laboratorio de materia prima (caña), ya que muestra en forma detallada las actividades del procedimiento. También forma parte del sistema de base de datos para futuro análisis o revisión de consulta para el personal.

Se recopiló información mediante entrevistas directas, realizadas al jefe de laboratorio y a los auxiliares de laboratorio. Además de una observación de campo, la cual consiste en acudir al lugar en donde se desarrollan las actividades de los procedimientos y observar atentamente todo lo que sucede, con ello complementa y verifica la información obtenida en las entrevistas.

Finalmente se realizó un análisis crítico a las actividades del procedimiento. Este análisis constituye una de las partes más importantes del estudio de procedimientos, consiste fundamentalmente en estudiar cada uno de los elementos de información o grupos de datos que se integraron durante la recolección de información, con el propósito de obtener un diagnóstico que refleje la realidad operativa actual.

5.2 Tándem.

En el análisis del área de molienda se trabajó de dos formas. La primera a través de un enfoque analítico y establecimiento de metodologías, y la segunda a través de un enfoque operacional de la implementación analítica y evaluación de la asepsia.

5.2.1 Enfoque analítico. El trabajo está dividido en un total de cinco fases.

Durante las primeras cuatro fases el trabajo se realizó como un trabajo de campo en el Ingenio Pantaleón, los días miércoles y jueves de 8:00 am hasta la 1:00 pm durante los meses de febrero hasta mayo del presente año, y la última fase se llevó a cabo en la Universidad del Valle de Guatemala.

Durante la primera fase del proyecto, se procedió al análisis del funcionamiento de cada tándem, a la identificación del movimiento del flujo de la caña de azúcar y la localización de los puntos de muestreo para el análisis de cada tándem. Una vez realizadas estas tareas se comenzó el trabajo de la toma de muestras en los puntos indicados para la determinación de los puntos críticos de cada tándem.

En la segunda fase, se hizo el análisis estático de los bactericidas Labs-SMB y Beta-STAB utilizados en el ingenio. Esta operación consiste en el análisis de la efectividad de los bactericidas mencionados a diferentes concentraciones (puro, 10-1, 10-2, 10-3) en un volumen definido de muestra de jugo. Se le nombra como estático ya que el jugo no se encuentra en movimiento durante la prueba.

En la tercera fase del proyecto, se diseñó y armó un equipo para el análisis dinámico del bactericida que asemejara el movimiento del jugo de la caña de azúcar dentro de los molinos del tándem. Para ello se accedió al diseño de un equipo de un tamaño adecuado que permitiera su fácil transporte e implementación. El equipo debía tener un tiempo de retención igual al que posee el tándem, el cual fue determinado por el Lic. Osbel Nuñez.

Durante la cuarta fase, se implementó el equipo diseñado para el análisis dinámico de los bactericidas implementados en el ingenio. De igual manera que en la segunda fase, se analizaron los bactericidas Labs-SMB y Beta-STAB cada uno a diferentes concentraciones (puro, 10-1, 10-2, 10-3) para determinar si existen variaciones en la efectividad de los mismos, con respecto al análisis estático.

En la quinta y última fase, se analizaron los datos recopilados para cumplir con los objetivos que se presentaron. Para ello se trabajaron los datos en Excel y graficaron para determinar puntos críticos y la efectividad de los bactericidas. Posterior a la obtención de los resultados, se elaboró el informe final con dichos resultados y la interpretación de ellos.

5.2.1.1 Materiales y métodos analíticos.

- Test de la Resazurina.
 - Equipo y reactivos.
 - Viales de 3ml
 - Beakers
 - Colador
 - Recipientes plásticos con tapadera
 - Balón de 1L
 - Baño de María
 - Termómetro
 - Cronómetro
 - Resazurina
 - Cloruro de sodio grado reactivo

- Preparación de solución.

Se preparara una solución de resazurina a una concentración de 10 ppm. Se esteriliza un balón de 1000 mL en donde se mezclará la solución. Se pesarán 0.01g de resazurina y 9.00g de cloruro de sodio en un beaker esterilizado. Luego se procederá a aforar el balón con agua destilada. Se deberá esterilizar la solución de resazurina en un baño de maría por una hora a una hora y media. Esterilizar el recipiente en el cual se almacenará la solución de resazurina.

La solución deberá obtener un color final morado azul. Se deberá guardar la solución preparada a una temperatura de 5°C para evitar cualquier actividad microbológica que se podría dar en la solución.

- Aplicación de la prueba.

Se procede a limpiar los viales que se utilizarán para incubar las muestras de jugo de caña. Se llena con resazurina los tubos de ensayo hasta 2/3 de la capacidad de los mismos, en este caso son 2ml de resazurina. Luego se llena el resto del tubo de ensayo con la muestra de jugo de caña.

Se colocara el tubo de ensayo en el baño de María a 37° C y se tomara el tiempo inicial de incubación de las muestra. Se deberá verificar la variación del color del tubo de ensayo durante el tiempo. Al llegar a un color equivalente al color del jugo de caña, se finalizará la incubación y se anotará el tiempo final de la muestra.

Ilustración 24 Diagrama de Flujo del procedimiento de la resazurina.

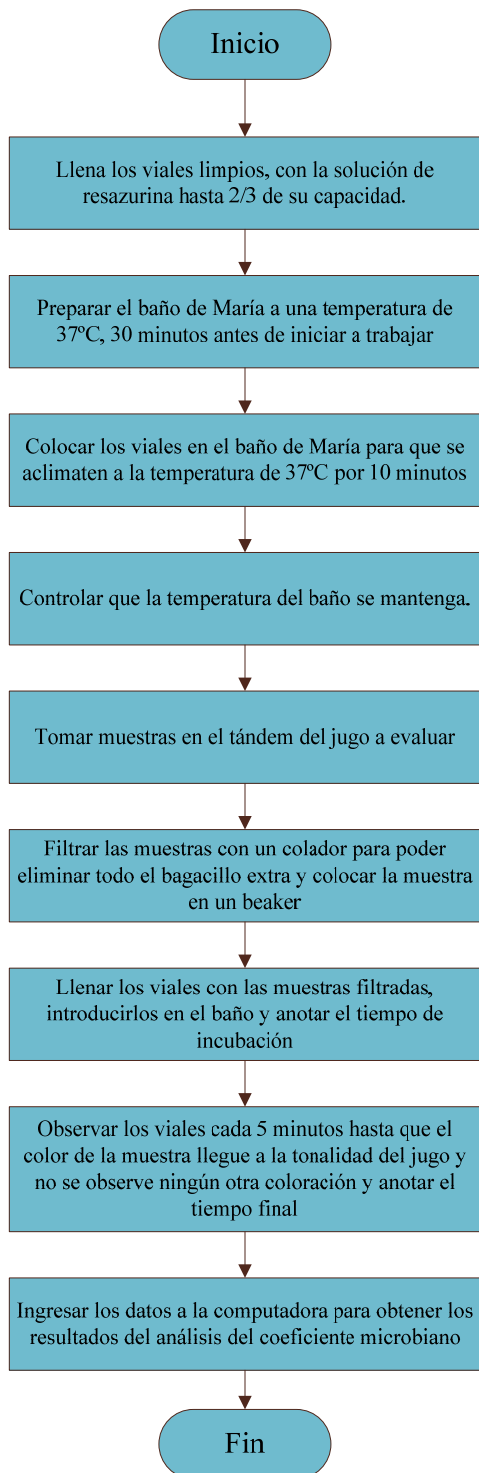


Ilustración 25 Colores presentados en la reducción de la resazurina.



- Interpretación de resultados para la prueba de resazurina.

Para la interpretación de los resultados obtenidos por el Test de resazurina se debe contabilizar el tiempo total de decoloración de los jugos de caña. Este tiempo se deberá transformar a números decimales en relación a las horas de decoloración. Con el dicho tiempo se halla el Coeficiente Microbiológico (CM)

Coeficiente microbiológico (CM):

Ecuación 6

$$CM = \frac{5}{t_R} \cong \text{Carga} + \text{Actividadmicrobiana}$$

Donde,

CM es el coeficiente microbiológico y t_R es el tiempo de reducción de la resazurina de la muestra analizada.

El coeficiente microbiológico (CM) es una variable que es proporcional a la carga y actividad microbiana de la muestra analizada. El método para determinar el tiempo de la resazurina se describe en el apéndice en la sección de procedimientos.

A continuación se muestran las valoraciones dadas al CM por su valor numérico. Se decidió utilizar cinco diferentes intervalos para los valores de CM, cada uno con un código de color. Las

valoraciones fueron: “bueno”, “aceptable”, “malo”, “crítico” y “muy crítico”. A las valoraciones de “crítico” y “muy crítico” se les asignó el mismo color. Este sistema de valoración tiene como fin ser implementado en el ingenio, que sea un análisis simple y que pueda ser comprendido fácilmente por los operarios o laboratoritos que realicen las pruebas.

Tabla 5 Valoraciones dadas al CM por su valor numérico.

CM	Valoración del resultado
Menor a 1.5	Bueno
1.5 – 2	Aceptable
2 – 3	Malo
3 – 5	Crítico
Mayor de 5	Muy crítico

Incremento del coeficiente microbiológico (ICM):

Ecuación 7

$$ICM = CM_2 - CM_1$$

Donde ICM es el incremento del coeficiente microbiológico, CM2 es el coeficiente microbiológico en un punto (generalmente es la salida de un punto o unidad) y CM1 es el coeficiente microbiológico en un punto (generalmente es la entrada de un punto o unidad).

El ICM es una variable que se utiliza para comparar salidas y entradas en una unidad, un punto o todo un sistema con base a los valores de CM. El ICM 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

5.2.1.2 **Determinación de puntos críticos.** Se estudió los tandems A y B del Ingenio Pantaleón para comprender mejor su funcionamiento. Además tomando como base los resultados obtenidos de recuentos de *Lueconostoc mesenteroides* y microbiota total en los molinos del trabajo de Optimización de procedimientos de laboratorio y económicos en control microbiológico en la industria azucarera (Balsells, De la Peña y Rodríguez, 2009), se determinó que los valores de UFC de los molinos 5 y 6 son considerablemente menores que en los otros molinos. Además en dicho trabajo también se midieron las temperaturas de los jugos de los molinos mencionados y estas están por encima de la temperatura óptima de crecimiento de los microorganismos, por lo que su crecimiento se inhibe. Por lo tanto se decidió excluir a estos molinos del análisis de los puntos críticos de cada tándem.

Tabla 6 Unidades analizadas dentro del Tándem A y sus abreviaciones en el reporte.

Unidad Analizada	Abreviación utilizada en el reporte
Molino 1	M1A
Molino 2	M2A
Molino 3	M3A
Molino 4	M4A
Recirculación al Molino 3	RM3A
Recirculación al Molino 2	RM2A

Tabla 7 Puntos de muestreo en el Tándem A y sus abreviaciones correspondientes usadas en el reporte.

Punto de muestreo	Abreviación utilizada en el reporte
Jugo Primario	PA
Jugo proveniente del Molino 2	M2A
Jugo proveniente del Molino 3	M3A
Jugo proveniente del Molino 4	M4A
Jugo proveniente de la recirculación al Molino 3	RM3A
Jugo proveniente de la recirculación al Molino 2	RM4A
Jugo Diluido	DA

Tabla 8 Unidades analizadas dentro del Tándem B y sus abreviaciones en el reporte.

Unidad Analizada	Abreviación utilizada en el reporte
Molino 1	M1B
Molino 2	M2B
Molino 3	M3B
Molino 4	M4B
Recirculación al Molino 3	RM3B
Recirculación al Molino 2	RM2B

Tabla 9 Puntos de muestreo en el Tándem B y sus abreviaciones correspondientes usadas en el reporte.

Punto de muestreo	Abreviación utilizada en el reporte
Jugo primario	PB
Jugo proveniente del molino 2	M2B
Jugo proveniente del molino 3	M3B
Jugo proveniente del molino 4	M4B
Jugo proveniente de la recirculación entrante al molino 3	RM3B
Jugo proveniente de la recirculación entrante al molino 2	RM4B
Jugo diluido	DB

Tabla 10 Valoraciones de I.C.M para la comparación de puntos críticos del Tándem A y B.

No. de punto comparativo	Primer punto de muestreo	Segundo punto de muestreo
1	Jugo primario	Jugo diluido
2	Jugo del molino 2	Jugo diluido
3	Jugo primario	Jugo del molino 2
4	Jugo del molino 2	Jugo del molino 3
5	Jugo del molino 3	Jugo del molino 4
6	Recirculación entrante al molino 3	Jugo del molino 3
7	Recirculación entrante al molino 2	Jugo del molino 2

- Niveles de los puntos críticos.

Para la determinación de los puntos críticos en cada tándem se evaluó conjuntamente los valores de CM e ICM de cada lugar y se concluyó de utilizar cuatro niveles de criticidad. Los

niveles son CM alto e ICM positivo, CM alto e ICM negativo, CM bajo e ICM positivo y CM bajo e ICM negativo.

Tabla 11 Niveles de puntos críticos y medidas a tomar para dichos puntos.

Nivel	Características del nivel	Medidas a tomar en los puntos críticos
1	CM alto e ICM positivo	Punto muy crítico. Hay que tomar todas las medidas. Desinfectar, evaluar y eliminar posibles causas de incremento (por limpieza, eliminar retención de jugo, manejo de temperaturas, etc.).
2	CM alto e ICM negativo	Desinfectar.
3	CM bajo e ICM positivo	Encontrar la causa y eliminarla.
4	CM bajo e ICM negativo	No tomar medidas.

- Muestreo y análisis.

Para obtener las muestras de los molinos y su recirculación que se mencionaron en el Cuadro No. 5 y el Cuadro No. 7 se realizó el siguiente procedimiento. Primero se procedió al muestreo del Tándem A y luego del Tándem B. Para tomar las muestras se requirió de un “muestreador” proporcionado por el ingenio, el cual consiste de un recipiente cilíndrico de metal soldado a una barra del mismo material de un largo aproximado de un metro con sesenta centímetros. El muestreador se colocaba debajo de cada molino para que el jugo extraído cayera en el recipiente. La muestra se colocaba en un beaker plástico y luego se transfería con cuidado a los viales con la resazurina. El recipiente del muestreador y el beaker eran “endulzados” tres veces para eliminar contaminación cruzada del residuo de cualquier muestra previa.

En el caso de las muestras de la recirculación, el muestreador se colocaba al borde de la tubería de salida de cada recirculación. Esta tubería se encuentra en el segundo nivel de los molinos y debe tenerse cuidado al maniobrar el muestreador ya que hay menos espacio en comparación a la parte inferior de los molinos.

Una vez realizada la corrida de muestreo de cada tándem, se transportan las muestras en los viales al Laboratorio de Caña, donde se sumergen en un baño de María a 37°C y se procedía a darle seguimiento al viraje de las muestras analizadas.

5.2.1.3 Evaluación de bactericidas. Los bactericidas evaluados fueron el Labs SMB y el BETA Stab. Para ello se realizaron los siguientes procedimientos y métodos de análisis.

- Preparación de las soluciones de bactericidas.
 - Solicitar una muestra, de aproximadamente 600ml, de cada bactericida puro.
 - Medir el volumen obtenido y almacenarlo en frascos etiquetados y con tapadera. Utilizar guantes al manejar los bactericidas sin dilución.
 - Tomar 50ml de bactericida SMB puro y transferirlos a otro frasco etiquetado y agregar 450ml de agua destilada. De esta manera se obtiene bactericida a una concentración de 10-1.
 - Tomar 50mL del bactericida anterior y transferirlos a otro frasco etiquetado y agregar 450ml de agua destilada. De esta manera se obtiene bactericida a una concentración de 10-2.
 - Tomar 50mL del bactericida anterior y transferirlos a otro frasco etiquetado y agregar 450ml de agua destilada. De esta manera se obtiene bactericida a una concentración de 10-3.
 - Repetir el mismo procedimiento para el bactericida BETA Stab.

La evaluación de bactericidas se realizó de dos formas.

- Evaluación estática de bactericidas.

La prueba de forma estática consiste en la recolección de muestras de jugo diluido de caña para evaluar la efectividad de los dos tipos de bactericida utilizados en el Ingenio. Se debe recolectar una muestra de aproximadamente 1 litro. Una vez obtenida la muestra se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Tomar una muestra control sin bactericida y analizarla con el test de resazurina.
 - Tomar 400ml de muestra de jugo y dividirla en 100ml para 4 frascos limpios etiquetados con las concentraciones a trabajar (Puro, 10-1, 10-2 y 10-3).
 - Agregar la relación de 1ml de bactericida SMB por cada litro de jugo analizado a cada uno de los frascos, en este caso sería 0.1ml de bactericida. Realizar la adición de bactericida a las muestras con 1 minuto de intervalo entre cada concentración. Apuntar el tiempo de adición para cada muestra.
 - Tomar muestras para el test de resazurina cada 5 minutos para cada concentración.
 - Tomar muestras para el test de resazurina hasta que transcurran 30 minutos de haber agregado el bactericida a cada muestra.
 - Revisar los viales con las muestras obtenidas y apuntar el tiempo final de viraje.
 - Obtener los calores de CM de cada muestra.
 - Repetir el mismo procedimiento para el bactericida BETA.
 - Comparar los resultados obtenidos.
- Evaluación dinámica de bactericidas.

Debido al flujo y movimiento del jugo dentro del tándem, las pruebas a nivel estático son una evaluación inicial del bactericida. Dentro del tándem, una gran parte del bactericida sigue el flujo del jugo. Pero, al igual que el jugo, hay una parte que se retiene, otra parte que se recircula y otra parte que sigue en el proceso. Por ello fue necesario determinar el tiempo de residencia del jugo en el tándem. Estas pruebas fueron realizadas por el Lic. Osbel Nuñez Jimenez, en el Ingenio Pantaleón para ambos tándemes. Se obtuvo que el tiempo promedio de residencia sea de 30 minutos.

En base a este resultado se diseñó un equipo preliminar para la evaluación de bactericida de forma dinámica que asemejara el funcionamiento del tándem y el flujo del jugo a través de él. El

equipo consistió en tres cubetas plásticas, de las cuales dos fueron perforadas y se les instaló una tubería de ½ pulgada de PVC y una válvula del mismo diámetro para regular el flujo.

Para realizar la evaluación de los bactericidas se utilizó el siguiente procedimiento:

- Colocar los recipientes de forma escalonada para permitir que el jugo fluya por gravedad de un recipiente a otro.
- Revisar que las dos válvulas estén cerradas y colocar una base con una bureta a la altura del segundo recipiente.
- Llenar la bureta con el volumen requerido de bactericida a la concentración a evaluar y medir 10 litros de jugo e ingresarlos en el primer recipiente.
- Tomar una muestra del recipiente superior para la prueba de resazurina.
- Girar la llave de la válvula ligeramente hasta obtener el flujo necesario para obtener el tiempo de retención de 30 minutos. Para este caso de 10 litros debe tenerse un flujo volumétrico de 0.33 l/min o 5.56 ml/s.
- Esperar dos minutos y regular la adición del bactericida para que dure 30 minutos.
- Mantener agitación por medio de un agitador de vidrio, para asemejar el movimiento del flujo de jugo de caña dentro del tándem.
- Tomar muestras en la salida del segundo recipiente cada 5 minutos y aplicarles el test de resazurina hasta terminar los 30 minutos de la corrida.
- Revisar los viales con las muestras obtenidas y apuntar el tiempo final de viraje.
- Obtener los calores de CM de cada muestra.
- Repetir el mismo procedimiento para el bactericida BETA.
- Comparar los resultados obtenidos.

5.2.2 Enfoque operacional.

5.2.2.1 Aspectos generales. El trabajo de megaproyecto se desarrolló en las instalaciones del Ingenio Pantaleón ubicado en el departamento de Escuintla, municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa.

El trabajo de megaproyecto se llevó a cabo en tres etapas, cada una de estas comprendía un periodo de seis (6) meses, cada etapa abarcando un semestre. En la primera etapa se llevó a cabo una revisión de fuentes bibliográficas sobre los temas a tratar en el megaproyecto. Esta etapa se desarrolló con la finalidad de entender, conocer e involucrarnos con los temas a desarrollar en el proyecto. Además, se realizaron visitas técnicas para contar con información teórica y práctica sobre las actividades que se desarrollan en un ingenio azucarero. Para llevar de manera integral la etapa de entrenamiento, en las visitas técnicas se abarco la totalidad del proceso productivo del azúcar.

En la segunda etapa, se continuó con la revisión de material bibliográfico y las visitas de campo. En las visitas al ingenio, empleando el método de observación se determinaron las áreas de oportunidad para el proyecto. De manera conjunta con compañeros de la carrera de ingeniería química, se realizó el procedimiento para el análisis de los puntos críticos en el área de molinos de un ingenio azucarero.

En la tercera etapa, se continuó con las visitas de campo al ingenio azucarero. Se continuó con la recopilación de información y recolección de datos. En esta etapa se emplearon métodos de observación para entender la situación de las actividades del proceso que se estaba desarrollando.

5.2.2.2 Estudio de tiempos y movimientos para la implementación del laboratorio de control microbiológico. Para el estudio del procedimiento de análisis de los puntos críticos en un tándem de un ingenio azucarero, de manera conjunta con los compañeros de ingeniería química, se realizaron las distintas actividades del proceso durante las visitas técnicas para entender el sistema y retroalimentarlo conociendo sus actividades y la manera que estas se desarrollan. Se emplearon las técnicas de estudio de tiempos y diagramas de recorrido. Con la utilización de esta herramienta se pretendió mostrar la secuencia de las actividades desarrolladas en el procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem.

Al tener claridad de la secuencia de actividades desarrolladas se realizó un análisis sobre las actividades críticas posibles de optimizar y representaban un punto de mejora en la secuencia llevada a cabo para el desarrollo del análisis de los puntos críticos en el tándem.

Por medio del estudio de tiempos y movimientos se pretendió llegar a un estándar, el cual es el resultado final de dichas actividades. Para el estudio de tiempos se empleó un cronómetro para establecer los valores de tiempo del desarrollo del análisis de puntos críticos en el tándem.

5.2.2.3 Desarrollo de un esbozo del manual para la implementación del procedimiento para análisis de los puntos críticos en un tándem. Empleando la información recabada en el estudio de tiempo de las actividades del análisis de puntos críticos en un tándem de un ingenio azucarero y los diagramas de recorrido se busco mejorar los métodos existentes, eliminando todas las actividades innecesarias.

Con el desarrollo del esbozo del manual para la implementación del análisis de laboratorio de control microbiológico se estandarizará la manera en que se lleva a cabo el procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem. El objetivo de tener una tarea estándar es el de otorgar confiabilidad al proceso sin importar quien sea la persona que esté desarrollando la actividad y tomar en cuenta la seguridad que se le otorga al procedimiento. El objetivo principal de establecer el estándar para el desarrollo de la actividad fue lograr utilizar de manera eficiente el tiempo y forma que se lleva acabo el procedimiento de análisis en los puntos críticos.

5.2.2.4 Desarrollo de un esbozo del manual de procesos estándar para la sanitización de los molinos en un tándem. Para el desarrollo del esbozo del manual de procesos estándar para la sanitización del tándem en un ingenio azucarero se realizó un estudio de la secuencia de actividades del proceso de sanitización de los molinos tándem, a manera de identificar las distintas actividades críticas que se desarrollan en este. Por medio de la técnica de observación se determinó la secuencia de actividades hechas en esta tarea.

Empleando la información recopilada sobre el proceso de sanitización de los molinos se busco optimizar este procedimiento y establecer un manual estándar que permita otorgarle confiabilidad a este procedimiento.

5.2.2.5 Plantear propuestas de seguridad industrial para las distintas actividades llevadas a cabo en el proceso de asepsia. Durante las visitas técnicas se observo deficiencias de seguridad dentro de las actividades de la asepsia de los molinos que comprometían la salud de las personas encargadas de esta actividad y otras que ponían en riesgo su integridad física. Se realizó un recorrido para identificar los puntos débiles que podían perjudicar a los encargados de la asepsia de los molinos y al mismo tiempo se participó en esta actividad conjuntamente con los operadores.

Se hizo una recopilación de información referente al tema de los puntos débiles encontrados dentro del desarrollo de esta actividad.

5.2.2.6 Evaluación de los conocimientos de los encargados de la limpieza del tándem para realizar sus labores. En esta etapa se llevó a cabo un estudio del manual de procedimientos que el ingenio contaba para entender que es lo que se requería de los operadores. Se realizaron encuestas para entender factores relacionados con la tarea, tales como el nivel de conocimiento, percepción de seguridad y nivel de entrenamiento.

Por medio del método de observación y siguiendo el manual actual se observó la manera de realizar la actividad.

Se utilizó la herramienta de Front-End analysis para determinar el grado de entrenamiento y requerimientos de entrenamiento para la actividad de sanitización de los molinos en el tándem del ingenio.

5.2.2.7 Plantear una propuesta preliminar para la capacitación de los operarios encargados del proceso de asepsia de los molinos. Realizar un Front-End analysis y una encuesta sobre el proceso de la asepsia de los molinos. Al obtener los resultados de la encuesta realizada y de la herramienta de Front- End analysis se desarrolló un entrenamiento para entregar a todas las personas que participan en el procedimiento de asepsia de los molinos un grado de habilidad y documentación escrita para cumplir con las actividades que se le requieren de manera estándar.

5.3 Tratamiento y recuperación.

5.3.1 Examen de las áreas y exploración de procedimientos.

Se hizo un análisis del proceso de fabricación de azúcar con la literatura, para analizar, en cada una de las partes del proceso, la manera de hacer mediciones de la actividad microbiológica. Esto con el objetivo de elaborar un trabajo inicial que sea utilizado como punto de partida para futuras investigaciones.

En dicha guía, se estudiaron y establecieron diferentes indicadores que puedan ser utilizados para llevar a cabo análisis de los efectos de la actividad microbiológica en las siguientes etapas del proceso: alcalización, clarificación, evaporación, cristalización y centrifugación. Así pues, se investigaron las diferentes medidas, análisis de laboratorio y métodos que pueden servir como indicadores para realizar una evaluación del posible daño de la actividad microbiológica en cada una de las etapas.

Además, se determinó cuáles de los indicadores se encuentran actualmente vigentes o en funcionamiento entre los análisis realizados por ingenio Pantaleón, para conocer el estado de los mismos y determinar si se requiere modificar alguna parte del procedimiento. Se identificaron también aquellos indicadores que deben ser implementados, por no estar vigentes actualmente, para poder establecer los pasos que deben seguirse en el futuro, para hacerlos efectivos.

Se investigaron también, otros factores que pudieran influir en los indicadores, ya que muchas veces no solamente la actividad microbiológica puede ser la causante de variaciones en los niveles de los mismos. Esto para reconocer y controlar todos estos factores que pueden ser capaces de variar las mediciones o análisis realizados, considerándolos en los resultados obtenidos. A partir de estos factores, para cada uno de los indicadores, se elaboraron recomendaciones para la evaluación integral del impacto microbiológico en cada una de las áreas. Además, se elaboró un cuadro en el cual se indican la razón por la cual se ha decidido tomar cada indicador como punto de partida para la evaluación del área, así como el tipo de indicador, los otros indicadores relacionados con el mismo, la muestra requerida para su evaluación y una aproximación inicial para su uso.

5.3.2 Examen del área de evaporación. Se realizaron visitas a ingenio Pantaleón, durante las cuales se llevó a cabo un examen sobre el principio de funcionamiento de la etapa de evaporación, además de la distribución de los equipos en el área. El objetivo de este estudio es sentar las bases que permitan hacer, en un futuro cercano, evaluaciones del efecto de la actividad microbiológica en la etapa. Además, poder establecer procedimientos, métodos y análisis que permitan proveer resultados reales para medir las pérdidas debidas a los microorganismos, con el fin de determinar puntos críticos y tomar las medidas de prevención necesarias. Para llevar a cabo la descripción del área, también se realizaron investigaciones y estudios en la literatura.

El estudio de esta etapa del proceso de fabricación, se detalla más en el presente inciso, por lo mencionado en el inciso anterior sobre los indicadores. Esto debido a que dichos indicadores son bastante numerosos y presentan alta influencia en el adecuado funcionamiento de los evaporadores.

- Propuesta de simulación para medir nivel de incrustación

Se llevaron a cabo estudios prácticos preliminares en los que pretendía determinarse los niveles de incrustación en evaporadores. Para esto, se realizaron pruebas a nivel de laboratorio, en las cuales se procedió a realizar una simulación sobre el proceso de evaporación. Se utilizaron muestras de jugo de caña tomadas en ingenio Pantaleón. El material utilizado fue:

- 1 beaker.
- 1 estufa.

El procedimiento realizado fue el siguiente. En el beaker se agregó un volumen conocido de jugo de caña de azúcar. Seguidamente, de acuerdo al volumen, se agregó una cantidad fija de cal y, utilizando una estufa, se procedió a iniciar el proceso de evaporación del agua presente en el jugo, para conseguir una concentración de aproximadamente 60°Brix al final del proceso de evaporación. Este modelo pretendía simular una evaporación de simple efecto, como un diseño inicial para medir niveles de incrustación causados por la añadidura de cal.

5.3.2.1 Recopilación de información sobre limpieza de evaporadores. A partir del examen del área de evaporación, y conociendo la descripción de dicha etapa, se procedió a recopilar información sobre los métodos de limpieza de los evaporadores. Esto se hizo por medio de visitas a ingenio Pantaleón, durante las cuales se realizó una exploración del área, además de una entrevista con el jefe de la misma, para conocer los métodos de limpieza. Esto se encuentra nuevamente ligado a los indicadores establecidos para el área de evaporación, ya que los niveles de incrustación en el equipo son los determinantes de la frecuencia, periodo y método de limpieza que debe utilizarse en los evaporadores. Adicional a las visitas realizadas en ingenio Pantaleón, se procedió también a llevar a cabo una investigación en la literatura, para poder conocer la teoría y principios que se encuentran relacionados con los métodos de limpieza y los productos recomendados a utilizar.

Este inciso se encuentra íntimamente relacionado con los indicadores mencionados en el primer inciso para el caso de la evaporación, debido a que el nivel de incrustación y lo relacionado con la limpieza de los evaporadores pueden ser utilizados como referencia en la evaluación del impacto de la actividad microbiológica del área. Sin embargo, está estrechamente ligado con los indicadores de la alcalización, etapa en la que se obtiene uno de los principales componentes que forman las incrustaciones

5.3.3 Procedimiento para la estimación del nivel de elongación de los cristales de azúcar en masas cocidas. Para determinar el método óptimo de evaluación del nivel de elongación de los cristales de azúcar, en el proceso de cristalización en los tachos, se llevaron a cabo diferentes pruebas. En las mismas, se determina la mejor forma de medir ancho y largo de los cristales, con el objetivo de establecer un coeficiente para determinar cuáles son considerados alargados. Por otro lado, llevar a cabo un conteo de la cantidad de cristales alargados que se encuentran presentes en un campo. A continuación, se describen las diferentes metodologías realizadas para llevar a cabo la evaluación de los cristales en masas cocidas A, B y C. Las muestras analizadas fueron las mismas para cada prueba realizada, por lo que el muestreo no influye en los resultados obtenidos para cada caso.

Se llevó a cabo la toma de muestras en ingenio Pantaleón entre los meses de marzo y mayo del presente año. Esta actividad consistió en recolectar masas cocidas de templa A, B y C en el área de tachos de la fábrica. Estas muestras se tomaron de los tachos que se encontraban en funcionamiento, durante los días y periodos de tiempo que duró el muestreo. Se recolectaron en recipientes de plástico de 2 onzas (ver imagen 26) y fueron rotuladas según el tipo de masa, procedencia (de qué tacho se obtuvo) y el día de la recolección.

Ilustración 26 Recipientes para toma de muestra de masas cocidas.



Durante cada día se recolectaron aproximadamente diez muestras, variando los intervalos de tiempo entre cada colecta. Las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente, ya que no sufren variaciones en sus características.

La realización de pruebas y estudio de diferentes metodologías se llevó a cabo entre los meses de junio y septiembre del presente año. El fin es explorar un método preliminar en el cual pueda determinarse el coeficiente de elongación de los cristales de azúcar y la proporción de cristales alargados en las diferentes masas, determinando si existe alguna relación entre ellas.

Técnica #1

Los estudios preliminares con esta prueba se realizaron en el Laboratorio de Bioquímica y Microbiología de la Universidad del Valle de Guatemala. Para el análisis se utilizó:

- Un microscopio con lente milimetrado para medición, con zoom 10/0.25, 4/0.1, 10/0.25 y 40/0.65

Ilustración 27 Microscopio utilizado para el análisis de las masas cocidas.



- Portaobjetos para colocar las muestras.

Ilustración 28 Portaobjetos con muestra de masa cocida para análisis.



- Pinzas para la manipulación de muestras.

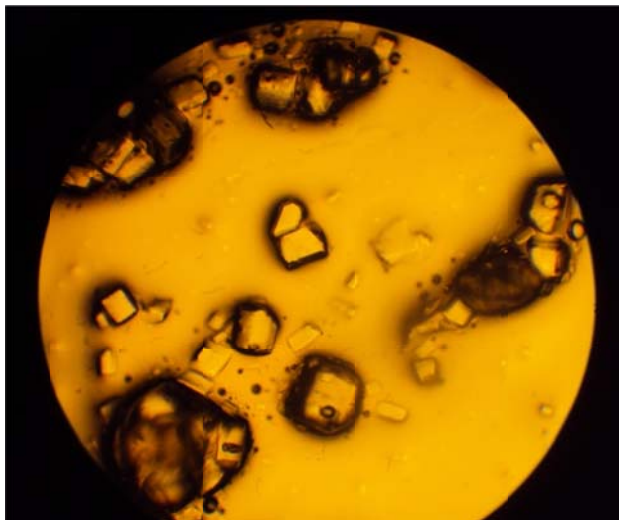
Ilustración 29 Manipulación de las muestras con pinzas.



Los diferentes tamaños de zoom se variaban dependiendo del tamaño de los cristales de azúcar y de la claridad para identificar los cristales. Se procedió a tomar una submuestra de cada muestra, analizando 10 campos, de cada una de éstas. En cada uno de los campos se toman todos los cristales de azúcar, midiendo la longitud y ancho del mismo. Además, a cada uno de los campos se le cuenta la cantidad de cristales que se consideran alargados. Este procedimiento se realizó para cada una de las 86 muestras recolectadas, de cada tipo de templa. En esta prueba, no se realizó

ningún tratamiento a la muestra previo a ser colocada en el portaobjetos. Solamente se toma del recipiente que la contiene y, utilizando unas pinzas, se esparce por el portaobjetos, tratando de separar los cristales lo más posible. Seguidamente, se procede a enfocar, utilizando el lente adecuado, en el microscopio para poder realizar las mediciones requeridas. La siguiente ilustración es una muestra de la visualización de un campo, con este método, en el microscopio:

Ilustración 30 Análisis de masa cocida con la técnica #1.



Técnica #2

Para mejorar la técnica para determinar la cantidad de cristales alargados presentes en las muestras de masa cocida del tacho A, se realizaron varias pruebas en un microscopio electrónico marca: Morphology 3G, modelo Malvern.

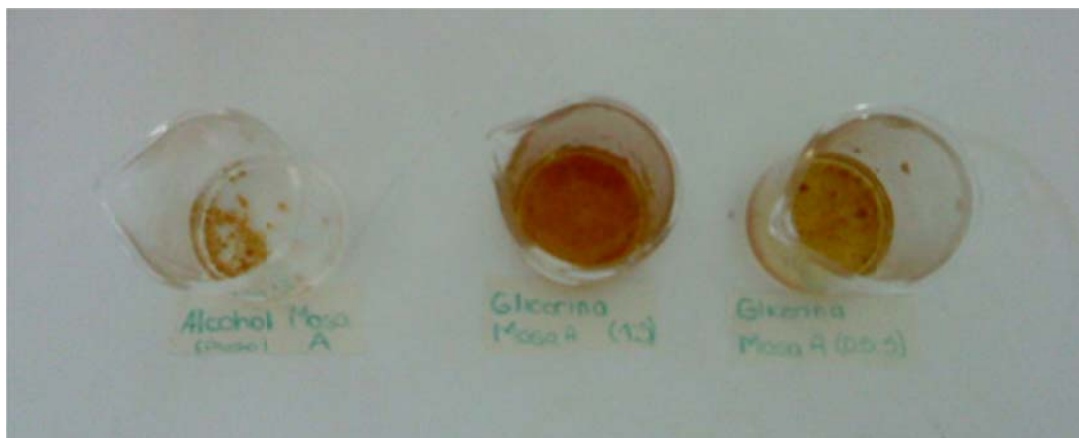
La primera parte de la prueba fue la preparación de la muestra, ya que era necesario encontrar la forma de separar los cristales utilizando un medio que no los disolviera. Se analizaron tres distintas muestras, las cuales fueron preparadas de forma diferente (ver ilustración 31):

Muestra 1: se colocaron en un beaker 0.5 g de muestra y 5 g de alcohol etílico.

Muestra 2: preparada con 0.5 g de masa cocida y 5 g de glicerina saturada.

Muestra 3: se colocó directamente la masa cocida en el portaobjetos.

Ilustración 31 Muestras preparadas para análisis con técnica #2.



Después de preparar las muestras fue necesario crear un SOP (Standard Operating Procedure) en el microscopio. El objetivo de establecer un SOP para el análisis de las muestras es obtener resultados más exactos y garantizar que todas las muestras son analizadas bajo el mismo procedimiento. Para poder establecer el SOP más adecuado, es necesario realizar varias corridas y, de esta forma, tener la certeza que el análisis es correcto, obteniendo los resultados deseados. Para crear un SOP se deben llevar a cabo los siguientes pasos:

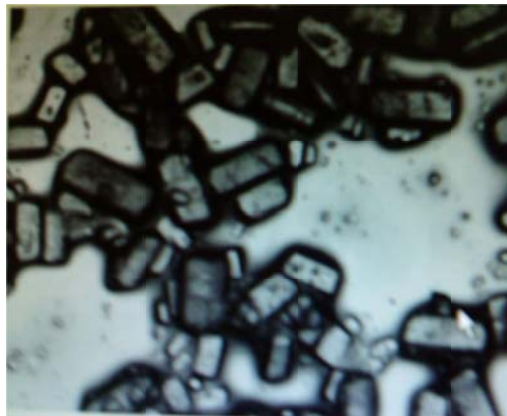
- Editor SOP
 - *Sample details*: colocar el nombre de la muestra y algún comentario extra acerca de la muestra a analizar.
 - *Pre-measurement Settings*
 - *Sampler Carrier*: escoger el tipo de portaobjetos a utilizar.
 - *Sample Dispersion Unit*
 - Iluminación: seleccionar el tipo de iluminación que se desea utilizar, puede ser arriba o abajo.
 - *Optics Selección*: se escoge el lente a utilizar para el análisis.
 - Lente: se elige si se quiere trabajar con un enfoque manual o automático.
 - *Threshold*: se identifica lo que es un cristal en la muestra.
 - *San Aras*: se define el área a escanear en la muestra.
 - *Analysis Settings*
 - *Filters*: se establecen parámetros para filtrar partículas específicas.
 - *Post-measurement Settings*
 - *Report*: se escogen los resultados que se desean obtener en el reporte.

- Modificar SOP:
 - Se busca el archivo en el ícono “*open*” y se selecciona el SOP que se desea modificar.
 - Aparecerá una ventana donde se podrá modificar cualquier aspecto del SOP que se desee.
 - Se guardan los cambios.

- Correr SOP:
 - Se busca el archivo en el ícono “*run*” y se selecciona el SOP que se desea correr (aparecerá una nueva ventana, en la que se debe esperar unos segundos).
 - Se presiona el botón “*start*” y el microscopio calibra los lentes y ajusta la iluminación.
 - El microscopio inicia con el SOP.

Se llevaron a cabo varias corridas con muestras de masa cocida A, para verificar el buen funcionamiento del SOP y verificar cuál de las muestras preparadas, como se mencionó anteriormente, brinda resultados más efectivos para los parámetros a medir en el presente análisis. A continuación se presenta una imagen obtenida con este microscopio:

Ilustración 32 Análisis de masa cocida con la técnica #2.



6.RESULTADOS

6.1 Prueba piloto.

En el Anexo se presentan los resultados de las dos semanas de monitoreo sistemático de la caña en el Ingenio Pantaleón. A continuación se muestra la Tabla 12 los resultados generales.

Tabla 12 Valoración coeficiente microbiológico (cosecha).

CM	Valoración del resultado	Resultado
Menor a 1.5 – 2.0	Bueno	28%
2.0 – 2.5	Aceptable	23%
2.5 – 3.0	Malo	26%
3.0 – 5.0	Crítico	16%
Mayor de 5.0	Muy crítico	7%

Tabla 13 Valoración coeficiente microbiológico (precosecha).

CM	Valoración del resultado	Resultado
Menor a 1.5 – 2.0	Bueno	92%
2.0 – 2.5	Aceptable	0%
2.5 – 3.0	Malo	0%
3.0 – 5.0	Crítico	8%
Mayor de 5.0	Muy crítico	0%

6.2 Descripción patio.

El proceso de recepción de caña inicia por el corte de la caña que puede hacerse en forma mecanizada o a granel (manual). El corte manual se realiza en un 75% del área, y un 25% de la caña es cosechada en forma mecánica. Inmediatamente después del corte se alza y transporta al ingenio, procurando tener la menor cantidad de horas en el campo. Por cada hora que la caña permanezca en campo después de iniciada la cosecha se pierde azúcar.

Se emplean jaulas cañeras remolcadas por cabezales para transportar la caña. Dependiendo de la ruta, los cabezales pueden remolcar de dos a cuatro jaulas cañeras. La caña se transporta hacia el ingenio e ingresa por el área de Patio de Caña en donde inicia el proceso de recepción de caña. Antes de su ingreso es necesario pesar la caña, esto se realiza en básculas y equipos de muestreo situados antes del ingreso al ingenio.

El patio de caña es el lugar donde se recibe la caña. También se hace la preparación de la caña para el proceso de recuperación de azúcar. La caña se prepara para facilitar el proceso de extracción de jugo, a fin de lograr una cantidad mayor de azúcar recuperable o un mayor rendimiento.

Está conformado por las siguientes áreas:

- Laboratorio de caña:

El objetivo fundamental del laboratorio es medir la calidad del jugo y de la sacarosa presente. Está localizado al ingreso del patio de caña. Se realiza un muestreo de caña proporcional a la población (número de frentes de corte). Una vez que la caña llega al laboratorio se toma una muestra para el análisis de calidad a través de una sonda mecánica.

Luego la caña se conduce a otra ruta. En el ingenio están establecidas tres rutas de ingreso para la caña:

- Ruta al tándem A: ingresa caña cortada manual a granel.
- Ruta al Tándem B: ingresa en su mayoría caña cortada mecánicamente, además de caña cortada manualmente.

- Ruta al área caña de patio.

La ruta a seguir también dependerá del frente de corte del cual proviene. Cada frente de corte provee diferentes variedades de caña, con distintas características volumétricas.

- Área de volteo:

Las jaulas son descargadas en la mesa por medio de una grúa de hilos, la cual engancha la jaula y la descarga hacia la mesa.

- Caña de patio:

Un porcentaje de la caña que se recibe se almacena en el patio, un área sin techar situada en el medio de los dos tándemes, rodeados por las mesas. El suelo del patio se encuentra pavimentado.

Esta caña se utiliza para mantener y asegurar el flujo continuo de materia prima hacia los molinos, ya que si este es interrumpido se repercute en la extracción. Otra función que cumple esta caña, es la de compensar las variedades de caña poco volumétricas, estas pueden causar obstrucciones en los conductos, por lo cual se extrae una cantidad de la variedad poco volumétrica y se ingresa al conducto caña más volumétrica.

A continuación se muestran los tiempos en los cuales se incorporó caña al tándem B:

Tabla 14 Valoraciones dadas al CM por su valor numérico.

CM	Valoración del resultado	Resultado
Menor a 1.5 – 2.0	Bueno	60%
2.0 – 2.5	Aceptable	40%
2.5 – 3.0	Malo	0%
3.0 – 5.0	Crítico	0%
Mayor de 5.0	Muy crítico	0%

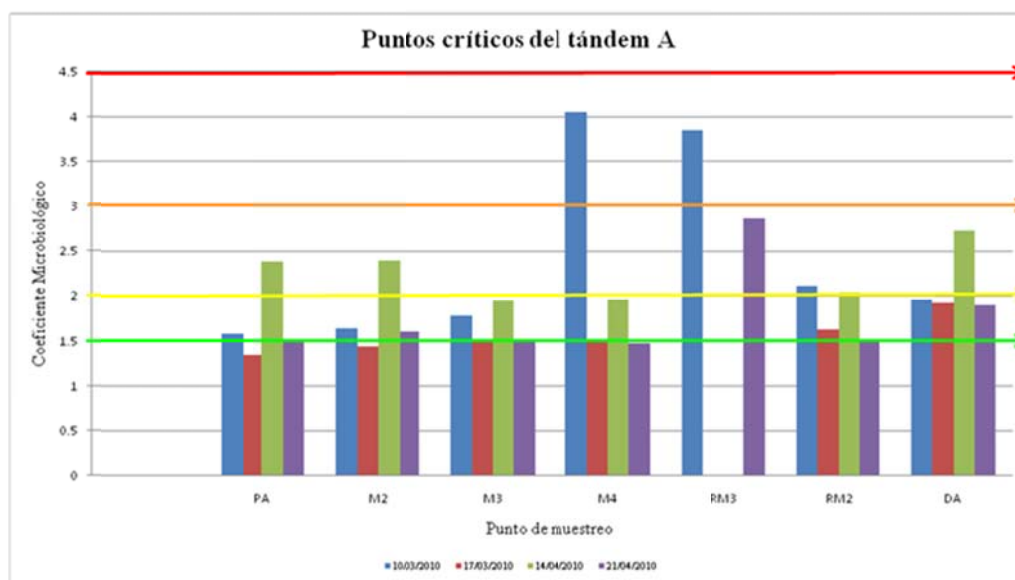
6.3 Manual de procedimientos.

Basado en la información recopilada durante la prueba piloto, se desarrolló un Manual de Procedimientos para la implementación del sistema de control microbiológico en el laboratorio de caña, con el fin de ser utilizado para el monitoreo y análisis microbiológico sistemático.

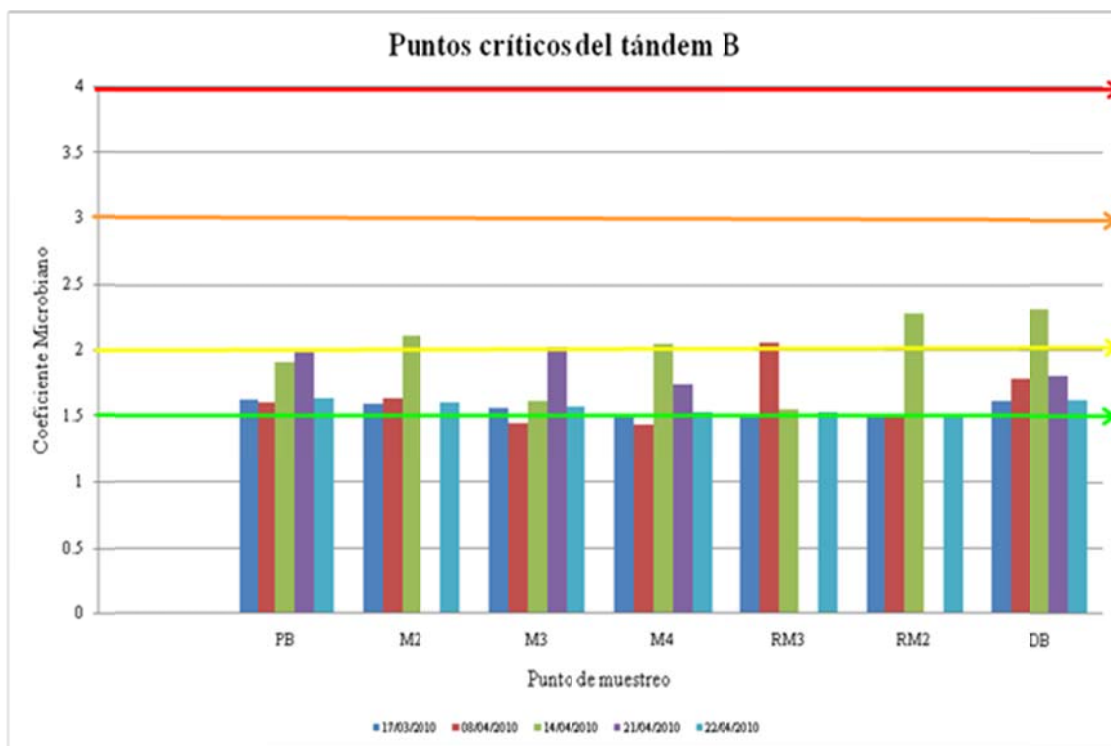
6.4 Estación de molida.

6.4.1 Evaluación de puntos críticos por medio de la metodología propuesta. A continuación se presentan los resultados obtenidos con respecto a la metodología propuesta para la evaluación de puntos críticos en cada tándem. El muestreo se realizó en los meses de marzo y abril en el Ingenio Pantaleón. Las primeras gráficas poseen una serie de líneas de colores que siguen el código de color descrito en el Tabla 5 en la metodología del presente trabajo. Existen ciertos puntos que no pudieron ser muestreados en algunas ocasiones debido a que existían condiciones poco seguras para el muestreo.

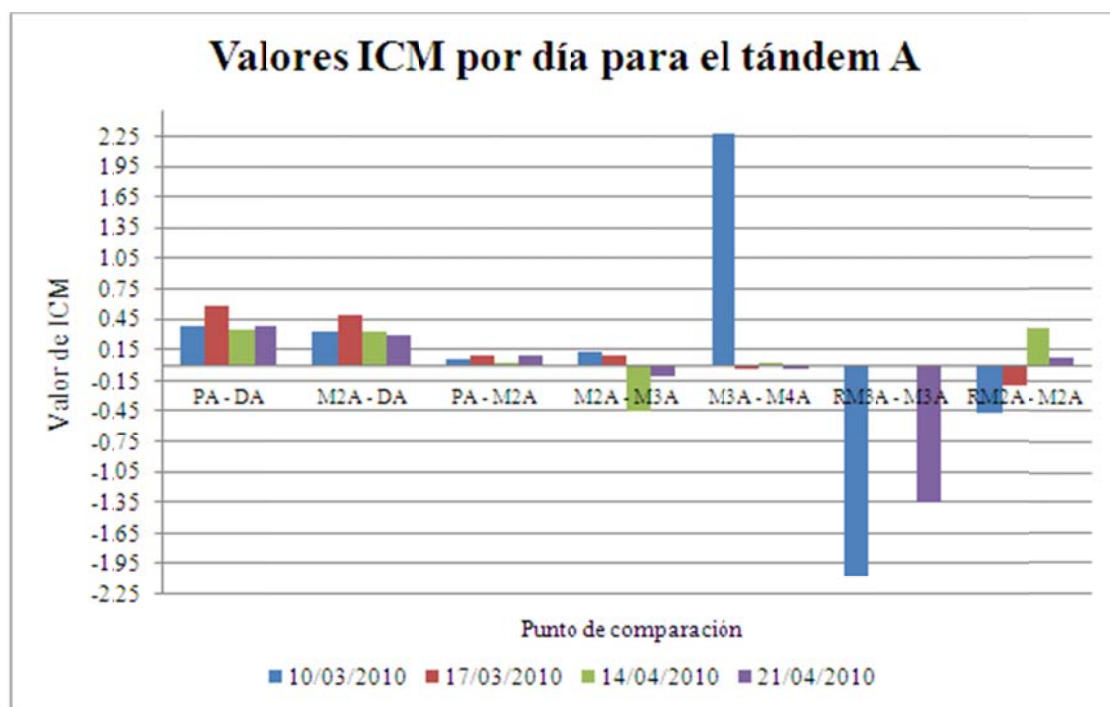
Gráfica 1 Valores de CM de los puntos críticos del Tándem A para los días de muestreo.



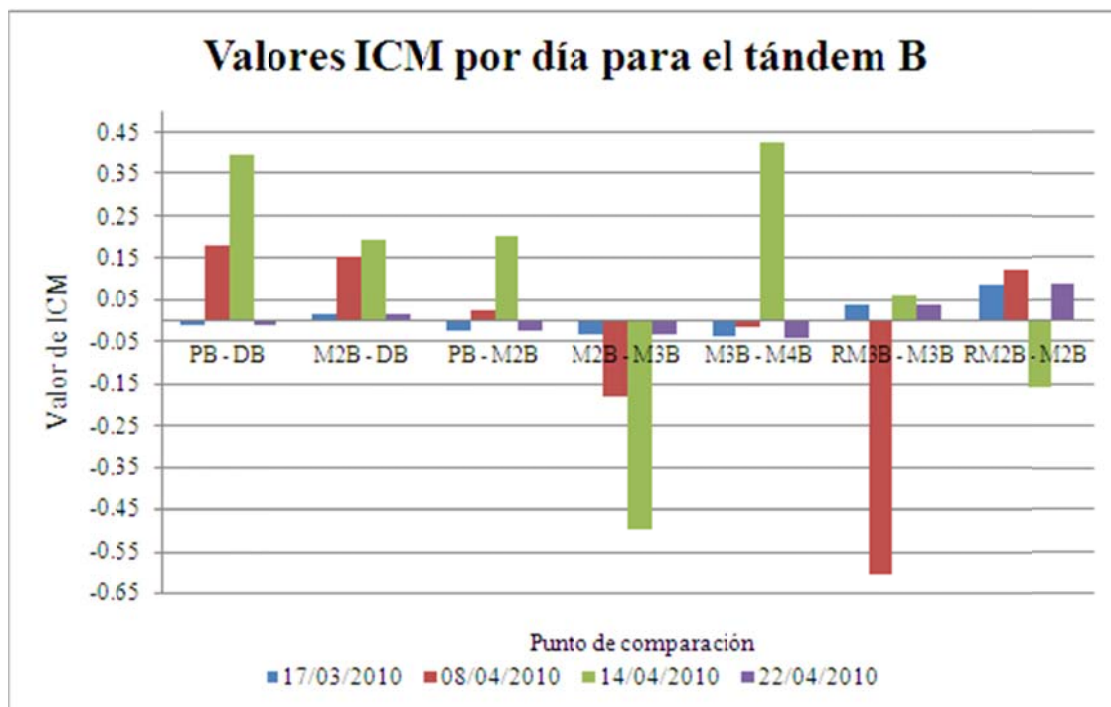
Gráfica 2 Valores de CM de los puntos críticos del Tándem B para los días de muestreo.



Gráfica 3 Valores de ICM de los puntos de comparación para la determinación de puntos críticos de Tándem A.



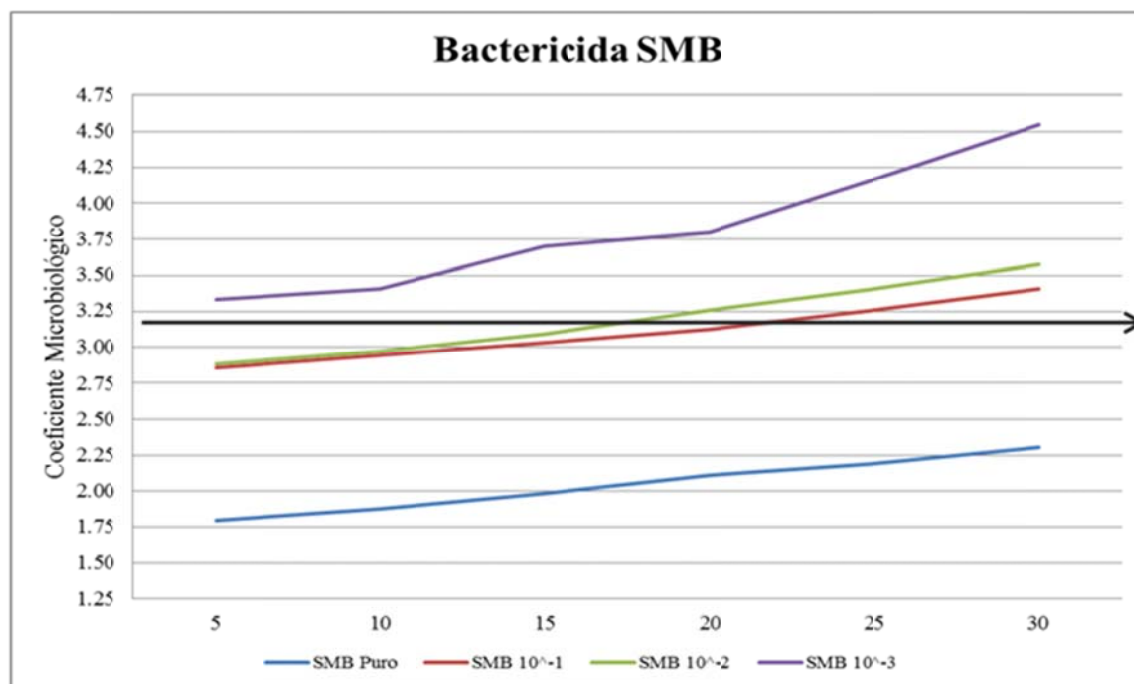
Gráfica 4 Valores de ICM de los puntos de comparación para la determinación de puntos críticos de Tándem B.



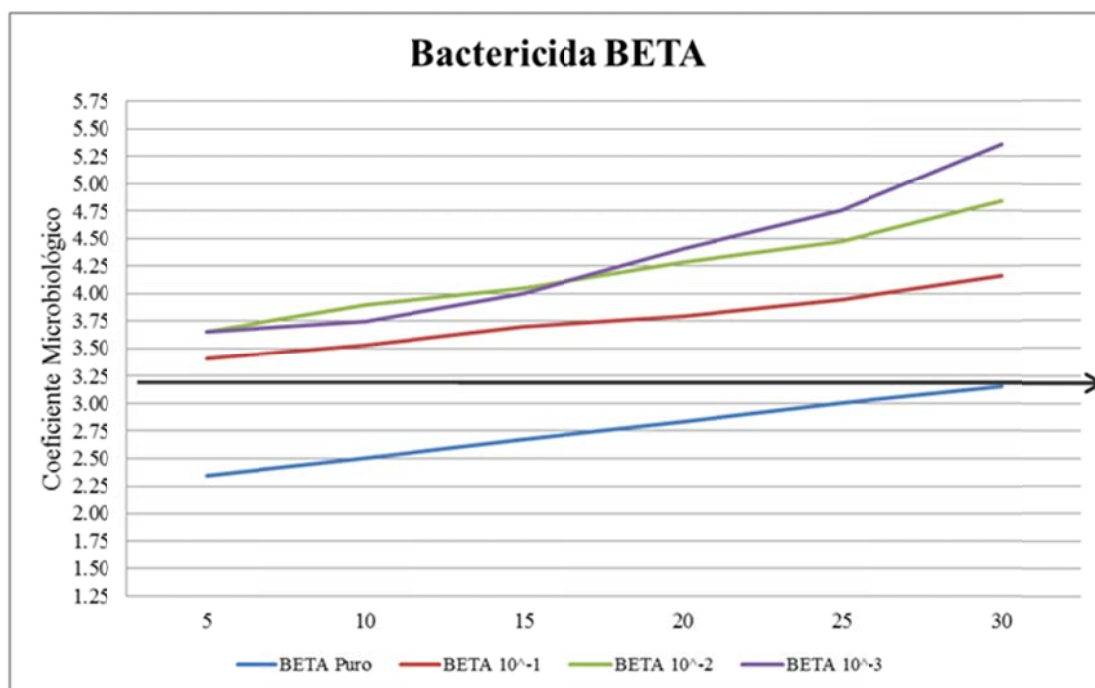
6.4.2 Evaluación la efectividad de bactericidas por medio de la metodología propuesta para análisis estático. Las siguientes gráficas representan los resultados obtenidos de las metodologías propuestas para el análisis de la efectividad de los bactericidas utilizados por el ingenio. Cada muestra de las diferentes diluciones analizadas se compara en base a una muestra de referencia o control la cual se indica por medio de una línea negra en cada gráfica. Para estas pruebas se realizaron cuatro corridas de evaluación, dos para cada bactericida, a las concentraciones establecidas en la metodología.

Además se evaluó el comportamiento de la reducción del CM de las muestras de jugo con bactericida con respecto al valor de su respectiva muestra control. De esta forma se puede establecer tendencias del tiempo de efectividad de las diferentes concentraciones de cada bactericida.

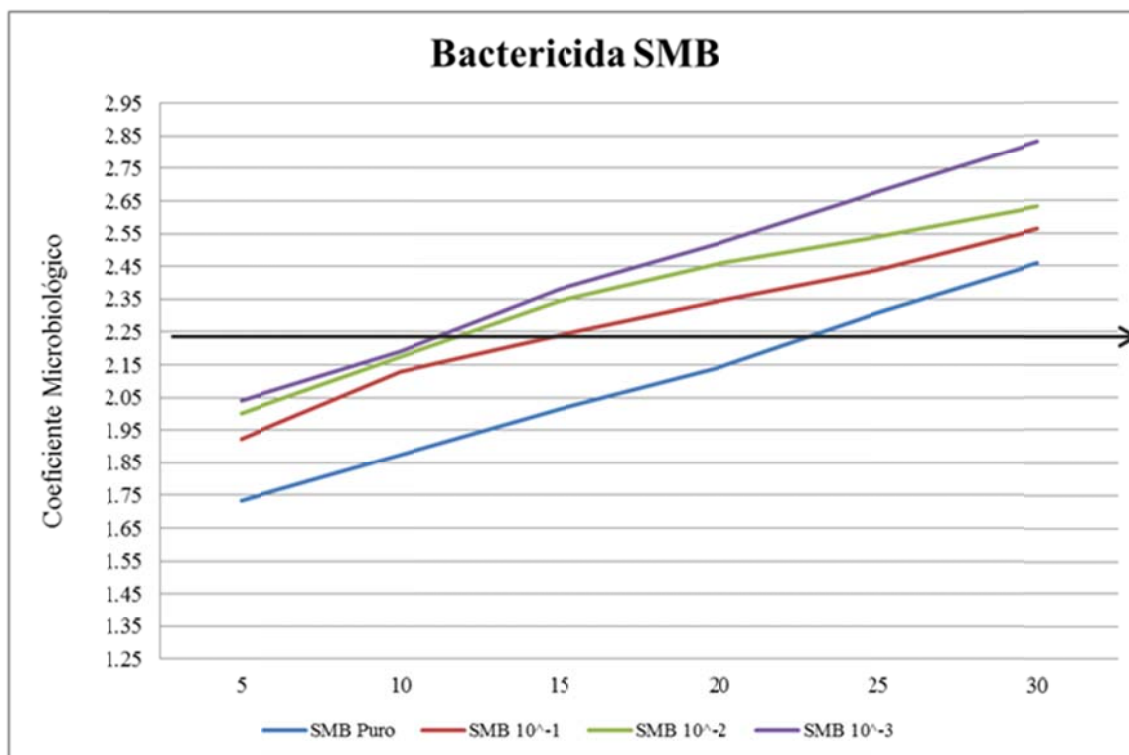
Gráfica 5 Comportamiento de los valores de CM para las diluciones de bactericida Labs-SMB a través del tiempo, con respecto a una muestra control con CM = 3.13.



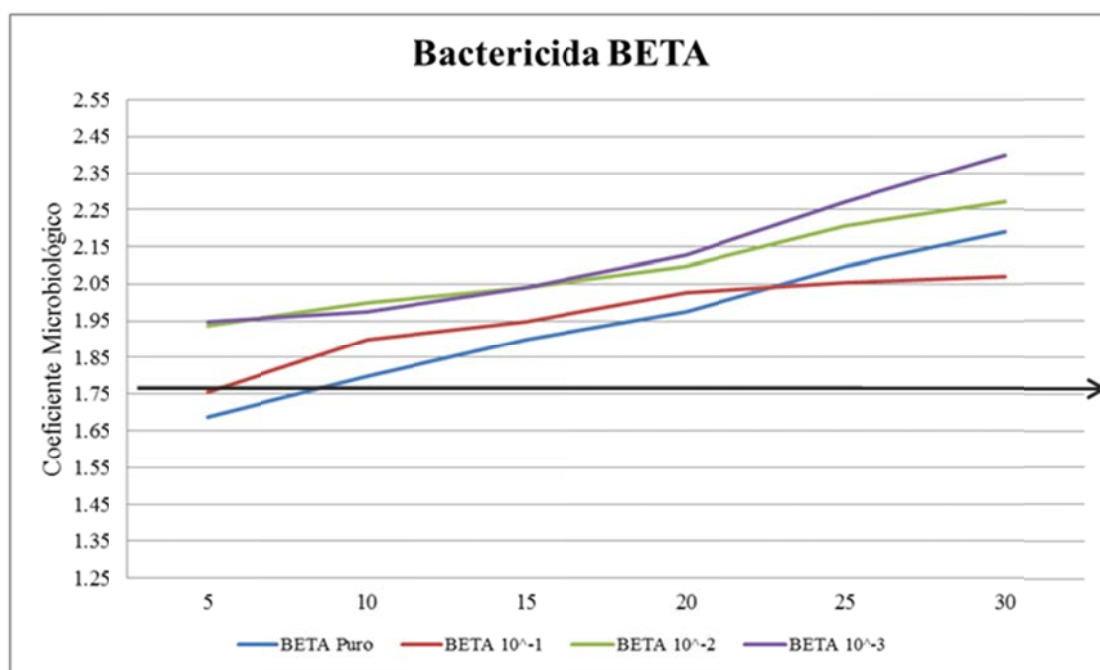
Gráfica 6 Comportamiento de los valores de CM para las diluciones de bactericida BETA-Stab a través del tiempo, con respecto a una muestra control con CM = 3.13.



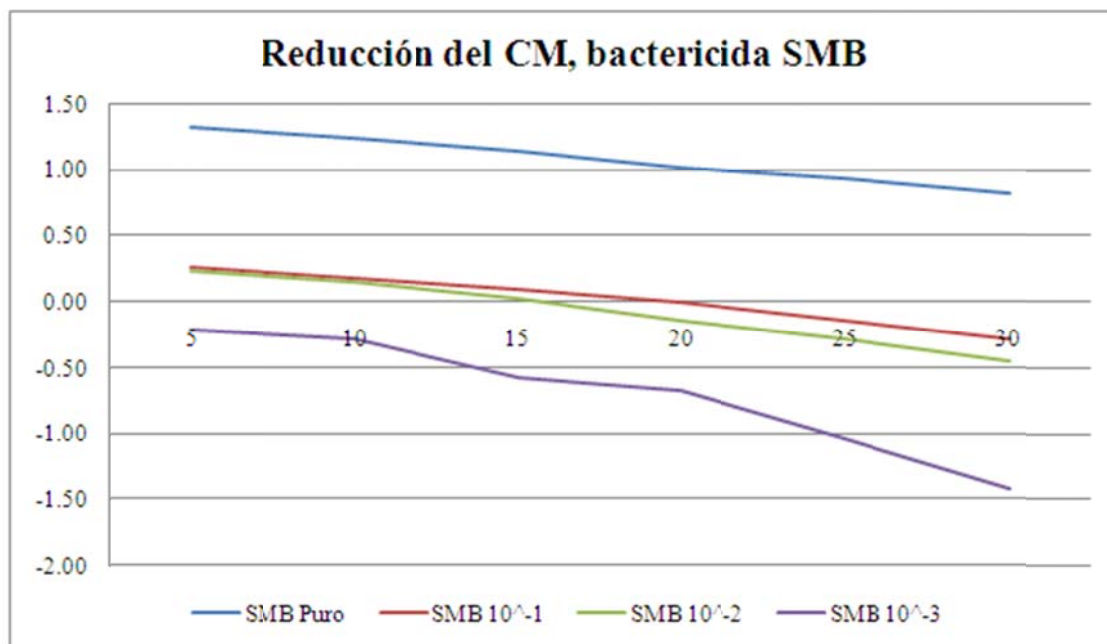
Gráfica 7 Comportamiento de los valores de CM para las diluciones de bactericida Labs-SMB A.



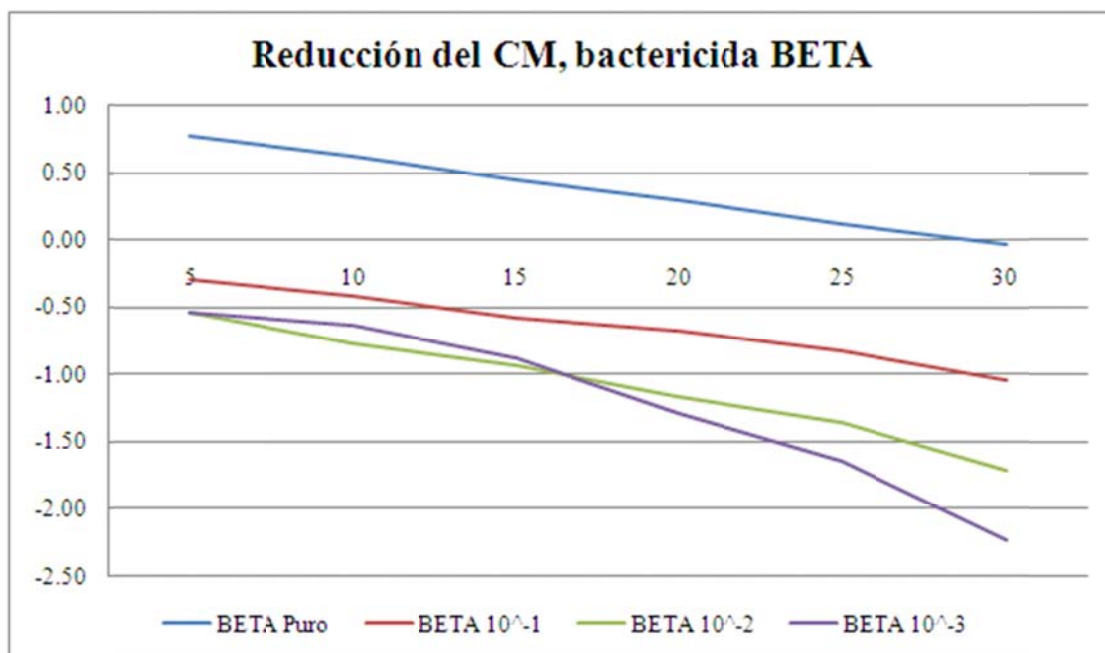
Gráfica 8 Comportamiento de los valores de CM para las diluciones de bactericida BETA-Stab a través del tiempo, con respecto a una muestra control con CM = 1.74.



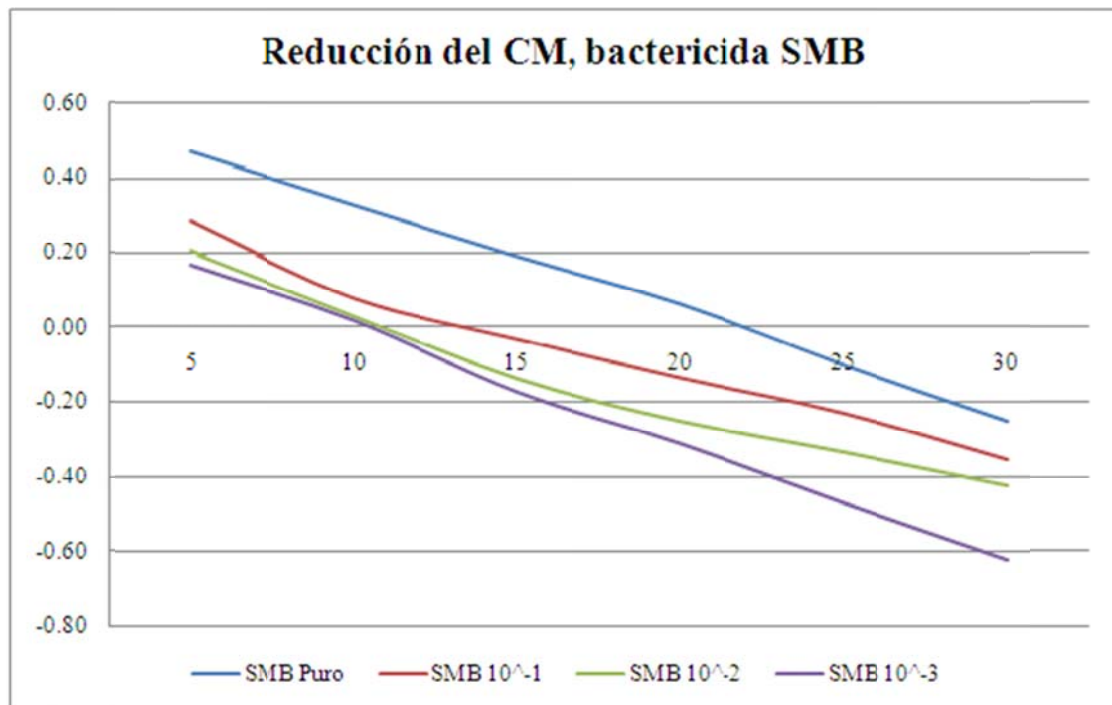
Gráfica 9 Comportamiento de la reducción del CM con respecto a la muestra control para el bactericida Labs-SMB con el valor CM de control de 3.13.



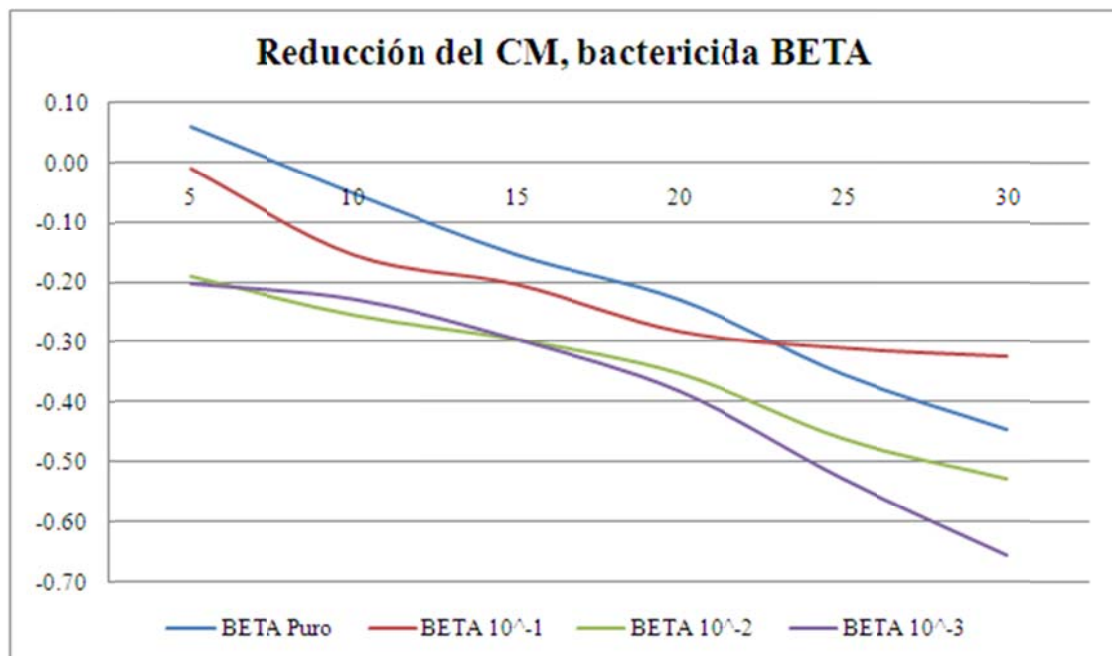
Gráfica 10 Comportamiento de la reducción del CM con respecto a la muestra control para el bactericida BETA-Stab con el valor CM de control de 3.13.



Gráfica 11 Comportamiento de la reducción del CM con respecto a la muestra control para el bactericida Labs-SMB con el valor CM de control de 2.21.



Gráfica 12 Comportamiento de la reducción del CM con respecto a la muestra control para el bactericida BETA-Stab con el valor CM de control de 1.74.



6.4.3 Diseño de equipo para análisis dinámico de bactericidas. Se diseñó un equipo preliminar para determinar una metodología de análisis dinámico, con función de asemejar el movimiento de los jugos dentro del tándem para realizar un análisis de bactericidas más cercano a la realidad. El sistema consiste en tres recipientes que asemejan la entrada al tándem, el tándem y su salida.

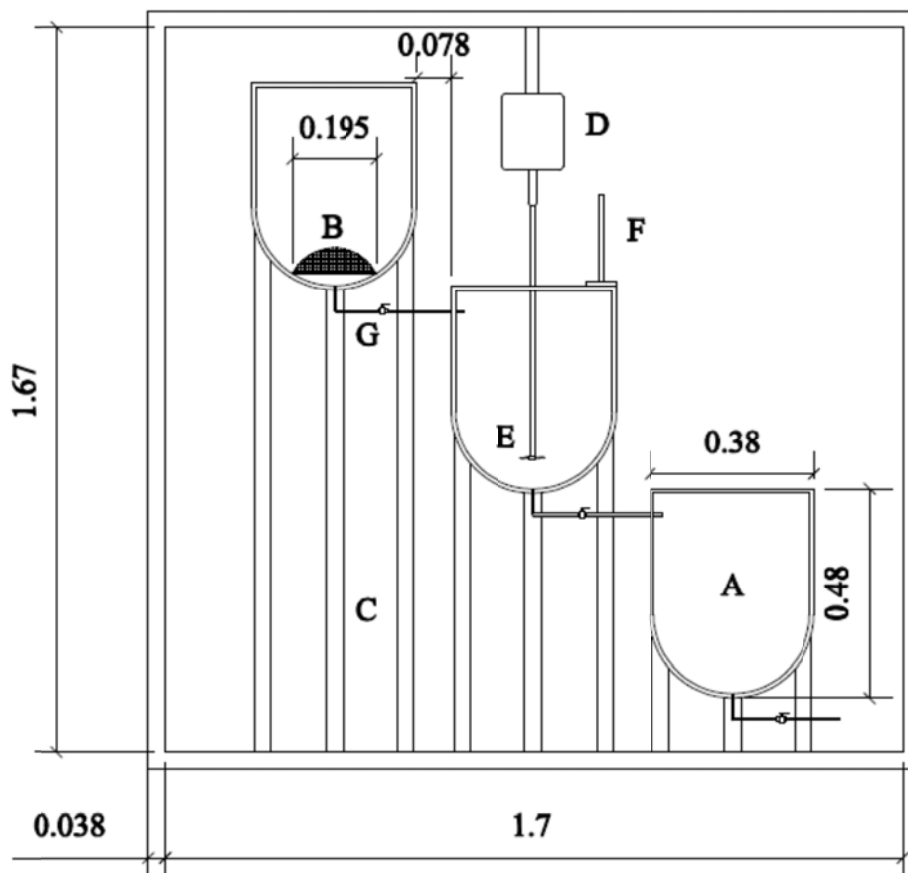
Ilustración 33 Vista frontal y superior del equipo para análisis dinámico de bactericidas.



6.4.3.1 Problemas presentados por el equipo:

- Dificil regulación de flujo para lograr el tiempo de 30 minutos de retención
- Bloqueo de flujo de la válvula debido a bagacillo suspendido en la muestra
- Necesidad de pasar el jugo por un colador para quitar materiales sólidos de gran tamaño.
- Necesidad de un flujo muy lento de jugo para lograr el tiempo de retención requerido
- Falta de una base adecuada para trabajar el equipo
- Limitación para poder evaluar varias concentraciones de bactericida al mismo tiempo.

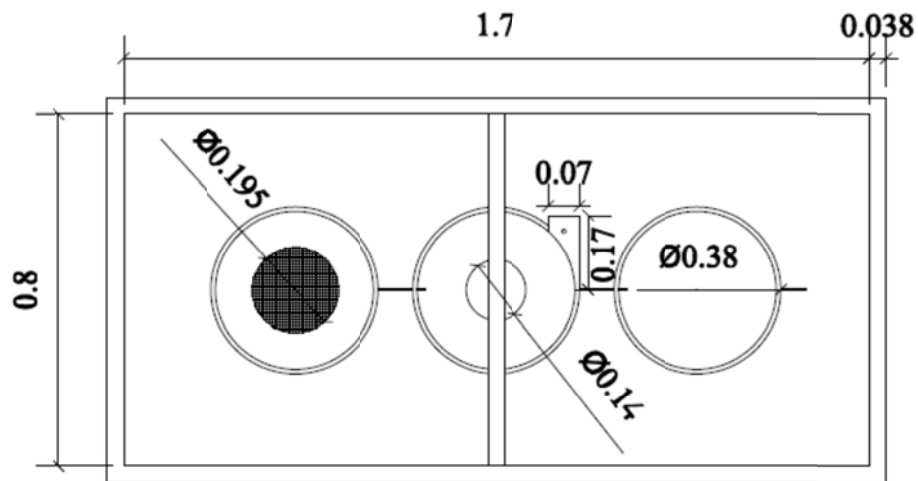
Ilustración 34 Vista frontal del equipo para análisis dinámico de bactericidas.



6.4.3.2 Identificación del diagrama del equipo.

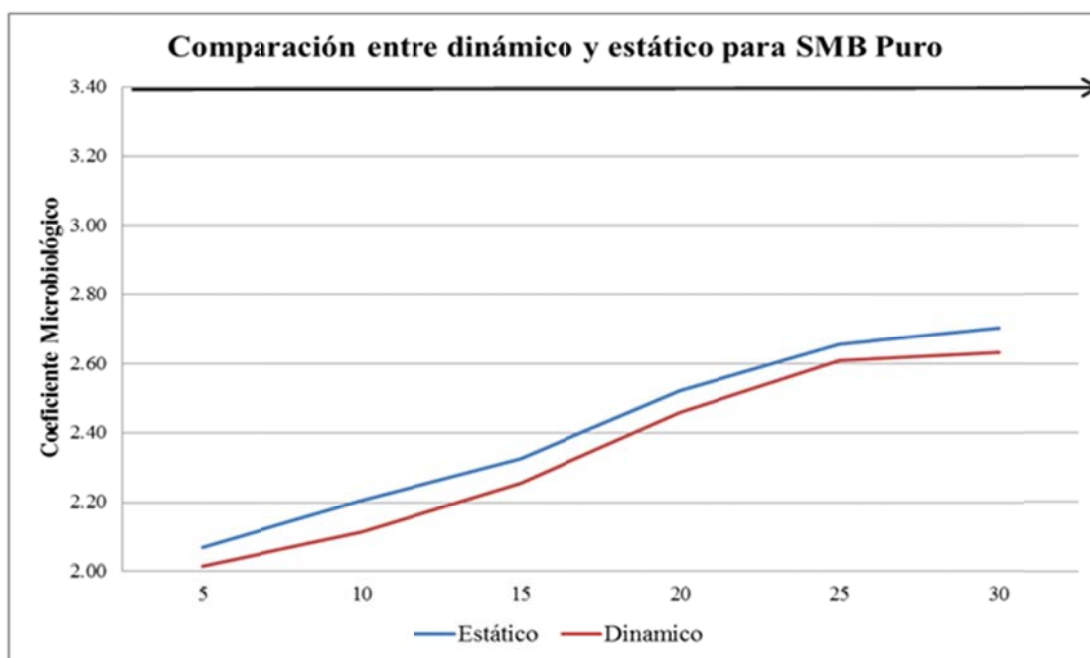
- Tanque con una capacidad máxima de 40 litros:
 - B Rejilla para filtración
 - C Bases de tanques
 - D Motor para agitación
 - E Agitador
 - F Base para colocar y añadir bactericida
 - G Tubería de 1/8 de pulgada

Ilustración 35 Vista superior del nuevo diseño propuesto para solucionar los problemas del primer equipo.

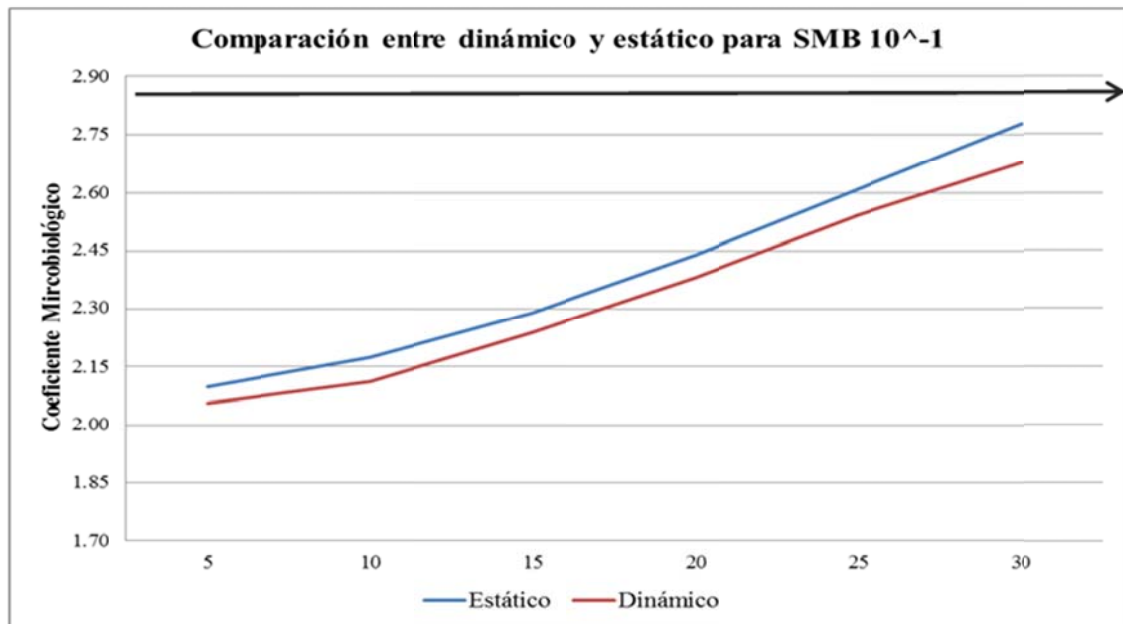


6.4.4 Evaluación de efectividad de bactericidas por la metodología estática y dinámica. Los siguientes resultados obtenidos en base a la metodología propuesta se basan en las corridas para las concentraciones Puro y 10-1 para cada bactericida. Cada muestra tuvo su referencia control sin adición de bactericida y se muestra en cada gráfica como una flecha de color negro e indica que el valor de CM debería de estar por debajo de ella para considerarse que es efectivo.

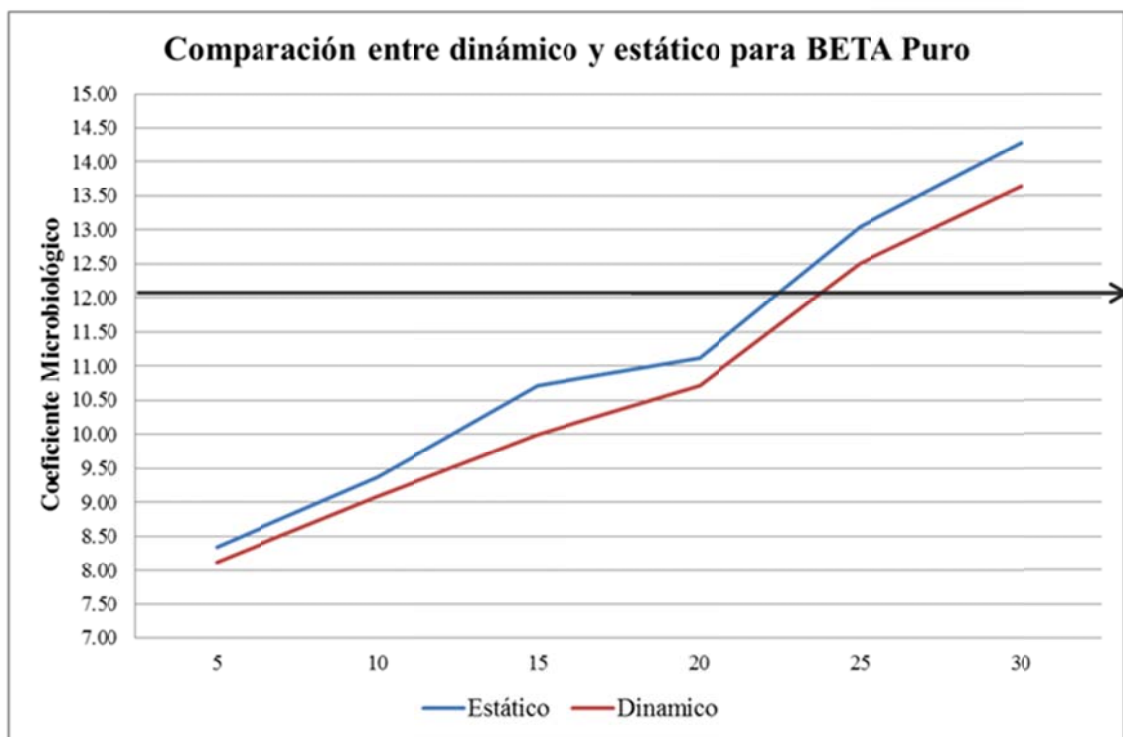
Gráfica 13 Comparación de valores de CM para los análisis estático y dinámico de evaluación de bactericida Labs-SMB Puro con una muestra control de CM = 3.41.



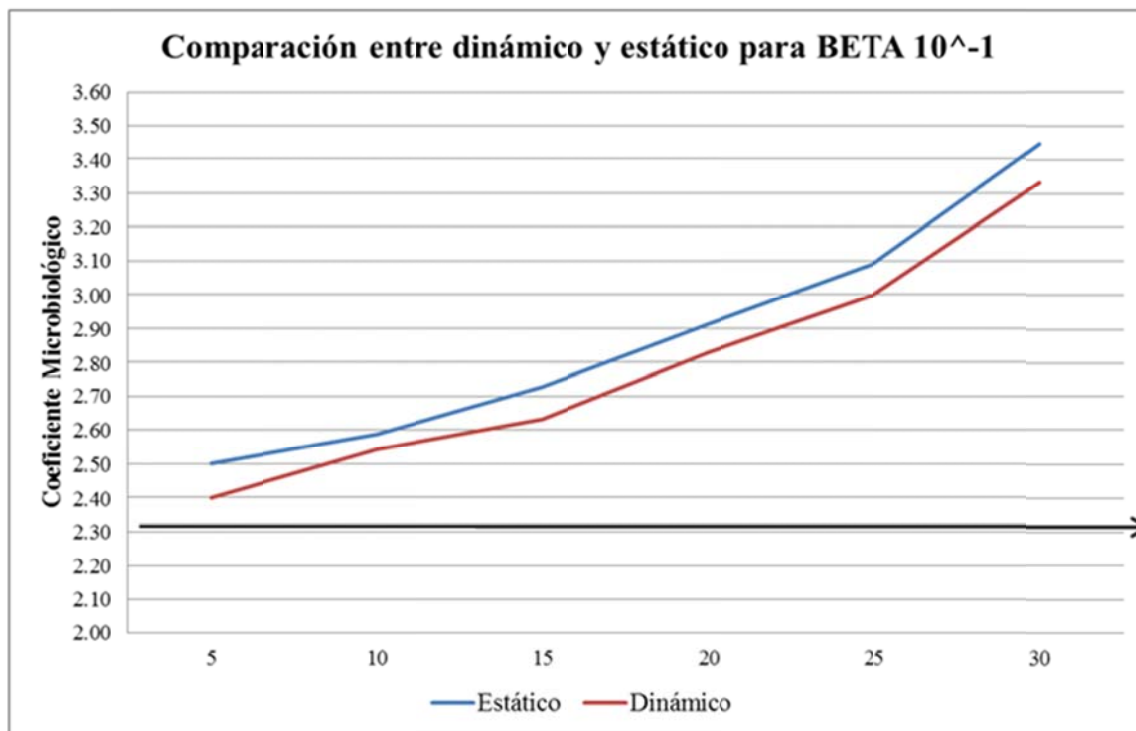
Gráfica 14 Comparación de valores de CM para los análisis estático y dinámico de evaluación de bactericida Labs-SMB 10-1 con una muestra control de CM = 2.86.



Gráfica 15 Comparación de valores de CM para los análisis estático y dinámico de evaluación de bactericida BETA-Stab Puro con una muestra control de CM = 12.00.



Gráfica 16 Comparación de valores de CM para los análisis estático y dinámico de evaluación de bactericida BETA-Stab 10-1 con una muestra control de CM = 2.27.



6.5 Tratamiento y recuperación.

6.5.1 Elaboración de guía para establecimiento de indicadores de actividad microbiana. El primer resultado del examen de las áreas del ingenio, fue la relación de indicadores de la actividad microbiológica en cada una de ellas y su clasificación según el método para estimarlos en medición industrial, análisis de laboratorio o implementación de un modelo. En la Tabla 15 y las que siguen se muestra la clasificación de los indicadores seleccionados y el estado en el Ingenio Pantaleón de si o como se miden actualmente. En la Tabla 17 y las que siguen se muestran los pasos necesarios para interpretar o implementar los indicadores que no se miden actualmente (no vigentes).

En la Tabla 19 se muestran los factores no biológicos que influyen en cada indicador y que debe ser considerado por eso.

En el Anexo se describe por cada producto o proceso, los indicadores que se seleccionaron y su interpretación.

Tabla 15 Clasificación de indicadores por categoría.

Proceso	Medida industrial	Análisis de laboratorio	Modelo
Alcalización	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de cal - Calcio en exceso en el jugo (antes de ingresar) 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad buffer del jugo 	NA
Clarificación	<ul style="list-style-type: none"> - Revoltura en el clarificador 	NA	<ul style="list-style-type: none"> - Clarificación en laboratorio, midiendo tiempo de residencia y color del jugo clarificado
Evaporación	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de vapor - Tiempo de limpieza - Presión de vapor vegetal - Frecuencia de limpieza - Consumo de productos en la limpieza - Concentración de sales incrustadas en el jugo 	<ul style="list-style-type: none"> - Grados Brix en la meladura 	<ul style="list-style-type: none"> - Incrustaciones (tamaño y tipo)
Cristalización	<ul style="list-style-type: none"> - Cristalización deficiente - Reproducción de masa 	<ul style="list-style-type: none"> - Elongación de los cristales - Cenizas en miel - Cenizas en azúcar - Pureza de la miel - Dextrana en azúcar 	NA
Centrifugación	NA	<ul style="list-style-type: none"> - Proporción de cristales en la melaza y mieles 	NA

Tabla 16 Estado actual del indicador en ingenio Pantaleón.

Etapa del proceso	Indicador	¿Se realiza actualmente?		¿Dónde? ¿Quién?
		No	Sí	
Alcalización	Cantidad de cal		X	Control automático por sensor, cuarto de control
	Calcio en exceso en jugo	X		-
	Capacidad Buffer del jugo en la entrada	X		-
Clarificación	Revoltura (de clarificador)	X		-
Evaporación	Consumo de vapor		X	Control automático por sensor, cuarto de control
	Incrustaciones (tipo y tamaño)	X		-
	Limpieza de evaporadores	X		-
	Presión de vapor vegetal		X	Control automático por sensor, cuarto de control
	°Brix de la meladura		X	Control automático por sensor, cuarto de control
	Concentración de sales en el jugo	X		-
Cristalización	Elongación de cristales	X		-
	Cenizas en azúcar		X	Laboratorio
	Cenizas en miel		X	Laboratorio
	Pureza de miel final		X	Laboratorio
	Reproducción de masa	X		-
	Dextrana en azúcar		X	Laboratorio (HPLC)
Centrifugación	Proporción de cristales en melaza	X		-
	Proporción de cristales en mieles	X		-

Tabla 17 Próximos pasos a dar para indicadores no vigentes.

Etapas del proceso	Indicador no vigente	Próximos pasos a dar
Alcalización	Calcio en exceso en jugo	Búsqueda de análisis, implementación y pruebas
	Capacidad Buffer del jugo en la entrada	Implementación de análisis y pruebas
Clarificación	Revolvura (de clarificador)	Implementación de modelo y pruebas
Evaporación	Incrustaciones (tipo y tamaño)	Implementación de modelo y pruebas
	Limpieza de evaporadores	Implementación de modelo y pruebas
	Concentración de sales en el jugo	Búsqueda de análisis, implementación y pruebas
Cristalización	Elongación de cristales	Pruebas de método
	Reproducción de masa	Implementación y pruebas
Centrifugación	Proporción de cristales en melaza	Búsqueda de análisis, implementación y pruebas
	Proporción de cristales en mieles	Búsqueda de análisis, implementación y pruebas

Tabla 18 Próximos pasos a dar para indicadores vigentes.

Etapas del proceso	Indicador vigente	Próximos pasos a dar
Alcalización	Cantidad de cal	Comparación con indicadores asociados
Clarificación	No hay	-
Evaporación	Consumo de vapor	Comparación con indicadores asociados
	Presión de vapor vegetal	Comparación con indicadores asociados
	°Brix de la meladura	Comparación con indicadores asociados
Cristalización	Cenizas en azúcar	Comparación con indicadores asociados
	Cenizas en miel	Comparación con indicadores asociados
	Pureza de miel final	Comparación con indicadores asociados
	Dextrana en azúcar	Comparación con indicadores asociados
Centrifugación	No hay	-

Tabla 19 Otros factores del proceso que influyen en los indicadores.

Etapas del proceso	Indicador	Factores
Alcalización	Cantidad de cal	Actividad microbiana, pH,
	Calcio en exceso en jugo	pH
	Capacidad Buffer del jugo en la entrada	Actividad microbiana,
Clarificación	Revolvura (de clarificador)	Tierra, material orgánico
Evaporación	Consumo de vapor	Temperatura, fugas
	Incrustaciones (tipo y tamaño)	Flujo de jugo, otros químicos y sales minerales
	Limpieza de evaporadores	Uso de químicos, tiempo
	Presión de vapor vegetal	Temperatura
	°Brix de la meladura	Inversión de sacarosa
	Concentración de sales en el jugo	Arrastre de impurezas
Cristalización	Elongación de cristales	Semillamiento
	Cenizas en azúcar	Arrastre de impurezas y otros químicos
	Cenizas en miel	Arrastre de impurezas y otros químicos
	Pureza de miel final	Impurezas
	Reproducción de masa	Viscosidad
	Dextrana en azúcar	-
Centrifugación	Proporción de cristales en melaza	Cristalización deficiente
	Proporción de cristales en mieles	Cristalización deficiente

6.5.2 Examen del área de evaporación.

6.5.2.1 Descripción del área.

6.5.2.1.1 Evaporación en cinco efectos. El jugo claro es precalentado a 113°C, en dos etapas, previo a entrar al primer efecto de la evaporación, en donde se trabaja en un quintuple efecto; tal proceso se describe a continuación. Este sistema se utiliza para lograr evaporar el agua que tiene el jugo, sin degradar la sacarosa por efecto térmico.

El jugo claro caliente ingresa al primer vaso de los evaporadores del primer efecto. El vapor usado en todos los evaporadores del primer efecto es vapor de escape, que proviene de los tubos,

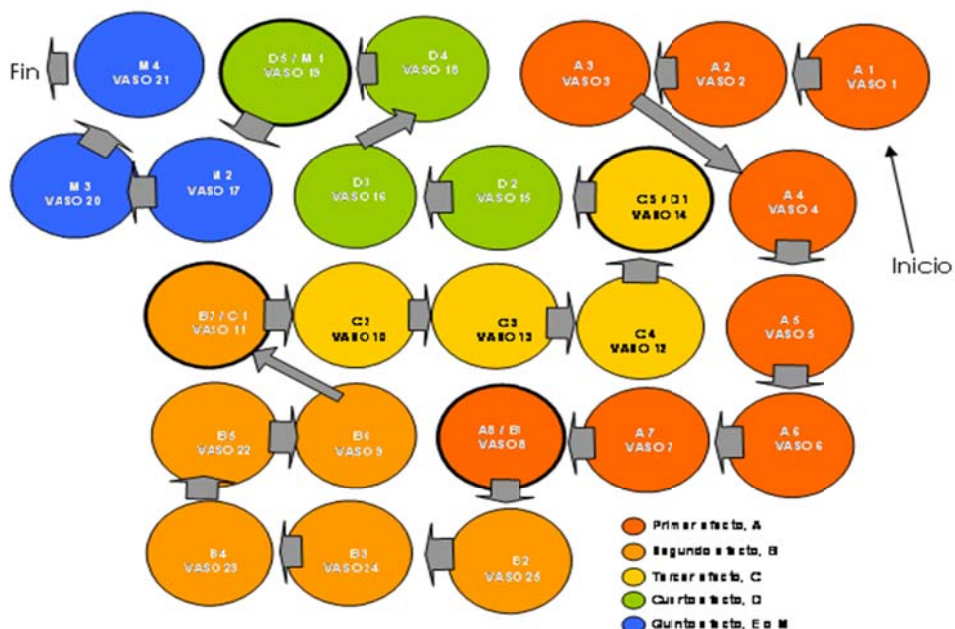
al cual se le adiciona un poco de agua antes que entre al evaporador; esto debido a que sale de los tubos con una temperatura de sobre calentamiento.

Al salir del vaso A1, pasa al A2, luego al A3, hasta pasar por los 25 vasos. A partir del segundo efecto en adelante, se utiliza vapor vegetal que proviene del efecto anterior. Vapor vegetal es aquel vapor producido en un evaporador, como resultado de la ebullición del jugo que se encuentra en el interior. Son nombrados con números romanos. Por ejemplo, el vapor vegetal I fue producido en el primer efecto.

El gradiente de temperatura a través de las superficies de intercambio es de vital importancia en la eficacia de los equipos y es la razón fundamental para no utilizar una cantidad de efectos superior a cinco.

A continuación se presenta la Ilustración 36, en ésta se muestra el montaje de los 25 evaporadores de la fábrica de ingenio Pantaleón, así como los cinco efectos del sistema de evaporación.

Ilustración 36 Esquema de distribución de evaporadores, por efecto en la fábrica de ingenio Pantaleón.



Así pues, el vapor vegetal I, producido en el primer efecto, es utilizado para calentar el jugo de los evaporadores del segundo efecto; el vapor vegetal II, producido en el segundo efecto, es utilizado para calentar el jugo de los evaporadores del tercer efecto; y así sucesivamente.

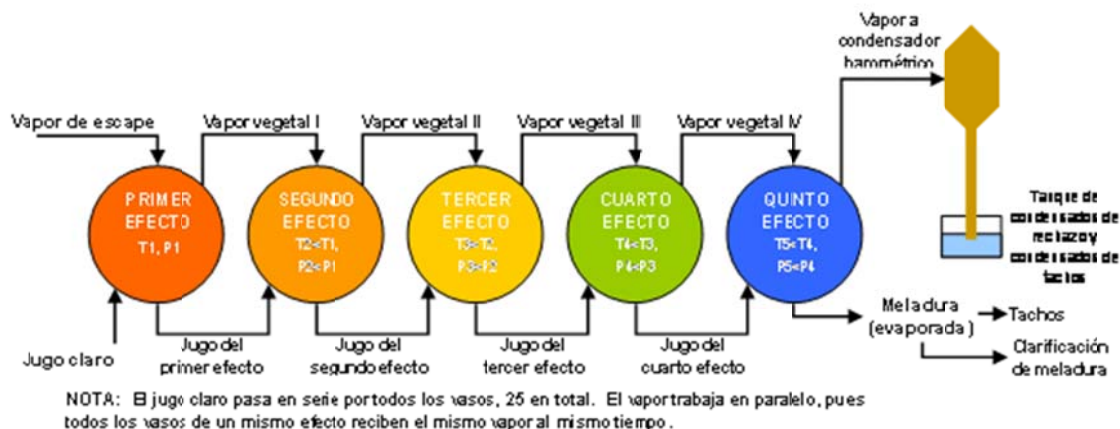
La temperatura y presión del siguiente efecto siempre es menor a la del efecto anterior, lo que da lugar a una evaporación flash cada vez que el jugo cambia de efecto. Esta evaporación flash mejora el aprovechamiento de calor.

Los evaporadores que pueden operar como dos efectos, tienen dos entradas de vapor distinto y dos salidas de distintos vapores vegetales. El jugo en cada caso es siempre el mismo.

Estos evaporadores son llamados comodines y pueden ser utilizados como último evaporador de un efecto o como primer evaporador del siguiente efecto, tal como se muestra en la ilustración 36 para el caso del evaporador A8 o B1. Esto se realiza para los casos cuando se está realizando la limpieza de cierto evaporador de alguno de los dos efectos o bien, cuando se debe alcanzar o nivelar la superficie calórica en tal efecto.

La Ilustración 37, presentada a continuación, muestra un esquema general de los cinco efectos empleados para la concentración del jugo. Además, muestra la manera como fluye el vapor entre cada efecto y, lo explicado anteriormente, sobre la temperatura y presión.

Ilustración 26 Parámetros de relevancia en cada efecto de la evaporación.



Se inicia en la primera etapa, evaporando a presión atmosférica y termina en la quinta etapa a una presión de vacío de 25mmHg, para que el agua se evapore entre 60 y 65°C.

En la salida de la evaporación se obtiene meladura que se distribuye hacia la clarificación de la meladura y tachos, dependiendo de las necesidades que existan en la producción. La clarificación de meladura se efectúa en cuatro clarificadores por medio de flotación.

6.5.2.2 Factores importantes en la evaporación. Para llevar a cabo

una buena operación en los evaporadores, se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

- Presión absoluta del último efecto controlada por la cantidad de agua suministrada al equipo de condensación.
- Concentración de la meladura (un máximo de 70° Brix para que no cristalice).
- Controlar el nivel de líquido en el interior de los tubos. Éste debe ser lo suficientemente alto para aprovechar la longitud del tubo, pero lo suficientemente bajo para mantener buena velocidad de evaporación y baja presión hidrostática.
- La velocidad de alimentación de jugo mediante el uso del tanque intermedio para absorber los picos de flujo.
- Remoción rápida y continua de condensados para evitar daño al equipo y mantener la superficie de calefacción libre para el contacto con el vapor.

- Remoción de gases no condensables introducidos al sistema (aire) o generados en el mismo (CO_2 y NH_3).
- Control de la cantidad posición y tipo de incrustaciones formadas en cada efecto.
- Hay un cambio en la relación de los azúcares reductores/sacarosa, la cual aumenta si el pH del jugo es bajo y disminuye si el pH es 7 ligeramente superior. El color de los jugos es función de los tiempos de retención y las temperaturas, especialmente en los primeros efectos.

6.5.2.3 Otros usos del vapor vegetal. El vapor vegetal que se obtiene en la salida de los efectos es aprovechado también para otros procesos en la recuperación del azúcar. A continuación se muestra un cuadro en donde se especifica de qué efecto es el vapor, la presión a la que se encuentra y el uso que se le da:

Tabla 20 Usos del vapor vegetal de cada efecto.

Tipo de vapor	Presión (kPa)	Uso
Vegetal I	82.74 – 103.42	- Tachos de refinera - Calentadores 1 y 2 de jugo claro - Calentadores 7 y 8 de jugo alcalizado - Calentar meladura
Vegetal II	34.47 – 55.16	- Tachos de fábrica - Tacho continuo 1 ^a - Calentadores 5 y 6 de jugo alcalizado - Calentar jugo claro
Vegetal III	-13.79 – 13.79	- Tacho continuo 2 ^a - Calentadores 3 y 4 de jugo alcalizado
Vegetal IV	-27.58 – -41.37	- Calentadores 1 y 2 de jugo alcalizado

6.5.3 Propuesta de simulación para medir nivel de incrustación. El modelo diseñado para la simulación del proceso de evaporación, a escala de laboratorio, para medir los niveles de incrustación, debido a la presencia de cal en el jugo de caña, no resultó como se esperaba. El jugo dentro del beaker, que fue utilizado como el cuerpo del evaporador, terminó caramelizándose en el proceso de calentamiento. Así, la viscosidad del mismo aumentó y no fue posible realizar ningún tipo de análisis. Además, las paredes del beaker, por ser vidrio, no se incrustaron de ningún tipo de sal mineral, por lo que pareciera que no es un recipiente adecuado para la simulación de dicho proceso. Por lo tanto, no se obtuvieron resultados medibles y el modelo no se considera apto para simular el proceso de evaporación, mucho menos para la medición de los niveles de concentración. Por lo mismo, es necesario explorar otros modelos y diseños para la simulación del proceso en estudio.

6.5.3.1 Recopilación de información sobre limpieza de evaporadores. El jarabe de los evaporadores en los ingenios tiene una concentración de por lo menos 60° Brix y generalmente más alto. Una considerable cantidad de las impurezas, especialmente las sales minerales, se hacen menos solubles a medida que progresa la concentración del jugo, y una parte de estas impurezas se depositan en la superficie de calefacción del evaporador, formando una incrustación muy dura. Esta incrustación es un mal conductor de calor y se debe remover periódicamente a fin de mantener la eficiencia de los efectos.

En ingenio Pantaleón, existen dos prácticas comunes utilizadas para remover la incrustación depositada en los tubos de los evaporadores:

- Limpieza química completa
 - Ebullición durante 2 horas con una solución de soda cáustica con una concentración entre 5% y 20% (p/p)
 - Lavado y enjuagado con agua
 - Ebullición durante 2 horas con una solución de ácido clorhídrico con una concentración entre 2.5% y 3.5% (p/p)
 - Lavado y enjuagado con agua
 - Ebullición durante 1 hora con una solución de soda cáustica con una concentración entre 5% y 20% (p/p)
 - Lavado y enjuagado con agua tres veces

- Llevar a operación en evaporador

Algunas veces, en lugar de utilizar ácido clorhídrico es posible reemplazarlo por ácido sulfámico o ácido fosfórico, aunque esta práctica no es tan común. Además, hoy en día ingenio Pantaleón está reduciendo el uso de ácido clorhídrico en la limpieza de los evaporadores para disminuir la contaminación ambiental debido a los desechos generados con este químico. En algunos casos, la soda cáustica solamente se rocía sobre los tubos en vez de aplicarse como un baño en ebullición. Las concentraciones de los químicos varían dependiendo del tiempo disponible para realizar la ebullición o para aumentar la eficiencia del tratamiento dentro del periodo en que se realiza.

- Limpieza mecánica

La limpieza mecánica se realiza utilizando hidrolavadoras mecánicas. Estos dispositivos son limpiadores rotatorios que se introducen en los tubos de calandria, girando a altas velocidades y removiendo por acción mecánica las incrustaciones en el interior de la tubería. El procedimiento debe realizarse en cada uno de los tubos de calandria de cada uno de los evaporadores que están en limpieza, con el fin de no dejar ningún tipo de incrustación adherida a los mismos. Esta operación se realiza de forma manual, por lo que requiere mucho tiempo y mano de obra capacitada para el uso del equipo.

La limpieza se lleva a cabo como se mencionó anteriormente, ya sea de forma mecánica o química, esto depende del estado y niveles de incrustación en el evaporador; además, del tiempo disponible para realizar la limpieza. En muchos casos suele realizarse una combinación de ambos métodos de limpieza, sobre todo cuando la presencia de incrustaciones es alta y resulta difícil removerla solamente por medios químicos o mecánicos. Así, en ocasiones se utiliza el tratamiento con químicos, para ablandar las incrustaciones y seguidamente, realizar la limpieza mecánica con mayor facilidad, asegurando la eliminación completa de las mismas.

La limpieza de los evaporadores se realiza semanalmente. Así, a diario se limpian seis evaporadores, dos en cada turno de trabajo, es decir cada seis horas. Para esto, se sacan de funcionamiento, mientras se conecta o desvía el flujo a los evaporadores utilizados como comodines, con el fin de mantener el área superficial requerida para la transferencia de calor. Estos comodines se encuentran colocados al final de cada uno de los efectos y pueden utilizarse como

parte de ese efecto o del siguiente. Así pues, con esto se asegura que se cumplan los requisitos de área de transferencia de calor en cada efecto. A continuación se muestra una tabla en la que se representan los valores de superficie calórica requeridos en cada uno de los efectos de la evaporación:

Tabla 21 Superficie calórica requerida en cada efecto de la evaporación.

Efecto	Superficie calórica (kg/m² hora)
Primero	29.35
Segundo	24.46
Tercero	22.01
Cuarto	19.56
Quinto	17.12

Es importante mencionar que en ingenio Pantaleón se encuentra establecido como política que cada vaso de evaporación de cada uno de los efectos no puede estar en operación por más de 100 horas. Así, cuando se ha llegado a este periodo o antes, en caso de presentar alta presencia de incrustaciones, se debe sacar para realizar la limpieza respectiva.

Se puede conocer cuando un evaporador presenta altos niveles de incrustación a partir de la presión del vapor vegetal que se está introduciendo a cada efecto. Ya que cuando los tubos se encuentran incrustados, la presión del vapor tiende a disminuir, dando lugar a que se requiera más consumo del mismo. Las presiones mínimas de los vapores vegetales se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 22 Presión mínima del vapor vegetal en cada efecto.

Vapor vegetal	Presión (kPa)
I	75.84
II	27.58
III	-8.96

Además de la presión del vapor vegetal ser un indicador del requerimiento de limpieza del evaporador, los grados Brix del jugo también dan una referencia. Así, a medida que los tubos se

incrustan más, dando lugar a que disminuya la superficie calórica y presión del vapor, y aumentando el consumo del mismo, también da lugar a que bajen los grados Brix del jugo. Esto, al final del proceso de evaporación, daría una concentración del jugo mucho menor al valor esperado en promedio de 67.25° Brix. A continuación se muestra una tabla que indica el valor de grados Brix óptimo que debe tener el jugo en cada efecto del proceso de evaporación:

Tabla 23 Grados Brix del jugo en cada efecto del proceso de evaporación.

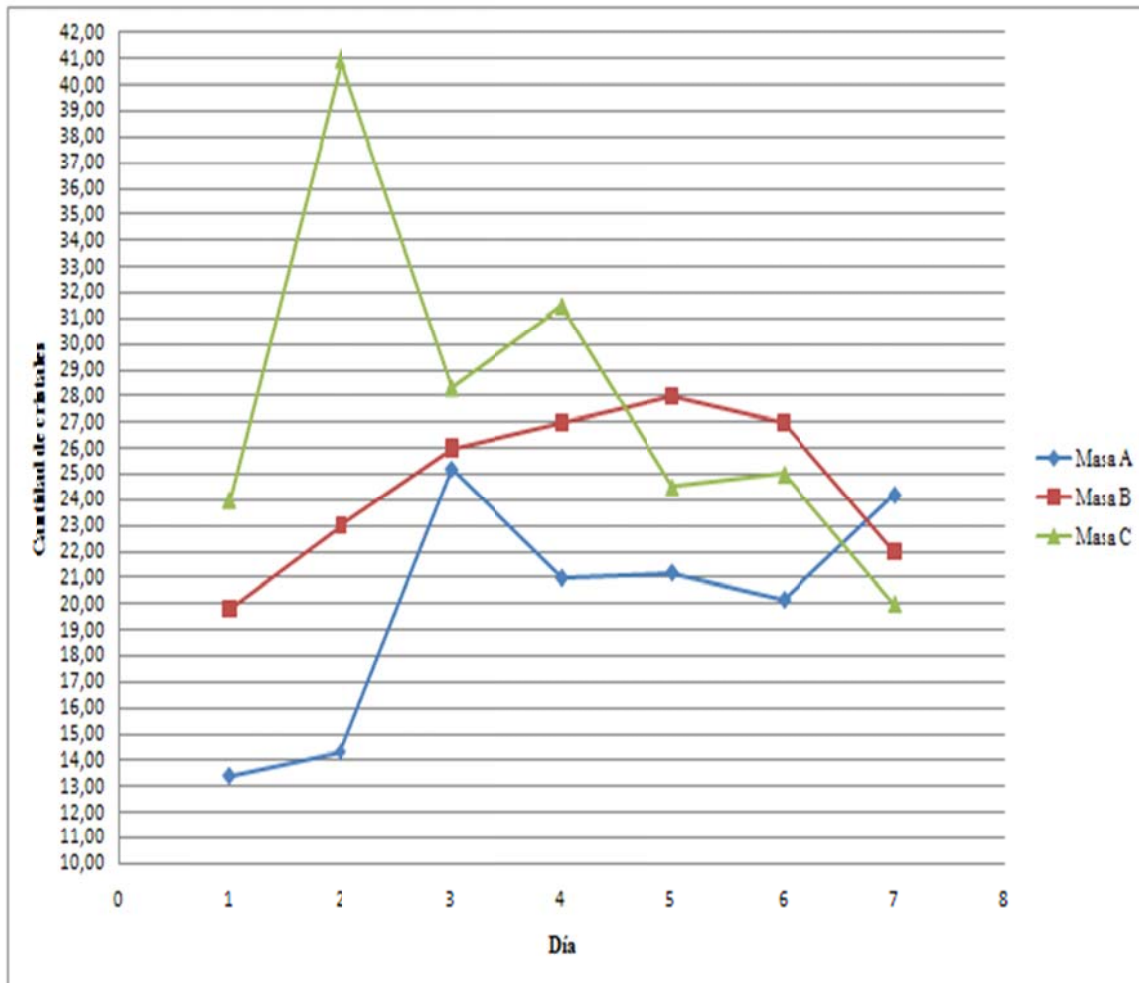
Efecto	Brix
Salida de clarificación (entrada a evaporación)	15°
Primero	20°
Segundo	31°
Tercero	41°
Cuarto	51°
Quinto (salida)	65°

6.5.3.2 Procedimiento preliminar para medir el nivel de elongación del cristal.

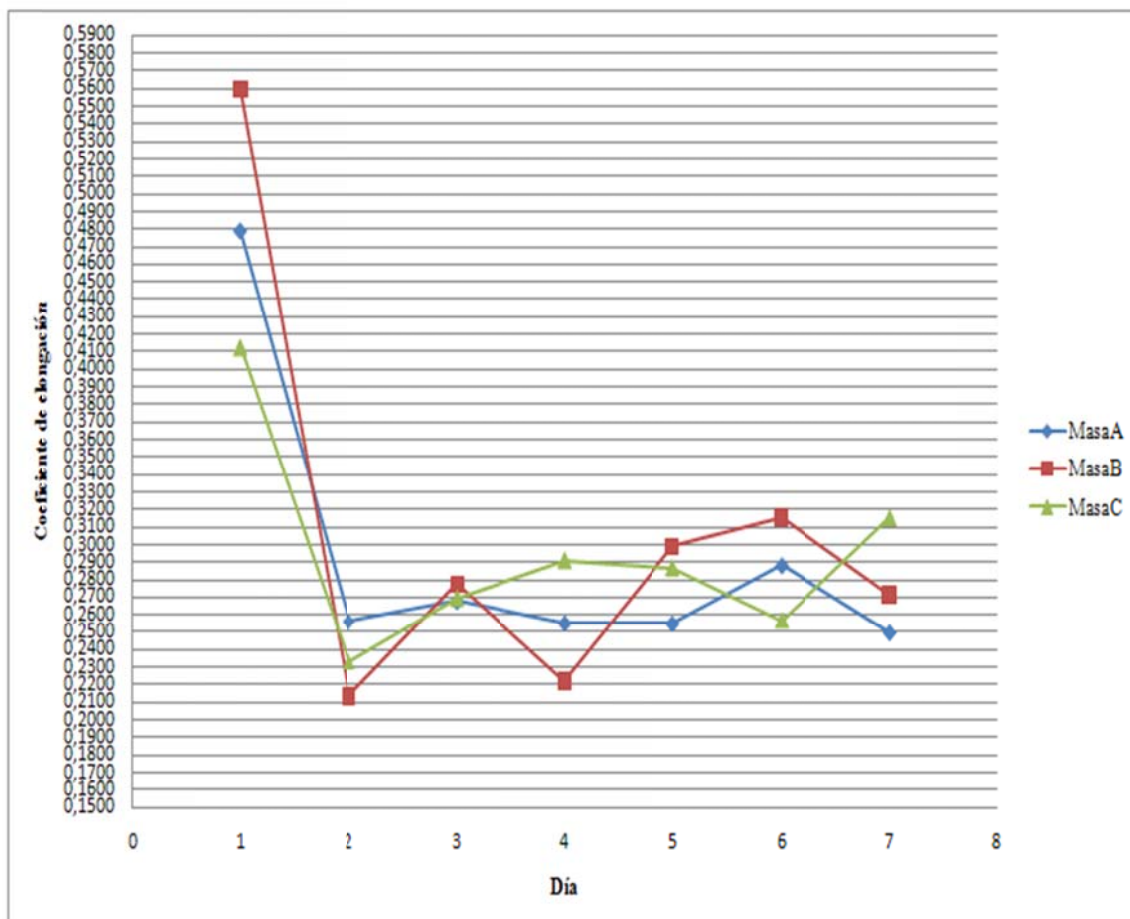
Tabla 24 Proporciones de coeficiente de elongación por rangos.

Categoría	Rango de coeficiente de elongación	Cantidad	Porcentaje
I	0.0 - 0.2	23	5.50%
II	0.2 - 0.4	109	25.8%
III	0.4 - 0.6	101	23.9%
IV	0.6 - 0.8	123	29.1%
V	0.8 - 1.0	66	15.6%
	SUMA TOTAL	422	100%

Gráfica 17 Relación entre tipo de masa cocida y cantidad de cristales elongados, por día de muestreo.



Gráfica 18 Relación entre tipo de masa cocida y coeficiente de elongación de los cristales, por día de muestreo.



7.DISCUSIÓN

7.1 Estudio de viabilidad: establecimiento de logística para la utilización de resultados analíticos.

7.1.1 Factores actuales.

7.1.1.1 Recepción de la caña. El proceso empieza por el corte de la caña de azúcar que puede hacerse en forma mecanizada o manual (a granel). El corte manual se realiza en un 75% del área, y un 25% de la caña es cosechada en forma mecánica. Aunque las cosechadoras mecánicas permiten realizar la labor más fácilmente, éstas tienen el inconveniente de entregar producto de menor calidad al realizado manualmente. La mecanización de la cosecha aumenta la las impurezas y disminuye la calidad de la caña. (Pantaleón, 2010).

Inmediatamente después del corte la caña se alza y transporta al ingenio, procurando tener la menor cantidad de horas en campo. Es importante recibir la caña fresca, lo más pronto posible después del corte, evitando así pérdidas resultantes del deterioro. Pérdidas que serán mayor cuanto más tiempo permanece la caña en el campo, expuesta al sol o la lluvia. Por cada hora que la caña permanezca en campo después de iniciada la cosecha se pierde azúcar.

Para el transporte de caña a la fábrica se emplean jaulas cañeras remolcadas por cabezales. Dependiendo de la ruta los cabezales pueden halar de dos a cuatro jaulas cañeras. La caña se transporta hacia el ingenio e ingresa por el área del patio de caña en donde inicia el proceso de recepción de caña.

7.1.1.2 Patio de caña. Es el lugar donde se recibe la caña que viene en jaulas, a granel o mecanizada. En el Patio de caña se realiza la preparación de la caña para el proceso de elaboración de azúcar. La caña se prepara para facilitar el proceso de extracción de jugo, a fin de lograr una mayor capacidad de molienda.

La caña puede ingresar al patio de caña por tres diferentes rutas:

- Ruta al Tándem A
- Ruta al Tándem B
- Ruta al Área de caña en el patio

Toda la caña que ingresa por la rutas a Tándem A y Tándem B se incorpora inmediatamente al proceso de extracción de jugos, iniciando así su camino hacia los molinos. A lo largo de estas rutas se realiza la recepción de la caña, su preparación para el proceso de extracción y finalmente esta ingresa a su tándem respectivo para iniciar la molienda.

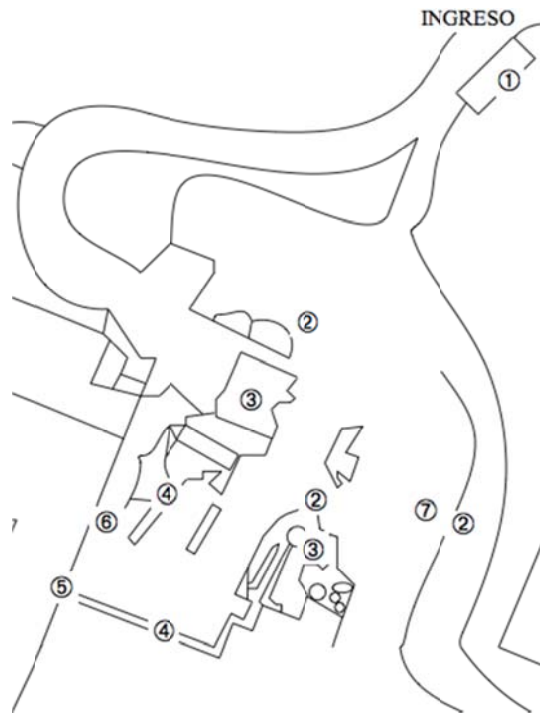
Por otro lado, la caña que ingresa por la ruta al área de caña en el patio no es incorporada al proceso de extracción luego de su recepción. La caña es volteada en esta área y se almacena por montones para abastecer directamente los conductores de caña cuando sea necesario.

La ruta al Tándem B está destinada exclusivamente para la caña de corte manual. Por otro lado, en la ruta al Tándem A puede ingresar caña de corte manual y mecanizada. Debido a que cada frente de corte provee caña de determinado tipo de corte, estos se catalogan y se agrupan según el tipo que proveen al ingenio. Y la ruta que sigue la caña, que ingresa al ingenio, dependerá única y exclusivamente del frente de corte del cuál proviene.

Ilustración 38 Diagrama de recorrido el patio de caña.

- ① Laboratorio de Caña
- ② Área de volteo
- ③ Área de lavado
- ④ Picadora
- ⑤ Tándem A
- ⑥ Tándem B
- ⑦ Caña en el patio

Continuación Ilustración 38 Diagrama de recorrido el patio de caña.



7.1.1.3 Conformación de patio.

7.1.1.3.1 Laboratorio de Caña. Está situado al ingreso del patio de caña y es donde inicia la recepción de la caña. Una vez que la caña llega al Laboratorio, se toma la muestra para el análisis de calidad por medio de una sonda mecánica, con la finalidad de determinar sus características de calidad. Las muestras son tomadas aleatoriamente, y son proporcionales al aporte de cada frente de corte.

Ilustración 39 Laboratorio de caña



7.1.1.3.2 *Área de volteo.* Las jaulas son descargadas en la mesa empleando un sistema de grúa de hilos, la cual engancha la jaula y la descarga hacia la mesa de caña.

Ilustración 40 Volteo de caña.



7.1.1.3.3 *Lavado.* Se realiza un lavado a la caña, con el objetivo de remover la mayor cantidad de tierra e impurezas que trae consigo y evitar su entrada al proceso. La estructura cuenta con un sistema de riego de agua caliente. Luego para acomodarla mejor en los conductores de caña, se corta en trozos por medio de una pre-picadora llamada “troceadora”. Convirtiendo las cañas enteras en pedazos cortos y con menor densidad. Luego la caña cae a un conductor, y es transportada por un sistema de conducción de tablillas hacia las picadoras.

Ilustración 41 Lavado de caña.



7.1.1.3.4 Picadora. La caña pasa por picadoras independientes en donde se astilla y nivela el colchón de caña que entra al molino. La picadora abre las células para facilitar la extracción del jugo que contiene.

7.1.1.3.5 Caña en el patio. Un porcentaje de la caña que se recibe se almacena en el patio para abastecer directamente los conductores cuando se requiera. Ésta es utilizada para mantener y asegurar el flujo continuo de materia prima (caña) hacia los molinos, ya que si éste es interrumpido se repercute en la extracción.

Otra función que cumple esta caña, es la de compensar las variedades de caña muy volumétricas, poco peso y con mucho volumen. Éstas pueden causar obstrucciones en los conductos. Por lo cual se extrae una cantidad de la variedad muy volumétrica y se ingresa al conducto caña menos volumétrica.

Ilustración 42 Caña en el patio.



7.1.2 Descripción del proceso analizado. Las jaulas con caña de azúcar ingresan al ingenio por el área de patio, en donde se inicia el proceso de recepción de la misma. Al ingreso al patio, las jaulas de caña son pesadas por medio de balanzas electrónicas. Posteriormente, los camiones se dirigen al área de Laboratorio de caña.

En el Laboratorio de caña existe un sistema de semáforos, éstos son utilizados para indicar a los conductores si deben parar para que se le tome una muestra a la caña. Esta muestra se utiliza para el análisis de calidad, con el cual se determinan las características de su calidad. El muestreo es aleatorio, y el número de muestreos a cada flete de corte depende directamente de su contribución de caña.

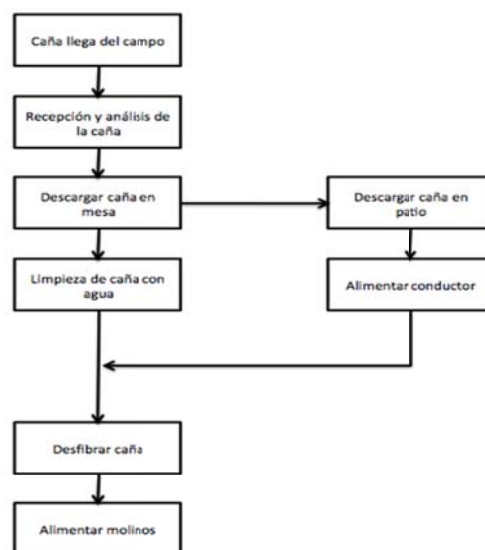
Luego los camiones llevan las jaulas de caña al área de volteo. En donde se procede a voltear las jaulas mediante un sistema de grúa de hilos, el cual engancha la jaula y la descarga a la mesa. El proceso de volteo se repite para todas las jaulas.

La caña cae sobre el área de lavado, en donde por medio de agua se trata de eliminar la mayor cantidad de tierra e impurezas para evitar que estas ingresen al proceso de extracción. Al momento que la caña está siendo lavada también pasa por la “troceadora”, la cual corta la caña en pedazos pequeños.

Luego la caña cae a un conductor, que la transporta hacia el área de picado. Antes de llegar al área de picado, hay un abertura en el conductor. En la cual se alimenta la caña en el patio. Esta abertura permite también el acomodo del colchón de caña de patio, mediante el uso de un camión con pala mecánica.

Inmediatamente, la caña ingresa a la picadora en donde por medio de una serie de cuchillas se astillada para facilitar la extracción del jugo que esta contiene. Al mismo tiempo, estas cuchillas nivelan el colchón de caña para uniformar el flujo de la misma, al ingresar a los molinos. Finalmente, la caña ingresa a los tándems de molienda en donde se empieza a moler y se extrae su jugo.

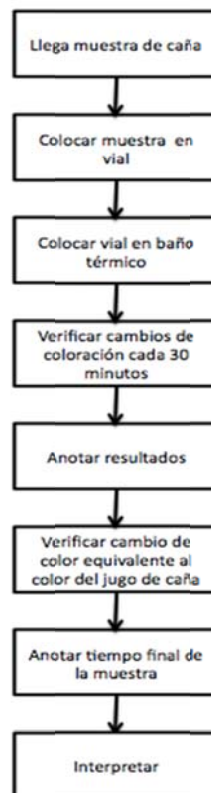
Ilustración 43 Diagrama de flujo de patio de caña.



7.1.3 Determinación de tiempo estándar. Se realizó la determinación del tiempo estándar de dos actividades, la del desarrollo de la prueba de resazurina y del proceso de recepción-preparación de la caña. El tiempo estándar es el tiempo promedio que debe durar alguna actividad. La finalidad del cálculo de estos tiempos, es determinar si se obtiene el resultado analítico del laboratorio antes que la caña empiece a ser molida. Para utilizar este resultado en la dirección de las acciones operativas de sanitización en el tándem de molienda.

7.1.3.1 Desarrollo de la prueba de resazurina. Esta prueba se desarrollada a partir de la muestra que se toma para el análisis de calidad, realizado en el Laboratorio de Caña. La prueba presenta resultados de coeficiente microbiológico, que son utilizados para la valoración del estado de la caña.

Ilustración 44 Diagrama de flujo del desarrollo de prueba de resazurina.



Para la determinación estándar del tiempo del desarrollo de la prueba, se realizó un diagrama de operación del proceso, Ilustración 65, para poder conocer la secuencia cronológica de todas las actividades del proceso de la prueba de resazurina. El diagrama muestra todas las actividades

del proceso, y a partir del cual se determina que actividades medir para el cálculo del tiempo estándar de la operación.

Para la determinación del tiempo, el proceso se dividió en dos partes: 1. Ejecución de la prueba y 2. Obtención de resultados.

Como muestra la Tabla 25, el tiempo estándar de la ejecución de la prueba es de 19.04 segundos.

Tabla 25 Tiempo estándar de ejecución de prueba de resazurina.

	Descripción de la actividad	Tiempo (Segundos)	
1	Tomar vial	3	
2	Colocar en vial la muestra a analizar	10	
3	Colocar vial en baño térmico a temperatura regulada y constante de 37 ± 0.5 ° C.	4	
		17	Tiempo total
		12%	Tolerancia
		19.04	Tiempo estándar (Segundos)

De acuerdo a la información recopilada en una investigación paralela de esta misma fase del proyecto (Pacheco, 2010), el tiempo promedio de la obtención del resultado era 2:03 horas. La Tabla 26 muestra el cálculo del tiempo estándar a partir del tiempo promedio.

Tabla 26 Tiempo estándar de obtención de resultados de prueba de resazurina.

2:03:00	Tiempo promedio (Horas)
12%	Tolerancia
2:17:46	Tiempo estándar (Horas)

Al sumar los dos tiempos estándar se obtiene el tiempo estándar total, el cual es de 2:18:05.04 horas.

7.1.3.2 Proceso de recepción-preparación de caña. El proceso de recepción-preparación de caña contempla toda actividad desde la recepción de la caña en el Laboratorio de caña hasta que esta llega a la entrada del tándem de molienda. El objeto de estudio e interés es la caña, a la cual se le realiza el análisis de actividad microbiológica en el Laboratorio de caña. Es por ello que para la determinación del tiempo estándar, solo se estudió esta caña.

Para la determinación del tiempo estándar del proceso, se realizó un diagrama de operación del proceso, Ilustración 43, para conocer la secuencia cronológica de todas las actividades. A partir de este diagrama se determinó que actividades medir para el cálculo del tiempo estándar.

Se llevó a cabo la toma de tiempos durante los últimos meses de la zafra 2009-2010, para determinar el tiempo promedio que le toma a la caña llegar hasta la entrada del tándem de molienda. Solamente se consideró la caña que era muestreada en el laboratorio.

Al realizar el estudio de tiempo se obtuvo una gran cantidad de datos atípicos, como resultado de averías y mantenimientos en el patio de caña. Estos causan el cierre del tándem involucrado, lo cual obliga a toda la caña a entrar por un solo tándem. Esto genera grandes colas de camiones en el patio, lo cual aumenta el tiempo del proceso de recepción-preparación de caña, como se puede observar en la Tabla 36 a Tabla 40.

Debido a que la gran mayoría de muestreos estaban plagados de datos atípicos, se utilizaron las corridas más uniformes para el cálculo del tiempo estándar. Luego de calcular el tiempo estándar, se determinó que éste es de 25:07 minutos.

Tabla 27 Tiempo estándar del proceso de recepción-preparación de caña.

	Tiempos (Horas)
	0:23:59
	0:19:06
	0:22:44
	0:25:07
	0:31:44
	0:39:22
	0:21:32
	0:18:16
Total	3:21:50
Promedio	0:22:26
Tolerancia	12%
Tiempo Estandar (Horas)	0:25:07

7.1.4 Resultados. Fases previas del proyecto (Lemus, 2008) consideraron que la prueba de la resazurina tiene un respuesta rápida, haciéndola una prueba fiable para la toma de decisiones operativas. Sin embargo, el estudio de tiempos y el cálculo de tiempos estándar muestra que esta prueba no es suficientemente rápida.

El desarrollo de la prueba tarda 2:17:46 horas, y el proceso de recepción-preparación solamente tarda 25:07 minutos. Por lo cual la caña entra al proceso de extracción mucho antes de tenerse los resultados de la prueba de la resazurina. Ni siquiera es posible utilizar los virajes de las muestras como indicadores del posible resultado, ya que una investigación paralela de esta misma fase del proyecto (Pacheco, 2010) indican que estos ocurren después de una hora realizada la prueba. Por lo cual inclusive estos posibles indicadores se obtienen luego de que la caña ya ingreso al proceso.

Debido a la anterior, no es posible utilizar el resultado del análisis de actividad microbiológica como referente para la sanitización en el tándem. Ya que este resultado se obtiene muy tarde, luego de que la caña ingreso al tándem de molienda. Por lo cual la prueba de resazurina no puede ser utilizada para la dirección de las acciones de sanitización en el tándem, ya que se carece de un resultado.

Por ello no es viable el establecer una logística para la utilización de los resultados analíticos del análisis de actividad microbiológica en la dirección de las decisiones operativas en el tándem derivadas de la actividad microbiana, debido a que dicho análisis carece de la rapidez necesaria.

Se recomienda explorar variables que reduzcan el tiempo de obtención del resultado analítico, así como estudiar a fondo los primeros virajes de las muestras para crear un sistema que utilice el primer viraje de la muestra como un posible resultado del análisis. Para ello se puede utilizar el trabajo realizado en una fase previa del proyecto por Campos, en donde se desarrollo correlaciones de las variables de observación de la prueba de resazurina, las cuales permiten utilizar el primer viraje como medida presuntiva de la actividad microbiana.

Aunque sin el tiempo necesario antes de la entrada al tándem de la caña específica, se puede reducir el impacto de las muestras malas o críticas, si se aplica un lazo de control propuesto, Ilustración , que se activará en estos casos. Dicho lazo permite crear alertas de frentes específicos, y así dar prioridad a la caña proveniente de dicho frentes.

7.2 Estudio preliminar del manejo de caña en el patio del ingenio Pantaleón.

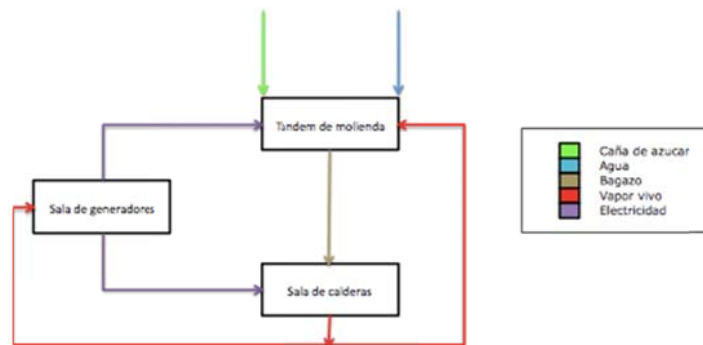
7.2.1 Factores actuales.

7.2.1.1 Caña en el patio. Un porcentaje de toda la caña que ingresa al ingenio no pasa a ser procesada inmediatamente luego de su recepción, debido a diferencias en variedad de caña, tipo de corte o características volumétricas. Esta caña, luego de su recepción y pesaje, se conduce al área de caña de patio en donde es almacena a la intemperie.

Esta caña se utiliza para mantener un flujo continuo de caña hacia los molinos, mediante su incorporación directa en los conductores de caña que van hacia los molinos. El almacenamiento de esta caña, asegura la capacidad de mantener el flujo de caña en caso de alguna complicación. Ya que, una interrupción en el flujo de caña repercute todo el proceso de extracción de azúcar.

En la Ilustración 45 se puede observar cómo el proceso de extracción se ve afectado por interrupciones del flujo de caña hacia los molinos. Interrumpir el flujo de caña causa una disminución en la cantidad de caña que ingresa al tándem de molienda, lo cual disminuye la cantidad de bagazo que sale del tándem de molienda. Esta disminución de bagazo refleja en la sala de calderas, las cuales obtienen menos bagazo para quemar, causando un bajón en la producción de vapor. Vapor que se utiliza tanto en el tándem de molienda, como para la generación de energía.

Ilustración 45 Diagrama de generación de vapor y energía.



Por lo tanto, interrumpir el flujo de caña repercute en todo el proceso de extracción de azúcar. Lo que ocasiona una disminución en la generación de dos recursos vitales, vapor y energía, para el proceso de extracción. Al verse comprometidos estos recursos, el ingenio se ve obligado a hacer ajustes o limitaciones al sistema de producción.

Existen varios factores que pueden llegar a comprometer el flujo continuo de caña, llevando a una interrupción del mismo. Estos factores se pueden catalogar en tres grupos: 1. Fallas en equipo de volteo, 2. Caña considerablemente volumétrica y 2. Mantenimientos.

Dentro de las fallas en el equipo de volteo, están las rupturas de cables en las grúas, malfuncionamiento de mesas de volteo y obstrucciones en el área de lavado ocasionado por piedras. Al suceder alguna de estas fallas se procede a detener el proceso de volteo de caña, y se introduce caña de patio para evitar la interrupción del flujo.

Debido a que la caña volumétrica pesa muy poco y ocupa mucho volumen, ésta puede causar obstrucciones en los conductores, específicamente en el área de las picadoras. Para evitar dicho problema, se procede a extraer una cantidad de esta caña volumétrica y se reemplaza por caña de patio. Logrando así compensar en peso y volumen la caña que posteriormente ingresa a los molinos.

Algunos de los mantenimientos que se realizan en el patio no consumen gran cantidad de tiempo. Por ello se opta por no detener todo el proceso de producción, y solo se detiene el área que recibirá el mantenimiento. La caña en el patio permite seguir alimentado el flujo de caña, asegurando así su continuidad.

7.2.2 Descripción del proceso analizado. La caña ingresa al ingenio y sigue la ruta que le corresponde, ruta al área de caña en el patio. A su ingreso, se pesan las jaulas con caña, mediante básculas electrónicas. Luego los camiones que halan las jaulas con caña hacen una parada en el área de Laboratorio de Caña, en donde se procede a la recepción de la misma. Sin embargo, a esta caña no se le toma la muestra para el análisis de calidad, por lo cual no se determinan las características de su calidad.

Luego, la caña se traslada al área de caña en el patio, en donde se procede a voltear las jaulas con caña mediante un sistema de grúa de hilos. Se repite el proceso de volteo para todas las jaulas del camión, y conforme la caña es volteada esta es acomodada por camiones con palas mecánicas formando así un montículo de caña.

Ilustración 46 Volteo de caña.



El proceso de volcado de caña en esta área se repite con toda la caña que ingresa al ingenio. Dando como resultado, la formación de un solo montículo de caña de grandes dimensiones. Esto representa un gran problema, ya que la caña que ingresa de primero queda cubierta por la caña que ingresa posteriormente. Por lo tanto, la caña que ingresa de primero es la última en ser procesada. Aumentando así el tiempo entre corte y el procesamiento de la caña de azúcar, lo cual contribuye al deterioro y pérdida de sacarosa de la caña.

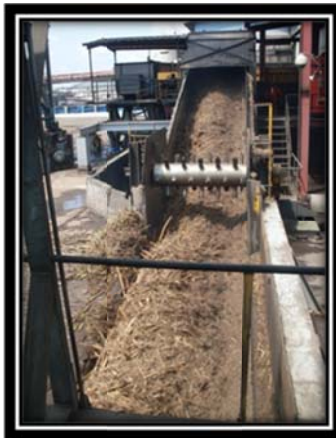
La caña permanece almacenada a la intemperie, expuesta al sol y la lluvia, hasta que sea necesitada. Existe gran variabilidad en el tiempo que la caña permanece almacenada, debido a que su uso no es continuo ni está programado. Esta caña sólo se utiliza cuando es necesaria para mantener el flujo continuo de la misma hacia los molinos. Por lo tanto, el uso de ésta, está condicionado por la necesidad a mantener el flujo continuo de caña hacia los molinos.

Cuando la caña se necesita, ésta se remueve del montículo principal por medio de camiones con palas mecánicas. Los cuales la trasladan cerca de las aperturas de los conductores de caña, que están ubicados luego del área de lavado de caña y antes de la picadora. Se forman pequeños montículos de caña próximos a los conductores, para contar con suficiente caña para asegurar la capacidad y mantener un flujo continuo de la misma.

Ilustración 47 Montículos secundarios de caña en el patio.



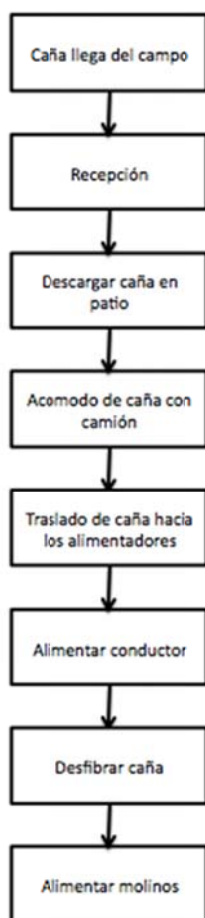
Ilustración 48 Apertura en conductor de caña.



La caña es introducida a los conductores mediante los camiones con palas mecánicas. Estos camiones continuamente regresan al montículo principal de caña para recoger más y reabastecer los montículos secundarios que se encuentran cerca de los conductores de caña.

Al momento de movilizar la caña de un montículo a otro, los camiones la arrastran a través de todo el patio. Al arrastrar la caña, se arrastra consigo una gran cantidad de tierra e impurezas que se encuentran depositadas en el suelo del patio. Estas finalmente ingresaran al proceso de extracción al momento de incorporar la caña por los conductores. Debido a que la caña en el patio se introduce en la sección posterior al área de lavado, todas estas impurezas no se removerán y harán su entrada al proceso.

Ilustración 49 Diagrama de Flujo de caña en el patio.



7.2.3 Situación actual. Al inicio de la zafra 2009-2010 el ingenio no contaba con ningún sistema para la gestión y manejo de la caña en el patio. Ésta solo era recibida y almacenada en el patio hasta que fuera necesario su uso. Por lo que, el manejo de la caña dependía únicamente de los momentos en que se tenía necesidad de incorporar esta caña al proceso.

No se contaba con ningún sistema que registrara el ingreso de caña al patio, ni método alguno para cuantificar la cantidad de caña que es almacenada en el patio de caña. Tampoco se contaba con un sistema que controlara el tiempo que la caña permanecía en el patio.

No fue hasta finales de la zafra 2009-2010, cuando el ingenio experimentó una baja drástica en los rendimientos de producción, cuando se notó también la necesidad de un control riguroso de la

caña en el patio, ya que ésta puede ser una fuente importante de contaminación para el proceso de extracción. Contaminación, que debido al pobre manejo de la caña en el patio, puede contribuir a la disminución del rendimiento de extracción.

El ingenio decidió hacer un estudio preliminar de la caña en el patio, por lo que creo un sistema para controlar cantidad de caña en el patio y su movimiento dentro del patio. Esta tarea era realizada por el ingeniero de patio, el cuál mediante la observación directa calculaba la cantidad aproximada de caña almacenada en el patio. Además, observaba el traslado de la caña del montículo principal hacia los montículos secundarios ubicados cerca de los conductores de caña.

El fin de estudio preliminar antes mencionado, era la determinación de la cantidad de caña en el patio. Así mismo, se busca determinar a cuál de los dos molinos se ingresa una mayor cantidad de caña de patio. Para poder establecer si el molino con menores rendimientos de extracción es aquel al cual se le incorpora una mayor cantidad de caña de patio.

7.2.4 Análisis. Como se puede observar en el diagrama de operación del proceso, Ilustración 65 no se realiza ningún control de calidad a la caña que ingresa al ingenio. Por lo cual sus características de calidad no son determinadas. La falta de muestreo de la caña es preocupante, ya que el ingenio es capaz de asegurar la calidad de la materia prima que utiliza para el proceso de extracción. Además, se puede observar que existen dos demoras significativas en el proceso, lo que significa que la caña pasa una gran cantidad de tiempo almacenada en el patio.

Posteriormente, se procedió a realizar un estudio de tiempos de la caña en el patio. Con el fin de poder determinar el tiempo promedio que esta pasa allí. Para ello se registro el tiempo desde que la caña ingresaba al ingenio, hasta que esta era utilizada para alimentar los conductores de caña que se dirigen a los molinos.

Se efectuó el muestreo durante dos meses de zafra, pero al tabular y analizar los datos no se pudo determinar un tiempo estándar para la caña en el patio. Debido la gran variabilidad en el tiempo que ésta permanece almacenada en el patio; ya si no existía la necesidad de utilizarla para mantener el flujo de caña hacia los molinos, ésta permanecía en el patio.

Con la toma de tiempos se pudo observar que en algunas ocasiones la caña de patio podía pasar almacenada hasta 24 horas. Lo cual significa un tiempo de atraso, aumentado el tiempo entre corte

y procesamiento, lo cual es un factor importante en la calidad de la caña para el proceso de extracción.

Este tiempo de almacenaje en el patio debe ser adicionado al tiempo entre corte e ingreso al ingenio. El tiempo total, fácilmente sobrepasará las 48 horas. Luego de 48 horas de cortada la caña quemada empieza a deteriorar y presenta pérdidas en sacarosa (Flores, 1976). Este deterioro en la caña repercutirá directamente al proceso de extracción, resultando así una menor producción de azúcar.

7.2.5 Propuestas.

7.2.5.1 Muestreo para el análisis de calidad. Es sumamente importante conocer la calidad de la caña cuando ésta ingresa al patio, para poder medir y determinar las pérdidas de sacarosa ocasionadas por el deterioro causado por los largos tiempos de almacenaje en patio. Por ello, primero se recomienda que al momento de la recepción de la caña se tome una muestra de la caña que ingresa, con la finalidad de determinar sus características en cuanto a calidad.

Con el muestreo el ingenio puede asegurarse primero, estar recibiendo caña que cumple con sus estándares de calidad. Segundo, verificar que se esté recibiendo caña fresca, con un tiempo entre corte y recepción sumamente reducido. Esta verificación es imperativa, ya que la caña que se destina a esta área del patio puede pasar almacenada por un tiempo prolongado. Por lo cual, es esta área se necesita de caña más fresca, y que el tiempo entre corte y recepción más el tiempo de almacenaje no sobrepase las 48 horas.

7.2.5.2 Método de almacenaje. La razón por la cual la caña permanece en el patio por largos períodos de tiempo, se debe principalmente al hecho de tener un gran montículo de caña, el cual tiene en su base la caña más vieja. Esto ocasiona que la caña vieja no sea utilizada de primero, ya que está cubierta por caña más fresca. Por ello, se necesita un método de almacenaje eficaz, que clasifique la caña por su frescura.

Para ello se recomienda evitar la creación de un solo montículo de caña. Como alternativa se puede mover la caña después de ser volteada, dejando vacía el área de volteo. La caña puede ser llevada a unos metros del área de volteo. Pero en lugar de volver a crear un solo montículo de

caña, se pueden crear pequeños montículos adyacentes unos de otros. Con ello se puede saber que caña ingreso primero, para utilizarla según el orden de entrada.

Este método de almacenaje simplifica significativamente el control de la caña, ya que al tener los montículos separados se puede identificar el orden de llegada fácilmente. El poder identificar cada montículo, permite la posibilidad de llevar un control individual de cada uno de ellos.

Al realizar el cambio en la forma de almacena de la caña en el patio, no se incurre en ningún gasto. Ya que ya se posee de la maquinaria necesaria, camiones con palas mecánicas, y se cuenta con suficiente espacio para realizar el almacenaje de la manera propuesta.

7.2.5.3 Sistema de control. Se recomienda crear un sistema de control de la caña en el patio, el cual registre:

- Hora de entrada de la caña.
- Cantidad de caña
- Tiempo que permanece la caña en el patio

Este sistema de control puede ser implementado fácilmente, si se aplican los cambios recomendados referente al almacenaje de caña en el patio. La implementación de los cambios en almacenaje, simplifican de gran manera el control de la caña en el patio. Ya que al tener la caña separada por montículos se puede saber con mayor facilidad el orden cronológico de llegada. Además los montículos pequeños son más fáciles de controlar y evitan la necesidad de aproximaciones, como con un solo montículo de caña.

7.2.5.4 Prueba de resazurina. Los resultados del desarrollo de la prueba de resazurina deben ser considerados seriamente. Estos indican niveles muy altos de deterioro en la caña de azúcar, los cuales indican grandes pérdidas de sacarosa. Por ello se insta a continuar la prueba de resazurina como método para controlar el deterioro de la caña. Método que puede ser utilizado para verificar la frescura de la caña, y dependiendo de los resultados poder tomar la decisión en última instancia de no incorporar alguna caña al proceso de extracción.

7.2.5.5 Eliminación de caña en el patio. La caña en el patio es una necesidad para el ingenio, ya que es utilizada para mantener un flujo continuo de la misma hacia los molinos. Flujo que de ser interrumpido, repercute en la extracción de azúcar, como se puede apreciar en la Ilustración 46.

Sin embargo, el ingenio está construyendo una nueva caldera. Dicha caldera tiene capacidad de utilizar otros combustibles, aparte del bagazo, para la generación de vapor. Esta es capaz de generar vapor a partir la quema de biomasa, carbón y madera. La posibilidad de utilizar otros combustibles, permite compensar interrupciones en el flujo de caña hacia los molinos, y con ello se abre la posibilidad de eliminar la caña en el patio.

Una vez terminada la caldera, se recomienda la comparación de costos – beneficio de la incorporación de la caña de patio al proceso de extracción y del uso de combustibles alternos para la caldera. De esta manera si es más económico se puede utilizar algún combustible para compensar interrupciones en el flujo de caña.

7.3 Análisis microbiológico de caña de patio.

El análisis preliminar del manejo de la caña en el patio. Se integra una descripción del patio. Así mismo se aplicó la prueba de resazurina a muestras que fueron tomadas aleatoriamente. Los datos obtenidos se utilizarán para futuras orientaciones operativas.

Los resultados obtenidos para las muestras de patio resultaron dentro del rango de bueno (con valores menores a 1.5 hasta 2.0) se encontró el 60%. Dentro del rango aceptable (con valores de 2.0 hasta 2.5) se encontró el 40%. Dentro del rango malo y muy crítico (con valores de 2.5 hasta mayores que 5.0) se encontró el 0%.

Este resultado también se comparó con la pureza. 83% para la muestra número 4, con un Brix de 16.41 y un Pol de 13.70. Para la muestra número 5 se obtuvo una pureza de 80%, con un Brix de 15.84 y un Pol de 12.66.

El análisis de estos resultados está relacionado con el deterioro microbiológico. Como en una curva de crecimiento microbiano. Se pueden diferenciar cuatro fases en la evolución de los

parámetros que miden el crecimiento microbiano. La primera fase de adaptación durante la cual los microorganismos adaptan su metabolismo a las nuevas condiciones y se produce un crecimiento exponencial. La segunda fase logarítmica durante la cual la velocidad de crecimiento es la máxima. La tercera fase estacionaria en la cual no hay incremento del número de bacterias ya que se produce una acumulación de bacterias ya que se agotan los nutrientes esenciales del medio. Y por último la fase de muerte donde se produce una reducción del número de bacterias viables ya que no hay nutrientes en el medio.

La presencia de dextrana causa problemas ya que tienden a elevar los valores de Pol, debido a su poder altamente dextro-rotatorio. Esto puede producir error en las mediciones de sacarosa en el laboratorio que se hacen utilizando la rotación óptica de la sacarosa, por lo que pueden obtenerse resultados falsos de altas purzas. Por ejemplo en las muestras tomadas del patio muestran una pureza alta, lo cual puede significar un falso-positivo. Se puede decir que estas muestras se encuentran en la fase de muerte del crecimiento microbiano donde las bacterias ya consumieron todos los nutrientes en el medio.

Se recomienda seguir con un estudio de la incorporación de la caña de patio al proceso clasificándola por su frescura. Así mismo un modelo de incorporación eficaz. Complementándolo con análisis para medir el grado de deterioro, pruebas como las que se mencionan en la Tabla 11.

7.4 Manual de procedimientos.

7.4.1 Introducción. Se desarrolló un Manual de Procedimientos, Ilustración 67, para la implementación del sistema de control microbiológico en Laboratorio de caña, con el fin de que sea utilizado para el monitoreo y análisis microbiológico en la caña. Para realizar de manera efectiva las actividades relacionadas con control microbiológico, logrando de esta manera, reducir problemas de operación, dando lugar a una operación continua.

Además, servirá de guía para futuras fases del proyecto, ya que será una fuente más de consulta, en la que apreciaran la importancia y aplicación de los manuales en actividades que requieren una secuencia lógica y ordenada.

Para el desarrollo del manual de procedimientos se utilizó información recopilada durante una prueba piloto del control microbiológico en el Laboratorio de caña, realizada en una investigación paralela en esta misma fase del proyecto. (Pacheco, 2010)

7.4.2 Prueba piloto. La calidad de los jugos afecta el proceso de la recuperación de sacarosa, es por esto que se busca aumentar el rendimiento de la obtención de azúcar a través de estrictos controles de los parámetros de operación y características microbiológicas de los productos y subproductos de la fábrica.

En los trabajos precedentes relacionados con el tema, se han desarrollado técnicas analíticas apropiadas para un monitoreo eficaz de la materia prima (caña) que entra al ingenio y se han hecho algunas pruebas de campo.

Para continuar el trabajo era necesario hacer una prueba en condiciones reales, que permita orientar el trabajo para el definitivo establecimiento del sistema integral de control microbiológico. También es necesario demostrar la utilidad de los datos que aporta este monitoreo en la elaboración de políticas y toma de decisiones a nivel de agroindustria.

Ya con las pruebas experimentales de implementación realizadas, es necesario que en el laboratorio del ingenio se cuente con los procedimientos correspondientes para su ejecución por parte del personal del mismo en forma sistemática.

Se utilizó el mismo sistema del ingenio para obtención de la muestra, esta se extrae mediante una sonda conocida como Core Sampler. Esta sonda penetra el camión en forma horizontal u oblicua (generalmente 45°), extrayendo muestras de 12kg. La muestra extraída es desfibrada y luego se realiza la extracción del jugo por prensado. La muestra se registra en la base de datos con un código, bajo el cual se puede obtener más información de su procedencia, frente y tipo de corte.

Este sistema incluyó las siguientes pruebas analíticas: 1. Prueba de resazurina 2. Fermentación espontánea 3. Capacidad Buffer 4. Acidez / pH y 5. Gomas.

Tabla 28 Cuadro esquemático de pruebas analíticas.

No.	Indicador	En qué consiste	Por qué es un indicador microbiano	Efecto en la fábrica
1	Resazurina	<p>Es un indicador redox, que en solución acuosa es azul por transparencia. Este indicador puede pasar a resorufina (rosado) y dehidrorresorufina (incolore) sucesivamente. El tiempo total de decoloración se presenta como una función de la actividad microbiana.</p> <p>Se añade una pequeña cantidad de resazurina al jugo de caña y la mezcla se incuba a 37°C, se produce una decoloración debida al metabolismo bacteriano.</p>	<p>La velocidad a la que se produce el cambio de color es directamente proporcional al número de gérmenes presentes. La mayor parte de los microorganismos cuando se multiplican son capaces de modificar el potencial de oxidoreducción del jugo de caña lo suficiente para transformar la resazurina en su derivado incolore.</p>	<p>Esta prueba permite valorar la cantidad de bacterias presentes en el jugo de caña, lo cual permite tomar decisiones estratégicas sobre la incorporación de la caña al proceso. Es de respuesta rápida, así como una fácil ejecución.</p>
2	Fermentación espontánea	<p>A la muestra de jugo de caña tomada se le añade 100 mls a un erlenmeyer y se procede a ajustar el pH de la muestra, agregando poco a poco NaOH líquido hasta llegar a un pH de 5.5. Luego se coloca la muestra a incubar en baño de maría y se deja durante 4 horas. Luego de las 4 horas se retira la muestra del baño de maría y se mide el pH final de la muestra incubada.</p>	<p>El cambio de pH en las muestras tiene una correlación con la actividad microbiana y pérdida de sacarosa por la acción microbiológica</p>	<p>Permite estimar las pérdidas de sacarosa que ocurren por acción de los microorganismos en el tándem. Es posible estimar la pérdida de sacarosa ocurrida en el período de incubación y extrapolarla a la molidura real del central, lo cual dará un estimado general de la pérdida ocurrida en un lapso dado de tiempo.</p>

Continuación Tabla 28 Cuadro esquemático de pruebas analíticas.

No.	Indicador	En qué consiste	Por qué es un indicador microbiano	Efecto en la fábrica
3	Capacidad buffer	Método formado por un sistema ácido-base conjugada que mantienen constante el ph dentro de ciertos límites. Es la variación del ph con respecto al agregado de H ⁺ u OH ⁻ . Tiene un valor máximo cuando la actividad del ácido es igual al de la base conjugada (pka).	Algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad cuando están presentes.	El jugo de caña contiene numerosos aminoácidos, la disminución de las propiedades ácido-base (capacidad buffer) puede aumentar o disminuir la cantidad necesaria de cal para la alcalización de los jugos y producir menores deposiciones en los equipos de transferencia de calor.
4	Acidez / pH	Este método volumétrico consiste en: usando una pipeta se transfieren 10mL de muestra de jugo y 75mL de agua a un beaker de 250mL. Se agregan 2 gotas de fenolftaleína y se inserta el electrodo de pH. Se titula la muestra con NaOH a incrementos de 0.5mL hasta el punto final de la fenolftaleína o hasta que el potenciómetro lea 8.1.	Se obtiene el porcentaje de acidez (ácido predominante en la muestra). La acidez desarrollada se debe a la acidificación de la sustancia ya sea por procesos térmicos, enzimáticos o microbiológicos. En alimentos el grado de acidez indica el contenido en ácidos libres.	Las pérdidas de sacarosa por arrastre pueden ser elevadas si no se dispone de una buena instalación de recuperadores. Las pérdidas por inversión son tanto mayores cuanto más elevada es la temperatura y mayor su acidez.
5	Gomas	Es una mezcla del 50% de jugo de caña con 50% de alcohol. Se mezclan, luego se dejan reposando en una probeta y se mide la cantidad de precipitados. Puede utilizarse una centrifugadora para ahorrar tiempo.	Los microorganismos poseen enzimas capaces de utilizar los monómeros de la sacarosa y polimerizarlos en gomas de alta masa molecular.	Existen lugares en el tándem que combinan factores como temperatura, acumulación y tiempo, lo cuál incrementa las pérdidas de sacarosa y perjudica a varios procesos de la fábrica en adelante. Los perjuicios al proceso se deben a sustancias como gomas, oligo y polisacáridos y ácidos orgánicos.

La Tabla 28 muestra un esquema de las pruebas realizadas, su importancia como indicadores microbiológicos y su efecto en la fábrica. La incorporación al jugo de sustancias metabólicas ajenas a su composición altera sus parámetros para el procesamiento. Las bacterias presentes en el jugo de caña dan como resultado la producción de ácidos orgánicos. La presencia de estos ácidos provoca en el jugo de caña un aumento en el consumo de cal necesaria para elevar el pH en la alcalinización y un aumento de la capacidad amortiguadora del azúcar, indicador de la presencia de sustancias extrañas en esta. Por estas razones se decidieron implementar esta serie de pruebas analíticas para determinar la calidad de la caña.

Actualmente en el ingenio se utiliza algunas pruebas del análisis ICUMSA. Para determinar qué otro indicador utilizar se tomó en cuenta características como su confiabilidad, respuesta rápida así como una facilidad para su ejecución y de bajo costo. El método que cumple con estas características es la prueba de resazurina. Es una prueba fiable para toma de decisiones operativas. La deficiencia del método en incertidumbre se recupera con el número de muestras realizadas.

Para propósitos de la prueba piloto, se capacitó a los operarios del laboratorio de caña, para realizar la prueba de resazurina, durante los turnos establecidos del ingenio. Esto muestra una ventaja, ya que no fue necesario emplear personal extra. A partir de una evaluación de tiempo se pudo establecer cuánto tarda el operario en realizar la prueba. El cual se concluyó que es el suficiente para no dejar desatendidas sus otras responsabilidades.

Los resultados muestran el comportamiento de la actividad microbiana en el jugo de caña. Se clasificaron de acuerdo a la valoración del coeficiente microbiológico para caña de “cosecha” y “precosecha”.

El ingenio utiliza las muestras de precosecha para tomar decisiones como el corte del frente. Para muestras de precosecha resultó dentro del rango de bueno (con valores menores a 1.5 hasta 2.0) se encontró el 92%. Y dentro del rango crítico (con valores de 3.0 hasta 5.0) se encontró el 8%.

Este análisis valida el método ya que demuestra que en la caña verde no existe actividad microbiana. El porcentaje encontrado en el rango crítico puede ser objeto de estudios posteriores.

Para muestras de cosecha resultó dentro del rango de bueno (con valores menores a 1.5 hasta 2.0) se encontró el 28%. Dentro del rango aceptable (con valores de 2.0 hasta 2.5) se encontró el 23%. Dentro del rango malo (con valores de 2.5 hasta 3.0) se encontró el 26%. Dentro del rango crítico (con valores de 3.0 hasta 5.0) se encontró el 15%. Y dentro del rango muy crítico (con valores mayores a 5.0) se encontró el 7%.

Debido a la necesidad de obtener resultados más rápidos, para la toma de decisiones operativas eficaces, se consideró tomar en cuenta otras variantes para el tiempo de viraje de la prueba de resazurina. Se propone trabajar con virajes parciales (Campos, 2010), una referencia en poco tiempo para la toma de decisiones. Este resultado puede utilizarse como observación presuntiva del tiempo de decoloración total y tomar medidas operativas en un mínimo de tiempo.

Al implementar esta variante representa una reducción de tiempo para la obtención de resultados, tiempos menores a una hora y 0.5 horas para muestras críticas. En el caso de las muestras de caña de cosecha, analizadas a la entrada del ingenio, se puede utilizar este tiempo para tomar medidas de sanitización en el tándem.

Para completar este resultado se diseñó un lazo operativo de control (Ilustración 63, p.p.). Se midió el tiempo que le toma a un camión llegar desde la entrada del ingenio (muestreo) hasta el área de tándemes. Su función es emitir una alerta al Laboratorio General cuando el coeficiente microbiológico este en el rango de 2.5 hasta 5.0. Esta alerta manda una señal para la descarga del bactericida en el tándem correspondiente.

Con base a estos parámetros se elaboró un manual de operaciones el cual contiene una descripción de las actividades que deben seguirse. Este manual permite conocer la descripción, el funcionamiento y requerimientos de la prueba de resazurina. Es un instructivo de inducción y adiestramiento para el personal responsable en el laboratorio de materia prima (caña), ya que muestra en forma detallada las actividades del procedimiento. Y este pasará a formar parte del sistema de base de datos para futuro análisis o revisión de consulta para el personal.

7.4.3 Objetivos. Compendiar en forma ordenada, secuencial y detallada las operaciones que se realizan al desarrollar la prueba de resazurina, estableciendo de manera formal los métodos y técnicas de trabajo a aplicarse, precisando las responsabilidades de los individuos que intervienen en la ejecución, control y evaluación de las mismas, y facilitando su interpretación.

7.4.4 Alcance. Se busca el desarrollo de un manual de procedimientos para la implantación del sistema de control microbiológico en Laboratorio de caña del Ingenio Pantaleón. Este manual se empleara para la determinación de la actividad microbiana en muestras de jugos.

7.4.5 Límites. El estudio abarca el Laboratorio de caña, del Ingenio Pantaleón. Ubicado en la Finca Pantaleón, Siquinalá, Escuintla.

7.4.6 Población. La población constituye 6 auxiliares de laboratorio, supervisor de laboratorio y un jefe de laboratorio ligados directamente al Laboratorio de caña.

7.4.7 Limitaciones. Este estudio presenta las siguientes limitaciones:

- Período de operación (zafra).
- Falta de documentos relacionados con el tema.

7.5 Tándem.

7.5.1 Enfoque analítico. Durante el proceso de extracción la caña de azúcar sufre degradación de la sacarosa debido a la presencia de microorganismos que se alimentan de dicho compuesto. Al momento de ingresar la caña de azúcar al tándem, ésta circula de un molino a otro para luego seguir al proceso de clarificación.

El primer objetivo específico se basa en establecer una metodología para determinar los puntos críticos en el tándem. Los puntos críticos son aquellos puntos o áreas en las que se da el mayor incremento del coeficiente microbiológico dentro de un tándem y es la principal causa del incremento de dicho valor. La finalidad de determinar puntos críticos es para poder tener una aproximación al comportamiento de dicho equipo y así mejorar el control de limpieza y reducir la contaminación y pérdidas causadas por la actividad microbiológica presente en el jugo de caña.

Se puede observar en la Gráfica 1 (p.p.108) el comportamiento del coeficiente microbiológico en los puntos de muestreo en el tándem A. Para este caso, se obtuvieron dos puntos con valores en el rango crítico de CM en la fecha del 10 de marzo. Para esa fecha, los valores para el jugo primario y el segundo molino se mantiene dentro de un rango aceptable, esto indica de alguna manera que entre estos puntos se presentaba alguna anomalía debido a falta de limpieza o acumulación de contaminantes que permitía una alta actividad microbiológica la cual degradaría con mayor rapidez la sacarosa. Además se puede observar, en base a los datos recolectados, que el comportamiento general de este tándem no fue constante si no que mostró una tendencia variable y con fluctuaciones altas entre algunos puntos. En el caso del muestreo en punto RM3 hubo dos ocasiones en las que no fue posible tomar muestras debido a que las condiciones en ese momento no eran seguras y el personal operativo del ingenio no permitía que el estudiante se arriesgara para tomar la muestra.

En el caso de la Gráfica 2 (p.p.109) se puede observar que pocos valores sobrepasan al nivel de “malo”, establecidos en la metodología. Para este caso la variabilidad de los coeficientes microbiológicos no es tan amplia pero si se presenta cierto grado de variabilidad. En el caso del tándem B, a primera vista se observa que los puntos más críticos serían el jugo diluido y el jugo primario. Comparando las tendencias de cada tándem se observa que existe la tendencia al incremento del CM a través de cada punto de muestreo hasta llegar al diluido. Además se puede observar que en general el tándem A presentó una mayor actividad microbiológica que el tándem B.

Además de la valoración por medio del CM se utiliza también el Incremento de Coeficiente Microbiológico (ICM). Por medio del ICM se analiza la diferencia que existe entre dos puntos de muestreo. Por medio del ICM se logra clasificar los puntos del tándem de acuerdo a los niveles establecidos de forma complementaria al CM. En los puntos de comparación para el ICM se determina entre que áreas existe un incremento de coeficiente microbiológico para marcarlos como áreas que necesitan revisión o control extra. Con respecto al tándem A se sigue presentando variabilidad con respecto a los valores obtenidos.

De forma global, es decir, comparando la entrada (primario) y salida (diluido), se observa que para todos los casos se presentó incremento de CM. En el caso del tándem B, para los valores de ICM (Gráfica 4, p.p.110), se presentó mayor variabilidad en lo que respecta a la presencia de valores negativos y positivos. Además se observa que la magnitud de los cambios entre puntos, ya sean positivos o negativos, es de mayor magnitud.

Tomando como base las gráficas analizadas anteriormente y unificando sus tendencias se puede interpretar que para los días de muestreo el tándem A presentaba una mayor actividad microbiológica que el tándem B, pero los incrementos de coeficiente microbiológico fueron mayores para el tándem B que para el tándem A. Esto se debe al crecimiento logarítmico de los microorganismos. Por ello el comportamiento de su actividad dentro del tándem tiende a incrementarse con mayor magnitud al iniciar con un CM más bajo que si inicia con un CM mayor. Con base al valor de CM y al signo del ICM se pueden obtener niveles con códigos de color sobre el tipo de medidas que deben tomarse en base a los resultados obtenidos.

En el caso de obtener exceso de variabilidad durante un análisis de tiempo continuo de los puntos crítico se puede realizar una ponderación numérica a cada punto de muestreo en el tándem para cada fecha y así obtener una frecuencia promedio ponderada sobre los puntos críticos y tener una aproximación o una idea general de que puntos han demostrado con mayor frecuencia altos valores de CM.

Debido a que el objetivo principal no era la evaluación en sí de cada tándem, sino que el desarrollo de una metodología para su evaluación, no se realizó una gran cantidad de corridas para cada tándem. Además se debe resaltar que en un par de ocasiones debido a fuerzas externas al estudiante, un tándem suspendía operaciones debido a que había algún problema o debía recibir mantenimiento, por lo que no se podía realizar una corrida de puntos críticos durante ese tiempo. Pero una vez se aplique esta metodología de forma diaria a cada tándem se pueden establecer sus tendencias y obtener con mayor precisión y exactitud qué puntos son críticos en el desarrollo de la actividad microbiológica. De esta forma se puede tener un mejor control microbiológico en el tándem y así justificar decisiones de modificación en el proceso de limpieza de los molinos, de incremento de adición de bactericida o tomar acciones.

En comparación con el megaproyecto precedente (Álvarez; *et al*, 2008), realizado en el Ingenio Santa Ana, se presentaron ciertas dificultades para poder obtener muestras del arrastre de bagacillo y de los tanques de jugo, debido a que las condiciones de toma de muestra no son muy accesibles y son poco seguras. En el caso de los resultados del megaproyecto precedente se obtuvo que prácticamente no existiera mucha diferencia entre sus puntos críticos de los tándemes. En cambio para los tándemes del presente trabajo hubo mayor variabilidad en sus puntos críticos. Esto se puede deber al tipo y calidad de caña que se ingresa a cada tándem, la distribución de los molinos o posibles puntos donde exista mayor acumulación de jugo donde se dan las propiedades óptimas de crecimiento de microorganismos.

Como se ha mencionado durante la metodología de evaluación de bactericidas, el Ingenio utiliza dos tipos de ingredientes activos en dos tipos de bactericidas distintos, uno con el nombre de Labs-SMB y el otro como BETA-Stab. Para el análisis de su efectividad primero se realizó la metodología estática. Esta metodología es a nivel laboratorio. Como se observa en la Gráfica 5 (p.p.111) las diferentes diluciones de bactericida actúan al momento de entrar en contacto con el jugo y tiene cierto efecto hasta después de cierto tiempo de entrar en contacto con él.

Para la concentración “Puro” se obtuvo una alta inhibición de la actividad microbiológica y se mantuvo por debajo de la muestra control durante el tiempo completo de retención de jugo del tándem. Las concentraciones 10-1 y 10-2 tienen un comportamiento y una efectividad similar por los primeros 12 ó 13 minutos luego de este tiempo se separan más las curvas de CM. En el caso de 10-1 la inhibición de la actividad microbiológica dura los primeros 20 minutos, mientras que para 10-2 es efectivo los primeros 15 minutos. En el caso de 10-3 no presentó efectividad alguna sobre la muestra de jugo. La muestra de referencia tenía un $CM = 3.13$.

En la Gráfica 6 (p.p.111) se presenta el comportamiento el coeficiente microbiológico de una muestra de jugo que presentaba un $CM = 3.13$, con respecto a su adición de diferentes concentraciones de bactericida BETA- Stab. En el caso de la concentración “Puro” se presentó una reducción de actividad relativamente alta. Esta inhibición tuvo una duración efectiva de aproximadamente 27-28 minutos. En el caso de las otras concentraciones no hubo efecto alguno sobre la actividad microbiológica de la muestra.

En la Gráfica 7 (p.p.112) se evaluó por segunda vez la efectividad del bactericida SMB con referencia a una muestra control con un $CM = 2.21$. La concentración “puro” presentó una inhibición efectiva por un tiempo aproximado de 22 a 23 minutos después de haberse añadido al jugo. Para el caso de 10-1 la inhibición fue efectiva por aproximadamente 14 minutos después de haberse agregado. En este caso las concentraciones 10-2 y 10-3 tuvieron un comportamiento similar, presentado un tiempo de inhibición de entre 9 a 11 minutos, aunque por el minuto 15 se separan las curvas y el crecimiento de la actividad microbiológica de 10-3 fue mayor que para la 10-2.

De la misma manera se realizó una segunda corrida de evaluación para el bactericida BETA con referencia a una muestra control con $CM = 1.74$, presentada en la Gráfica 8 (p.p.112). Para este caso la muestra de “puro” tuvo poca inhibición y duró aproximadamente unos 7 minutos. Al igual que en la prueba anterior de BETA, las demás concentraciones no presentaron inhibición alguna por debajo de la muestra control.

En la Gráfica 9 (p.p.113) se muestra el comportamiento de la reducción del valor de CM en base a la Gráfica 5 (p.p.111) contra su valor de la muestra control. De igual manera se trabajaron de la Gráfica 10 (p.p.113) hasta la Gráfica 12 (p.p.114), que tienen como base de la Gráfica 6 (p.p.111) a la Gráfica 8 (p.p.112), respectivamente. Con estos resultados se determina que el comportamiento del bactericida se ve afectado por el nivel de actividad microbiológica y por la forma de crecimiento de los microorganismos.

En el caso de tener una muestra con un CM alto se obtiene una mayor reducción del valor de CM y el incremento del coeficiente microbiológico de los microorganismos mostró pendientes menores. Mientras que el caso de las muestras con un CM bajo presentaron una reducción de CM media a baja y el incremento del coeficiente microbiológico presentó una pendiente mucho mayor. Esto se debe a que al aplicar el bactericida en muestras que tienen poca contaminación inicial la inhibición tiene poco efecto ya que los microorganismos están en etapa de rápido crecimiento y por ello se muestra una pendiente mayor en el incremento de CM .

El diseño se basó en la división de las tres fases generales del tándem: entrada, proceso y salida. Como se observa en la figura mencionada se agregaba el bactericida por medio de un goteo

regulado de una bureta para que durara el tiempo de retención establecido. El primer problema que se enfrentó fue el bloqueo de la válvula y la tubería por la presencia de bagacillo y residuos de material sólido que se obtenían en la muestra de jugo. Para enfrentar este problema se procedió a instalar un colador casero en la parte interna del recipiente superior para limitar el tamaño de partículas que entran a la tubería.

El segundo problema que se enfrentó fue la regulación del flujo de salida de un recipiente a otro ya que la tubería era muy grande y la válvula debía abrirse muy poco para obtener el flujo requerido. Por medio de pruebas de nivel de apertura de las válvulas se obtuvo aproximadamente que tan abierto debería estar para lograr dicho flujo. El tercer problema fue la falta de una base adecuada para poder colocar los equipos. Para solucionar este problema se solicitó una base cúbica utilizada en el laboratorio de caña para poder colocar el recipiente medio y la base con la bureta para la adición de bactericida.

Para eliminar estos problemas presentados por el primer diseño se presentó el nuevo diseño. La primera característica que posee este equipo es un mayor volumen de jugo (35 litros) para aumentar el flujo requerido para lograr el tiempo de residencia necesario. Además no se necesita regular el flujo ya que la tubería propuesta de 1/8 de pulgada proporciona un flujo adecuado para lograr el tiempo requerido y la válvula instalada sería de tipo “abierto o cerrado”. De esta forma se reduce el error de la regulación de la válvula. La segunda característica es que posee una armazón que le provee estabilidad y facilidad para su transporte. La tercera característica es que el primer tanque posee una malla de un mesh 30 para asegurarse que las partículas que se filtren sean pequeñas y no bloqueen el flujo del jugo. La última característica es que posee una base para la adición de bactericidas y un agitador automático para mantener constante agitación en el sistema.

Se realizaron dos pruebas a cada bactericida (puro y 10-1) con el equipo dinámico, al mismo tiempo se realizaba un análisis estático para poder compararlos. En la Gráfica 13 (p.p.118) se presenta la comparación de la efectividad del bactericida SMB en cada análisis a la concentración “puro” con respecto a una muestra control con $CM = 3.41$. A los 5 minutos de haberse añadido el bactericida se redujo el valor de CM hasta 2.01 para el análisis dinámico y 2.07 para el análisis estático. Además la muestra se mantuvo bajo el valor del control para ambos tipos de análisis durante los 30 minutos de evaluación. En el caso de la evaluación de la concentración 10-1 (Gráfica 14, p.p.119), hubo menor reducción de CM pero se mantuvo por debajo de la muestra control durante el tiempo de análisis.

En la evaluación dinámica y estática para el bactericida BETA para la concentración “puro” se trabajó con una muestra con $CM = 12.00$. En la Gráfica 15 (p.p.119) se observa que el bactericida tuvo una reducción de 3.89 en el caso del análisis dinámico y 3.67 para el estático. La inhibición para el análisis dinámico fue efectiva hasta un tiempo aproximado de 24 minutos y de 22 minutos para el análisis estático.

En la Gráfica 16 (p.p.120) se aplicó la concentración de 10-1 a una muestra de jugo con $CM = 2.27$. Ninguna de las dos formas de análisis mostró reducción del CM de la muestra de jugo.

7.5.2 Enfoque operativo.

7.5.2.1 Estudio de tiempos y movimientos para la implementación del laboratorio de control microbiológico. El estudio de tiempos es una técnica que se utiliza para determinar el tiempo que se tardara en llevar a cabo una actividad, se toman en cuentas las demoras personales, fatiga y posibles retrasos que se puedan presentar en la actividad. El objetivo de un estudio de tiempos es aumentar la eficiencia de una operación, es decir hacer mas en menos, por lo tanto lograr optimizar la eficiencia de un proceso.

El estudio de movimientos consiste en analizar detalladamente los movimientos realizados en una operación con el objetivo de eliminar los movimientos inefectivos y facilitar la tarea a desarrollar. El estudio de tiempos de manera conjunta con los recorridos para poder optimizar un procedimiento.

Durante las visitas técnicas al ingenio se realizó el procedimiento para análisis de los puntos críticos en los tándems A y B del ingenio Pantaleón con la finalidad de entender y conocer el procedimiento que se lleva a cabo para el análisis de los puntos críticos y así poder determinar de manera correcta el tiempo y la forma que se desarrolla cada una de las distintas actividades de este procedimiento.

La prueba de la resazurina se lleva a cabo como parte del procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem. La prueba de resazurina consiste en medir el contenido bacteriano de una muestra. La resazurina es un colorante azul, que tiende a volverse incoloro cuando se da la reducción del oxígeno. Cuando se le añade resazurina a la muestra de los jugos, la actividad de las bacterias presentes en la muestra tiene el efecto de cambiar la tonalidad de la resazurina a una velocidad proporcional a la cantidad de bacterias presentes en la muestra.

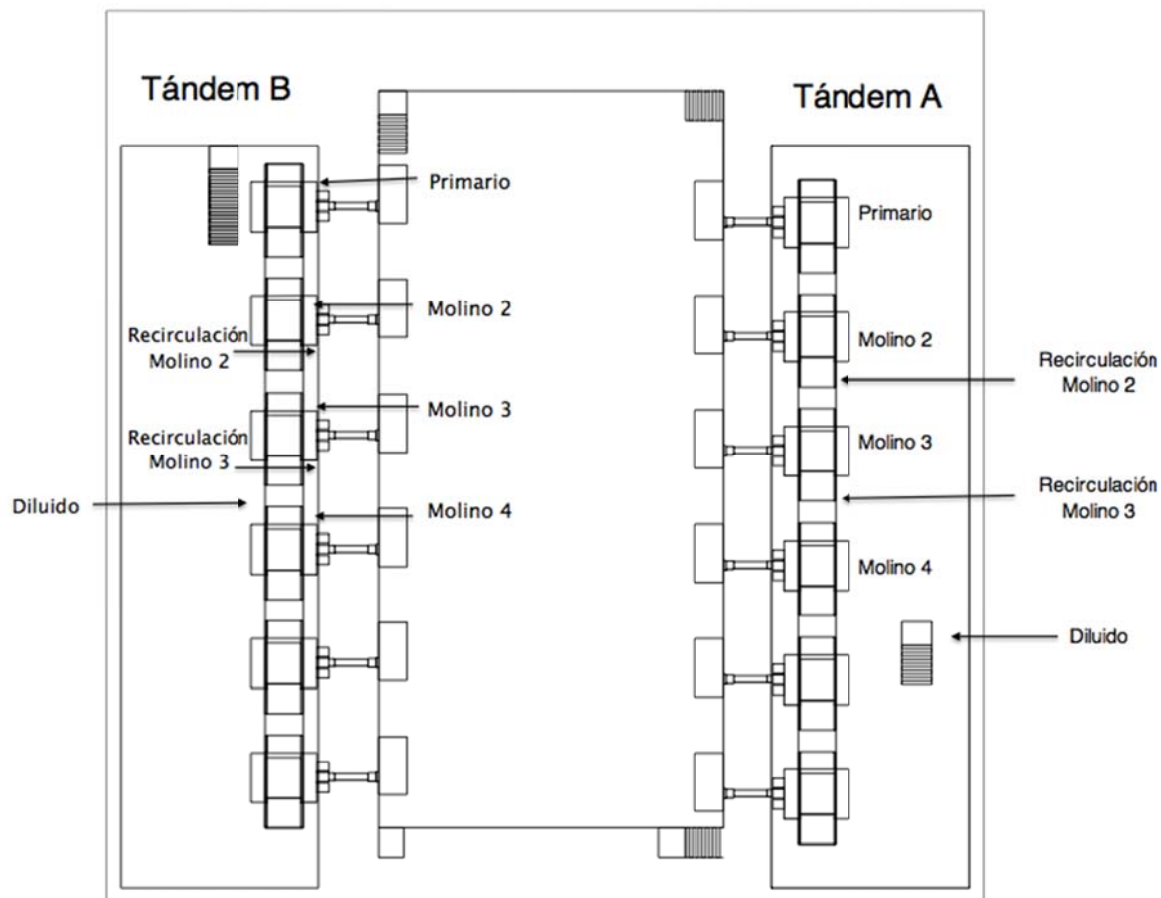
La compilación de los datos para el estudio de tiempos y el diagrama de recorrido se llevó a cabo durante el periodo de zafra 2009 – 2010 en el ingenio Pantaleón.

Se estudió los tándemes A y B del ingenio de manera precisa, para entender de la mejor manera su funcionamiento y el funcionamiento del procedimiento de análisis microbiológico en los puntos críticos de las unidades de molienda. Se le dio énfasis a las unidades individuales de molienda, molinos, a los puntos de muestreo y la forma de hacer el recorrido para la recolección de muestras.

Los puntos de muestreo en los tándemes A y B del área de molinos son los mencionados en la sección de metodología.

La ubicación de los puntos para la recolección de las muestras en los tándemes A y B para el procedimiento de análisis de los puntos críticos es la siguiente:

Ilustración 50 Layout de ubicación de los puntos de muestro en el área de molienda.



7.5.2.2 Situación actual del procedimiento para análisis de los puntos críticos en un tandem.

7.5.2.2.1 *Descripción del procedimiento* El procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tandem inicia en el laboratorio de caña con la preparación de los viales de polipropileno con la solución de resazurina y la preparación del baño de María a 37°C. Tras completar estas actividades el operador se dirige hacia el área de molienda para recolectar la muestra. Las unidades a muestrear y puntos de análisis son los indicados en la sección estudio de tiempos y movimientos para la implementación del laboratorio de control microbiológico.

Para la toma de las muestras en los jugos primarios, molino 2, 3 y 4, recirculación de molino 2 y 3 se siguen los siguientes pasos:

1. Ubicar el área donde será tomada la muestra.
2. Abrir la compuerta que lo contiene.
3. Tomar la herramienta de muestreo.

Se lleva la herramienta de muestreo hacia la caída del jugo, se endulza en dos ocasiones.

Se llena la herramienta de muestreo y se saca la muestra del jugo.

Se endulza en dos ocasiones los recipientes plásticos

Se llena el recipiente plástico y se cierra con la tapa

Para la toma de las muestras en los jugos diluidos de ambos tandemes, se siguen los siguientes pasos:

- Ubicar el área donde será tomada la muestra.
- Abrir la llave de paso para la extracción de la muestra.
- Se coloca el recipiente plástico debajo de la llave de paso y se endulza en dos ocasiones.
- La otra mano permanece en la llave para cerrarla.
- Se llena el recipiente plástico con la muestra y se cierra con la tapa.

Tras recolectar las muestras en los puntos anteriormente descritos se retorna hacia el laboratorio de caña para el análisis de las muestras recolectadas. Las muestras colectadas son vertidas en un colador para eliminar los restos de bagacillo presentes; luego, se vierte en los viales

de polipropileno con la solución de resazurina y se procede al análisis por medio del método de resazurina.

7.5.2.2.2 *Distribución de la planta.* La parte analítica del procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem se lleva a cabo en el laboratorio de caña, ubicado fuera de las instalaciones de procesamiento de la caña de azúcar. El laboratorio se encuentra a una distancia aproximada de 120 metros del área de molinos; es en el laboratorio de caña el lugar donde se lleva a cabo la prueba de la resazurina.

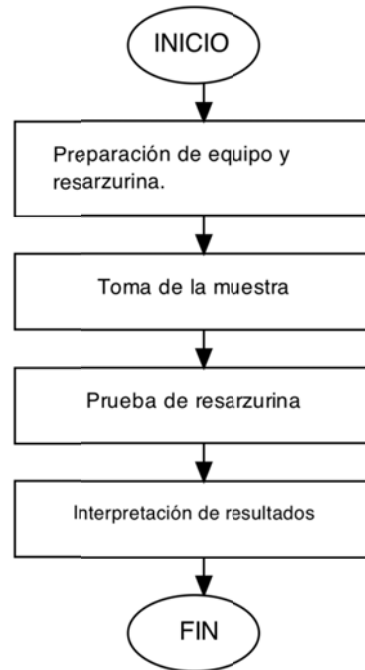
La recolección de muestras en el proceso de análisis de puntos críticos se llevó a cabo en los tándemes A y B del ingenio Pantaleón. Cada uno de los tándemes cuenta con seis unidades de molienda individuales conocidas como molinos. En el primer nivel de los molinos se encuentran los puntos de muestreo de jugo primario y los molinos 1 al 4. Es en estos puntos donde se realizó el muestreo para el tándem A y B. En la *Ilustración 50* se muestra la ubicación de los puntos donde se realiza el muestreo.

En la planta baja se encuentran los platos y canales de los molinos, en estos puntos se realiza el muestreo de la recirculación del jugo del molino 2 y 3. También en este nivel se encuentra la tubería que traslada los jugos diluidos del proceso de molienda. Aquí se encuentra una válvula de paso que permite tomar la muestra de los jugos diluidos para cada uno de los tándemes.

7.5.2.2.3 *Análisis de tiempos actuales.* Para el análisis del procedimiento de análisis de los puntos críticos de un tándem en un ingenio azucarero se utilizó el método de observación para definir la secuencia de pasos a realizar durante la actividad. Para la determinación de los tiempos se realizaron varias tomas de tiempo en el campo de las actividades realizadas para el análisis.

La prueba se dividió en cuatro bloques para facilitar su interpretación. Estas partes son las siguientes:

Ilustración 51 Diagrama de bloques del proceso.



El procedimiento de recolección de muestras para el análisis de puntos críticos se lleva a cabo en el siguiente orden:

- Primario tándem A
- Molino 2 tándem A
- Molino 3 tándem A
- Molino 4 tándem A
- Recirculación molino 3 tándem A
- Recirculación molino 2 tándem A
- Diluido tándem A
- Primario tándem B
- Molino 2 tándem B

- Molino 3 tándem B
- Molino 4 tándem B
- Recirculación molino 3 tándem B
- Recirculación molino 2 tándem B
- Diluido tándem B

El procedimiento de la toma de tiempos de las actividades del procedimiento de análisis de los puntos críticos se realizó empleando el método continuo de toma de tiempos, se empleó este método al tratarse de una operación continua, con actividades en intervalos de tiempo relativamente cortos.

Se tomó el tiempo a las operaciones de la prueba de resarzurina en el Ingenio Pantaleón. Para la toma de tiempos se empleó el método continuo, ya que las operaciones se realizan en intervalos cortos de tiempo.

Al tener detalladas las actividades que se desarrollan dentro del procedimiento de análisis se hizo un diagrama de flujo del procedimiento. Con este diagrama se obtuvo de manera detallada los distintos tipos de actividades que se llevaron a cabo en el procedimiento y el tiempo en que se realizó cada una de estas.

A continuación se presenta un cuadro resumen que contiene el detalle, la duración y distancia aproximada recorrida en los eventos dados del procedimiento de análisis.

Tabla 29 Resumen de actividades desarrolladas en el análisis de puntos críticos en el tándem.

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	24	2316.3	23.5
Transporte	15	547.4	344
Demora	2	1841	0
Inspección	2	1218	1
Almacenamiento	1	61.1	1

	Tiempo		Distancia
Total	Segundos	5983.8	369.5 m.
	Minutos	99.73	
	Horas	1.662166667	

De acuerdo a los tiempos, el tiempo en que se completa el primer análisis es de 99.73 minutos, sin tomar en cuenta el tiempo que dure la reducción de la muestra en la resazurina. El tiempo que se tarda el operador en realizar el procedimiento de recolección de muestras en el tándem es de 22.8 minutos y una distancia aproximada de 369.5 metros.

Con base a la toma de tiempos para el procedimiento de recolección de muestras en los jugos primarios de tándem un promedio de 69 segundos. En los molinos número 2,3 y 4 de los tándemes A y B se toma un tiempo promedio de 56.66 segundos en realizar el procedimiento. La toma de muestras en la recirculación de jugos de los molinos 2 y 3 de los tándemes A y B se lleva un tiempo aproximado de 62 segundos. Para el procedimiento de muestreo de los jugos diluidos de los tándemes A y B se toma un tiempo promedio de 37 segundos; esta diferencia significativa con los otros molinos se debe a que en este punto de muestreo se cuenta con una válvula de paso que permite tomar la muestra de manera más rápida, por lo que no es necesario la utilización de la herramienta metálica para el muestreo.

En las figuras siguientes, ubicadas en la sección de anexos se encuentra el diagrama de recorrido del procedimiento de análisis de los puntos críticos del tándem.

- Ilustración 79 Recorrido de la preparación inicial de la prueba de resazurina en laboratorio de caña. (p.p 274).
- Ilustración 80 Traslado de laboratorio de caña hacia el área de molinos para análisis de puntos críticos. (p.p. 274).
- Ilustración 81 Recorrido de procedimiento de análisis de puntos críticos en tándem. Nivel 1 del ingenio. (p.p. 275).
- Ilustración 82 Recorrido del procedimiento de análisis de puntos críticos en tándem. Nivel 2 del ingenio. (p.p.276).
- Ilustración 83 Recorrido de área de molinos al laboratorio de caña para realizar la prueba de resazurina. (p.p.277).
- Ilustración 84 Diagrama de recorrido dentro del laboratorio de caña para realizar la prueba de resazurina. (p.p.277).

Tras realizar los análisis de los diagramas de recorrido se determino que existen muchos transportes dentro del procedimiento de análisis; los transportes no se pueden eliminar debido a la naturaleza del procedimiento. El procedimiento de análisis debe ser optimizado y la manera de lograrlo es ordenando las actividades y puntos en los cuales se debe realizar el muestreo. Todos los transportes que se dan en el procedimiento son actividades que no le agregan valor a la tarea por lo que es necesaria su optimización.

Se puede observar que los tiempos de las operaciones son muy similares, aunque se presentan muchos transportes durante los procedimientos de análisis, por lo que se debe buscar una forma de optimizar estos, de manera que se logre reducir el tiempo del análisis y así poder permitir a la persona encargada de realizar la tarea poder ejecutar otras tareas en el área de laboratorio de caña o de los tándemes.

7.5.2.3 Situación propuesta del procedimiento para análisis de los puntos críticos en un tándem.

7.5.2.3.1 Descripción del procedimiento. Al iniciar el día / turno se procede a realizar una limpieza de todo los materiales y equipo a utilizar. Tras realizar la limpieza y estar en condiciones básicas de operación se procede a preparar el baño de María a una temperatura de 37°C. Tras esto, se preparan los viales de polipropileno con la solución de resazurina hasta 2/3 de su capacidad. Ya al tener los viales con resazurina preparados y el baño de María preparado, de manera paralela mientras el baño de María llega a la temperatura deseada, se lleva a cabo el proceso de recolección de muestras en el área de molienda. Para el proceso de la prueba de resazurina propuesto se lleva a cabo la recolección de muestras en el siguiente orden:

- Primario tándem A
- Molino 2 tándem A
- Molino 3 tándem A
- Molino 4 tándem A
- Recirculación molino 3 tándem A
- Recirculación molino 2 tándem A
- Diluido tándem A
- Diluido tándem B
- Recirculación molino 3 tándem B
- Recirculación molino 2 tándem B
- Primario tándem B
- Molino 2 tándem B
- Molino 3 tándem B
- Molino 4 tándem B

Tras concluir con la recolección de muestras, se retorna al laboratorio para realizar la incubación de las muestras. El jugo recolectado en los distintos puntos es vertido dentro de los viales que contienen la solución de resazurina y son colocados dentro del baño de María; el momento en el cual son introducidos los viales al baño de María se le conoce como hora inicial de incubación, esta hora es ingresada dentro del formato de cálculo de CM. El valor ingresado servirá para poder determinar el CM de la muestra. Se deberá de estar realizando revisiones de la muestra para observar variaciones de color cada 30 minutos. Cuando la muestra llega a un color relativamente transparente se finalizara la incubación, y se anota el tiempo final de la prueba. Luego, la hora de reducción de la resazurina es ingresada al formato de cálculo de CM y de manera automática se realizan estos cálculos y se despliegan los resultados. El CM de acuerdo a su valor numérico es desplegado y de acuerdo al intervalo que este pertenezca se despliegan los controles visuales.

Para el procedimiento de toma de muestras en los jugos primarios, molino 2, 3 y 4, recirculación de molino 2 y 3, y los jugos diluidos, los pasos a seguir son los mismos de los descritos en la sección de descripción del procedimiento de la situación actual.

El procedimiento de la recolección de muestras se vio alterado en la secuencia que se toman las muestras, esto se debió a la necesidad de reducir los transportes dentro del procedimiento y permitir al operador realizar el recorrido de recolección de muestras del procedimiento de análisis de los puntos críticos en un tiempo menor. Además se eliminaron las demoras realizando otras actividades mientras se esperaba a que éstas sucedieran.

Tabla 30 Cuadro comparativo de los tiempos y recorridos de la situación actual y la propuesta.

	Situación		% Mejora
	Actual	Propuesto	
Tiempo total (segundos)	5983.8	2355.4	61%
Tiempo recolección de muestras	1367.4	1323.5	3%
Tiempo de operaciones (segundos)	2316.3	1842.5	20%
Tiempo de transportes (segundos)	547.4	503.3	8%
Tiempo de demoras (segundos)	1841	0	100%
Tiempo de inspección (segundos)	1218	9.6	99%
Distancia recorrida en transportes (metros)	364	339	7%

7.5.2.3.2 Descripción de las operaciones del procedimiento. Todas las operaciones del proceso de análisis de puntos críticos en el tándem se realizan de manera manual y se utiliza equipo plástico o metálico. Las actividades no requieren habilidad ni conocimientos específicos en la materia.

Para la situación propuesta se cambio la forma de hacer el recorrido por los puntos de muestreo. Los puntos de muestreo fueron los mismos que el método actual.

7.5.2.3.3 Distribución de la planta. La distribución de la planta para el procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem es igual a la descrita en la descripción de la situación actual.

7.5.2.3.4 Materiales y equipo. El ingenio cuenta con la maquinaria y el equipo necesarios para poder optimizar el procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem. La maquinaria y equipo necesarios se describen en la sección de metodología.

Los botes plásticos que se empleaban para contener los jugos al realizar la muestra fueron modificados y se le incorporó una tapadera intermedia que cuenta con un mesh de aproximadamente 0.5mm para lograr filtrar la muestra y eliminar los posibles restos de bagacillo que puedan venir con los jugos. Esta modificación otorgó una mejora de 127 segundos.

7.5.2.3.5 Análisis de tiempos propuestos. Para el análisis del procedimiento de análisis de los puntos críticos de un tándem en un ingenio azucarero se utilizó el método de observación para definir la secuencia de pasos a realizar durante la actividad. Para la determinación de los tiempos se realizaron varias tomas de tiempo en el campo de las actividades hechas para el análisis. Para las propuestas de mejora para la situación propuesta se consideraron los datos e información recabada en la sección Situación actual del procedimiento para análisis de los puntos críticos en un tándem.

El procedimiento de recolección de muestras para el análisis de puntos críticos en el tándem quedó establecido para realizarse de la manera descrita en la sección descripción del procedimiento en esta sección.

El procedimiento de la toma de tiempos de las actividades del procedimiento de análisis de los puntos críticos se realizó empleando el método continuo de toma de tiempos, se empleó este método al tratarse de una operación continua, con para actividades con intervalos cortos.

En la Tabla 68 (p.p.313), ubicada en la sección de anexos se encuentra el detalle de la toma de tiempos de las actividades llevadas a cabo en el procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem azucarero para la situación propuesta.

Al tener detalladas las actividades que se desarrollan dentro del procedimiento de análisis se realizó un diagrama de flujo del procedimiento propuesto. Con este diagrama se obtuvo de manera detallada los distintos tipos de actividades que se llevaron a cabo en el procedimiento y el tiempo en que se realizó cada una de estas.

A continuación se presenta un cuadro resumen que contiene el detalle, la duración y distancia aproximada recorrida en los eventos dados del procedimiento de análisis.

Tabla 31 Resumen de actividades desarrolladas en el análisis de puntos críticos en el tándem.

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	23	1842.5	9
Transporte	15	503.3	339
Demora	0	0	0
Inspección	1	9.6	0
Almacenamiento	0	0	0

	Tiempo		Distancia
	Segundos		
Total	Segundos	2355.4	348
	Minutos	39.2566 6667	
	Horas	0.65427 7778	

El tiempo en que se completa el primer análisis es de 39.25 minutos, sin tomar en cuenta el tiempo que dure la reducción de la muestra en la resazurina. El tiempo de la situación actual era de 99.73 minutos por lo que se obtuvo una mejora de 60.48 minutos, la cual se logró eliminando las demoras y optimizando los transportes de dicha prueba. El tiempo que se tarda el operador en realizar el procedimiento de recolección de muestras en el tándem es de 22.05 minutos y una distancia aproximada de 348 metros.

En la sección de anexos la Ilustración 92 (p.p.287) muestra las actividades que se realizan como parte del procedimiento de análisis, el tipo de actividad/evento que representan, su tiempo de duración y la distancia recorrida aproximada.

Los diagramas de flujo de los procesos de toma de muestra en los distintos molinos se encuentran en la sección de anexos; las figuras son las siguientes:

- Ilustración 85 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en Jugo Primario de tándem A y B. (p.p.278).
- Ilustración 86 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en molino 2 de tándem A y tándem B. (p.p.279).
- Ilustración 87 Diagrama de Flujo de recolección de muestra de molino 3 de tándem A y tándem B (p.p. 280).
- Ilustración 88 Diagrama de Flujo del proceso de recolección de muestra en molino 4 tándem A y B. (p.p. 281).
- Ilustración 89 Diagrama de Flujo recolección de muestra en recirculación molino 3 de tándem A y B. (p. p. 282).
- Ilustración 90 Diagrama de Flujo recolección de muestra en recirculación molino 2 de tándem A y B. (p. p. 283).
- Ilustración 91 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en jugos diluidos de tándem A y B. (p. p. 284).

Con base a la toma de tiempos para el procedimiento de recolección de muestras en los jugos primarios de tarda un promedio de 69 segundos. Este tiempo es el mismo que en la situación actual pero se eliminaron actividades en el proceso de laboratorio que ahora son realizadas dentro de los procesos; esto se logro a la implementación de un recipiente plástico con un colador integrado, con lo cual el filtrado de la muestra se realizaba en el sitio y no esperar a llegar al laboratorio.

En las figuras siguientes, ubicadas en la sección de anexos se encuentra el nuevo diagrama de recorrido del procedimiento de análisis de los puntos críticos del tándem.

- Ilustración 93 Recorrido de preparación de prueba de resazurina en laboratorio de caña para la situación. (p.p. 287).
- Ilustración 94 Traslado de laboratorio al área de molinos para puntos críticos en tándem para la situación. (p.p. 288).
- Ilustración 95 Recorrido de análisis de puntos críticos en tándem para la situación. (p.p. 289).
- Ilustración 96 Recorrido de análisis de puntos críticos en tándem para la situación. Nivel 2 del ingenio. (p.p. 290).
- Ilustración 97 Recorrido de área de molinos a laboratorio para realizar prueba de resazurina para la situación. (p.p. 291).
- Ilustración 98 Recorrido dentro de laboratorio para realizar la prueba de resazurina para la situación, (p.p. 291).

El procedimiento de cálculo del coeficiente microbiológico se optimizó al punto de requerir al usuario que ingrese la hora inicial de incubación y la hora final en la cual se da el viraje de la resazurina.

En la sección de anexos se encuentra el formato actualmente utilizado para los cálculos del CM. Ver: Tabla 29 Formato propuesto para el ingreso de datos para el cálculo del coeficiente microbiológico.

El formato propuesto para el cálculo del CM, con controles visuales dependiendo del valor obtenido, despliega automáticamente el color de la valoración dependiendo del resultado obtenido.

7.5.2.4 Conclusiones y recomendaciones parciales. Se realizó el estudio de tiempos y el recorrido del procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem y se obtuvieron las siguientes mejoras:

Tabla 32 Cuadro comparativo de los tiempos y recorridos de la situación actual y la propuesta.

	Situación		% Mejora
	Actual	Propuesto	
Tiempo total (segundos)	5983.8	2355.4	61%
Tiempo recolección de muestras	1367.4	1323.5	3%
Tiempo de operaciones (segundos)	2316.3	1842.5	20%
Tiempo de transportes (segundos)	547.4	503.3	8%
Tiempo de demoras (segundos)	1841	0	100%
Tiempo de inspección (segundos)	1218	9.6	99%
Distancia recorrida en transportes (metros)	364	339	7%

Se optimizó el proceso de cálculo del coeficiente microbiológico implementado un nuevo formato de Excel con el cual únicamente se le pide al usuario que ingrese la hora en la cual inicia la incubación y la hora en la cual se da el viraje de la resazurina. Este nuevo formato despliega de forma automática, dependiendo de la valoración del CM, el control visual pertinente.

Se recomiendo realizar un análisis de viabilidad para la implementación de un laboratorio satélite en el área de tándemes o continuar haciéndolo en el laboratorio de caña.

Con las mejoras realizadas en el proceso se observa que el tiempo que a operador le refiere realizar un corrida para recolectar muestras en los puntos críticos de los tándemes es de 22 minutos; por esta mejora se observa que en los intervalos de una hora el operador tendrá libre un tiempo mayor a 30 minutos por lo que se recomienda realizar conjuntamente en el análisis de

viabilidad de implementar el laboratorio satélite, la oportunidad de que el encargado de el procedimiento de análisis de los puntos críticos en los molinos pueda realizar otras tareas.

Se recomienda analizar que el encargado del procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem pueda ser el encargado de aplicar los bactericidas en el área de tándemes como respuesta operativa cuando una muestra salga con un alto coeficiente microbiológico.

7.5.3 Desarrollar un esbozo del manual para la implementación del procedimiento para análisis de los puntos críticos en un tándem. Utilizando los resultados obtenidos en la sección de estudio de tiempos y movimientos para la implementación del laboratorio de control microbiológico se procede a realizar un esbozo del manual para implementar el procedimiento para el análisis de los puntos críticos en un tándem azucarero.

Por medio del estudio de tiempos y diagramas de recorrido realizado se optimizo el procedimiento a seguir para realizar la prueba, los tiempos y movimientos que esta involucraba fueron simplificados, y con el desarrollo del manual implementación se pretende estandarizar las actividades involucradas en el procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem de un ingenio azucarero. Tras optimizar el procedimiento de análisis de los puntos críticos en un tándem, el siguiente punto es estandarizarlo.

El presente manual será utilizado como medio de entrenamiento para la persona que tenga a su cargo la realización del procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem. Además, con establecer un manual estándar para el desarrollo de esta actividad se busca otorgarle un grado de confianza a las actividades que se desarrollen en este.

El esbozo del manual para el procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem se encuentra en la sección de anexos. (Ilustración 99, p.p.293).

Para la elaboración de este manual se utilizaron las siguientes figuras:

- Ilustración 92 Diagrama de Flujo para metodología propuesta para análisis de puntos críticos en tándem. (p.p. 286)
- Ilustración 79 Recorrido de la preparación inicial de la prueba de resazurina en laboratorio de caña. (p.p 274).
- Ilustración 80 Traslado de laboratorio de caña hacia el área de molinos para análisis de puntos críticos. (p.p. 274).
- Ilustración 81 Recorrido de procedimiento de análisis de puntos críticos en tándem. Nivel 1 del ingenio. (p.p. 275).
- Ilustración 82 Recorrido del procedimiento de análisis de puntos críticos en tándem. Nivel 2 del ingenio. (p.p.276).
- Ilustración 83 Recorrido de área de molinos al laboratorio de caña para realizar la prueba de resazurina. (p.p.277).
- Ilustración 84 Diagrama de recorrido dentro del laboratorio de caña para realizar la prueba de resazurina. (p.p.277).

El esbozo del manual para el procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem se desarrolló con la finalidad de diseñar e implementar un proceso de trabajo, que sea estable, que pueda ser reproducido y otorgar estabilidad al proceso de análisis. Fue diseñado para poder ser usado por cualquier persona.

Por medio de la estandarización del trabajo se pretende crear destrezas en las personas encargadas de realizar la tarea.

Para facilitar la realización de manera estándar se recomienda implementar controles visuales en los puntos de muestreo.

Para que el manual pueda cumplir su objetivo es necesario desarrollar un plan de capacitación a las personas encargadas de realizar la tarea, verificar que al momento de realizar la tarea cumplan con los procedimientos descritos en el esbozo del manual.

Es de suma importancia realizar entrenamientos adecuados para reforzar en las personas la manera correcta de realizar las tareas y en un futuro evitar tener problemas porque los operadores no conocen, no saben o no pueden realizar los procedimientos.

7.5.4 Desarrollar un esbozo del manual de procesos estándar para la sanitización de los molinos de un tándem de un ingenio azucarero. El presente manual será utilizado como medio de entrenamiento para la persona que tenga a su cargo la realización del proceso de limpieza de los molinos en el tándem. Además, con establecer un manual estándar para el desarrollo de esta actividad se busca otorgarle un grado de confianza a las actividades que se desarrollen en este.

El esbozo del manual para el procedimiento se encuentra en la sección de anexos. (Ilustración 111, p.p. 306)

Para la elaboración de este manual se utilizaron las siguientes figuras:

- Ilustración 107 Capacitación para el proceso de la asepsia de los molinos.(p.p. 301)
- Ilustración 105 Front – End Analysis realizado para evaluar la tarea de la limpieza de molinos. (p.p. 300).
- Ilustración 108 Examen para la capacitación de la asepsia de los molinos. (p.p. 303).
- Ilustración 58 Desperdicio de agua y peligro latente de quemaduras. (p.p. 196).
- Ilustración 52 Estado del EPP utilizado y la falta de EPP. (p.p. 189).

- Ilustración 109 Requerimientos para barandales y rodapiés. (p.p. 304).

El esbozo del manual para el procedimiento se desarrollo con la finalidad de diseñar e implementar un proceso de trabajo, que sea estable, que pueda ser reproducido y otorgar estabilidad al proceso de análisis. Fue diseñado para poder ser usado por cualquier persona.

Por medio de la estandarización del trabajo se pretende crear destrezas en las personas encargadas de realizar la tarea.

Para facilitar la realización de manera estándar se recomienda implementar controles visuales en los puntos de muestreo.

Para que el manual pueda cumplir su objetivo es necesario desarrollar un plan de capacitación a las personas encargadas de realizar la tarea, verificar que al momento de realizar la tarea cumplan con los procedimientos descritos en el esbozo del manual.

Es de suma importancia hacer entrenamientos adecuados para reforzar en las personas la manera correcta de realizar las tareas y en un futuro evitar tener problemas porque los operadores no conocen, no saben o no pueden llevar a cabo los procedimientos.

7.5.5 Plantear propuestas de seguridad industrial para las distintas actividades llevadas a cabo en el proceso de la asepsia. La actividad de la asepsia de los molinos es una actividad crítica en el proceso de producción de azúcar, ya que de no realizarse de manera correcta se tiende a la aparición de la bacteria del *Leuconostoc Mesenteroides*, que transforma la sacarosa en glucosa, por lo que los niveles de producción de azúcar disminuyen.

Durante las visitas técnicas al ingenio Pantaleón se realizó un proceso de observación de la forma como se llevaba a cabo la asepsia, en esto pude observar que el procedimiento no se realizaba de manera segura.

Al observar que el procedimiento no se llevaba a cabo de manera segura, se procedió a realizar entrevistas y una encuesta. En la encuesta hecha a los encargados de la asepsia (La encuesta y sus resultados se encuentra en la sección de anexos bajo el siguiente título: Ilustración 105, p.p.299 Encuesta para medir nivel de entrenamiento, conocimiento y seguridad en el proceso de asepsia y resultados obtenidos.) se les preguntó si se sentían seguros realizando la tarea y el 100% de los encuestados respondió que no se sentían seguros con realizar la tarea; esta respuesta permitió denotar que existe un punto de mejora en lo que respecta a seguridad para esta tarea.

Se procedió a realizar un recorrido conjuntamente con una de las personas encargadas de la asepsia de los molinos para poder identificar condiciones inseguras que representan un alto riesgo para su integridad.

Se identificaron cuatro condiciones inseguras que se debían atacar. Las condiciones inseguras identificadas fueron las siguientes.

- Equipo de protección personal deficiente.
- Falta de barandas en las orillas de los molinos y sus respectivos rodapiés
- Mal diseño de las barandas del segundo piso del molino
- Mal diseño de los rodapiés en el segundo piso.

El equipo de protección personal que utilizan los operadores se debe de mejorar. Ellos utilizan unas mangas, guantes y gabacha de cuero, las cuales al mojarse no evitan el traspaso de calor hacia las manos del encargado de realizar la asepsia de los molinos; cuando se mojan las mangas, gabacha y guantes de cuero estos emanan mal olor y son una fuente de contaminación. Los encargados de realizar esta tarea comentaron que cuando el guante está mojado y lo utilizan se fomenta el apareamiento de hongos en las manos, por lo que optan por no utilizarlo. Para poder

atacar este problema se recomienda utilizar guantes plásticos de manga larga resistentes a las altas temperaturas, ya que utilizar estos guantes evita el contacto del agua caliente con la piel y al ser impermeables no habrá problemas con brotes de hongos en las manos que era ocasionado por utilizar guantes de cuero mojados. Se recomienda utilizar careta de cara completa para realizar la asepsia de los molinos, ya que los encargados de realizar esta tarea son susceptibles a salpicaduras de agua a altas temperaturas y restos de bagacillo.

Ilustración 52 Estado del EPP utilizado y la falta de EPP.



Ilustración 53 Estado del EPP utilizado y la falta de EPP.



Se recomienda no utilizar ningún equipo de protección contra el agua caliente que sea de cuero, sino que materiales plásticos o sintéticos resistentes a altas temperaturas.

Durante el recorrido, en el proceso de limpieza de las mazas de los molinos se observó que el encargado de la limpieza debe de pararse a un costado del canal de jugos en el Molino. El piso en

esta área por encontrarse a un costado de los molinos se encuentra siempre mojado y resbaloso. Existe un alto riesgo que se pueda dar un accidente debido a que un operario pueda resbalar y caer dentro de los molinos. Se recomienda la instalación de equipo de protección y prevención de caídas; con la instalación de barandas con su respectiva rodapié y colocación de piso de grilla de corregirá esta condición insegura. Es necesario poder atacarla de manera inmediata, ya que se puede dar un accidente y que por no realizarla pueda perder la vida. Las especificaciones de las barandas y rodapié para este sistema se encuentran descritas en la Ilustración 109, p.p.304.

Ilustración 54 Imagen del operador a un costado del molino.



En la imagen anterior se observa al encargado de realizar la tarea de la asepsia de los molinos a un costado del canal de los molinos, donde podría resbalar y caer dentro del molino.

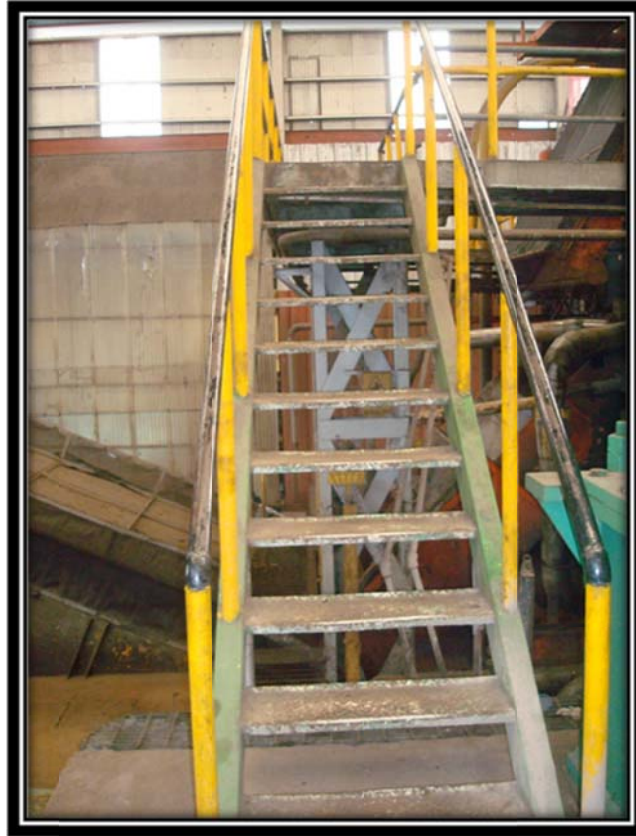
Ilustración 55 Diseño incorrecto de barandas del segundo piso y escaleras, falta de rodapié.



Ilustración 56 Rodapié muy bajo en las escaleras que conducen al segundo nivel.



Ilustración 57 Rodapié muy bajo en las escaleras que conducen al segundo nivel.



7.5.5.1 Evaluación de los conocimientos de los encargados de la limpieza del tándem para realizar sus labores. Empleando la herramienta de Front-End Analysis y el método de encuestas se realizó una evaluación sobre los conocimientos y las necesidades de entrenamiento de los encargados de realizar el proceso de limpieza en el tándem.

Es de suma importancia para cualquier actividad de un proceso productivo que sea realizada de manera consistente, que pueda otorgar certeza a un proceso, que pueda llevarse a cabo por todos y sobre todo, que sea implementada sin poner en riesgo al individuo.

El Front – End Analysis es una herramienta que se emplea para evaluar los niveles de conocimiento y aptitudes de las personas en una actividad y la manera en que estos la realizan. En la sección de anexos en la Ilustración 106, “Front – End Analysis realizado para evaluar la tarea de la limpieza de los molinos” se encuentra el análisis hecho para la tarea de limpieza de los

molinos. De esta herramienta se identificaron ciertas deficiencias como lo son la falta de estandarización y la falta de entrenamiento en los operadores.

Se recomienda actualizar los procedimientos para la tarea de limpieza de los molinos y además revisar los métodos de entrenamiento y capacitación existentes para realizar esta tarea.

En las visitas técnicas al ingenio Pantaleón se observó que no existía un estándar de la manera en que se realiza la tarea de limpieza y sanitización. Es por esto que se procedió a llevar a cabo una encuesta a un grupo de operadores encargados del proceso de la asepsia.

La encuesta consistió en tres preguntas a cinco (5) operadores encargados del proceso de la asepsia. En el ingenio de tienen tres turnos de trabajo; en cada equipo hay tres personas encargadas de llevar a cabo la asepsia de los molinos; en total hay nueve (9) personas que participan en la limpieza del tándem.

La encuesta y sus resultados se encuentra en la sección de anexos bajo el siguiente título: Ilustración 105 Encuesta nivel de entrenamiento, conocimiento y seguridad en asepsia y resultados., p.p. 299.

La encuesta arrojó resultados críticos. En la primera pregunta, el 80% de los encuestados respondió que no ha recibido ningún tipo de entrenamiento sobre la manera correcta de hacer esta tarea. Para la segunda pregunta, ¿Cómo aprendió a realizar usted esta tarea (asepsia)? Un 20% respondió que fue por medio de los entrenamientos, un 20% aprendió observando a un compañero y el restante 60% aprendió a llevar a cabo la tarea porque un compañero le enseñó.

Por medio de los resultados y del Front-End analysis se puede observar que por parte del ingenio hay una deficiencia a nivel de educación y entrenamiento sobre sus procesos en los empleados.

Se recomienda desarrollar un sistema de capacitación a los operarios para una actividad crítica como lo es la asepsia de los molinos. La asepsia de los molinos es una actividad importante, ya que de no realizarse de manera correcta, se favorece al desarrollo de la bacteria *Leuconostoc Mesenteroides*; también, se pone en riesgo la integridad de las personas encargadas de hacer esta tarea y de las demás personas que laboran dentro del ingenio.

En toda tarea o actividad que se desarrolle, lo primero en que se debe enfocar es en la seguridad de las personas por lo que es alarmante que en la tercera pregunta: ¿Se siente usted seguro realizando esta tarea? Se obtuvo como respuesta del 100% de encuestados un No, lo cual muestra deficiencias ya sean de diseño o de entrenamiento.

7.5.5.2 Plantear una propuesta preliminar para la capacitación de los operarios encargados del proceso de asepsia de los molinos. Toda organización que desea trascender debe estar comprometida en su totalidad con todos los empleados de ésta, velar por su seguridad y poder otorgarles facilidades para poder llevar a cabo sus tareas productivas. Dentro de esto cabe la necesidad de educación y entrenamiento para asegurarse que toda actividad que sea hecha con seguridad y calidad. Tener actividades estándares dentro de los procesos productivos otorgara a la compañía un nivel de confianza y certeza en los procedimientos que se realizan.

Para poder alcanzar altos estándares operacionales, primero es necesario estandarizar el procedimiento de la asepsia, velando porque todas las actividades que esta involucre se encuentren detalladas dentro del manual.

Para poder lograr que los encargados de llevar a cabo la tarea de la asepsia de los molinos realicen la tarea de una manera consistente y estandarizada se debe contar con procedimientos estándar, que estén actualizados y sobre todo que ellos tengan acceso a capacitaciones para reforzar en ellos el desarrollo de esta tarea.

Se recomienda crear una matriz de entrenamientos para el rol de encargado de la asepsia de los molinos, en la cual se incluyan entrenamientos de seguridad, calidad, procedimiento estándar de la asepsia de los molinos y otros entrenamientos que permitan desarrollar empleados comprometidos

con sus tareas, el negocio y sobre todo en seguridad. Se debe implementar un sistema de capacitación de entrenamiento de sala y herramientas audiovisuales combinado con capacitación de instrucción directa sobre la tarea a desarrollar.

Con el sistema de capacitación por medio de entrenamiento en sala y herramientas audiovisuales se pretende lograr que al impartir el entrenamiento se tenga un conocimiento de la actividad, los objetivos que se pretenden, por qué se lleva a cabo la actividad y adquirir la base teórica de los procedimientos.

La capacitación de instrucción directa para la tarea de limpieza de los molinos, acompañada de la base teórica obtenida en el entrenamiento de sala, pretende lograr por medio de una interacción.

Se desarrollo un manual de capacitación para el proceso de la asepsia de los molinos, con el cual se busca establecer una forma estándar de realizar la tarea. En la sección de anexos, Ilustración 108, p.p.301. Se encuentra el entrenamiento.

Antes de que el encargado de hacer la asepsia de los molinos pueda realizar la tarea de manera individual debe de completar el examen adjunto en la Ilustración 108, p.p. 303. Ubicado en la sección de anexos. Para determinar si pasa o no el examen, deberá de obtener una nota igual o superior al 80%.

Se recomienda implementar el proceso de capacitación y revisión de conocimientos antes del inicio de cada zafra, de manera que puedan tener fresco y claro que es lo que se espera de ellos y la manera como lo deben llevar a cabo.

Se observó que la mayoría de personas encargadas de esta tarea no eran conscientes de los peligros de esta actividad ni de la utilización correcta del agua caliente. En la foto siguiente se puede mostrar un ejemplo de esto:

Ilustración 58 Desperdicio de agua y peligro latente de quemaduras.



7.6 Tratamiento y recuperación.

7.6.1 Procedimiento preliminar para medir el nivel de elongación del cristal. El objetivo de la evaluación de métodos para medir el nivel de elongación de los cristales es establecer un procedimiento con resultados cuantitativos de la eficiencia del proceso de cristalización. Estos resultados pretenden compararse y relacionarse con los niveles de dextrana en las masas cocidas, y, posteriormente hacer evaluaciones de los efectos de la actividad microbiana en el proceso.

La primera técnica utilizada (muestras esparcidas sobre los portaobjetos directamente) presentó varias dificultades en cuanto a la dispersión de los cristales en el portaobjetos. Debido a que las masas cocidas, tienen presencia de mieles, era difícil separar del todo los cristales, por lo que en algunos casos la imagen en el microscopio no era del todo clara. Había campos en los que se notaban aglomeraciones de cristales, impidiendo que pudiera hacerse el análisis de manera adecuada, por lo que fue imposible distinguir la cantidad de cristales y mucho menos medir el ancho y largo de los mismos. La mayor dificultad se presentó para las masas A y B, que por tener cristales de mayor tamaño, presentaban alta dificultad de dispersión y mayor reproducción de masa. La técnica puede utilizarse para estimaciones preliminares, pero no se recomienda para

resultados puntuales y mesurables, ya que presenta muchas dificultades y puede no ser práctica para utilizarse en fábrica, con el objetivo de obtener resultados inmediatos.

Por otro lado, en la segunda técnica presentada en la metodología se probaron diferentes formas de dispersar los cristales, para poder llevar a cabo mediciones más puntuales. En este caso, el microscopio utilizado era electrónico, por lo que se esperaba que los resultados fueran mejores. Para esta técnica, solamente se trabajó con muestras de masa cocida A, dado que son las más difíciles de manipular. No se realizaron mediciones a todas las muestras, si no que solamente se hicieron pruebas para evaluar la efectividad de la técnica. Después de la preparación de las tres muestras, como se mencionó en la metodología, se pudo determinar que la mejor forma de preparar las muestras de masas cocidas de templa A es utilizando alcohol etílico para dispersar los cristales. Esto porque fue el componente que logró separar más los cristales y con el que se facilitó más el análisis. Sin embargo, se recomienda que en futuras investigaciones se elaboren pruebas con otros componentes, ya que aunque el alcohol etílico resultó un tanto efectivo, no logra dispersar 100% los cristales, habiendo presencia de un pequeño error. Es importante mencionar también, que para esta técnica no se ha logrado obtener el SOP óptimo para el análisis de los cristales, ya que se presentaron diversos problemas, entre ellos que el microscopio no es capaz de identificar los cristales de forma individual, cuando ellos se encuentran aglomerados o juntos; de ahí la necesidad de un dispersante. Por lo tanto, es necesario hacer más pruebas que permitan optimizar la técnica y evaluar otros disolventes para encontrar el que sea efectivo en la separación completa de los cristales.

A pesar de los problemas y dificultades presentados con las técnicas, se logró establecer un análisis inicial para la medición del coeficiente de elongación de los cristales de azúcar. Esto consiste en medir el largo y el ancho de los cristales. A partir de esto, se debe realizar una división del ancho entre el largo. El resultado será un número menor a 1. Así, mientras el valor se acerque más a la unidad, se puede establecer que la cristalización está siendo efectiva y que se están cumpliendo los requisitos de configuración del grano. Sin embargo, mientras el valor se asemeje más a cero, la tendencia del grano es a ser alargado, indicando deficiencias en la cristalización y denunciando la alta posibilidad de pérdidas de cristales en el momento de la centrifugación. Lo que claramente se traduce a pérdidas de producto y, por lo tanto, dando lugar a desventajas económicas. Pareciera ser que estas primeras aproximaciones para medir el nivel de elongación de los cristales resulta ser efectiva y podría ser un indicador bastante real de la eficiencia del proceso de cristalización. Es recomendable, por lo tanto, que en el siguiente periodo de zafra, se realicen semanalmente estudios para la medición de este indicador, sentando las bases para el

establecimiento del método en la industria azucarera. Además, se incita a investigaciones futuras poder crear o establecer rangos en los que se pueda situar el coeficiente de elongación del cristal y que brinde una idea del estado o calidad del mismo.

Aunque son notables estos resultados, no es posible concluir algo específico sobre la calidad de los cristales hasta que no se haya establecido niveles certeros sobre los coeficientes de elongación. Lo que sí se puede afirmar es que los coeficientes de elongación para la mayoría de cristales oscilan en un rango bastante amplio, lo que da la pauta de una gran diferencia de tamaños entre los mismos.

Al observar si existe alguna dependencia entre cantidades de cristales alargados de una masa a otra e identificar las pérdidas que se van teniendo entre cada templa, y sobre todo, evaluar si entre una y otra aumenta o disminuye la cantidad de granos malformados se concluye en estas muestras, que no existe una tendencia puntual que pueda mencionarse sobre la relación entre los tres tipos de masas. En algunos casos, pareciera que la cantidad de cristales malos va aumentando al pasar de la masa A hacia la masa C. Sin embargo, en otros casos pareciera que la masa B es la que tiene la peor calidad de granos durante el día. Por lo tanto, en esta evaluación no es posible establecer una conclusión certera sobre la relación de la cantidad de cristales alargados y los tipos de templeas. Se recomienda que durante el siguiente periodo de zafra, se realice un muestreo semanal que permita observar por más tiempo una tendencia que pueda ser de valiosa aportación.

Otra observación indica que el comportamiento del coeficiente de elongación se mantuvo de alguna manera constante en el mismo día. Sin embargo, no puede afirmarse que el valor del coeficiente de elongación aumenta o disminuye al pasar de una templa a la otra, ya que en algunos casos resulta ser mayor para la masa cocida B y en otros casos para la masa cocida C. Esto podría brindar resultados globales, si se llegaran a proyectar todas las semanas de la zafra, en relación con el coeficiente. Además, permitiría observar la variación que se va dando en la calidad de los cristales a medida que avanza la producción. Por lo tanto, se sugiere lo mismo del párrafo anterior, ya que este análisis pareciera brindar información interesante, que puede relacionarse estrechamente con los indicadores del primer inciso de esta sección.

8. CONCLUSIONES

8.1 Materia prima.

1. Se realizó un monitoreo experimental durante varias semanas en conjunto con los operarios del laboratorio de caña del ingenio donde se probó la viabilidad de realizar el monitoreo de caña dentro del propio esquema de dicho laboratorio; y sirvió de base para establecer los lineamientos del control en ese segmento
2. Se ajustó los valores de evaluación de la calidad de la caña determinándose que en el período analizado un 28 y 23% respectivamente estuvo en la categoría de buena y aceptable, mientras que el 26%, 15% y 7% estuvo en ese orden, en los rangos malo, crítico y muy crítico.
3. En un estudio paralelo el tándem donde aparece mayor actividad microbiológica en jugo primario (y también en el diluido) es por donde se incorpora más frecuentemente la caña del patio y además por donde se muele toda la caña procedente de la cosecha mecanizada, lo que parece confirmar que la caña es el principal factor incidente en este aspecto.
4. Se caracterizó la operación del área del patio donde se encontró un manejo favorable al deterioro microbiológico; la descripción resultante puede ser útil para el control de la actividad microbiológica y toma de decisiones técnico-operativas. Un muestreo muy puntual no fue convincente y no reflejó esta realidad.
5. El estudio de los tiempos entre muestreo y obtención de resultados por una parte y de muestreo y entrada al tándem de la misma caña, así como la posibilidad de emitir un resultado presuntivo del resultado en períodos relativamente cortos podría originar un lazo operativo para actuar con rapidez sobre los jugos del tándem, cuando entra caña clasificada como mala o crítica, si se toman ciertas medidas en el procedimiento del análisis

6. Se elaboró un manual de procedimientos para la implementación del monitoreo sistemático de la caña para análisis microbiológico, con el objetivo que sea utilizado en la próxima zafra.

8.2 Tándem.

8.2.1 Enfoque analítico.

7. Se desarrolló, implementó y comprobó que las metodologías propuestas proveen resultados que permiten establecer una forma alterna de control de cada tándem y de la efectividad de los bactericidas.
8. Con respecto a las muestras realizadas, se determinó que para el tándem A los puntos de mayor coeficiente microbiológico son la recirculación al molino 3 y el jugo diluido.
9. Con respecto a las muestras realizadas, se determinó que para el tándem B los puntos de mayor coeficiente microbiológico son jugo primario y el jugo diluido.
10. En base a las pruebas realizadas, se determinó que el bactericida SMB con una concentración de 10-3 no posee efectividad alguna sobre el coeficiente microbiológico.
11. En base a las pruebas realizadas, se determinó que el bactericida BETA con la concentración “puro” es la única que posee efectividad alguna sobre un coeficiente microbiológico de alto valor.
12. El bactericida BETA es el menos efectivo de los dos bactericidas utilizados en el ingenio.
13. El volumen de 10 litros para el equipo preliminar fue muy pequeño y complica la regulación del flujo para obtener el tiempo de retención requerido.

14. La comparación entre los resultados obtenidos entre las corridas de análisis estático y dinámico muestra que no existe una gran variación entre ellos.

8.2.2 Enfoque operativo.

15. Por medio de la optimización de procesos de análisis de los puntos críticos en el tándem se obtuvo en total una mejora del 61%.
16. Se desarrolló el esbozo del manual para la implementación de procedimiento de análisis de los puntos críticos del área de molida y el esbozo del manual de procesos estándar para el área de molinos.
17. Se determinó que el nivel de conocimientos de los operadores encargados de realizar la limpieza de los molinos muestra una deficiencia en los niveles de entrenamiento y que existe temor al estar realizando esta Tarea.
18. Se plantearon recomendaciones para afrontar las condiciones inseguras encontradas en el procedimiento de limpieza de los molinos sean resueltas.
19. Se planteó una propuesta preliminar para la capacitación de los operarios encargados de realizar la limpieza de los tándemes. Con el desarrollo del esbozo del manual para la limpieza de los molinos y las capacitaciones se abordara los problemas en educación y entrenamiento de la tarea que ellos desarrollan.

8.3 Tratamiento y recuperación.

20. Los indicadores establecidos en el presente documento pueden utilizarse en conjunto para evaluar el impacto de la actividad microbiana en el proceso de fabricación del azúcar, y así brindar resultados mesurables que permitan cuantificar pérdidas.

21. El modelo de simulación del área de evaporación para medir niveles de incrustación, utilizando un beaker, no resultó efectiva, ya que el jugo tendió a caramelizarse.
22. Se obtuvo resultados para la futura implementación del Coeficiente de Elongación de Cristales. La mayoría de cristales de 10 muestras de masa cocida C presentan coeficientes de elongación que oscilan entre los valores de 0.2 y 0.8, en los cuales se obtuvieron las mayores proporciones.

9.RECOMENDACIONES

9.1 Materia prima.

1. Realizar un estudio en donde se analice y determine experimentalmente el tiempo óptimo entre quema y corte. Recreando las condiciones en las que la caña queda depositada luego de ser cortada y aplicar las pruebas analíticas ya establecidas anteriormente (prueba de resazurina, fermentación espontánea, acidez/pH, capacidad buffer y porcentaje de gomas). Las pruebas se aplicarán con intervalos de tiempo de 24, 48 y 60 horas respectivamente.
2. Investigar y crear un mecanismo eficaz de incorporación de la caña de patio al tándem. En donde la caña volteada al patio se vaya almacenando según el tiempo de corte. Esto con el fin de evitar que la caña de patio con mayor tiempo de exposición sea incorporada al proceso.
3. Explorar variables que reduzcan el tiempo de obtención del resultado analítico del análisis de actividad microbiológica; como la reducción del tiempo de toma de muestra y la utilización de los primeros virajes de las muestras como posible indicador del resultado.
4. Usar el Manual de Procedimientos para la implementación del sistema microbiológico en Laboratorio de Caña del Ingenio Pantaleón, y como referencia y guía para futuras fases del proyecto.

9.2 Tándem.

9.2.1 Enfoque analítico.

5. Gestionar con el ingenio la posibilidad de modificar o facilitar la toma de muestras para el arrastre de bagacillo y los tanques, para poder expandir el alcance de la evaluación de puntos críticos.

6. Establecer el sistema de muestreo diario para la evaluación de puntos críticos con la finalidad de determinar tendencias de los puntos críticos y de esta forma modificar y mejorar la limpieza y control microbiológico de los tándemes del ingenio.
7. Cambiar el bactericida BETA ya que no presenta efectividad alguna y el seguir utilizándolo solo implica un gasto innecesario.
8. Gestionar la posibilidad de construir dos equipos con la finalidad de acelerar el proceso de evaluación de bactericidas de forma dinámica.
9. Utilizar la metodología de evaluación de bactericidas de modo estático y dinámico para comprobar la efectividad de un bactericida antes de comprarlos y utilizarlos en los tándemes.
10. Aplicar la metodología de evaluación de bactericidas de modo estático y dinámico cada dos a cuatro días para justificar en qué momento es necesario realizar el cambio entre bactericidas.

9.2.2 Enfoque operativo.

11. Se recomienda realizar un análisis de viabilidad para la implementación de un laboratorio de puntos críticos en el área de tándemes o continuar haciéndolo en el laboratorio de caña. Considerando la opción de otorgar al encargado de realizar el análisis de los puntos críticos la opción de poder realizar otras tareas.
12. Se recomienda realizar un estudio y desarrollar un manual que permita al encargado del procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem, aplicar como respuesta a los niveles de contaminación presentados en el análisis la aplicación de bactericidas en el área de tándemes.

13. Se recomienda realizar y establecer una matriz de entrenamientos básicos para las personas encargadas de realizar la limpieza de los molinos.

9.3 Tratamiento y recuperación.

14. Continuar las pruebas para estandarizar la técnica de Coeficiente de Elongación de Cristales y establecer las que se necesiten para el resto de los indicadores de efecto de actividad microbial {ogica según se describen en este documento

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Alimentos ricos en proteína. Disponible en:
http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/Alimentosricosenproteinas_8076.pdf
(Consultado agosto de 2010).
2. Álvarez S., Carlos F.; García Z., Romel A.; Granai T., Valeria; Guzmán K., Claudia M.; Lemus A., Mariana I.; Lou S., María J.; Rosales C., Andrea; Valle S., Juan P.; Wyss P., Alejandra M. 2008. *Establecimiento de un sistema de control microbiológico para la industria azucarera*. Universidad del Valle de Guatemala. 431 págs.
3. Alvarez Torres, M. 1997. “Manual para elaborar Manuales de Políticas y Procedimientos”. México. Ed. Panorama.
4. AZASGUA. (2006). *Los ingenios guatemaltecos*. Recuperado el 20 de junio de 2010, de <http://www.azucar.com.gt/02ingenios.htm>
5. Balsells, D. P.; De la Peña, B. L. y Rodríguez, F. J. 2009 *Optimización de procedimientos de laboratorio y económicos en control microbiológico en la industria azucarera*. Universidad del Valle de Guatemala. 201 págs.
6. Campos, M. (2010). *Optimizacion de la tecnica de resazurina: implementacion en condiciones fabriles*. Guatemala: Tesis Universidad del Valle de Guatemala.
7. Castillo, O. 2005. «Estudio de tiempos y movimientos en el proceso de producción de una industria manufacturera de ropa.». Tesis USAC. 114 Págs. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_6141.pdf. (Consultado en septiembre 2010).
8. Cavassa Ramirez, C. 2006. “Seguridad Industrial, un enfoque integral”. México. (2da ed). Ed. LIMUSA-Noriega editores, 2006.
9. Ceja, G. 1998. “Planeación y organización de empresas” (8ª. ed.). Editorial McGraw Hill. Dirección General de Personal, UNAM. 1994. “Guía Técnica para la Elaboración de Manuales de Procedimientos”.
10. CENGICAÑA 2008 Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar. CENGICAÑA [Web en línea]. Disponible en: <http://www.cengicana.org/Portal/Home.aspx> (Consultado agosto de 2010)
11. Chen, J. (1993). *Cane sugar Handbook: a manual for cane sugar manufacturers and their chemists*. Nueva York, Estados Unidos: Jonh Wiley.
12. Chi Chou, C. (2000). *Handbook of Sugar Refining*. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
13. Diez, O. A., Digonzelli, P. A., Scandal, J., & Romero, E. R. (s.f.). *Control de calidad de materia prima*. Recuperado el Septiembre de 2010, de http://www.eeaoc.org.ar/cania/MC_C17.pdf

14. Fauconnier, R. y. (1975). *La caña de azúcar*. Barcelona, España: Editorial Blume.
15. Flores, S. (1976). *Manual de caña de azúcar*. Guatemala: Unidad de Reproducciones del INTECAP.
16. Galeado, A. y Osmin 1997. «Elaboración de un programa de mantenimiento preventivo de la sección de molinos de un ingenio azucarero.». Tesis USAC. 44 Págs.
17. Garcia. R. 1999. “Estudio del trabajo, ingeniería de métodos y medición de trabajo”. México. (2da. ed) Editorial McGraw Hill.
18. Hernández, M. y. (1987). *Microbiología de la Industria azucarera*. Cuba: Editorial Universidad Central de las Villas.
19. ICUMSA. (s.f.). Recuperado el Agosto de 2010, de minuskel screen partner GmbH: <http://www.icumsa.org>
20. Ingenios Santos. “Buenas practicas de manufactura” Disponible en: http://www.oit.org.mx/simapro/pdf/manual/perfil/guias/GUIA_CONSERVACION.PDF (Consultado mayo de 2010)
21. Kellog, G. 1991. “Preparación de un manual de oficina”. México. Editorial Reveré.
22. Kirk, R. y. (1962). *Enciclopedia de tecnología química*. México: Editorial Hispanoamericana.
23. Larrahondo, J. (1995). Calidad de la caña de azúcar . Colombia, Cali : CENICANÑA.
24. Lemus, M. (2008). *Megaproyecto «Establecimiento de control microbiológico en la industria azucarera»*. Guatemala: Tesis Universidad del Valle de Guatemala.
25. Morataya, F. 2009. Comunicación Personal, Ingenio Pantaleón
26. Niebel, Benjamín W., Freivalds, Andris. 2004. “Ingeriría Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo”. Alfaomega, (1 va ed.). Grupo Editor, S.A. de CV.
27. Osborne, David. “Ergonomía en acción”. México. (2da ed.). ED. Trillas, 2003.
28. Pantaleón S.A. (s.f.). *Historia*. Recuperado el 20 de junio de 2010, de http://www.pantaleon.com/index.php?id_category=30&id_subcat=36&parent_id=30
29. Pérez, J. M., & Pratt, L. (julio de 1997). *Industria Azucarera en Guatemala: Análisis de Sostenibilidad*. Recuperado el 20 de junio de 2010, de INCAE: <http://www.incae.com/ES/clacds/nuestras-investigaciones/pdf/cen720.pdf>
30. P&G. 2009. «Prevención y protección de caídas.». Manual. 14 Págs.
31. Porta, A. (1955). Fabricación del Azúcar. Barcelona: Salvat Editores S.A.
32. Rodríguez Valencia, J. 1998. “Elaborar y Usar Manuales Administrativos”. México. Ed. Ecafsa.
33. Rodríguez Valencia, J. 2001. “Como Elaborar y Usar los Manuales Administrativos”. México. Editorial ECAFSA THOMSON.

34. Sugar on line. (s.f.). *Sugar on line*. Recuperado el 20 de junio de 2010, de www.sugaronline.com
35. Sumanth, D. 1990. "Ingeniería y Administración de la productividad". México. (1ra ed.). Ed. McGraw Hill.
36. Tovar, J. 1995. "Manual de administración de la calidad". México. Panorama Editorial, S.A.

11. ANEXO

Tabla 33 Resultados prueba de resazurina en vial (cosecha).

No.	Procesada		Primer viraje	Segundo viraje	Cambio final		Tiempo de viraje total ($\pm 0.02357h$)	CM total ($\pm 0.02357h$)
	(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)			(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)		
1	10,26	10,43	11,00	11,57	12,46	12,77	2,333	2,143
2	10,45	10,75	11,04	11,57	13,40	13,01	2,257	2,216
3	11,02	11,03	11,06	11,57	15,26	15,43	4,400	1,136
4	11,45	11,75	12,47	13,21	14,52	14,87	3,117	1,604
5	11,52	11,87	12,47	13,22	14,52	14,87	3,000	1,667
6	12,00	12,20	13,02	13,22	14,39	14,65	2,450	2,041
7	12,16	12,27	13,02	13,55	14,52	14,87	2,600	1,923
8	12,39	12,65	13,55	14,30	15,15	15,25	2,600	1,923
9	12,45	12,75	13,55	14,30	15,15	15,25	2,500	2,000
10	10,15	10,25	11,21	11,50	14,17	14,28	4,033	1,240
11	10,16	10,27	11,00	11,30	13,12	13,20	2,933	1,705
12	10,25	10,42		11,21	13,22	13,37	2,950	1,695
13	10,26	10,43	11,21	11,50	13,22	13,37	2,933	1,705
14	10,57	10,95		12,05	13,15	13,25	2,300	2,174
15	10,58	10,97		12,05	13,31	13,52	2,550	1,961
16	11,04	11,07	12,06	12,45	14,31	14,52	3,450	1,449
17	12,18	12,30	13,12		15,22	15,37	3,067	1,630
18	12,19	12,32		13,12	14,17	14,28	1,967	2,542
19	13,21	13,35		13,46	15,34	15,57	2,217	2,256
20	13,21	13,35		13,46	15,01	15,02	1,667	3,000
21	13,25	13,42		13,46	15,22	15,37	1,950	2,564
22	13,25	13,42		13,46	15,34	15,57	2,150	2,326
23	14,01	14,02		15,34	16,15	16,25	2,233	2,239

Continuación Tabla 33 Resultados prueba de resazurina en vial (cosecha).

No.	Procesada		Primer viraje	Segundo viraje	Cambio final		Tiempo de viraje total ($\pm 0.02357h$)	CM total ($\pm 0.02357h$)
	(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)			(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)		
24	14,02	14,03			16,31	16,52	2,483	2,013
25	14,23	14,38		15,34	16,15	16,25	1,867	2,679
26	14,24	14,40			16,31	16,52	2,117	2,362
27	14,25	14,42		15,15	16,11	16,18	1,767	2,830
28	10,02	10,03			11,01	11,02	0,983	5,085
29	10,14	10,23			11,31	11,52	1,283	3,896
30	10,57	10,95		11,01	11,56	11,93	0,983	5,085
31	10,58	10,97			12,05	12,08	1,117	4,478
32	10,59	10,98			13,15	13,25	2,267	2,206
33	11,09	11,15			12,05	12,08	0,933	5,357
34	12,01	12,02			12,52	12,87	0,850	5,882
35	12,02	12,03			13,15	13,25	1,217	4,110
36	15,51	15,85	16,19		16,41	16,68	0,833	6,000
37	15,52	15,87	16,19		17,41	17,68	1,817	2,752
38	15,53	15,88	16,19		17,49	17,82	1,933	2,586
39	15,54	15,90	16,19		17,49	17,82	1,917	2,609
40	8,56	8,93			12,01	12,02	3,083	1,622

Continuación Tabla 33 Resultados prueba de resazurina en vial (cosecha).

No.	Procesada		Primer viraje	Segundo viraje	Cambio final		Tiempo de viraje total ($\pm 0.02357h$)	CM total ($\pm 0.02357h$)
	(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)			(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)		
41	8,57	8,95			11,41	11,68	2,733	1,829
42	9,49	9,82		10,10	10,58	10,97	1,150	4,348
43	9,51	9,85			10,58	10,97	1,117	4,478
44	10,42	10,70			12,31	12,52	1,817	2,752
45	10,43	10,72			12,31	12,52	1,800	2,778
46	11,01	11,02		11,40	12,46	12,77	1,750	2,857
47	11,02	11,03		11,40	12,52	12,87	1,833	2,727
48	11,52	11,87		12,53	14,21	14,35	2,483	2,013
49	12,14	12,23		12,53	14,11	14,18	1,950	2,564
50	13,08	13,13			14,31	14,52	1,383	3,614
51	13,09	13,15			14,11	14,18	1,033	4,839
52	13,12	13,20			14,11	14,18	0,983	5,085
53	13,12	13,20			16,28	16,47	3,267	1,531
54	14,04	14,07		14,40	16,23	16,38	2,317	2,158
55	14,05	14,08		14,40	16,13	16,22	2,133	2,344
56	14,06	14,10		14,40	15,37	15,62	1,517	3,297
57	14,29	14,48		14,40	16,13	16,22	1,733	2,885
58	10,57	10,95			11,12	11,20	0,250	20,000
59	10,57	10,95			11,12	11,20	0,250	20,000


Tabla 34 Resultados prueba de resazurina en vial (pre cosecha).

No.	Procesada		Primer viraje	Segundo viraje	Cambio final		Tiempo de viraje total ($\pm 0.02357h$)	CM total ($\pm 0.02357h$)
	(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)			(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)		
1	11,13	11,22			13,45	13,75	2,533	1,974
2	11,25	11,42			13,49	13,82	2,400	2,083
3	12,01	12,02			13,31	13,52	1,500	3,333
4	9,25	9,42	9,54		12,05	12,08	2,667	1,875
5	11,52	11,87	12,52	1,30	14,11	14,18	2,317	2,158
6	11,53	11,88	12,52	1,30	14,11	14,18	2,300	2,174
7	12,01	12,02	12,30	1,30	14,11	14,18	2,167	2,308
8	12,03	12,05	12,52	1,52	14,11	14,18	2,133	2,344
9	10,53	10,88	12,06		14,01	14,02	3,133	1,596
10	10,54	10,90	12,06		14,01	14,02	3,117	1,604
11	10,55	10,92			14,01	14,02	3,100	1,613
12	10,56	10,93			14,31	14,52	3,583	1,395

Tabla 35 Coeficiente microbiológico (patio).

No.	Procesada		Primer viraje	Segundo viraje	Cambio final		Tiempo de viraje total ($\pm 0.02357h$)	CM total ($\pm 0.02357h$)
	(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)			(hh:min) ($\pm 1min$)	($\pm 0.01667h$)		
1	10,34	10,57	11,02	11,57	13,01	13,02	2,450	2,041
2	11,36	11,60	12,21	12,46	13,56	13,93	2,333	2,143
3	11,38	11,63	12,21	12,46	13,56	13,93	2,300	2,174
4	9,07	9,12	11,20	12,00	14,52	14,87	5,750	0,870
5	9,10	9,00	10,17	10,47	14,25	14,42	5,415	0,923

Ilustración 59 Manual de procedimientos.

<p>Megaproyecto Ingeniería Química Universidad del valle de Guatemala</p> 	INSTRUCTIVO PARA DESARROLLAR PRUEBA DE RESAZURINA	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Mayo 2010</p>	<p>Autor: Melissa Pacheco Ochoa</p>

1. Propósito:

El propósito del presente instructivo es establecer los pasos secuenciales para llevar a cabo la prueba de resazurina, en el laboratorio de materia prima (caña).

2. Aplicación:

Este procedimiento se utilizará para la evaluación de los procedimientos previamente establecidos en trabajos anteriores y validar medios experimentales. El procedimiento será utilizado en laboratorio de materia prima (caña) del ingenio Pantaleón para la determinación de la actividad microbiana en muestras de jugo.

3. Seguridad:

3.1. Riesgos asociados a la tarea:

- Producto no peligroso cloruro de sodio.
- Producto no peligroso resazurina.
- Conocer el manejo y uso adecuado de Químicos.
- Equipo de protección personal: bata, lentes.

Ilustración 60 Manual de procedimientos.



<p>Megaproyecto Ingeniería Química Universidad del valle de Guatemala</p> 	INSTRUCTIVO PARA DESARROLLAR PRUEBA DE RESAZURINA	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Mayo 2010</p>	<p>Autor: Melissa Pacheco Ochoa</p>
<p>4. Equipos, materiales y reactivos¹:</p> <p>4.1. Viales polipropileno de 2.15ml.</p> <p>4.2. Baño térmico.</p> <p>5. Procedimiento:</p> <p>5.1. Preparación de solución de resazurina:</p> <p>5.1.1. Un solución de resazurina a una concentración de 10 ppm.</p> <p>5.1.2. Se deberá guarda la solución preparada a una temperatura de 5°C para evitar cualquier actividad microbiológica que se podría dar en la solución. Esta solución se proveerá en el laboratorio de caña en viales.</p> <p>5.2. Determinación:</p> <p>5.2.1. Se coloca en el vial, previamente preparado, la muestra a analizar².</p> <p>5.2.2. Posteriormente se coloca el vial en el baño térmico a temperatura regulada y constante de 37±0.5°C.</p> <hr/> <p>¹ Se proveerá al laboratorio de caña la solución de resazurina en viales.</p> <p>² Cada muestra que se analice normalmente en el laboratorio de caña deberá también ser analizada por la prueba de resazurina.</p>		

Ilustración 61 Manual de procedimientos.

<p>Megaproyecto Ingeniería Química Universidad del valle de Guatemala</p> 	INSTRUCTIVO PARA DESARROLLAR PRUEBA DE RESAZURINA	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Mayo 2010</p>	<p>Autor: Melissa Pacheco Ochoa</p>

5.2.3. Se verifican los cambios de coloración de los tubos cada 30 minutos y anotar los resultados en el registro correspondiente. Al llegar a un color equivalente al color del jugo de caña, se finalizara la incubación y se anotara el tiempo final de la muestra.

6. Reporte de datos:

El operario de laboratorio debe interpretar el contenido de actividad microbiana de la siguiente manera:

CM	Valoración del resultado
Menor a 1,5	Bueno
1,5-2	Bueno
2-2,5	Aceptable
2,5-3	Malo
3 – 5	Crítico
Mayor de 5	Muy crítico

Ilustración 62 Lazo de control

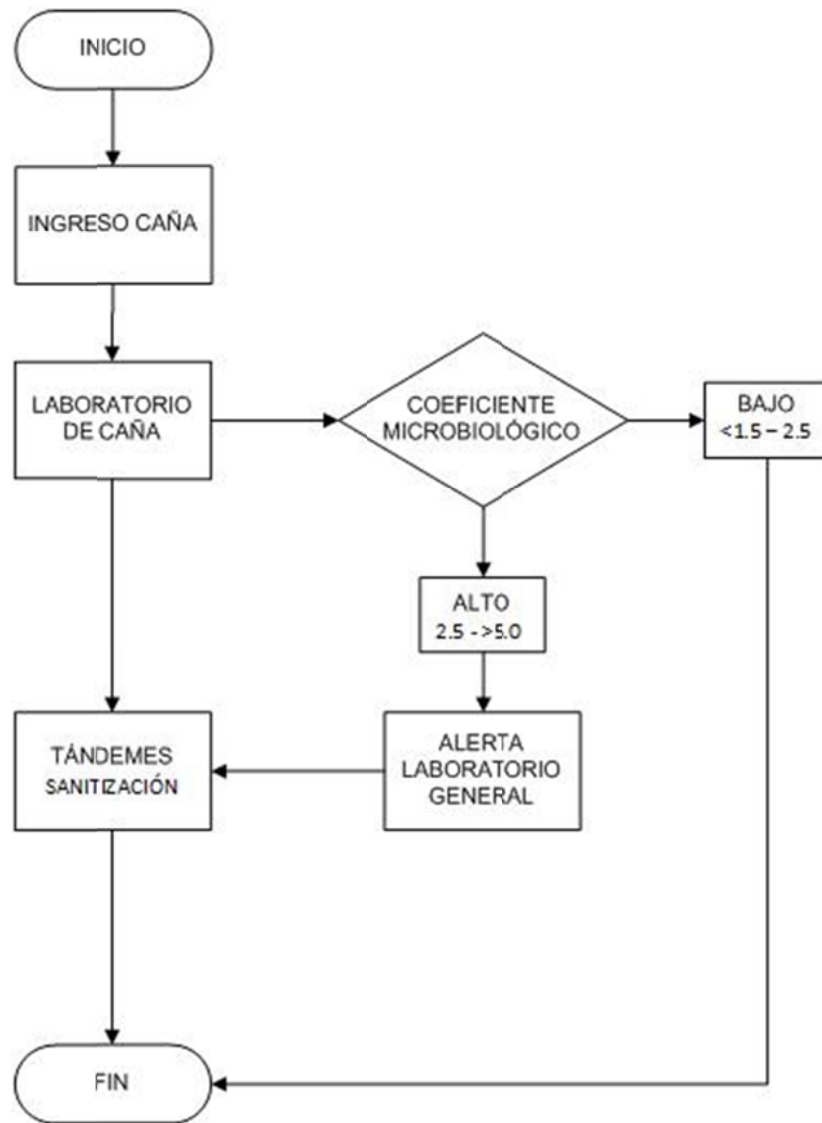


Ilustración 63 Diagrama de operación de procesos: Patio de caña.

Realizado por: Mario Tejeda
 Fecha: 25-04-2010
 Inicio: Entrada de jaulas con caña
 Fin: Tandem

Diagrama de Operaciones del Proceso
Patio de Caña

Metodo Actual
 Ingenio Pantaicon



RESUMEN

ACTIVIDAD	CANTIDAD DE VECES
Operación	8
Transporte	1
Demora	0
Inpección	1
TOTAL	10

Ilustración 64 Diagrama de operación de procesos: Caña en el patio.

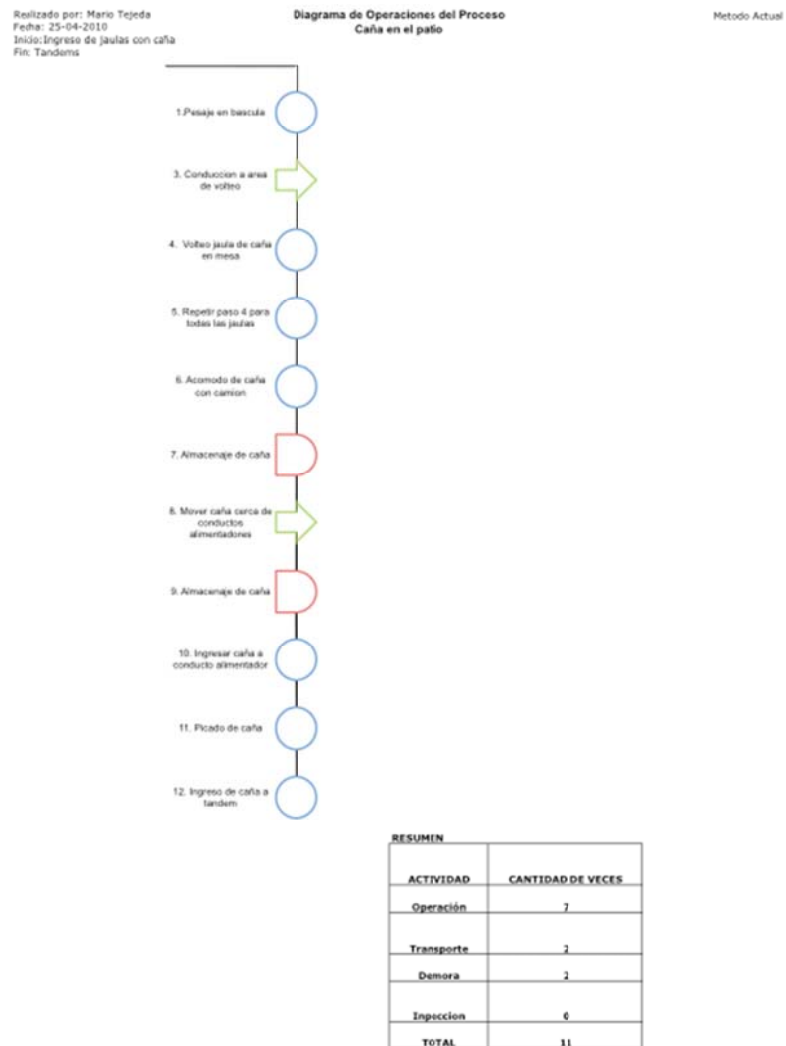
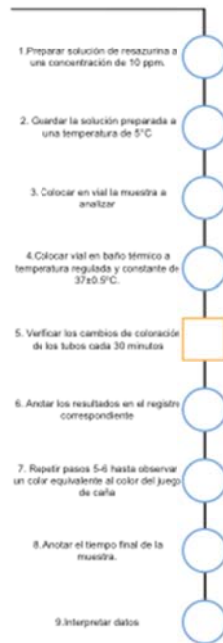


Ilustración 65 Diagrama de operación de procesos: Desarrollo prueba resazurina.

Realizado por: Mario Tejada
 Fecha: 25-04-2010
 Inicio: Muestra de café
 Fin: Interpretación de prueba

Diagrama de Operaciones del Proceso
Desarrollo Prueba Resazurina

Metodo Actual



RESUMEN

ACTIVIDAD	CANTIDAD DE VECES
Operación	8
Transporte	0
Demora	0
Inspección	1
TOTAL	9

Tabla 37 Toma de tiempos: Alimentación conductor tándem B, 1-05-2010.

Fecha	01/05/10				
Hora Inicio	9:43:00	Hora Final	3:15:00	Tandem	B
#	Llegada	Observaciones			
1	0:03:02				
2	0:02:29				
3	0:01:25				
4	0:02:16				
5	0:02:29				
6	0:02:20				
7	0:01:28	*paro			
8	0:02:19	*reinicia ingreso de caña			
9	0:01:08				
10	0:01:21				
11	0:01:14				
12	0:02:22				
13	0:02:08				
14	0:01:28				
15	0:02:33				
16	0:21:02				
17	0:33:37				
18	0:02:33				
19	0:03:03				
20	0:01:11				
21	0:02:38				
22	0:02:00				
23	0:02:04				
24	0:01:36				
25	0:02:39				
26	0:03:02				

Tabla 40 Toma de tiempos: Conductor tándem B, 30-04-2010.

Fecha	08/05/10	Hora Final	3:01:00	Tandem	B
Hora Inicio	11:07:00				

#	Llegada	Observaciones
1	0:21:02	
2	0:33:37	
3	0:44:00	
4	0:59:37	

Ilustración 66 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.

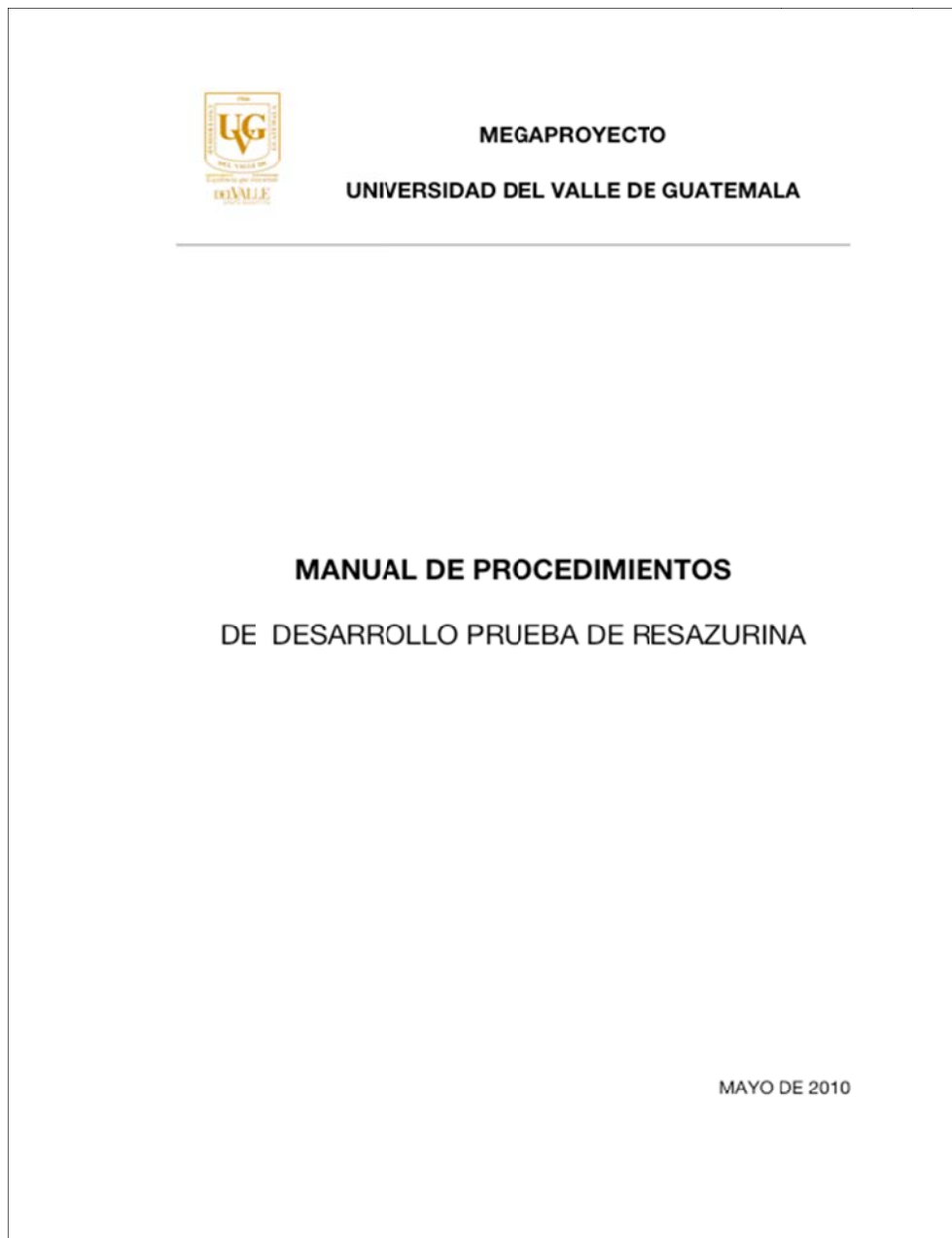



Ilustración 67 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.



ÍNDICE

	Pagina
I. INTRODUCCIÓN.....	1.
II. OBJETIVO DEL MANUAL.....	2.
III. PROCEDIMIENTOS.....	3.
A. PROCEDIMIENTO	
1. Propósito del procedimiento	
2. Alcance	
3. Equipo, materiales y reactivos	
4. Aspectos breves de Salud Ocupacional	
5. METODO DE TRABAJO	
a. Descripción de Actividades	
b. Diagrama de flujo	
c. Formatos e instructivos	
d. Anexos	

Ilustración 68 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.

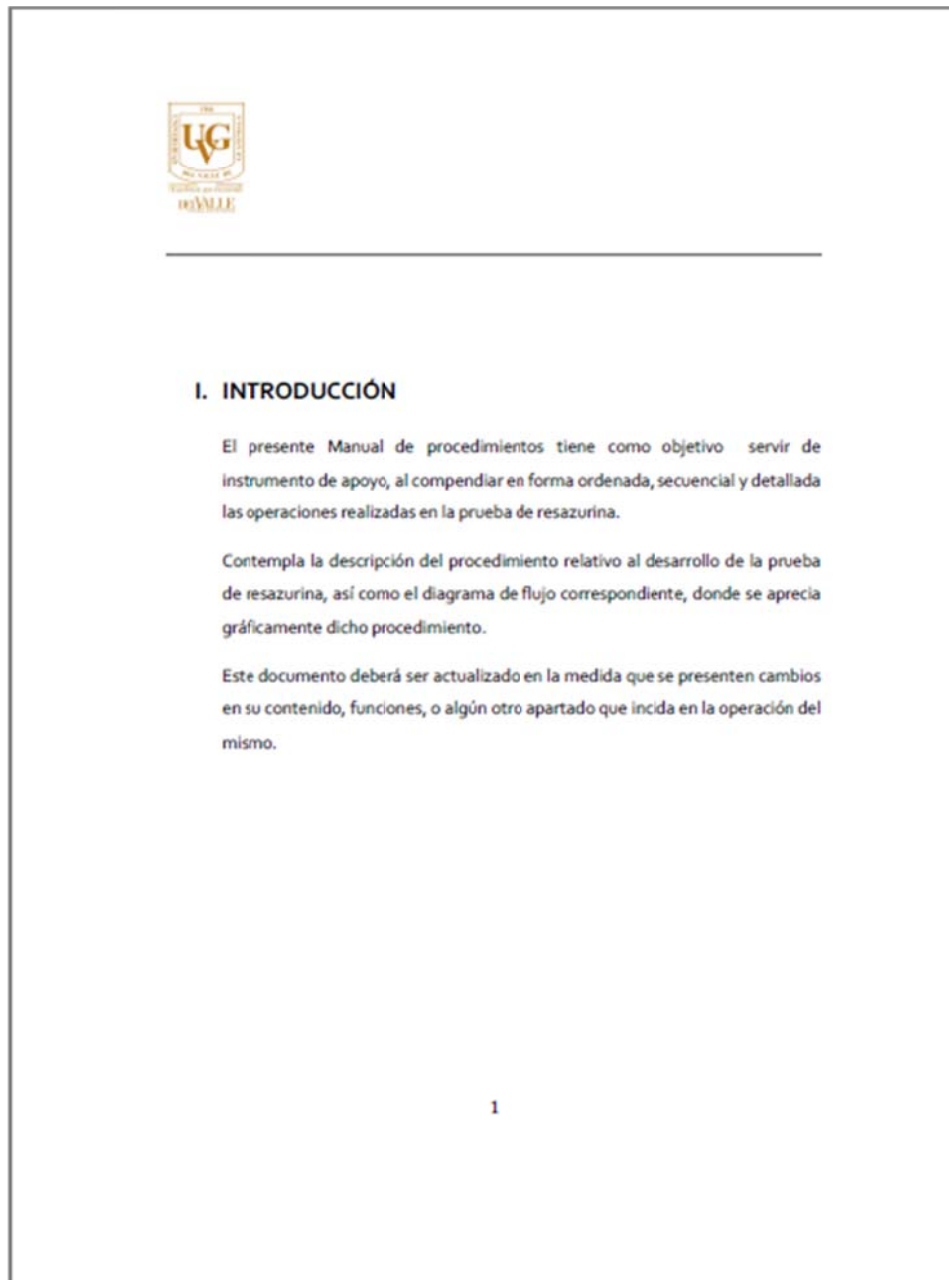


Ilustración 69 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.

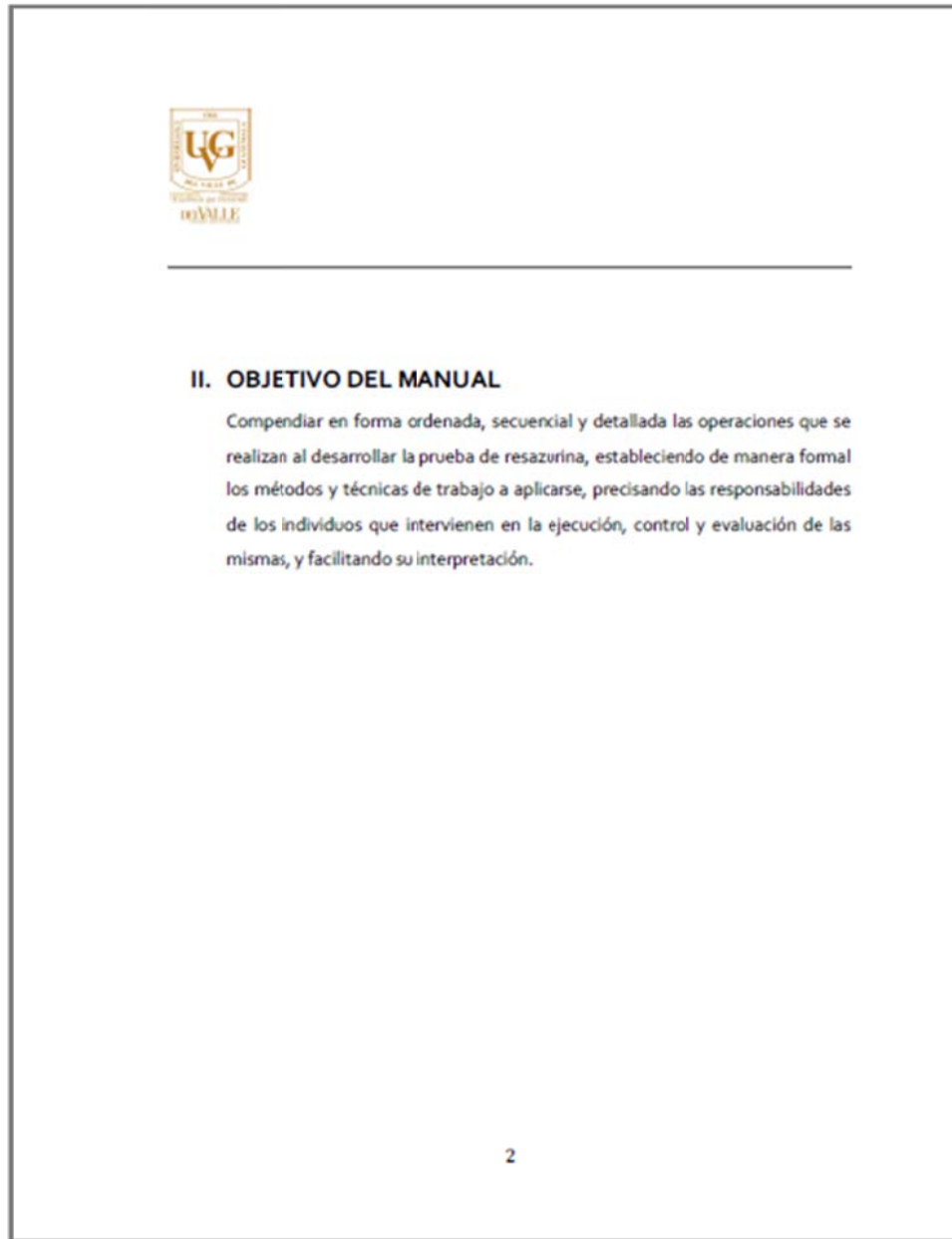


Ilustración 70 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina..

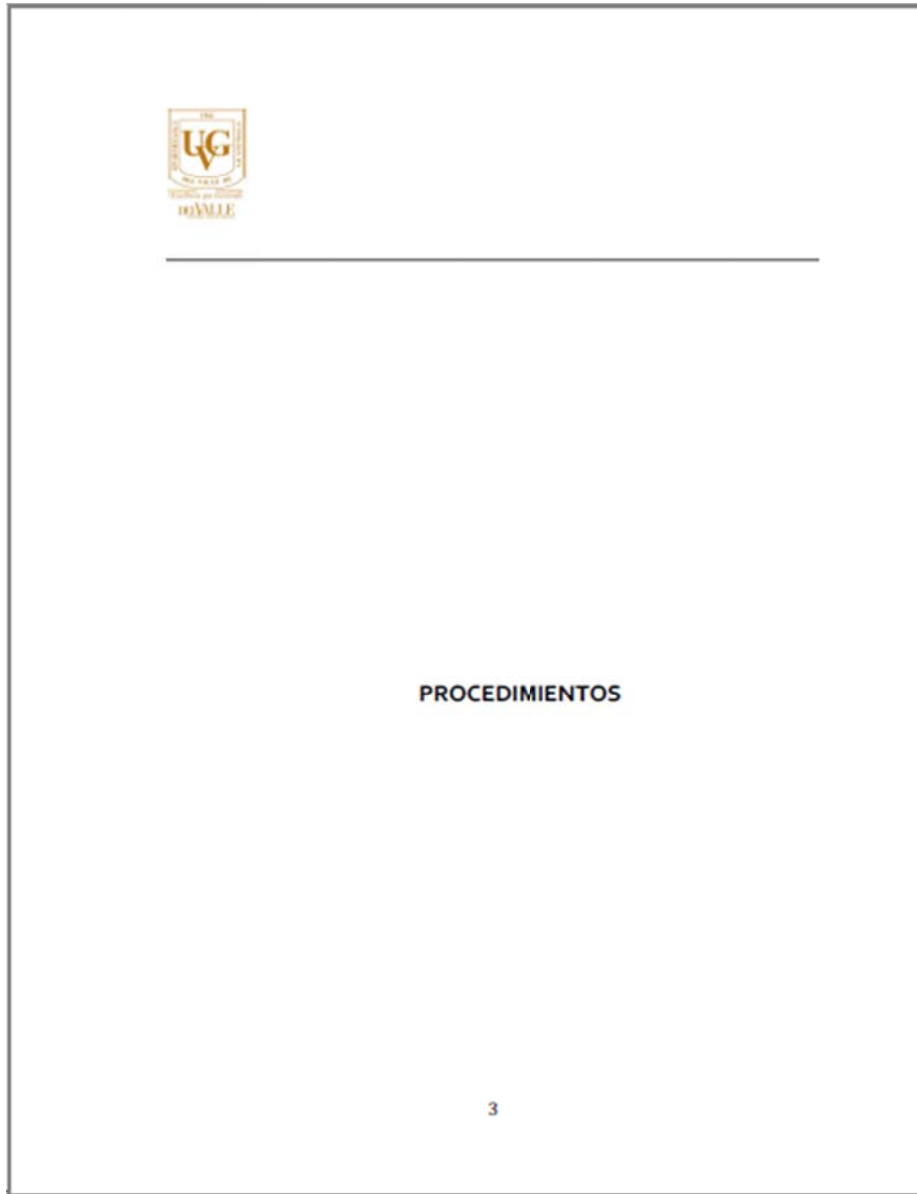


Ilustración 71 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina..




PROCEDIMIENTO
"DESARROLLO PRUEBA DE RESAZURINA"

Elaborado por: Mario Andrés Tejada	Revisado por: _____	Aprobado por _____
--	-------------------------------	------------------------------

4

Ilustración 72 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina..


 <p>Megaproyecto Universidad del Valle de Guatemala</p>	Procedimiento	Código XX
	Desarrollo Prueba Resazurina	Fecha: 15/05/2010
		Versión: 00
		Página 1 de 4

1. Propósito del procedimiento
El propósito del presente manual es establecer los pasos secuenciales para llevar a cabo la prueba de la resazurina, en el Laboratorio de Caña.
2. Alcance
Este manual se emplea para la determinación de la actividad microbiana en muestras de jugos.
3. Equipo, materiales y reactivos¹
<ol style="list-style-type: none"> 1. Viales polipropileno de 2.15ml. 2. Baño térmico
4. Aspectos breves de salud ocupacional
<ol style="list-style-type: none"> 1. Riesgos asociados a la tarea: <ol style="list-style-type: none"> a. Producto no peligroso cloruro de sodio. b. Producto no peligroso resazurina. 2. Instrucciones y/o equipos de seguridad específica: <ol style="list-style-type: none"> a. Conocer el manejo y uso adecuado de Químicos. 3. Equipo de protección personal: <ol style="list-style-type: none"> a. Bata b. Lentes de policarbonato

¹Se proveera al laboratorio de caña la solución de resazurina en viales.

5

Ilustración 73 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina.

 <p>Megaproyecto Universidad del Valle de Guatemala</p>	Procedimiento	Código XX
	Desarrollo Prueba Resazurina	Fecha: 15/05/2020
		Versión: 00
		Página 2 de 4
Descripción de Actividades		
Responsable	Paso	Actividad
Auxiliar de laboratorio	1	Preparar una solución de resazurina a una concentración de 50 ppm.
	1-A	Se deberá guardar la solución preparada a una temperatura de 5° C para evitar cualquier actividad microbiológica que se podría dar en la solución. Esta solución se proveerá en el laboratorio de caña en viales.
	2	Se coloca en el vial, previamente preparado, la muestra a analizar.
	3	Se coloca el vial en el baño térmico a temperatura regulada y constante de 30.5° C.
	4	Se verifican los cambios de coloración de los tubos cada 30 minutos y anotar los resultados en el registro correspondiente.
	4-A	Al llegar a un color equivalente al color del jugo de caña, se finaliza la incubación y se anotará el tiempo final de la muestra.
5	Interpretar resultado ² FIN DEL PROCEDIMIENTO	

²Cada muestra que se analice normalmente en el laboratorio de caña deberá también ser analizada por la prueba de resazurina.

³Utilizar Tabla 1 (Anexos)

Ilustración 74 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina..

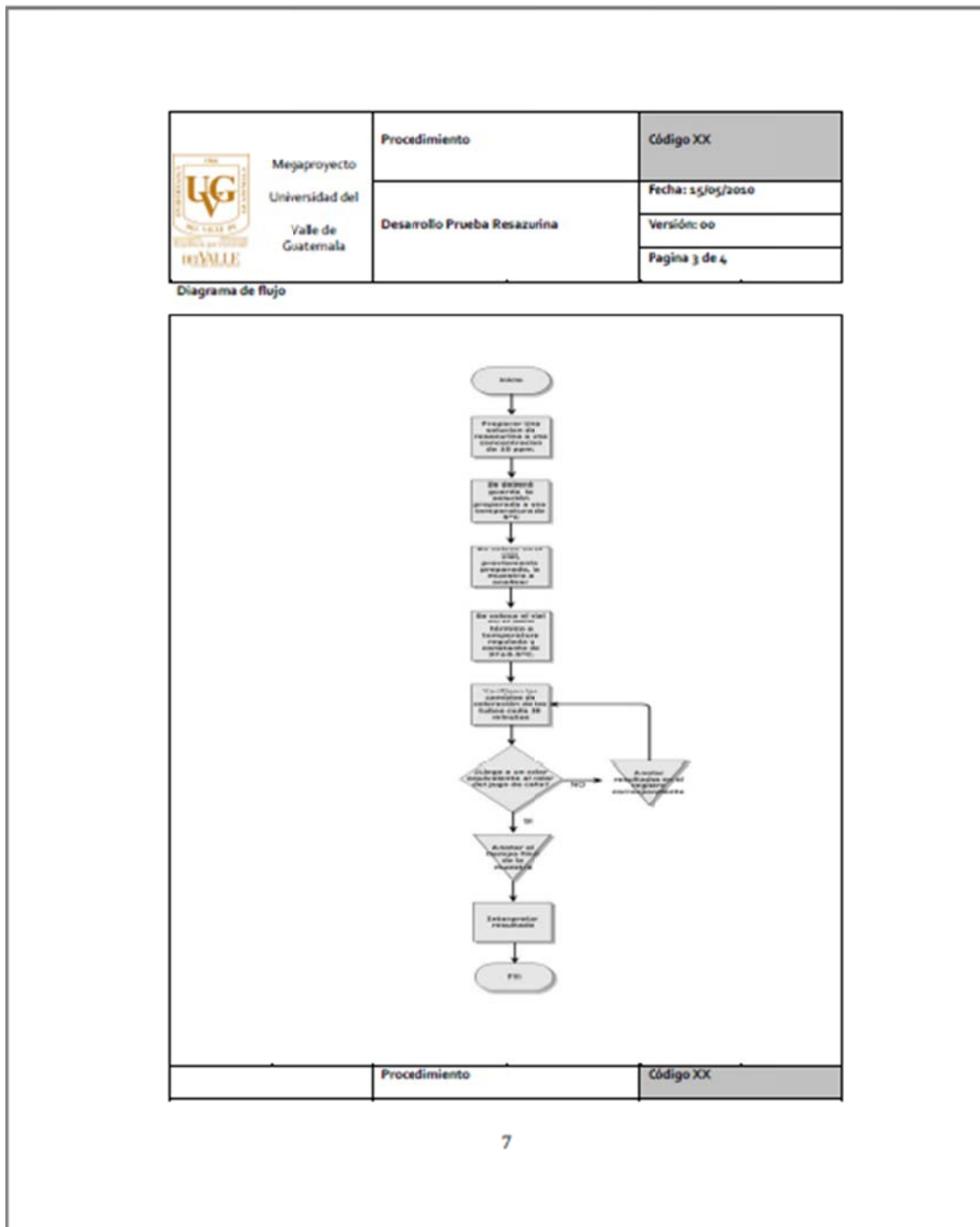



Ilustración 75 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina..

	Megaproyecto				
	Universidad del				Fecha: 15/05/2020
	Valle de Guatemala	Desarrollo Prueba Resazurina			Versión: 00
					Página 4 de 4

Formatos

Fecha					
	Tiempos				
Muestra	Recolectada	Procesada	Primer Torno	Torno Rosado Visible	Torno Final (Incoloro)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

8

Ilustración 76 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina..

**ANEXOS**

Tabla

1

Tabla para interpretar el contenido de actividad microbiana en prueba:

CM	Valoración del resultado
Menor a 1,5	Bueno
1,5-2	Bueno
2-2,5	Aceptable
2,5-3	Malo
3-5	Crítico
Mayor de 5	Muy crítico

Ilustración 77 Manual de procedimientos: Desarrollo de prueba de resazurina..



Tabla 2

Simbología para Diagramas de Flujo






Simbolo	Nombre	Aplicación
	Inicio o termino	Señala donde inicia o termina un procedimiento.
	Actividad	Representa la ejecución de una o más tareas de un procedimiento.
	Decisión	Indica un punto del procedimiento o donde se toma una decisión entre dos opciones (Sí o No)
	Archivo	Representa un archivo común y corriente de oficina donde se guarda un documento en forma temporal o permanente.
	Flujo	Conecta símbolos, señalando la secuencia en que deben realizarse las tareas.

Tabla 41 Tiempos de resazurina para muestras de puntos críticos del mes de marzo 2010.

Fecha	Descripción	Hora incubación	Hora final
10/03/2010	Primario A	09:40:00 a.m.	12:50:00 p.m.
	Molino 2A	09:42:00 a.m.	12:45:00 p.m.
	Molino 3A	09:44:00 a.m.	12:33:00 p.m.
	Molino 4A	09:46:00 a.m.	11:00:00 a.m.
	Recirculación al molino 3A	09:56:00 a.m.	11:14:00 a.m.
	Recirculación al molino 2A	10:01:00 a.m.	12:23:00 p.m.
	Diluido A	10:03:00 a.m.	12:36:00 p.m.
17/03/2010	Primario A	08:41:00 a.m.	12:25:00 p.m.
	Molino 2A	08:43:00 a.m.	12:12:00 p.m.
	Molino 3A	08:44:00 a.m.	12:01:00 p.m.
	Molino 4A	08:45:00 a.m.	12:06:00 p.m.
	Recirculación al molino 2A	08:54:00 a.m.	11:59:00 a.m.
	Jugo diluido A	08:59:00 a.m.	11:35:00 a.m.
	Primario B	09:05:00 a.m.	12:10:00 p.m.
	Molino 2B	09:07:00 a.m.	12:15:00 p.m.
	Molino 3B	09:08:00 a.m.	12:20:00 p.m.
	Molino 4B	09:10:00 a.m.	12:27:00 p.m.
	Recirculación al molino 3B	09:15:00 a.m.	12:32:00 p.m.
	Recirculación al molino 2B	09:16:00 a.m.	12:35:00 p.m.
	Diluido B	09:23:00 a.m.	12:29:00 p.m.

Tabla 42 Tiempos de resazurina para muestras de puntos críticos del mes de abril 2010.

Fecha	Descripción	Hora incubación	Hora final
08/04/2010	Primario B	08:43:00 a.m.	11:50:00 a.m.
	Molino 2B	08:44:00 a.m.	11:48:00 a.m.
	Molino 3B	08:46:00 a.m.	12:13:00 p.m.
	Molino 4B	08:47:00 a.m.	12:16:00 p.m.
	Recirculación al molino 3B	08:53:00 a.m.	11:19:00 a.m.
	Recirculación al molino 2B	08:54:00 a.m.	12:13:00 p.m.
	Diluido B	08:59:00 a.m.	11:47:00 a.m.

Tabla 43 Tiempos de resazurina para muestras de puntos críticos del mes de abril 2010.

Fecha	Descripción	Hora incubación	Hora final
14/04/2010	Primario A	11:21:00 a.m.	01:27:00 p.m.
	Molino 2A	11:22:00 a.m.	01:27:00 p.m.
	Molino 3A	11:23:00 a.m.	01:57:00 p.m.
	Molino 4A	11:24:00 a.m.	01:57:00 p.m.
	Recirculación al molino 2A	11:29:00 a.m.	01:56:00 p.m.
	Jugo Diluido A	09:36:00 a.m.	11:26:00 a.m.
	Primario B	09:38:00 a.m.	12:15:00 p.m.
	Molino 2B	09:38:00 a.m.	12:00:00 p.m.
	Molino 3B	09:44:00 a.m.	12:50:00 p.m.
	Molino 4B	09:46:00 a.m.	12:13:00 p.m.
	Recirculación al molino 3B	09:52:00 a.m.	01:05:00 p.m.
	Recirculación al molino 2B	09:53:00 a.m.	12:05:00 p.m.
	Diluido B	09:55:00 a.m.	12:05:00 p.m.
21/04/2010	Primario A	08:52:00 a.m.	12:11:00 p.m.
	Molino 2A	08:54:00 a.m.	12:01:00 p.m.
	Molino 3A	08:55:00 a.m.	12:15:00 p.m.
	Molino 4A	08:56:00 a.m.	12:20:00 p.m.
	Recirculación al molino 3A	09:05:00 a.m.	10:50:00 a.m.
	Recirculación al molino 2A	09:06:00 a.m.	12:23:00 p.m.
	Primario B	09:08:00 a.m.	11:39:00 a.m.
	Molino 3B	09:09:00 a.m.	11:37:00 a.m.
	Molino 4B	09:10:00 a.m.	12:02:00 p.m.
	Diluido A	09:25:00 a.m.	12:03:00 p.m.
	Diluido B	09:28:00 a.m.	12:14:00 p.m.
22/04/2010	Primario B	09:05:00 a.m.	12:09:00 p.m.
	Molino 2B	09:07:00 a.m.	12:14:00 p.m.
	Molino 3B	09:08:00 a.m.	12:19:00 p.m.
	Molino 4B	09:10:00 a.m.	12:26:00 p.m.
	Recirculación al molino 3B	09:15:00 a.m.	12:31:00 p.m.
	Recirculación al molino 2B	09:16:00 a.m.	12:34:00 p.m.
	Diluido B	09:23:00 a.m.	12:28:00 p.m.

Tabla 44 Tiempos de resazurina para el análisis estático de bactericida Labs SMB.

FECHA	Tiempo	Hora incubación	Hora final
07/04/2010	CONTROL	08:57:00 a.m.	10:33:00 a.m.
	Puro		
	5 minutos después	09:04:00 a.m.	11:51:00 a.m.
	10 minutos después	09:09:00 a.m.	11:49:00 a.m.
	15 minutos después	09:14:00 a.m.	11:45:00 a.m.
	20 minutos después	09:19:00 a.m.	11:41:00 a.m.
	25 minutos después	09:24:00 a.m.	11:41:00 a.m.
	30 minutos después	09:29:00 a.m.	11:39:00 a.m.
	SMB 10-1		
	5 minutos después	09:05:00 a.m.	10:50:00 a.m.
	10 minutos después	09:10:00 a.m.	10:52:00 a.m.
	15 minutos después	09:15:00 a.m.	10:54:00 a.m.
	20 minutos después	09:20:00 a.m.	10:56:00 a.m.
	25 minutos después	09:25:00 a.m.	10:57:00 a.m.
	30 minutos después	09:30:00 a.m.	10:58:00 a.m.
	SMB 10-2		
	5 minutos después	09:06:00 a.m.	10:50:00 a.m.
	10 minutos después	09:11:00 a.m.	10:52:00 a.m.
	15 minutos después	09:16:00 a.m.	10:53:00 a.m.
	20 minutos después	09:21:00 a.m.	10:53:00 a.m.
	25 minutos después	09:26:00 a.m.	10:54:00 a.m.
	30 minutos después	09:31:00 a.m.	10:55:00 a.m.
	SMB 10-3		
	5 minutos después	09:07:00 a.m.	10:37:00 a.m.
	10 minutos después	09:12:00 a.m.	10:40:00 a.m.
	15 minutos después	09:17:00 a.m.	10:38:00 a.m.
	20 minutos después	09:22:00 a.m.	10:41:00 a.m.
	25 minutos después	09:27:00 a.m.	10:39:00 a.m.
	30 minutos después	09:32:00 a.m.	10:38:00 a.m.

Tabla 45 Tiempos de resazurina para el análisis estático de bactericida Labs SMB.

FECHA	Tiempo	Hora incubación	Hora final
15/04/2010	CONTROL	09:27:00 a.m.	11:43:00 a.m.
	Puro		
	5 minutos después	09:34:00 a.m.	12:27:00 p.m.
	10 minutos después	09:39:00 a.m.	12:19:00 p.m.
	15 minutos después	09:44:00 a.m.	12:13:00 p.m.
	20 minutos después	09:49:00 a.m.	12:09:00 p.m.
	25 minutos después	09:54:00 a.m.	12:04:00 p.m.
	30 minutos después	09:59:00 a.m.	12:01:00 p.m.
	SMB 10-1		
	5 minutos después	09:35:00 a.m.	12:11:00 p.m.
	10 minutos después	09:40:00 a.m.	12:01:00 p.m.
	15 minutos después	09:45:00 a.m.	11:59:00 a.m.
	20 minutos después	09:50:00 a.m.	11:58:00 a.m.
	25 minutos después	09:55:00 a.m.	11:58:00 a.m.
	30 minutos después	10:00:00 a.m.	11:57:00 a.m.
	SMB 10-2		
	5 minutos después	09:36:00 a.m.	12:06:00 p.m.
	10 minutos después	09:41:00 a.m.	11:59:00 a.m.
	15 minutos después	09:46:00 a.m.	11:54:00 a.m.
	20 minutos después	09:51:00 a.m.	11:53:00 a.m.
	25 minutos después	09:56:00 a.m.	11:54:00 a.m.
	30 minutos después	10:01:00 a.m.	11:55:00 a.m.
	SMB 10-3		
	5 minutos después	09:37:00 a.m.	12:04:00 p.m.
	10 minutos después	09:42:00 a.m.	11:59:00 a.m.
	15 minutos después	09:47:00 a.m.	11:53:00 a.m.
	20 minutos después	09:52:00 a.m.	11:51:00 a.m.
	25 minutos después	09:57:00 a.m.	11:49:00 a.m.
	30 minutos después	10:02:00 a.m.	11:48:00 a.m.

Tabla 46 Tiempos de resazurina para el análisis estático de bactericida BETA Stab.

FECHA	Tiempo	Hora incubación	Hora final
07/04/2010	CONTROL	08:57:00 a.m.	10:33:00 a.m.
	Puro		
	5 minutos después	09:39:00 a.m.	11:47:00 a.m.
	10 minutos después	09:44:00 a.m.	11:44:00 a.m.
	15 minutos después	09:49:00 a.m.	11:41:00 a.m.
	20 minutos después	09:54:00 a.m.	11:40:00 a.m.
	25 minutos después	09:59:00 a.m.	11:39:00 a.m.
	30 minutos después	10:04:00 a.m.	11:39:00 a.m.
	SMB 10-1		
	5 minutos después	09:40:00 a.m.	11:08:00 a.m.
	10 minutos después	09:45:00 a.m.	11:10:00 a.m.
	15 minutos después	09:50:00 a.m.	11:11:00 a.m.
	20 minutos después	09:55:00 a.m.	11:14:00 a.m.
	25 minutos después	10:00:00 a.m.	11:16:00 a.m.
	30 minutos después	10:05:00 a.m.	11:17:00 a.m.
	SMB 10-2		
	5 minutos después	09:41:00 a.m.	11:03:00 a.m.
	10 minutos después	09:46:00 a.m.	11:03:00 a.m.
	15 minutos después	09:51:00 a.m.	11:05:00 a.m.
	20 minutos después	09:56:00 a.m.	11:06:00 a.m.
	25 minutos después	10:01:00 a.m.	11:08:00 a.m.
	30 minutos después	10:06:00 a.m.	11:08:00 a.m.
	SMB 10-3		
	5 minutos después	09:42:00 a.m.	11:04:00 a.m.
	10 minutos después	09:47:00 a.m.	11:07:00 a.m.
	15 minutos después	09:52:00 a.m.	11:07:00 a.m.
	20 minutos después	09:57:00 a.m.	11:05:00 a.m.
	25 minutos después	10:02:00 a.m.	11:05:00 a.m.
	30 minutos después	10:07:00 a.m.	11:03:00 a.m.

Tabla 47 Tiempos de resazurina para el análisis estático de bactericida BETA Stab.

FECHA	Tiempo	Hora incubación	Hora final
15/04/2010	CONTROL	08:50:00 a.m.	11:42:00 a.m.
	Puro		
	5 minutos después	08:56:00 a.m.	11:54:00 a.m.
	10 minutos después	09:01:00 a.m.	11:48:00 a.m.
	15 minutos después	09:06:00 a.m.	11:44:00 a.m.
	20 minutos después	09:11:00 a.m.	11:43:00 a.m.
	25 minutos después	09:16:00 a.m.	11:39:00 a.m.
	30 minutos después	09:21:00 a.m.	11:38:00 a.m.
	SMB 10-1		
	5 minutos después	08:57:00 a.m.	11:48:00 a.m.
	10 minutos después	09:02:00 a.m.	11:40:00 a.m.
	15 minutos después	09:07:00 a.m.	11:41:00 a.m.
	20 minutos después	09:12:00 a.m.	11:40:00 a.m.
	25 minutos después	09:17:00 a.m.	11:43:00 a.m.
	30 minutos después	09:22:00 a.m.	11:47:00 a.m.
	SMB 10-2		
	5 minutos después	08:58:00 a.m.	11:33:00 a.m.
	10 minutos después	09:03:00 a.m.	11:33:00 a.m.
	15 minutos después	09:08:00 a.m.	11:35:00 a.m.
	20 minutos después	09:13:00 a.m.	11:36:00 a.m.
	25 minutos después	09:18:00 a.m.	11:34:00 a.m.
	30 minutos después	09:23:00 a.m.	11:35:00 a.m.
	SMB 10-3		
	5 minutos después	08:59:00 a.m.	11:33:00 a.m.
	10 minutos después	09:04:00 a.m.	11:36:00 a.m.
	15 minutos después	09:09:00 a.m.	11:36:00 a.m.
	20 minutos después	09:14:00 a.m.	11:35:00 a.m.
	25 minutos después	09:19:00 a.m.	11:31:00 a.m.
	30 minutos después	09:24:00 a.m.	11:29:00 a.m.

Tabla 48 Tiempos de resazurina para comparación análisis estático y dinámico de bactericida Labs SMB.

PURO			
19/05/2010	CONTROL	09:39:00 a.m.	11:07:00 a.m.
	Equipo dinámico		
	5 minutos después	09:44:00 a.m.	12:13:00 p.m.
	10 minutos después	09:49:00 a.m.	12:11:00 p.m.
	15 minutos después	09:54:00 a.m.	12:07:00 p.m.
	20 minutos después	09:59:00 a.m.	12:01:00 p.m.
	25 minutos después	10:04:00 a.m.	11:59:00 a.m.
	30 minutos después	10:09:00 a.m.	12:03:00 p.m.
	Estático		
	5 minutos después	09:46:00 a.m.	12:11:00 p.m.
	10 minutos después	09:51:00 a.m.	12:07:00 p.m.
	15 minutos después	09:56:00 a.m.	12:05:00 p.m.
	20 minutos después	10:01:00 a.m.	12:00:00 p.m.
	25 minutos después	10:06:00 a.m.	11:59:00 a.m.
	30 minutos después	10:11:00 a.m.	12:02:00 p.m.
	Concentración 10⁻¹		
19/05/2010	CONTROL	10:02:00 a.m.	11:47:00 a.m.
	Equipo dinámico		
	5 minutos después	10:08:00 a.m.	12:34:00 p.m.
	10 minutos después	10:13:00 a.m.	12:35:00 p.m.
	15 minutos después	10:18:00 a.m.	12:32:00 p.m.
	20 minutos después	10:23:00 a.m.	12:29:00 p.m.
	25 minutos después	10:28:00 a.m.	12:26:00 p.m.
	30 minutos después	10:33:00 a.m.	12:25:00 p.m.
	Estático		
	5 minutos después	10:10:00 a.m.	12:33:00 p.m.
	10 minutos después	10:15:00 a.m.	12:33:00 p.m.
	15 minutos después	10:20:00 a.m.	12:31:00 p.m.
	20 minutos después	10:25:00 a.m.	12:28:00 p.m.
	25 minutos después	10:30:00 a.m.	12:25:00 p.m.
	30 minutos después	10:35:00 a.m.	12:23:00 p.m.

Tabla 49 Tiempos de resazurina para comparación análisis estático y dinámico de bactericida BETA Stab.

PURO				
20/05/2010	CONTROL	09:52:00 a.m.	10:17:00 a.m.	
	Equipo dinámico			
	5 minutos después	09:57:00 a.m.	10:34:00 a.m.	
	10 minutos después	10:02:00 a.m.	10:35:00 a.m.	
	15 minutos después	10:07:00 a.m.	10:37:00 a.m.	
	20 minutos después	10:12:00 a.m.	10:40:00 a.m.	
	25 minutos después	10:17:00 a.m.	10:41:00 a.m.	
	30 minutos después	10:22:00 a.m.	10:44:00 a.m.	
	Estático			
	5 minutos después	09:59:00 a.m.	10:35:00 a.m.	
	10 minutos después	10:04:00 a.m.	10:36:00 a.m.	
	15 minutos después	10:09:00 a.m.	10:37:00 a.m.	
	20 minutos después	10:14:00 a.m.	10:41:00 a.m.	
	25 minutos después	10:19:00 a.m.	10:42:00 a.m.	
	30 minutos después	10:24:00 a.m.	10:45:00 a.m.	
	Concentración 10⁻¹			
	20/05/2010	CONTROL	08:44:00 a.m.	10:56:00 a.m.
Equipo dinámico				
5 minutos después		08:50:00 a.m.	10:55:00 a.m.	
10 minutos después		08:55:00 a.m.	10:53:00 a.m.	
15 minutos después		09:00:00 a.m.	10:54:00 a.m.	
20 minutos después		09:05:00 a.m.	10:51:00 a.m.	
25 minutos después		09:10:00 a.m.	10:50:00 a.m.	
30 minutos después		09:15:00 a.m.	10:45:00 a.m.	
Estático				
5 minutos después		08:52:00 a.m.	10:52:00 a.m.	
10 minutos después		08:57:00 a.m.	10:53:00 a.m.	
15 minutos después		09:02:00 a.m.	10:52:00 a.m.	
20 minutos después		09:07:00 a.m.	10:50:00 a.m.	
25 minutos después		09:12:00 a.m.	10:49:00 a.m.	
30 minutos después		09:17:00 a.m.	10:44:00 a.m.	

11.1 Cálculos.

11.1.1 **Coefficiente microbiológico.** Para obtener un parámetro de la actividad microbiana en el jugo de caña se analizan los tiempos de resazurina con la Ecuación No. 4 (Pág. 48). El coeficiente microbiológico dado se deberá categorizar respecto a la distribución presentada en el Cuadro No. 3. Tomando como base al jugo primario del tándem A en la fecha de 10 de marzo de 2010.

Ecuación 8

$$CM = \frac{5}{\text{tiempo de resazurina}}$$

Donde,

CM: Coeficiente Microbiano

Tiempo de resazurina: Es el tiempo, en horas, de resazurina de la muestra analizada

$$CM = \frac{5}{3.17}$$

$$CM = 1.58$$

11.1.2 **Índice de Coeficiente microbiológico para puntos críticos.** Para determinar la medida del incremento o disminución de actividad microbiana entre dos puntos de medición en el tándem se utiliza este índice.

Ecuación 9

$$ICM = CM_D - CM_P$$

Donde,

CMD: Coeficiente microbiológico del jugo diluido

CMP: Coeficiente microbiológico del jugo primario

ICM: Índice de coeficiente microbiológico

$$ICM = 1.96 - 1.58$$

$$ICM = 0.38$$

Nota: Para todos los valores de ICM de los puntos críticos se siguió el mismo proceso, pero en lugar de usar CMD se usa el CM del punto de salida o final y en vez de CMP es el CM del punto de entrada o inicio.

11.1.3 Estimación de volumen de bactericida agregado a muestras de análisis estático. Para los análisis estáticos se trabajaba con la concentración de 1ml de bactericida a la concentración evaluada por cada litro de jugo. Debido a que no se trabajaba con 1 litro de jugo con cada muestra del análisis, se calculó el volumen correspondiente de bactericida para cada muestra.

Ecuación 10

$$\text{Volumen bactericida} = \text{concentración} \times \text{volumen de jugo}$$

Donde,

Volumen de bactericida: al volumen requerido a agregar a la muestra

Concentración: para todos los casos se trataba con una concentración de 1ml de bactericida por 1 litro de jugo.

Volumen de jugo: el volumen de la muestra analizada

$$\text{Volumen bactericida} = \left(1 \frac{\text{ml bactericida}}{\text{L de jugo}} \times \frac{1 \text{ L de jugo}}{1000 \text{ ml de jugo}} \right) \times 100 \text{ ml de jugo}$$

$$\text{Volumen bactericida} = 0.10 \text{ (0.02001 ml de bactericida)}$$

Nota: El volumen de bactericida en el análisis estático fueron los mismos para todas las muestras ya que en todos los casos se utilizó el mismo volumen de jugo, 100 ml.

11.1.4 Estimación de volumen de bactericida agregado a muestras de análisis dinámico. Para los análisis dinámicos se trabajaba con la concentración de 1ml de bactericida a la concentración evaluada por cada litro de jugo. Debido a que no se trabajaba con 1 litro de jugo con cada muestra del análisis, se calculó el volumen correspondiente de bactericida para cada muestra.

Ecuación 11

$$\text{Volumen bactericida} = \text{concentración} \times \text{volumen de jugo}$$

Donde,

Volumen de bactericida: al volumen requerido a agregar a la muestra

Concentración: para todos los casos se trataba con una concentración de 1ml de bactericida por 1 litro de jugo

Volumen de jugo: el volumen de la muestra analizada

$$\text{Volumen bactericida} = 1 \frac{\text{ml bactericida}}{\text{L de jugo}} \times 10 \text{ L de jugo}$$

$$\text{Volumen bactericida} = 10 \text{ (0.060 ml de bactericida)}$$

Nota: El volumen de bactericida en el análisis dinámico fueron los mismos para todas las muestras ya que en todos los casos se utilizó el mismo volumen de jugo, 10 litros.

11.1.5 Volumen del equipo propuesto para análisis dinámico de bactericidas. Con base a las medidas propuestas del diseño del tanque se determinó su volumen. El tanque está compuesto en dos fases: una parte superior cilíndrica y la parte inferior semi-esférica. El volumen compuesto de las dos fases marca el volumen total final del equipo.

Ecuación 12

$$\text{Volumen tanque} = \text{volumen cilindro} + \text{volumen media esfera}$$

$$\text{Volumen tanque} = \pi r^2 h + \frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right)$$

Donde,

r: es el radio para el cilindro y la esfera, los cuales deben tener la misma magnitud.

h: es la altura de la parte cilíndrica del tanque.

$$\text{Volumen tanque} = \pi \times (0.18 \text{ m})^2 \times 0.28 \text{ m} + \frac{1}{2} \left(\frac{4}{3} \pi (0.18 \text{ m})^3 \right)$$

$$\text{Volumen tanque} = 0.04072 \text{ m}^3 = 40.72 \text{ litros}$$

11.1.6 Flujo de jugo desarrollado por la tubería del equipo **propuesto**. Con la finalidad de obtener un tiempo de residencia de 30 minutos a través del equipo se propuso una tubería de diámetro de 1/8 de pulgada. Se necesita saber que flujo desarrolla para conocer si dicho flujo cumpliría con el tiempo mencionado.

Ecuación 13

$$\text{Flujo de tubería} = \text{área tubería} \times \text{velocidad lineal}$$

Ecuación 14

$$\text{Flujo de tubería} = \frac{\pi}{4} D^2 \times \text{velocidad lineal}$$

Donde,

D: es el diámetro de la tubería

Velocidad lineal: con una velocidad lineal promedio de fluidos a través de una tubería de 2.5 m/s.

Flujo de tubería: es el flujo desarrollado por la tubería

$$\text{Flujo de tubería} = \frac{\pi}{4} (0.003715 \text{ m})^2 \times 2.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Flujo de tubería} = 1.98 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.19 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

11.2 Análisis de error.

11.2.1 Determinación de incertidumbre de dilución de bactericidas.

Ecuación 15

$$S_{\text{bactericida diluido}} = V_{\text{bactericida}} \times \sqrt{\left(\frac{S_{\text{pipeta de 50ml}}}{V_{\text{bactericida}}}\right)^2 + \left(\frac{S_{\text{balón de 500ml}}}{V_{\text{balón}}}\right)^2}$$

Donde,

$S_{\text{bactericida diluido}}$: incertidumbre del volumen del bactericida diluido

$V_{\text{bactericida}}$: volumen final del bactericida

Spipeta de 50ml: incertidumbre del equipo utilizado para medir el bactericida a diluir

Sbalón de 500ml: incertidumbre del equipo utilizado para realizar la dilución del bactericida

$V_{\text{bactericida}}$: volumen añadido de bactericida

$V_{\text{balón}}$: volumen del balón

$$S_{\text{bactericida diluido}} = 500 \text{ ml} \times \sqrt{\left(\frac{0.10}{50 \text{ ml}}\right)^2 + \left(\frac{0.30}{500 \text{ ml}}\right)^2}$$

$$S_{\text{bactericida diluido}} = \pm 1.04$$

11.3 Datos calculados.

Tabla 50 Tiempo de viraje y coeficiente microbiológico para muestras de puntos críticos de abril 2010.

FECHA	MUESTRA	Tiempo de viraje	CM
10/03/2010	Primario A	3.17	1.58
	Molino 2A	3.05	1.64
	Molino 3A	2.82	1.78
	Molino 4A	1.23	4.05
	Recirculación al molino 3A	1.30	3.85
	Recirculación al molino 2A	2.37	2.11
	Diluido A	2.55	1.96
17/03/2010	Primario A	3.73	1.34
	Molino 2A	3.48	1.44
	Molino 3A	3.28	1.52
	Molino 4A	3.35	1.49
	Recirculación al molino 2A	3.08	1.62
	Jugo diluido A	2.60	1.92
	Primario B	3.08	1.62
	Molino 2B	3.13	1.60
	Molino 3B	3.20	1.56
	Molino 4B	3.28	1.52
	Recirculación al molino 3B	3.28	1.52
	Recirculación al molino 2B	3.32	1.51
	Diluido B	3.10	1.61

Tabla 51 Tiempo de viraje y coeficiente microbiológico para muestras de puntos críticos de marzo 2010.

FECHA	MUESTRA	Tiempo de viraje	CM
08/04/2010	Primario B	3.12	1.60
	Molino 2B	3.07	1.63
	Molino 3B	3.45	1.45
	Molino 4B	3.48	1.44
	Recirculación al molino 3B	2.43	2.05
	Recirculación al molino 2B	3.32	1.51
14/04/2010	Diluido B	2.80	1.79
	Primario A	2.10	2.38
	Molino 2A	2.08	2.40
	Molino 3A	2.57	1.95
	Molino 4A	2.55	1.96
	Recirculación al molino 2A	2.45	2.04
	Jugo diluido A	1.83	2.73
	Primario B	2.62	1.91
	Molino 2B	2.37	2.11
	Molino 3B	3.10	1.61
	Molino 4B	2.45	2.04
	Recirculación al molino 3B	3.22	1.55
	Recirculación al molino 2B	2.20	2.27
Diluido B	2.17	2.31	
21/04/2010	Primario A	3.32	1.51
	Molino 2A	3.12	1.60
	Molino 3A	3.33	1.50
	Molino 4A	3.40	1.47
	Recirculación al molino 3A	1.75	2.86
	Recirculación al molino 2A	3.28	1.52
	Primario B	2.52	1.99

Continuación Tabla 51 Tiempo de viraje y coeficiente microbiológico para muestras de puntos críticos del mes de Marzo 2010.

FECHA	MUESTRA	Tiempo de viraje	CM
21/04/2010	Molino 3B	2.47	2.03
	Molino 4B	2.87	1.74
	Diluido A	2.63	1.90
	Diluido B	2.77	1.81
22/04/2010	Primario B	3.07	1.63
	Molino 2B	3.12	1.60
	Molino 3B	3.18	1.57
	Molino 4B	3.27	1.53
	Recirculación al molino 3B	3.27	1.53
	Recirculación al molino 2B	3.30	1.52
	Diluido B	3.08	1.62

Tabla 52 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para análisis estático de bactericida Labs SMB.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
07/04/2010	CONTROL	1.60	3.13
	Puro		
	5 minutos después	2.78	1.80
	10 minutos después	2.67	1.88
	15 minutos después	2.52	1.99
	20 minutos después	2.37	2.11
	25 minutos después	2.28	2.19
	30 minutos después	2.17	2.31
	SMB 10-1		
	5 minutos después	1.75	2.86
	10 minutos después	1.70	2.94
	15 minutos después	1.65	3.03
	20 minutos después	1.60	3.13
	25 minutos después	1.53	3.26
	30 minutos después	1.47	3.41
	SMB 10-2		
	5 minutos después	1.73	2.88
	10 minutos después	1.68	2.97
	15 minutos después	1.62	3.09
	20 minutos después	1.53	3.26
	25 minutos después	1.47	3.41
	30 minutos después	1.40	3.57

Continuación Tabla 52 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para el análisis estático de bactericida Labs SMB.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
SMB 10-3			
07/04/2010	5 minutos después	1.50	3.33
	10 minutos después	1.47	3.41
	15 minutos después	1.35	3.70
	20 minutos después	1.32	3.80
	25 minutos después	1.20	4.17
	30 minutos después	1.10	4.55

Tabla 53 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para análisis estático de bactericida Labs SMB.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
15/04/2010	CONTROL	2.27	2.21
	Puro		
	5 minutos después	2.88	1.73
	10 minutos después	2.67	1.88
	15 minutos después	2.48	2.01
	20 minutos después	2.33	2.14
	25 minutos después	2.17	2.31
	30 minutos después	2.03	2.46
	SMB 10-1		
	5 minutos después	2.60	1.92
	10 minutos después	2.35	2.13
	15 minutos después	2.23	2.24
	20 minutos después	2.13	2.34
	25 minutos después	2.05	2.44
	30 minutos después	1.95	2.56
	SMB 10-2		
	5 minutos después	2.50	2.00
	10 minutos después	2.30	2.17
	15 minutos después	2.13	2.34
	20 minutos después	2.03	2.46
	25 minutos después	1.97	2.54
	30 minutos después	1.90	2.63

Continuación Tabla 53 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para el análisis estático de bactericida Labs SMB.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
15/04/2010	SMB 10-3		
	5 minutos después	2.45	2.04
	10 minutos después	2.28	2.19
	15 minutos después	2.10	2.38
	20 minutos después	1.98	2.52
	25 minutos después	1.87	2.68
	30 minutos después	1.77	2.83

Tabla 54 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para análisis estático de bactericida BETA Stab.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
07/04/2010	CONTROL	1.60	3.13
	Puro		
	5 minutos después	2.13	2.34
	10 minutos después	2.00	2.50
	15 minutos después	1.87	2.68
	20 minutos después	1.77	2.83
	25 minutos después	1.67	3.00
	30 minutos después	1.58	3.16
	SMB 10-1		
	5 minutos después	1.47	3.41
	10 minutos después	1.42	3.53
	15 minutos después	1.35	3.70
	20 minutos después	1.32	3.80
	25 minutos después	1.27	3.95
	30 minutos después	1.20	4.17
	SMB 10-2		
	5 minutos después	1.37	3.66
	10 minutos después	1.28	3.90
	15 minutos después	1.23	4.05
	20 minutos después	1.17	4.29
	25 minutos después	1.12	4.48
	30 minutos después	1.03	4.84

Continuación Tabla 54 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para el análisis estático de bactericida BETA Stab.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
07/04/2010	SMB 10-3		
	5 minutos después	1.37	3.66
	10 minutos después	1.33	3.75
	15 minutos después	1.25	4.00
	20 minutos después	1.13	4.41
	25 minutos después	1.05	4.76
	30 minutos después	0.93	5.36

Tabla 55 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para análisis estático de bactericida BETA Stab.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
15/04/2010	CONTROL	2.87	1.74
	Puro		
	5 minutos después	2.97	1.69
	10 minutos después	2.78	1.80
	15 minutos después	2.63	1.90
	20 minutos después	2.53	1.97
	25 minutos después	2.38	2.10
	30 minutos después	2.28	2.19
	SMB 10-1		
	5 minutos después	2.85	1.75
	10 minutos después	2.63	1.90
	15 minutos después	2.57	1.95
	20 minutos después	2.47	2.03
	25 minutos después	2.43	2.05
	30 minutos después	2.42	2.07
	SMB 10-2		
	5 minutos después	2.58	1.94
	10 minutos después	2.50	2.00
	15 minutos después	2.45	2.04
	20 minutos después	2.38	2.10
	25 minutos después	2.27	2.21
	30 minutos después	2.20	2.27

Continuación Tabla 55 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para el análisis estático de bactericida BETA Stab.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
15/04/2010	SMB 10-3		
	5 minutos después	2.57	1.95
	10 minutos después	2.53	1.97
	15 minutos después	2.45	2.04
	20 minutos después	2.35	2.13
	25 minutos después	2.20	2.27
	30 minutos después	2.08	2.40

Tabla 56 Viraje y coeficiente microbiológico, comparación estático y dinámico de bactericida Labs SMB.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
PURO			
19/05/2010	CONTROL	1.47	3.41
	Equipo dinámico		
	5 minutos después	2.48	2.01
	10 minutos después	2.37	2.11
	15 minutos después	2.22	2.26
	20 minutos después	2.03	2.46
	25 minutos después	1.92	2.61
	30 minutos después	1.90	2.63
	Estático		
	5 minutos después	2.42	2.07
	10 minutos después	2.27	2.21
	15 minutos después	2.15	2.33
	20 minutos después	1.98	2.52
	25 minutos después	1.88	2.65
	30 minutos después	1.85	2.70
	Concentración 10⁻¹		
19/05/2010	CONTROL	1.75	2.86
	Equipo dinámico		
	5 minutos después	2.43	2.05
	10 minutos después	2.37	2.11
	15 minutos después	2.23	2.24
	20 minutos después	2.10	2.38

Continuación Tabla 56 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para la comparación entre los análisis estático y dinámico para el bactericida Labs SMB.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
Equipo dinámico			
19/05/2010	25 minutos después	1.97	2.54
	30 minutos después	1.87	2.68
	Estático		
	5 minutos después	2.38	2.10
	10 minutos después	2.30	2.17
	15 minutos después	2.18	2.29
	20 minutos después	2.05	2.44
	25 minutos después	1.92	2.61
	30 minutos después	1.80	2.78

Tabla 57 Viraje y coeficiente microbiológico, comparación estático y dinámico de bactericida BETA Stab.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
PURO			
20/05/2010	CONTROL	0.42	12.00
	Equipo dinámico		
	5 minutos después	0.62	8.11
	10 minutos después	0.55	9.09
	15 minutos después	0.50	10.00
	20 minutos después	0.47	10.71
	25 minutos después	0.40	12.50
	30 minutos después	0.37	13.64
	Estático		
	5 minutos después	0.60	8.33
	10 minutos después	0.53	9.38
	15 minutos después	0.47	10.71
	20 minutos después	0.45	11.11
	25 minutos después	0.38	13.04
	30 minutos después	0.35	14.29
	Concentración 10⁻¹		
20/05/2010	CONTROL	2.20	2.27
	Equipo dinámico		
	5 minutos después	2.08	2.40
	10 minutos después	1.97	2.54
	15 minutos después	1.90	2.63

Continuación Tabla 57 Tiempos de viraje y coeficiente microbiológico para la comparación entre los análisis estático y dinámico para el bactericida BETA Stab.

FECHA	Descripción	Tiempo de viraje	CM
Equipo dinámico			
	20 minutos después	1.77	2.83
	25 minutos después	1.67	3.00
	30 minutos después	1.50	3.33
Estático			
	5 minutos después	2.00	2.50
	10 minutos después	1.93	2.59
	15 minutos después	1.83	2.73
	20 minutos después	1.72	2.91
	25 minutos después	1.62	3.09
	30 minutos después	1.45	3.45

Tabla 58 ICM de los puntos de análisis para puntos críticos del tándem A para los días muestreados.

	10/03/2010	17/03/2010	14/04/2010	21/04/2010
PA - DA	0.38	0.58	0.35	0.39
M2A - DA	0.32	0.49	0.33	0.29
PA - M2A	0.06	0.10	0.02	0.10
M2A - M3A	0.14	0.09	-0.45	-0.10
M3A - M4A	2.28	-0.03	0.01	-0.03
RM3A - M3A	-2.07	----	----	-1.36
RM2A - M2A	-0.47	-0.19	0.36	0.08

Tabla 59 ICM de los puntos de análisis para puntos críticos del tándem B para los días muestreados.

	17/03/2010	08/04/2010	14/04/2010	22/04/2010
PB - DB	-0.01	0.18	0.40	-0.01
M2B - DB	0.02	0.16	0.20	0.02
PB - M2B	-0.03	0.03	0.20	-0.03
M2B - M3B	-0.03	-0.18	-0.50	-0.03
M3B - M4B	-0.04	-0.01	0.43	-0.04
RM3B - M3B	0.04	-0.61	0.06	0.04
RM2B - M2B	0.09	0.12	-0.16	0.09

Tabla 60 Frecuencia categórica de valores de puntos de muestreo respecto a valor de CM en tándem A.

Frecuencia por fecha	10/03/2010	17/03/2010	14/04/2010	21/04/2010	Frecuencia promedio
PA	7	6	3	5	5.25
M2	6	5	2	3	4.00
M3	5	3	6	6	5.00
M4	1	4	5	7	4.25
RM3	2	---	---	1	1.50
RM2	3	2	4	4	3.25
DA	4	1	1	2	2.00

Tabla 61 Frecuencia categórica de valores de puntos de muestreo respecto a valor de CM en tándem B.

Frecuencia por fecha	17/03/2010	08/04/2010	14/04/2010	22/04/2010	Frecuencia promedio
PB	1	4	5	1	2.75
M2	3	3	3	3	3.00
M3	4	6	6	4	5.00
M4	5	7	4	5	5.25
RM3	5	1	7	5	4.50
RM2	6	5	2	6	4.75
DB	2	2	1	2	1.75

Tabla 62 Nivel de los puntos del tándem A por día. Código de colores asignado según el Cuadro 9.

	10/03/2010	17/03/2010	14/04/2010	21/04/2010
PA	3.00	3.00	2.00	3.00
M2	3.00	3.00	2.00	4.00
M3	3.00	3.00	3.00	3.00
M4	1.00	3.00	3.00	4.00
RM3	2.00	---	---	2.00
RM2	2.00	3.00	2.00	3.00
DA	3.00	3.00	1.00	3.00

Tabla 63 Nivel de los puntos del tándem B por día. Código de colores asignado según el Cuadro 9.

	17/03/2010	08/04/2010	14/04/2010	21/04/2010	22/04/2010
PB	4.00	3.00	3.00	4.00	4.00
M2	3.00	4.00	2.00	---	3.00
M3	4.00	3.00	4.00	3.00	4.00
M4	3.00	3.00	2.00	3.00	3.00
RM3	4.00	2.00	3.00	---	3.00
RM2	3.00	3.00	3.00	---	3.00
DB	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

Tabla 64 Tiempos del procedimiento de análisis de los puntos críticos en el tándem.

		Tiempo (Segundos)										
1	Tomar 70 viales limpios y colocarlos en soporte	186.9	204	211	183	170	173	179	177	160	196	216
2	Colocar resazurina en un beaker de 500 mL hasta la marca de 150 mL	15.4	13	11	17	18	16	13	18	21	13	14
3	Llene la pipeta calibrada con la resazurina	69.2	73	77	64	69	80	59	60	65	73	72
4	Vertir 2mL de resazurina en los viales	463.9	447	445	454	460	478	480	463	469	480	463
5	Colocar agua en el baño de maría hasta que esta llegue a la altura marcada	126.5	110	119	116	115	138	132	156	119	132	128
6	Preparar el baño de María a 37°C	41	45	32	37	38	37	39	40	43	47	52
7	Colocar los viales con resazurina en el baño de María para que se aclimaten a temperatura de 37°C	19.3	15	13	17	21	22	27	29	27	12	10
8	Verificar que la temperatura en el baño de María sea de 37°C.	918	900	960	840	900	900	960	1020	960	840	900
9	Hacia Jugo primario tándem A	170.6	169	173	160	149	162	154	189	158	177	215
10	Tomar muestra Jugo primario	69.5	63	56	64	73	68	67	72	79	79	74
11	Hacia molino 2 tándem A	10.2	10	9	11	9	12					
12	Tomar muestra molino 2	55.4	57	57	54	55	58	56	56	52	56	53
13	Hacia molino 3 tándem A	11.8	14	13	11	10	11					
14	Tomar muestra molino 3	56.4	55	58	61	57	60	58	59	52	53	51
15	Hacia molino 4 tándem A	13.4	13	15	14	12	13					
16	Tomar muestra molino 4	59	60	62	59	60	56	61	63	55	58	56
17	Hacia recirculación molino 3 tándem A	15	13	16	14	17	15					
18	Tomar muestra recirculación molino 3	62.1	61	65	67	69	67	61	54	61	54	62
19	Hacia recirculación molino 2 tándem A	15.8	15	17	16	14	17					
20	Tomar muestra recirculación molino 2	61.6	62	66	63	60	63	67	63	57	58	57
21	Hacia jugo diluido tándem A	21	20	19	23	22	21					
22	Tomar muestra Jugo diluido	37.4	36	37	42	38	37	35	36	39	36	38
23	Hacia Jugo primario tándem B	26.6	28	27	25	27	26					
24	Tomar muestra Jugo primario	69.5	63	56	64	73	68	67	72	79	79	74
25	Hacia molino 2 tándem B	12	13	12	12	11	12					
26	Tomar muestra molino 2	63.7	64	63	65	63	64	66	63	57	69	63
27	Hacia molino 3 tándem B	11.1	11	10	12	14	13	11	10	9	10	11
28	Tomar muestra molino 3	62	63	67	65	61	69	67	60	53	55	60
29	Hacia molino 4 tándem B	11.6	12	11	10	13	12					
30	Tomar muestra molino 4	62.6	61	69	70	62	65	66	64	57	53	59
31	Hacia recirculación molino 3 tándem B	62.1	61	65	67	69	67	61	54	61	54	62
32	Tomar muestra recirculación molino 3	62	63	67	65	61	69	67	60	53	55	60
33	Hacia recirculación molino 2 tándem B	15.4	14	16	14	16	17					
34	Tomar muestra recirculación molino 2	61.6	62	66	63	60	63	67	63	57	58	57
35	Hacia jugo diluido tándem B	23.8	24	26	24	22	23					
36	Tomar muestra Jugo diluido	37.4	36	37	42	38	37	35	36	39	36	38
37	Hacia Laboratorio de Caña	127	115	137	129	133	129	116	140	128	127	116
38	Filtrar las muestras tomadas con un colador para poder eliminar todo el bagacillo y colocarla en un beaker	200.5	190	200	211	197	203	214	203	194	195	198
39	Vertir las muestras filtradas en los viales.	61.1	63	68	59	62	60	58	63	65	59	54
40	Almacenar las muestras en el baño de María y anotar la hora en que fueron introducidos	29.6	32	36	27	29	31	26	30	33	26	26
41	Esperar 5 minutos	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
42	Observar los viales y verificar la tonalidad del jugo	12	12	11	11	13	12	11	10	15	13	12
43	Repetir pasos 41 y 42 hasta que el color de la muestra llegue a la tonalidad del jugo y no se observe otra coloración.											
44	Anotar el tiempo final para cada muestra.	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
45	Ingrese datos a la computadora para obtener los resultados del análisis del coeficiente microbiano.	257.4	245	270	283	256	231	267	265	254	239	264

Ilustración 78 Diagrama de Flujo del procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem.

Elaborado por:		Arturo José Letona Menéndez						
Actividad		Prueba de resazurina						
Método		Actual		Propuesto				
	Descripción de la actividad	Símbolo					Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
1	Tomar 70 viales limpios y colocarlos en soporte	●	⇒	D	□	▽	186.9	0
2	Colocar resazurina en un beaker de 500 mL hasta la marca de 150 mL	●	⇒	D	□	▽	15.4	0
3	Llene la pipeta calibrada con la resazurina	●	⇒	D	□	▽	69.2	0
4	Vertir 2mL de resazurina en los viales	●	⇒	D	□	▽	463.9	0
5	Colocar agua en el baño de maría hasta que esta llegue a la altura marcada	●	⇒	D	□	▽	126.5	4
6	Preparar el baño de María a 37°C	○	⇒	▶	□	▽	41	0
7	Colocar los viales con resazurina en el baño de María	●	⇒	D	□	▽	19.3	2
8	Verificar que la temperatura en el baño de María sea de 37°C.	○	⇒	D	▶	▽	918	0
9	Hacia Jugo primario tándem A	○	▶	D	□	▽	170.6	120
10	Tomar muestra Jugo primario	●	⇒	D	□	▽	69.5	1
11	Hacia molino 2 tándem A	○	▶	D	□	▽	10.2	5
12	Tomar muestra Molino 2	●	⇒	D	□	▽	55.4	1
13	Hacia molino 3 tándem A	○	▶	D	□	▽	11.8	5
14	Tomar muestra molino 3	●	⇒	D	□	▽	56.4	1
15	Hacia molino 4 tándem A	○	▶	D	□	▽	13.4	5
16	Tomar muestra molino 4	●	⇒	D	□	▽	59	1
17	Hacia recirculación molino 3 tándem A	○	▶	D	□	▽	15	7
18	Tomar muestra recirculación molino 3	●	⇒	D	□	▽	62.1	1
19	Hacia recirculación molino 2 tándem A	○	▶	D	□	▽	15.8	7
20	Tomar muestra reticulación molino 2	●	⇒	D	□	▽	61.6	1
21	Hacia jugo diluido tándem A	○	▶	D	□	▽	21	18
22	Tomar muestra jugo diluido	●	⇒	D	□	▽	37.4	1
23	Hacia Jugo primario tándem B	○	▶	D	□	▽	26.6	30
24	Tomar muestra Jugo primario	●	⇒	D	□	▽	69.5	1
25	Hacia molino 2 tándem B	○	▶	D	□	▽	12	5
26	Tomar muestra Molino 2	●	⇒	D	□	▽	63.7	1
27	Hacia molino 3 tándem B	○	▶	D	□	▽	11.1	5
28	Tomar muestra molino 3	●	⇒	D	□	▽	62	1
29	Hacia molino 4 tándem B	○	▶	D	□	▽	11.6	5
30	Tomar muestra molino 4	●	⇒	D	□	▽	62.6	1

Continuación Ilustración 78 Diagrama de Flujo del procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem.

31	Hacia recirculación molino 3 tándem B	○	➡	□	▽	62.1	7
32	Tomar muestra recirculación molino 3	●	➡	□	▽	62	1
33	Hacia recirculación molino 2 tándem B	○	➡	□	▽	15.4	7
34	Tomar muestra reticulación molino 2	●	➡	□	▽	61.6	1
35	Hacia jugo diluido tándem B	○	➡	□	▽	23.8	18
36	Tomar muestra	●	➡	□	▽	37.4	1
37	Hacia Laboratorio de Caña	○	➡	□	▽	127	100
38	Filtrar las muestras tomadas con un colador para poder eliminar todo el bagacillo y colocarla en un beaker	●	➡	□	▽	127	0.5
39	Vertir las muestras filtradas en los viales.	●	➡	□	▽	200.5	1
40	Almacenar las muestras en el baño de María y anotar la hora en que fueron introducidos	○	➡	□	▽	61.1	1
41	Esperar 30 minutos	○	➡	□	▽	1800	0
42	Observar los viales y verificar la tonalidad del jugo	○	➡	□	▽	300	1
-	Repetir pasos 41 y 42 hasta que el color de la muestra llegue a la tonalidad del jugo y no se observe otra coloración.	○	➡	□	▽		
43	Anotar el tiempo final para cada muestra.	●	➡	□	▽	30	0
44	Ingrese datos a la computadora para obtener los resultados del análisis del coeficiente microbiano	●	➡	□	▽	257.4	2

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación ○	24	2316.3	23.5
Transporte ➡	15	547.4	344
Demora □	2	1841	0
Inspección □	2	1218	1
Almacenamiento ▽	1	61.1	1

Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	5983.8	
	Minutos	99.73	
	Horas	1.66217	
		369.5	

Ilustración 79 Recorrido de la preparación inicial de la prueba de resazurina en laboratorio de caña.

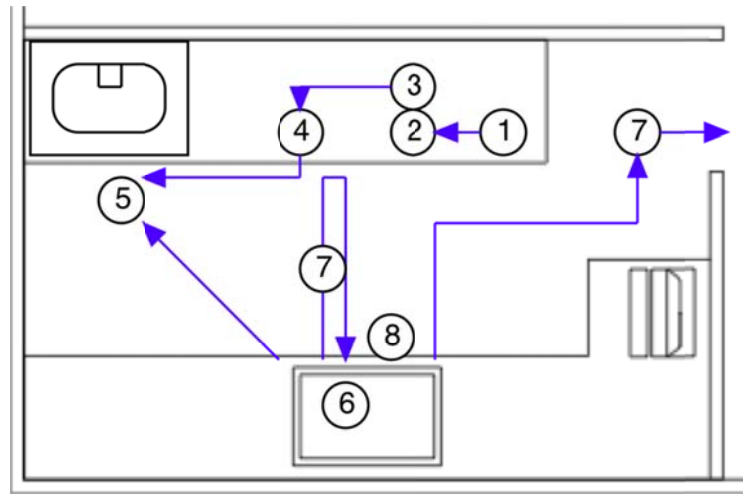


Ilustración 80 Traslado de laboratorio de caña hacia área de molinos para análisis de puntos críticos.

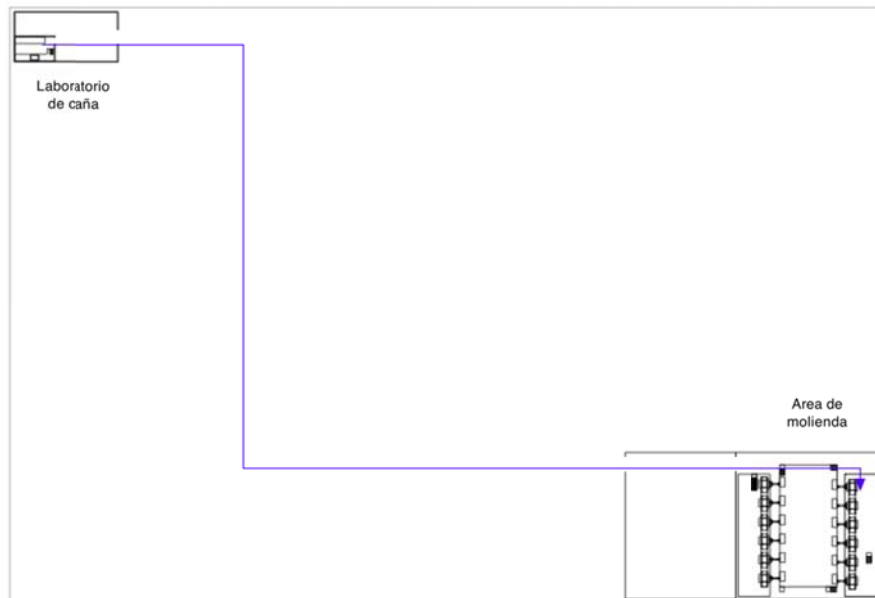


Ilustración 81 Recorrido de procedimiento de análisis de puntos críticos en tándem. Nivel 1 del ingenio.

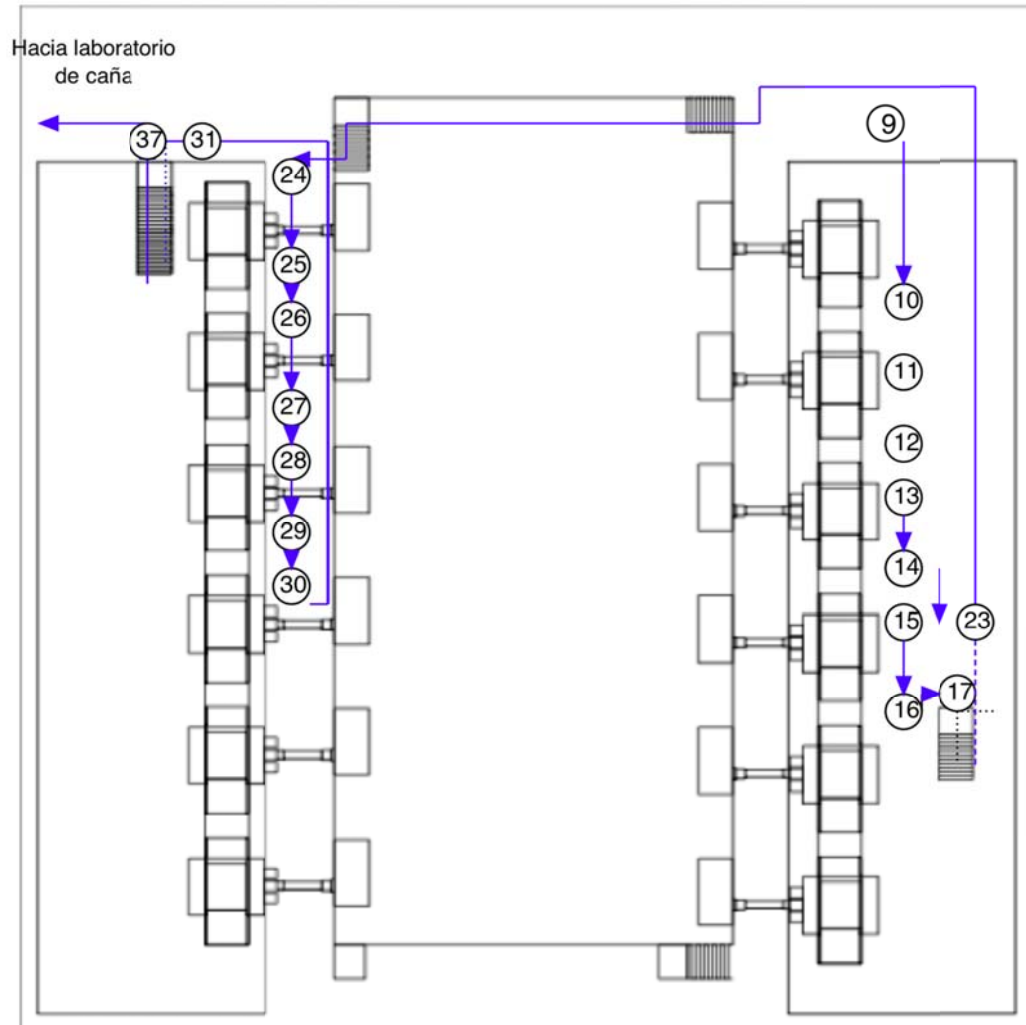


Ilustración 82 Recorrido del procedimiento de análisis de puntos críticos en tándem. Nivel 2 del ingenio.

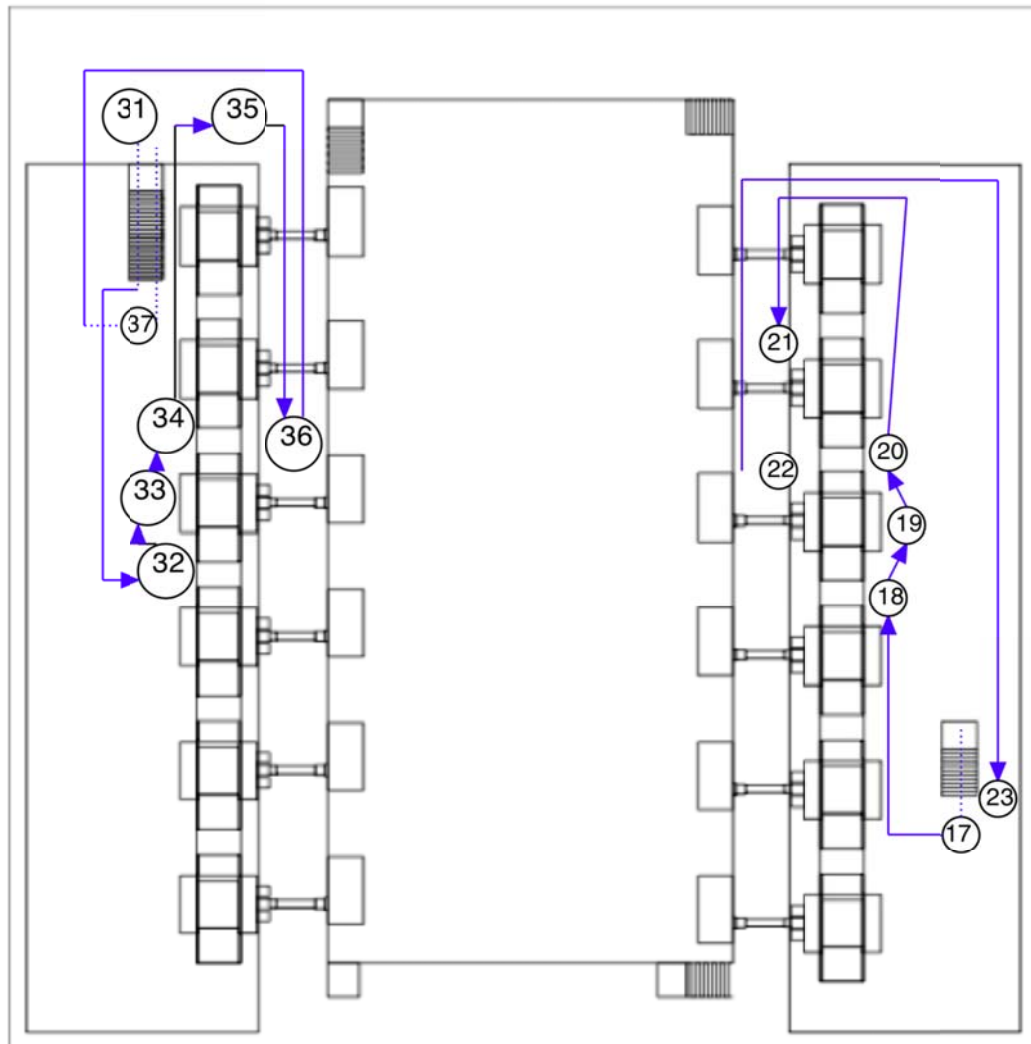


Ilustración 83 Recorrido de área de molinos al laboratorio de caña para realizar la prueba de resazurina.

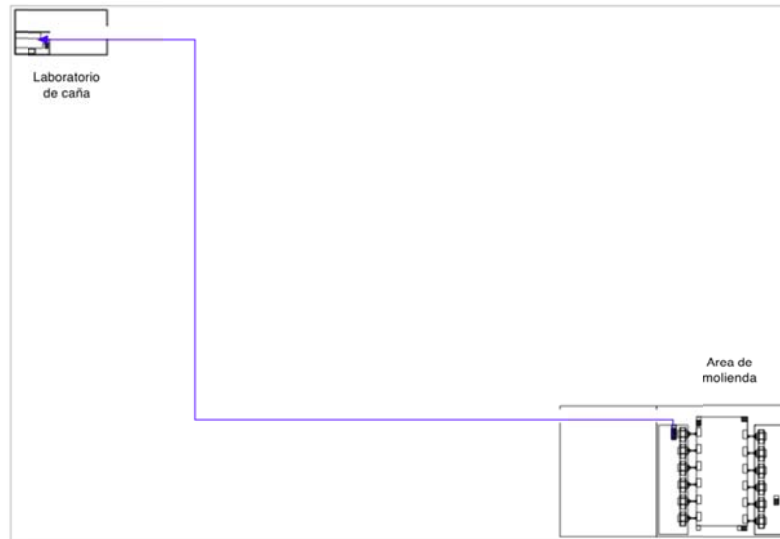


Ilustración 84 Diagrama de recorrido dentro del laboratorio de caña para realizar la prueba de resazurina.

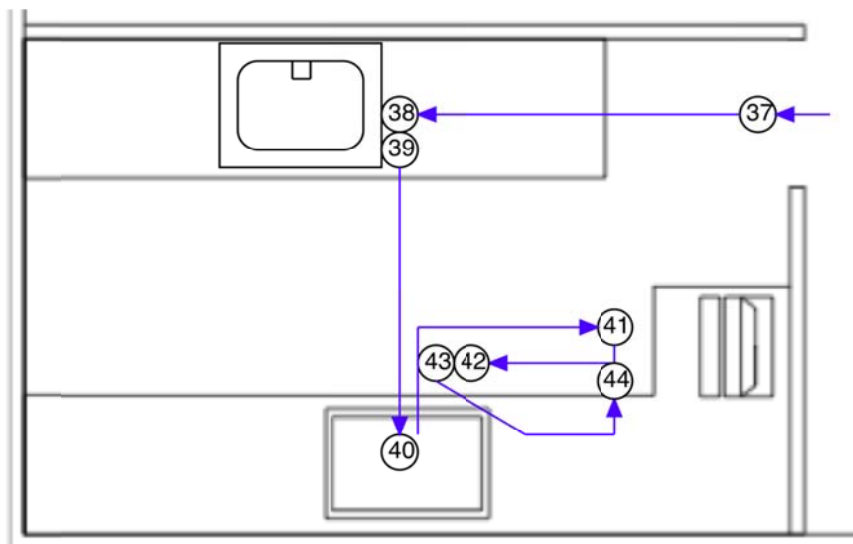


Ilustración 85 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en Jugo primario de tándem A y B.

Elaborado por:		Arturo José Letona Menéndez	
Actividad		Toma de muestra Jugo primario	
Método		<input checked="" type="checkbox"/> Actual	<input type="checkbox"/> Propuesto

	Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
1	Tomar la herramienta para conseguir la muestra del jugo	● → D □ ▽	5	
2	Abrir compuerta de acceso a jugo primario	● → D □ ▽	13	
3	Introducir herramienta en el jugo y llenar el vaso y vaciarlo tres veces para "endulzarlo"	● → D □ ▽	12	
4	Retirar herramienta del molino	● → D □ ▽	5	
5	Abrir bote recolector de muestra	● → D □ ▽	3	
6	Vertir la muestra obtenida en el bote recolector de muestra, se llena y vacía durante tres ocasiones para "endulzarlo"	● → D □ ▽	17	
7	Cerrar el bote recolector de muestra	● → D □ ▽	4	
8	Colocar el bote en la caja de muestreo	● → D □ ▽	2	
9	Cerrar compuerta de acceso a jugo primario	● → D □ ▽	4	
10	Recoger herramienta para toma de muestras.	● → D □ ▽	4	
11		○ → D □ ▽		
12		○ → D □ ▽		
13		○ → D □ ▽		
14		○ → D □ ▽		
15		○ → D □ ▽		

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	10	69	0
Transporte	0	0	0
Demora	0	0	0
Inspección	0	0	0
Almacenamiento	0	0	0

Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	69	
	Minutos	1.15	
	Horas	0.01917	

Ilustración 86 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en molino 2 de tándem A y tándem B

Elaborado por:		Arturo José Letona Menéndez	
Actividad		Toma de muestra Molino 2	
Método		Actual	Propuesto

	Descripción de la actividad	Símbolo				Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)	
1	Colocar caja de muestreo en el piso	●	⇒	D	□	▽	4	
2	Tomar herramienta de muestreo	●	⇒	D	□	▽	9	
3	Introducir herramienta en el jugo y llenar el vaso y vaciarlo tres veces para "endulzarlo"	●	⇒	D	□	▽	10	
4	Retirar herramienta del molino	●	⇒	D	□	▽	5	
5	Abrir bote recolector de muestra	●	⇒	D	□	▽	6	
6	Vertir la muestra obtenida en el bote recolector de muestra, se llena y vacía durante tres ocasiones para "endulzarlo"	●	⇒	D	□	▽	12	
7	Cerrar el bote recolector de muestra	●	⇒	D	□	▽	4	
8	Colocar el bote en la caja de muestreo	●	⇒	D	□	▽	2	
9	Recoger herramienta para toma de muestras	●	⇒	D	□	▽	3	
10		○	⇒	D	□	▽		
11		○	⇒	D	□	▽		
12		○	⇒	D	□	▽		
13		○	⇒	D	□	▽		
14		○	⇒	D	□	▽		
15		○	⇒	D	□	▽		

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	9	55	0
Transporte	0	0	0
Demora	0	0	0
Inspección	0	0	0
Almacenamiento	0	0	0

Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	55	
	Minutos	0.91667	
	Horas	0.01528	0

Ilustración 87 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en molino 3 de tándem A y tándem B

Elaborado por:	Arturo José Letona Menéndez		
Actividad	Toma de muestra Molino 3		
Método	<input type="checkbox"/> Actual	<input type="checkbox"/> Propuesto	

	Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
1	Colocar caja de muestreo en el piso	● → D □ ▽	5	
2	Tomar herramienta de muestro	● → D □ ▽	6	
3	Introducir herramienta en el jugo y llenar el vaso y vaciarlo tres veces para "endulzarlo"	● → D □ ▽	12	
4	Retirar herramienta del molino	● → D □ ▽	5	
5	Abrir bote recolector de muestra	● → D □ ▽	6	
6	Vertir la muestra obtenida en el bote recolector de muestra, se llena y vacía durante tres ocasiones para "endulzarlo"	● → D □ ▽	13	
7	Cerrar el bote recolector de muestra	● → D □ ▽	4	
8	Colocar el bote en la caja de muestreo	● → D □ ▽	2	
9	Recoger herramienta para toma de muestras	● → D □ ▽	3	

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	9	56	0
Transporte	0	0	0
Demora	0	0	0
Inspección	0	0	0
Almacenamiento	0	0	0

Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	56	
	Minutos	0.93333	
Horas	0.01556	0	

Ilustración 88 Diagrama de Flujo del proceso de recolección de muestra en molino 4 tándem A y B.

Elaborado por:	Arturo José Letona Menéndez		
Actividad	Toma de muestra Molino 4		
Método	<input type="checkbox"/> Actual	<input type="checkbox"/> Propuesto	

	Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
1	Colocar caja de muestreo en el piso	● → D □ ▽	5	
2	Tomar herramienta de muestreo	● → D □ ▽	8	
3	Introducir herramienta en el jugo y llenar el vaso y vaciarlo tres veces para "endulzarlo"	● → D □ ▽	12	
4	Retirar herramienta del molino	● → D □ ▽	5	
5	Abrir bote recolector de muestra	● → D □ ▽	6	
6	Vertir la muestra obtenida en el bote recolector de muestra, se llena y vacía durante tres ocasiones para "endulzarlo"	● → D □ ▽	14	
7	Cerrar el bote recolector de muestra	● → D □ ▽	4	
8	Colocar el bote en la caja de muestreo	● → D □ ▽	2	
9	Recoger herramienta para toma de muestras	● → D □ ▽	3	

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	9	59	0
Transporte	0	0	0
Demora	0	0	0
Inspección	0	0	0
Almacenamiento	0	0	0

Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	59	
	Minutos	0.98333	
	Horas	0.01639	0

Ilustración 89 Diagrama de Flujo recolección de muestra en recirculación molino 3 tándem A y B.

Elaborado por:	Arturo José Letona Menéndez		
Actividad	Toma de muestra Recirculación Molino 3		
Método	<input type="checkbox"/> Actual	<input type="checkbox"/> Propuesto	

	Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
1	Colocar caja de muestreo en el piso	● → D □ ▽	5	
2	Tomar herramienta de muestro	● → D □ ▽	8	
3	Introducir herramienta en el jugo y llenar el vaso y vaciarlo tres veces para "endulzarlo"	● → D □ ▽	12	
4	Retirar herramienta del molino	● → D □ ▽	5	
5	Abrir bote recolector de muestra	● → D □ ▽	6	
6	Vertir la muestra obtenida en el bote recolector de muestra, se llena y vacía durante tres ocasiones para "endulzarlo"	● → D □ ▽	17	
7	Cerrar el bote recolector de muestra	● → D □ ▽	4	
8	Colocar el bote en la caja de muestreo	● → D □ ▽	2	
9	Recoger herramienta para toma de muestras	● → D □ ▽	3	

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	9	62	0
Transporte	0	0	0
Demora	0	0	0
Inspección	0	0	0
Almacenamiento	0	0	0

Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	62	
	Minutos	1.03333	
	Horas	0.01722	0

Ilustración 90 Diagrama de Flujo recolección de muestra en recirculación de molino 2 tándem A y B.

Elaborado por:	Arturo José Letona Menéndez		
Actividad	Toma de muestra Recirculación Molino 2		
Método	<input type="checkbox"/> Actual	<input type="checkbox"/> Propuesto	
Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
1 Colocar caja de muestreo en el piso	● → D □ ▽	5	
2 Tomar herramienta de muestro	● → D □ ▽	8	
3 introducir herramienta en el jugo y llenar el vaso y vaciarlo tres veces para "endulzarlo"	● → D □ ▽	12	
4 Retirar herramienta del molino	● → D □ ▽	5	
5 Abrir bote recolector de muestra	● → D □ ▽	6	
6 Vertir la muestra obtenida en el bote recolector de muestra, se llena y vacía durante tres ocasiones para "endulzarlo"	● → D □ ▽	17	
7 Cerrar el bote recolector de muestra	● → D □ ▽	4	
8 Colocar el bote en la caja de muestreo	● → D □ ▽	2	
9 Recoger herramienta para toma de muestras	● → D □ ▽	3	
Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	9	62	0
Transporte	0	0	0
Demora	0	0	0
Inspección	0	0	0
Almacenamiento	0	0	0
Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	62	
	Minutos	1.03333	
	Horas	0.01722	0

Ilustración 91 Diagrama de Flujo de recolección de muestra en jugos diluidos de tándem A y B.

Elaborado por:		Arturo José Letona Menéndez	
Actividad		Toma de muestra Jugo Diluido	
Método		<input type="checkbox"/> Actual	<input type="checkbox"/> Propuesto

	Descripción de la actividad	Símbolo	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
1	Colocar caja de muestreo en el piso	● → D □ ▽	5	
2	Abrir bote recolector de muestra	● → D □ ▽	6	
3	Abrir la llave del jugo diluido y colocar bote debajo de esta	● → D □ ▽	5	
4	Vertir la muestra en el bote recolector de muestra, se llena y vacía durante tres ocasiones para "endulzarlo"	● → D □ ▽	5	
5	Cerrar la llave del jugo diluido	● → D □ ▽	6	
6	Cerrar el bote recolector de muestra	● → D □ ▽	6	
7	Colocar el bote en la caja de muestreo	● → D □ ▽	4	

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	7	37	0
Transporte	0	0	0
Demora	0	0	0
Inspección	0	0	0
Almacenamiento	0	0	0

Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	37	
	Minutos	0.61657	
	Horas	0.01028	

Tabla 65 Tiempos del procedimiento de análisis de los puntos críticos en tándem para la situación.

		Tiempo (Segundos)										
1	Tomar 70 viales limpios y colocarlos en soporte	186.9	204	211	183	170	173	179	177	160	196	216
2	Colocar resazurina en un beaker de 500 mL hasta la marca de 150 mL	15.4	13	11	17	18	16	13	18	21	13	14
3	Llene la pipeta calibrada con la resazurina	69.2	73	77	64	69	80	59	60	65	73	72
4	Vertir 2mL de resazurina en los viales	463.9	447	445	454	460	478	480	463	469	480	463
5	Colocar agua en el baño de maría hasta que esta llegue a la altura marcada	126.5	110	119	116	115	138	132	156	119	132	128
6	Preparar el baño de María a 37°C	41	45	32	37	38	37	39	40	43	47	52
7	Hacia Jugo primario tándem A	170.6	169	173	160	149	162	154	189	158	177	215
8	Tomar muestra Jugo primario	69.5	63	56	64	73	68	67	72	79	79	74
9	Hacia molino 2 tándem A	10.2	10	9	11	9	12					
10	Tomar muestra molino 2	55.4	57	57	54	55	58	56	56	52	56	53
11	Hacia molino 3 tándem A	11.8	14	13	11	10	11					
12	Tomar muestra molino 3	56.4	55	58	61	57	60	58	59	52	53	51
13	Hacia molino 4 tándem A	13.4	13	15	14	12	13					
14	Tomar muestra molino 4	59	60	62	59	60	56	61	63	55	58	56
15	Hacia recirculación molino 3 tándem A	15	13	16	14	17	15					
16	Tomar muestra recirculación molino 3	62.1	61	65	67	69	67	61	54	61	54	62
17	Hacia recirculación molino 2 tándem A	15.8	15	17	16	14	17					
18	Tomar muestra recirculación molino 2	61.6	62	66	63	60	63	67	63	57	58	57
19	Hacia jugo diluido tándem A	21	20	19	23	22	21					
20	Tomar muestra Jugo diluido	37.4	36	37	42	38	37	35	36	39	36	38
21	Hacia jugo diluido tándem B	23.8	24	26	24	22	23					
22	Tomar muestra Jugo diluido	37.4	36	37	42	38	37	35	36	39	36	38
23	Hacia recirculación molino 3 tándem B	17.7	17	16	17	19	17	18	19	18	19	17
24	Tomar muestra recirculación molino 3	62	63	67	65	61	69	67	60	53	55	60
25	Hacia recirculación molino 2 tándem B	15.4	14	16	14	16	17					
26	Tomar muestra recirculación molino 2	61.6	62	66	63	60	63	67	63	57	58	57
27	Hacia Jugo primario tándem B	26.6	28	27	25	27	26					
28	Tomar muestra Jugo primario	69.5	63	56	64	73	68	67	72	79	79	74
29	Hacia molino 2 tándem B	12	13	12	12	11	12					
30	Tomar muestra molino 2	63.7	64	63	65	63	64	66	63	57	69	63
31	Hacia molino 3 tándem B	11.4	12	13	11	12	10	12	11	10	12	11
32	Tomar muestra molino 3	62	63	67	65	61	69	67	60	53	55	60
33	Hacia molino 4 tándem B	11.6	12	11	10	13	12					
34	Tomar muestra molino 4	62.6	61	69	70	62	65	66	64	57	53	59
35	Hacia Laboratorio de Caña	127	115	137	129	133	129	116	140	128	127	116
36	Vertir las muestras en los viales.	61.1	63	68	59	62	60	58	63	65	59	54
37	Verificar que la temperatura en el baño de María sea de 37°C.	9.6	10	8	11	10	9	12	9	12	8	7
38	Almacenar las muestras en el baño de María y anotar la hora en que fueron introducidos	29.6	32	36	27	29	31	26	30	33	26	26
39	Observar los viales y verificar la tonalidad del jugo. Ingreso de datos a computadora	28.7	28	23	27	23	38	28	33	31	27	29

Ilustración 92 Diagrama de Flujo para metodología propuesta para análisis de puntos críticos en tándem.

Elaborado por:		Arturo José Letona Menéndez			
Actividad		Prueba de resazurina			
Método		Actual		Propuesto	

	Descripción de la actividad	Símbolo					Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
1	Tomar 70 viales limpios y colocarlos en soporte	●	⇒	D	□	▽	186.9	0
2	Colocar resazurina en un beaker de 500 mL hasta la marca de 150 mL	●	⇒	D	□	▽	15.4	0
3	Llene la pipeta calibrada con la resazurina	●	⇒	D	□	▽	69.2	0
4	Vertir 2mL de resazurina en los viales (70)	●	⇒	D	□	▽	463.9	0.5
5	Colocar agua en el baño de maría hasta que esta llegue a la altura marcada	●	⇒	D	□	▽	126.5	6
6	Preparar el baño de María a 37°C	●	⇒	D	□	▽	41	0
7	Hacia Jugo primario tándem A	○	⇒	D	□	▽	170.6	120
8	Tomar muestra Jugo primario	●	⇒	D	□	▽	69.5	0
9	Hacia molino 2 tándem A	○	⇒	D	□	▽	10.2	5
10	Tomar muestra Molino 2	●	⇒	D	□	▽	55.4	0
11	Hacia molino 3 tándem A	○	⇒	D	□	▽	11.8	5
12	Tomar muestra molino 3	●	⇒	D	□	▽	56.4	0
13	Hacia molino 4 tándem A	○	⇒	D	□	▽	13.4	5
14	Tomar muestra molino 4	●	⇒	D	□	▽	59	1
15	Hacia recirculación molino 3 tándem A	○	⇒	D	□	▽	15	7
16	Tomar muestra recirculación molino 3	●	⇒	D	□	▽	62.1	0
17	Hacia recirculación molino 2 tándem A	○	⇒	D	□	▽	15.8	7
18	Tomar muestra reticulación molino 2	●	⇒	D	□	▽	61.6	0
19	Hacia jugo diluido tándem A	○	⇒	D	□	▽	21	18
20	Tomar muestra jugo diluido	●	⇒	D	□	▽	37.4	0
21	Hacia jugo diluido tándem B	○	⇒	D	□	▽	23.8	10
22	Tomar muestra	●	⇒	D	□	▽	37.4	0
23	Hacia recirculación molino 3 tándem B	○	⇒	D	□	▽	17.7	18
24	Tomar muestra recirculación molino 3	●	⇒	D	□	▽	62	0
25	Hacia recirculación molino 2 tándem B	○	⇒	D	□	▽	15.4	7
26	Tomar muestra reticulación molino 2	●	⇒	D	□	▽	61.6	0
27	Hacia Jugo primario tándem B	○	⇒	D	□	▽	26.6	12
28	Tomar muestra Jugo primario	●	⇒	D	□	▽	69.5	0
29	Hacia molino 2 tándem B	○	⇒	D	□	▽	12	5
30	Tomar muestra Molino 2	●	⇒	D	□	▽	63.7	0
31	Hacia molino 3 tándem B	○	⇒	D	□	▽	11.4	5
32	Tomar muestra molino 3	●	⇒	D	□	▽	62	0
33	Hacia molino 4 tándem B	○	⇒	D	□	▽	11.6	5
34	Tomar muestra molino 4	●	⇒	D	□	▽	62.6	0

Continuación Ilustración 92 Diagrama de Flujo para metodología propuesta para análisis de puntos críticos en tándem.

35	Hacia Laboratorio de Caña	○	▶	D	□	▽	127	110
36	Vertir las muestras en los viales.	●	▶	D	□	▽	61.1	0
37	Verificar que la temperatura en el baño de María sea de 37°C.	○	▶	D	□	▽	9.6	0.5
38	Almacenar las muestras en el baño de María y anotar la hora en que fueron introducidos	●	▶	D	□	▽	29.6	0.5
39	Si hay una muestra en el baño de María realizar la revisión para observar si se ha dado la reducción de resazurina, si se presentó la reducción se ingresa en la hoja de resultados la hora del viraje	●	▶	D	□	▽	28.7	1
-	Repetir pasos del 7 al 39 para realizar otra toma de muestras	○	▶	D	□	▽	0	0

Evento	Total	Tiempo (Segundos)	Distancia (Metros)
Operación	23	1842.5	9
Transporte	15	503.3	339
Demora	0	0	0
Inspección	1	9.6	0
Almacenamiento	0	0	0

Total	Tiempo		Distancia
	Segundos	2355.4	
	Minutos	39.2567	
	Horas	0.65428	

Ilustración 93 Recorrido de preparación de prueba de resazurina en laboratorio de caña para la situación.

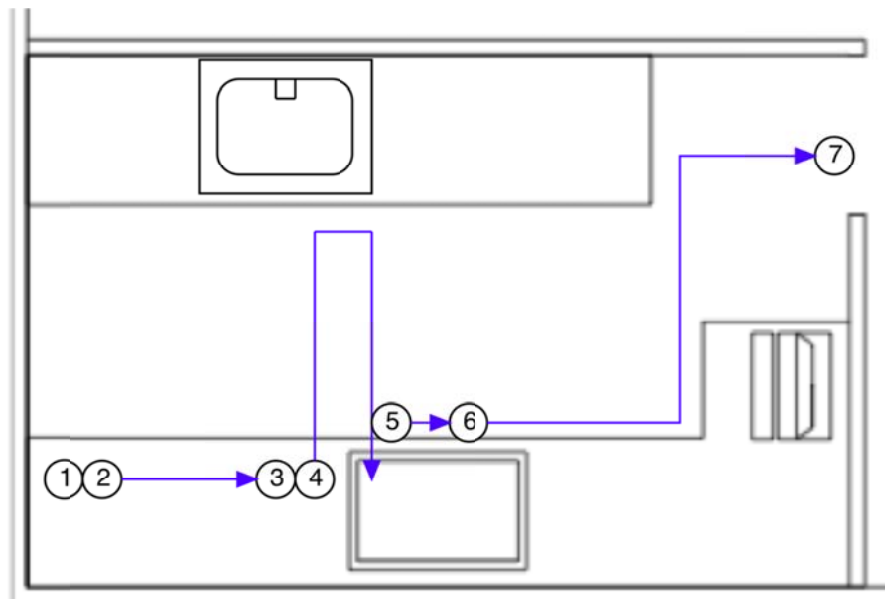


Ilustración 94 Traslado de laboratorio al área de molinos para puntos críticos en tándem para la situación.

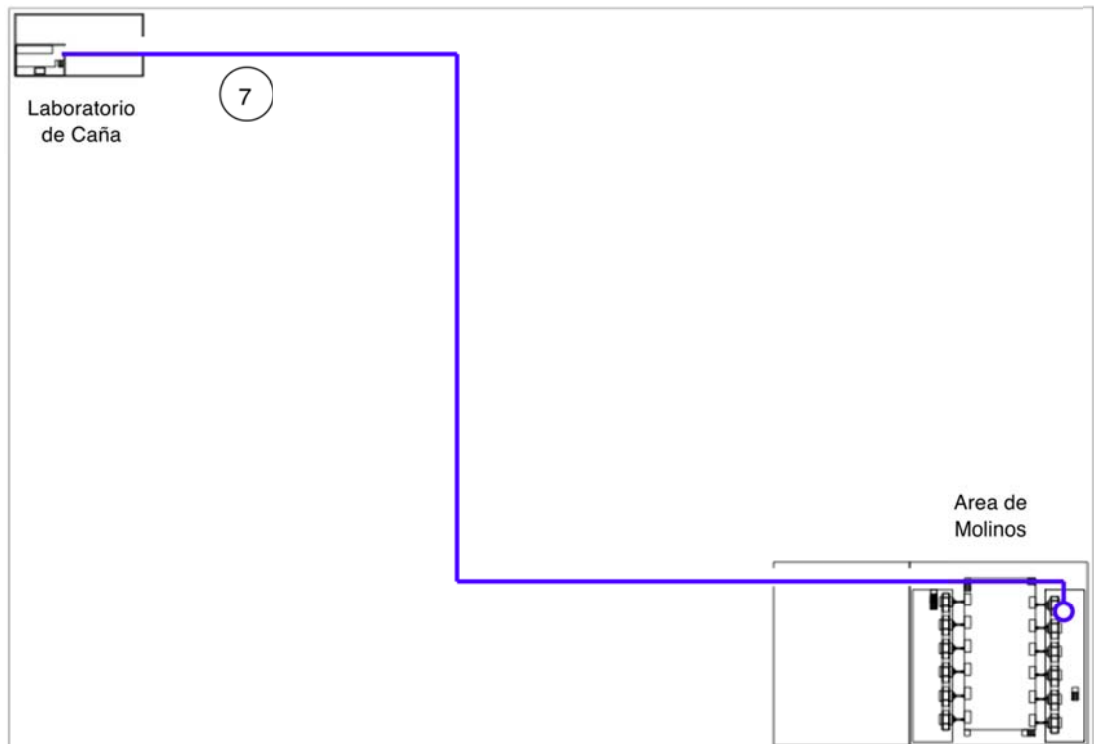


Ilustración 95 Recorrido de análisis de puntos críticos en tándem para la situación. Nivel 1 del ingenio.

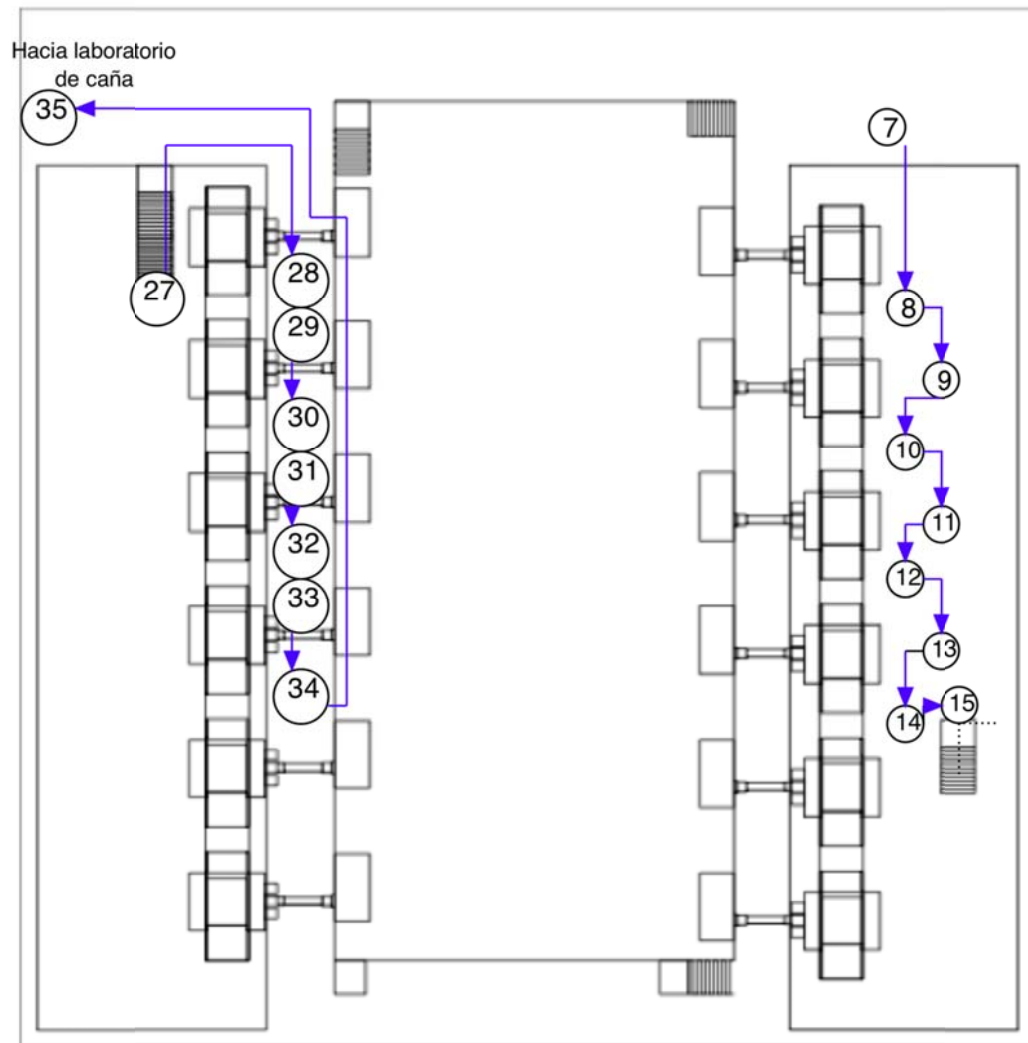


Ilustración 96 Recorrido de análisis de puntos críticos en tándem para la situación. Nivel 2 del ingenio.

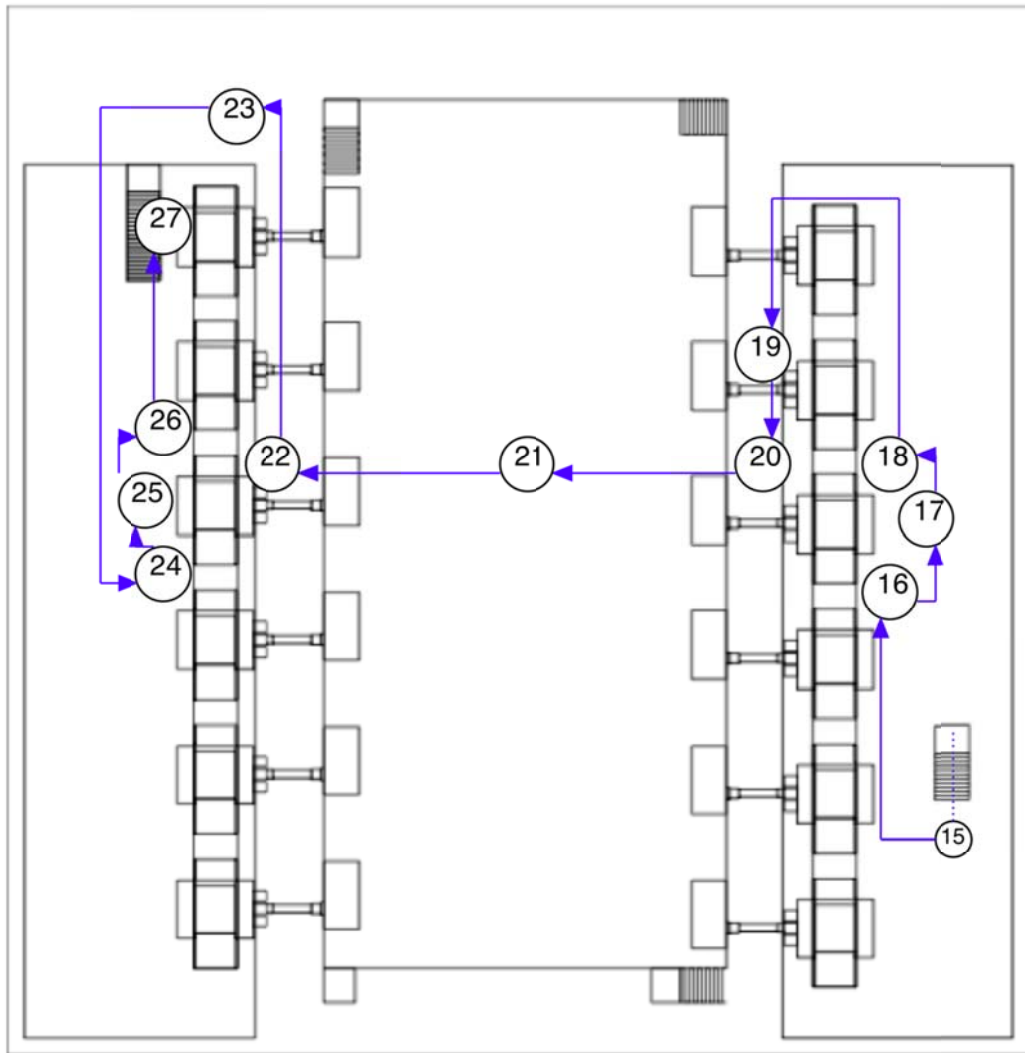


Ilustración 97 Recorrido área de molinos a laboratorio para realizar prueba resazurina para la situación.

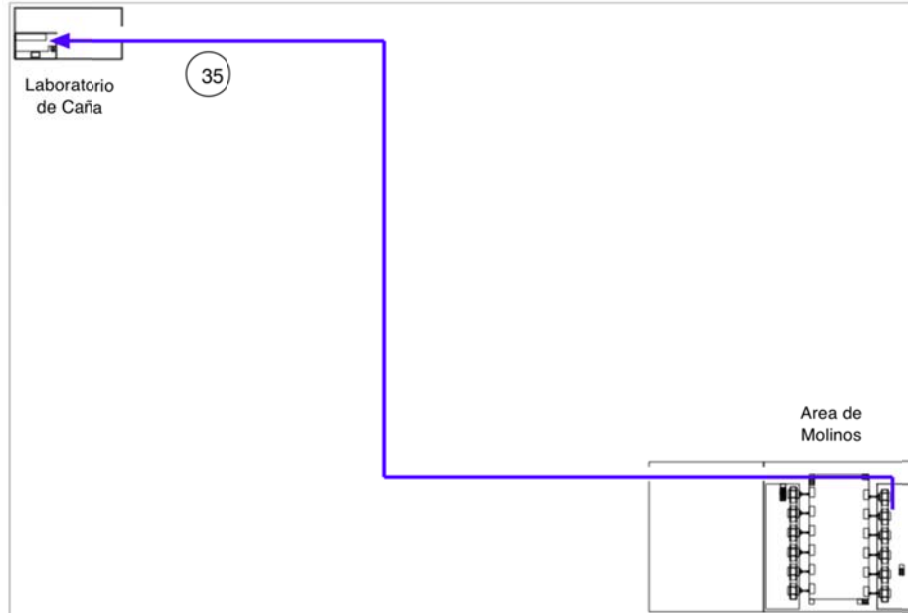


Ilustración 98 Recorrido dentro de laboratorio para realizar prueba de resazurina para la situación.

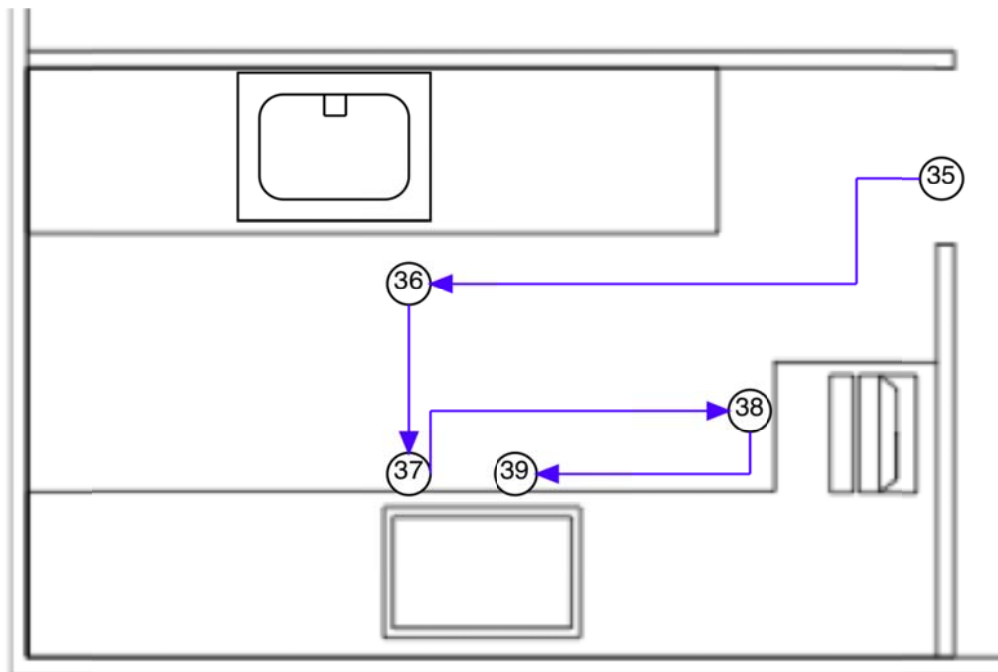



Tabla 66 Formato propuesto para el ingreso de datos para el cálculo del coeficiente microbiológico.

Tándem	Molino	Hora de incubación	Hora final	CM
A	Molino 1	10:34	13:01	2.0
B	Molino 1	11:36	13:56	2.1
A	Molino 3	11:38	13:56	2.2
A	Molino 4	9:07	14:52	0.9
A	Molino 5	9:10	14:25	1.0
Ejemplo	Ejemplo	9:00	10:00	5.0
Ejemplo	Ejemplo	9:00	10:15	4.0
Ejemplo	Ejemplo	9:00	10:30	3.3
Ejemplo	Ejemplo	9:00	11:00	2.5
Ejemplo	Ejemplo	9:00	11:30	2.0
Ejemplo	Ejemplo	9:00	12:20	1.5
Ejemplo	Ejemplo	9:00	14:00	1.0
Ejemplo	Ejemplo	9:00	19:00	0.5
Ejemplo	Ejemplo	9:00	23:00	0.4

Ilustración 99 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.

<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL TÁNDEM</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

1. Objetivo:

El objetivo del presente manual es establecer la secuencia de pasos estándar para realizar el procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.

2. Aplicación:

Este procedimiento se utilizará para el análisis de los puntos críticos en el tándem. El procedimiento será utilizado en el laboratorio de caña y tándemes A y B.

3. Seguridad:


3.1. Riesgos asociados a la tarea:

- Traumatismos por atrapamiento de equipos en movimiento
- Quemaduras por contacto con agua caliente
- Enfermedades cutáneas por exposición a bacterias
- Exposición a químicos.

3.2. Equipo de protección:

- Zapatos industriales con punta de acero.
- Casco.
- Lentes de seguridad.
- Tapones auditivos.
- Bata de manga larga
- Guantes desechables

Ilustración 100 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem..

<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL TÁNDEM</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

4. Equipos, materiales y reactivos:

- Baño térmico (Baño de María)
- Termómetro
- Pipeta calibrada
- Gradilla
- Beakers de 500 ml
- Viales de polipropileno
- Envases plásticos
- Recipiente de acero inoxidable con mango de 1.50 metros.
- Solución de resazurina.

5. Ubicación de los puntos de muestreo:

La recolección de las muestras para procedimiento de análisis de puntos críticos en el tándem se realizan en el siguiente orden:

- Primario tándem A
- Molino 2 tándem A
- Molino 3 tándem A
- Molino 4 tándem A
- Recirculación molino 3 tándem A
- Recirculación molino 2 tándem A
- Diluido tándem A
- Primario tándem B
- Molino 2 tándem B
- Molino 3 tándem B
- Molino 4 tándem B

Ilustración 101 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem..

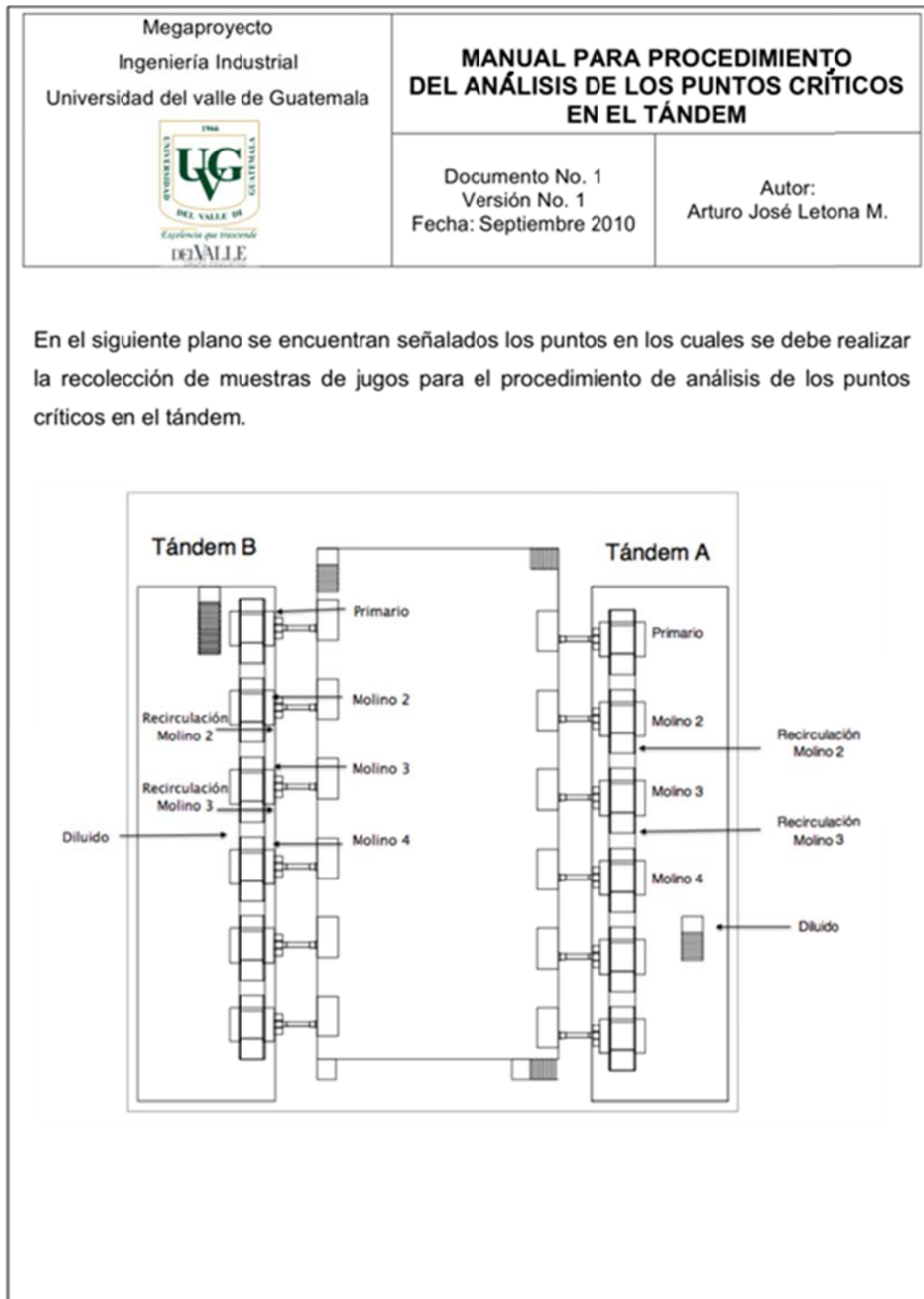



Ilustración 102 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem..


<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL TÁNDEM</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

Para la toma de las muestras en los jugos diluidos, se siguen los siguientes pasos:

- i. Ubicar el área donde será tomada la muestra
- ii. Abrir la llave de paso para la extracción de la muestra
- iii. Se coloca el recipiente plástico debajo de la llave de paso y se endulza en dos ocasiones. La otra mano permanece en la llave para cerrarla.
- iv. Se llena el recipiente plástico con la muestra y se cierra con la tapa.

- h. Al terminar de realizar la toma de muestras en los puntos establecidos, dirijase hacia el laboratorio de caña, donde se procederá al análisis de las muestras colectadas en los puntos críticos de los tándemes.
- i. Verter las muestras colectadas en los viales
- j. Verificar que la temperatura sea de $37 \pm 0.5^\circ\text{C}$.
- k. Almacenar las muestras en el baño térmico y anotar en la computadora la hora en la que fueron introducidas.
- l. En caso que haya una muestra en el baño térmico, realizar la revisión para observar si se ha dado la reducción de resazurina. Si la muestra llega a un color equivalente al color del jugo se finalizara la incubación y anotara el tiempo final en el formato de ingreso de datos para obtener los resultados del análisis de puntos críticos del tándem.

Ilustración 103 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.

<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL TÁNDEM</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>


7. Reporte de datos:

La interpretación del coeficiente microbiológico (CM) se deberá de realizar utilizando la siguiente tabla:

CM	Valoración del resultado
Menor a 1,5	Bueno
1,5-2	Bueno
2-2,5	Aceptable
2,5-3	Malo
3 – 5	Crítico
Mayor de 5	Muy crítico

Al ingresar en el formato de reporte de datos el tiempo inicial y final de incubación, se desplegara el coeficiente microbiológico (CM) acompañado de un despliegue visual de la valoración del resultado obtenido.

Ilustración 104 Manual para procedimiento del análisis de los puntos críticos en el tándem.

<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA PROCEDIMIENTO DEL ANÁLISIS DE LOS PUNTOS CRÍTICOS EN EL TÁNDEM</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

6. Procedimiento:

- a. Tomar los viales limpios y colocarlos en la gradilla
- b. Colocar la resazurina en un beaker de 500 ml hasta la marca de 150 ml.
- c. Llenar la pipeta calibrada con la resazurina
- d. Verter 2 ml. De resazurina en los viales de polipropileno.
- e. Colocar agua en el baño térmico hasta la altura marcada.
- f. Prender el baño térmico y graduarlo a una temperatura de $37\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.
- g. Dirijase hacia el área de molinos del ingenio.
 - I. Proceda a realizar la recolección de las muestras siguiendo el orden establecido en el inciso numero 5 de este manual.

Para la toma de la muestras en los jugos primarios, molino 2, molino 3, molino 4, recirculación molino 3 y recirculación molino 2, se siguen los siguientes pasos:

- i. Ubicar el área donde será tomada la muestra
- ii. Abrir la compuerta que lo contiene
- iii. Tomar la herramienta de muestreo
- iv. Se lleva la herramienta de muestreo hacia la caída del jugo, se endulza en dos ocasiones.
- v. Se llena la herramienta de muestreo y se saca la muestra del jugo.
- vi. Se endulza en dos ocasiones el recipiente plásticos
- vii. Se llena el recipiente plástico y se cierra con la tapa

Ilustración 105 Encuesta nivel de entrenamiento, conocimiento y seguridad en asepsia y resultados.

Encuesta

1. ¿Ha recibido usted entrenamiento sobre la forma correcta de realizar el procedimiento de la asepsia?

Sí. (20 %) No. (80%)

2. ¿Cómo aprendió usted a realizar esta tarea?

a. Por medio de entrenamiento. (20%)

b. Observando a un compañero. (20%)

c. Un compañero le enseñó. (60%)

d. Otro. ¿Cómo? _____ (0%)

3. ¿Se siente usted seguro realizando esta tarea?

Sí. (0%) No. (100%)

Ilustración 106 Front – End Analysis realizado para evaluar la tarea de la limpieza de los molinos.

Realizado por:	Arturo José Letona
Fecha:	Marzo 2010

Front - End Analysis

ACTIVIDAD

Procedimiento de asepsia de los molinos.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El proceso de limpieza de los molinos es realizado de manera distinta por cada uno de los Operadores. No existe consistencia en el proceso.

¿EXISTE UN MANUAL O PROCEDIMIENTO?

Si existe un manual para realizar la limpieza de los molinos.

En escala de 1 a 10 que tan apegado al procedimiento se realiza la tarea. (Siendo cero (0) cuando no hay concordancia y diez (10) que es siguiendo el procedimiento)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

SUGERENCIA PARA ATACAR LA(S) DEFICIENCIAS ENCONTRADAS

Revisar que el procedimiento descrito en el manual para la limpieza de los molinos sea el adecuado para realizar la actividad. Realizar entrenamientos para que los operadores puedan realizar la tarea de manera correcta.

Ilustración 107 Capacitación para el proceso de la asepsia de los molinos.



La asepsia de los molinos

Agenda

- Definición
- Objetivo
- Importancia
- EPP
- Errores típicos
- Que debo de evitar

¿Qué es la asepsia?

- Es la técnica empleada para poder eliminar la presencia de microorganismos patógenos en el área de molinos.

Objetivo

- Mantener limpia el área de molinos del tándem.

Importancia

- La acumulación de bagazo en el área de molinos del ingenio ocasiona la aparición de la bacteria de *Leuconostoc Mesenteroides*. Esta bacteria ocasiona pérdidas de azúcar al transformar la sacarosa en glucosa.

Equipo de protección personal (EPP)

- Botas de hule con punta de acero.
- Casco.
- Lentes de seguridad.
- Careta protectora de cara completa.
- Tapones auditivos.
- Guantes para altas temperaturas.
- Gabacha plástica resistente a altas temperaturas.



Continuación Ilustración 107 Capacitación para el proceso de la asepsia de los molinos.

Errores típicos al realizar la limpieza de los molinos

- Utilización de manera excesiva del agua.
- Al momento de limpiar, se ensucian otras áreas.
- Arrastrar el bagazo o hacia los drenajes, los cuales pueden taparse y ocasionar problemas en el futuro.
- El agua utilizada no está dentro de los límites de temperatura y presión establecidos.
- Utilización de equipo defectuoso o en mal estado.
- No utilizar el EPP correcto.

¿Qué debo de evitar?

- Ponerme en riesgo al realizar la limpieza
- Dejar montones de bagazo en la operación.
- Aplicar agua para regresar el bagazo hacia el molino.
- Arrastrar el bagazo hacia los drenajes.
- Tener herramientas en mal estado.
- Realizar la tarea sin EPP.

¿Qué necesito para realizar la limpieza?

- Tomas de agua caliente
- Manguera de hule resistente a la presión y temperatura.
- Agua caliente.
- Cinta amarilla de precaución

Mapa de ubicación de tomas de agua caliente en el tándem



Antes de iniciar...

- Verificar que el agua empleada en el proceso de asepsia de los molinos cumpla con una temperatura mínima de 60°C (176°F) y una presión mínima de 1.034 kPa (150 psi).
- acordonar el área a intervenir, colocando cinta amarilla de precaución, para evitar riesgos de quemaduras a terceros.



Entrega de manual para realizar la limpieza de los molinos.

Continuación Ilustración 107 Capacitación para el proceso de la asepsia de los molinos.

¿Dudas?	<p>Recorrido al área de molinos para identificar y entender el proceso.</p> <p>Observar tomas de agua caliente.</p> <p>Verificar el equipo necesario para realizar la limpieza.</p>
---------	---

Ilustración 108 Examen para la capacitación de la asepsia de los molinos.

Evaluación de la rutina de asepsia de los molinos

Antes de que el trabajador pueda realizar por sí solo la rutina de la asepsia debe demostrar la manera como aplica la rutina de la asepsia

	SABE	NO SABE
Conoce el EPP necesario para realizar la tarea		
Conoce la ubicación de las tomas de agua caliente		
Conoce los puntos donde debe realizar la asepsia		
Aplica los aspectos de seguridad e higiene en la tarea		
Sabe colocar la cinta amarilla para acordonar áreas donde realiza la limpieza.		
Aplicar agua caliente en las mazas		
Aplicar agua caliente en los soportes de las cuchillas		


El evaluador solicita al encargado de la asepsia que responda las siguiente preguntas.

	SABE	NO SABE
¿Por qué es importante la limpieza?		
¿Qué es la asepsia?		
¿Cuál es el objetivo de la asepsia?		
¿Cuáles son los errores típicos que se deben de evitar en la asepsia		
¿Por qué debo colocar la cinta amarilla de precaución?		

Ilustración 109 Requerimientos para barandales y rodapiés.

Barandales estándar	
Requisitos	Interpretación y ejemplos
<p>Los barandales estándar son requeridos en:</p> <ul style="list-style-type: none"> Todas las superficies abiertas o plataformas a más de 4 pies (1.2 m) sobre el suelo o la superficie de trabajo Todas las plataformas, pasillos, etc. localizados sobre materiales peligrosos sin importar la altura a la cual se encuentren. <p>Un barandal estándar debe tener:</p> <ul style="list-style-type: none"> Un barandal superior que sea liso y redondeado (o de forma que permita un agarre adecuado) colocado a 42" (1.07 m). Los barandales superiores deben ser capaces de soportar una fuerza de 200 lb (90 kg) en cualquier dirección. El barandal intermedio debe ser colocado a 19" (0.48 m) debajo del barandal superior. El barandal intermedio debe ser capaz de soportar una fuerza de 50 lb (22.5 kg) en cualquier dirección. Para construcción coloque el barandal superior y el rodapié, divida en dos el espacio libre entre ambos y coloque ahí el barandal intermedio. El espacio que quede debe ser máximo de 19" (0.48m). Los rodapiés, de al menos 4" (104 mm) de altura, deben tener un espacio máximo entre el rodapié y la plataforma de 1/4" (6mm). Para Canadá, el rodapié debe tener al menos 5 pulg. (127mm) de altura. El rodapié debe ser capaz de soportar una carga mínima de 50 lb (22.5 kg) en cualquier dirección. Los postes verticales deben ser colocados a 1.8 m (6 pies) de separación máxima. Si el barandal va alrededor de alguna plataforma diseñada para estar ocupada por gente, los códigos locales pueden requerir que el espacio entre postes sea menor (Hasta 1.8 m (6 pies) de espaciamento). Refiérase a los códigos locales. Los barandales temporales deben cubrir los mismos requisitos que los barandales permanentes. El material del que está construido el barandal debe ser tubo (diámetro mínimo de 1.5" o 38 mm para pasamanos y postes) o vigas estructurales de acero (2" x 2" x 3/8") con los postes de soporte colocados a 8 pies (2.4 m) como máximo. La forma del barandal debe adecuarse a la forma de la mano de tal forma que cualquier persona pueda agarrarse para evitar caídas. Se debe colocar un pasamanos de tal forma que haya una superficie lisa en la parte superior y en ambos extremos del barandal. Los extremos del barandal deben doblar hacia la pared (O algún otro arreglo) de forma que no constituyan un peligro al sobresalir. Solo se podrá usar madera en instalaciones temporales. Si se utiliza madera para barandales temporales, deben usarse postes de madera de al menos 2 pulg. x 4 pulg. espaciados 6 pies como máximo. Escaleras y barandales – Ver escaleras fijas 	<p>Top rail → 1.07 m (42 inches)</p> <p>Intermediate rail → 0.48 m (19 in)</p> <p>Maximum opening size = 0.48 m (19 in)</p> <p>Toe board or Kick plate → 104 mm (4 inches)</p> <p>Siempre que se realice trabajo sobre techos, debe protegerse a la gente que realiza el trabajo. La solución DEBE abarcar todo tipo de trabajo incluyendo al menos: Operaciones, Inspección de techos y mantenimiento a techos en la orilla. Las soluciones típicas para trabajo en techos incluyen: Parapetos (Extensión de las paredes de hasta 42" (107 cm); un barandal estándar alrededor del perímetro del techo; o un sistema de restricción.</p> <p>Las actividades de construcción no están cubiertas por estos requisitos de frecuencia, pero debe considerarse prevención de caídas antes de protección de caídas.</p> <p>Haga click aquí para aplicaciones típicas de trabajo en techos.</p>
<p>Referencias: ANSI A1264.1 – 1995; OSHA 1920.27; EN 365</p>	

Ilustración 110 Manual para realizar la asepsia de los molinos.

<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA REALIZAR LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS.</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

1. Objetivo:

El objetivo del presente manual es establecer una metodología para realizar el proceso de asepsia en los molinos.

2. Frecuencia:

El procedimiento de la asepsia de los molinos se realizara cada dos (2) horas, un total de cuatro (4) veces por turno. Durante la época de zafra la limpieza de los molinos se realizara de manera continua.

3. Seguridad:


3.1. Riesgos asociados a la tarea:

- Traumatismos por atrapamiento de equipos en movimiento
- Quemaduras por contacto con agua caliente
- Enfermedades cutáneas por exposición a bacterias
- Exposición a químicos.

3.2. Equipo de protección personal (EPP):

- Botas de hule antideslizantes con punta de acero.
- Casco.
- Lentes de seguridad.
- Careta protectora de cara completa.
- Tapones auditivos.

Ilustración 111 Manual para realizar la asepsia de los molinos.

<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA REALIZAR LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS.</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

- Guantes para altas temperaturas.
- Gabacha plástica resistente a altas temperaturas.

4. Equipos y materiales:

Tomas de agua caliente

Manguera de hule resistente a la presión y temperatura.

Agua caliente.

Cinta amarilla de precaución

5. Diagrama de ubicación de las tomas de agua caliente.

MAPA DE UBICACIÓN DE TOMAS DE AGUA CALIENTE

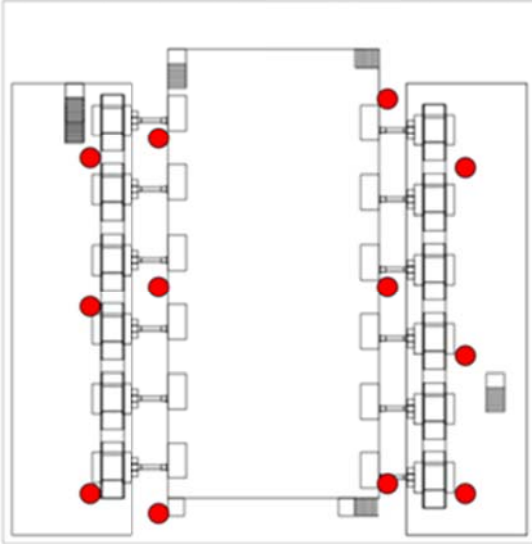


Ilustración 112 Manual para realizar la asepsia de los molinos.


<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA REALIZAR LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS.</p>	
<p>6. Procedimiento:</p> <p>a. El encargado de la asepsia de los molinos debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Verificar que el agua empleada en el proceso de asepsia de los molinos cumpla con una temperatura mínima de 60°C (176°F) y una presión mínima de 1.034 kPa (150 psi). II. Realizar el lavado de los molinos únicamente con agua caliente cada dos horas. <p>b. Antes de iniciar la limpieza de los molinos se debe acordonar el área a intervenir colocando cinta amarilla de precaución, para evitar riesgos de quemaduras a terceros.</p> <p>c. Los puntos de limpieza aplican para tándem A y tándem B. Se realiza la limpieza en los siguientes puntos:</p> <ol style="list-style-type: none"> I. Parte interna de las vírgenes II. Mazas III. Canales de salida de jugo IV. Puente cuchilla central V. Cuchilla de cuarta maza VI. Conductores intermedios VII. Exterior de los chutes de alimentación VIII. Eje motriz de conductores intermedios. 	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

Ilustración 113 Manual para realizar la asepsia de los molinos.


<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA REALIZAR LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS.</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

Figura 1. Limpieza de los ejes y las vírgenes de los molinos.



Figura 2. Aplicación de agua caliente en las vírgenes de los molinos.



Ilustración 114 Manual para realizar la asepsia de los molinos.


<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA REALIZAR LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS.</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

Figura 3. Aplicación de agua caliente en los ejes de las mazas.

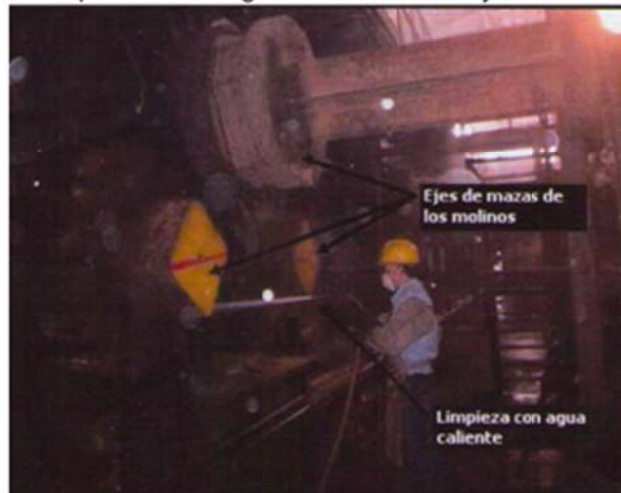


Figura 4. Limpieza de conductor intermedio.



Ilustración 115 Manual para realizar la asepsia de los molinos.


<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA REALIZAR LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS.</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

Figura 5. Limpieza de conductor intermedio.



Figura 6. Punto de limpieza de las mazas y sus ejes.



Ilustración 116 Manual para realizar la asepsia de los molinos.


<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA REALIZAR LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS.</p>	
<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>	

Figura 7. Limpieza de las mazas y la cuchilla central.

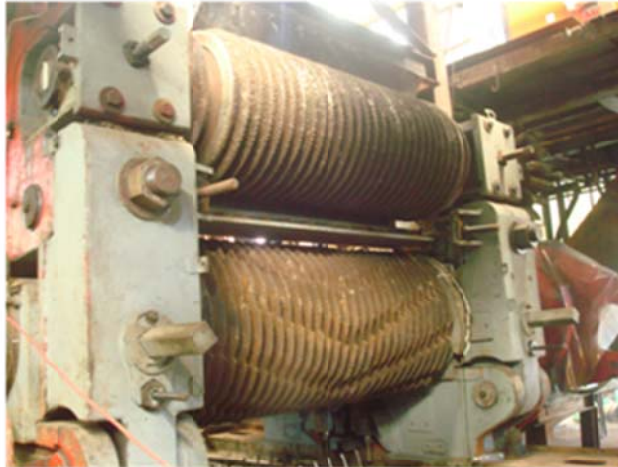


Figura 8. Limpieza de la cuchilla de la cuarta maza.



Ilustración 117 Manual para realizar la asepsia de los molinos.

<p>Megaproyecto Ingeniería Industrial Universidad del valle de Guatemala</p> 	<p>MANUAL PARA REALIZAR LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS.</p>	
	<p>Documento No. 1 Versión No. 1 Fecha: Septiembre 2010</p>	<p>Autor: Arturo José Letona M.</p>

7. Formatos:

Al concluir con el proceso de limpieza de los molinos deberá de proceder a llenar el formato de control de asepsia de los molinos y entregarlo a su supervisor.

El formato de control de asepsia de los molinos es el siguiente:

CONTROL DE LA ASEPSIA DE LOS MOLINOS

FECHA

HORA

TURNO

NOMBRE

Este espacio lo llena el supervisor

	Pasa	No pasa
Cumple la asepsia realizada con los estándares	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
El material y equipo utilizado quedo en su lugar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Alcalización	<p style="text-align: center;">Cantidad de cal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Medida industrial - Razón: la cantidad de cal que se añade al jugo, en el proceso de alcalización, da una indicación del pH del mismo. Así, mientras menor es el pH del jugo, se requiere agregar mayor cantidad de cal para alcanzar un pH de 7.00. Valores ácidos del jugo pueden ser una indicación de la presencia de microorganismos, por lo tanto, la adición de cal es una forma de inhibir el crecimiento y actividad microbiana. - Indicadores asociados: calcio en exceso, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: medida de cantidad de cal agregada con controles automáticos - Aproximación inicial: correlacionar los datos de cantidad de cal, obtenidos en el cuarto de control, con el pH del jugo que se está alcalizando.
	<p style="text-align: center;">Calcio en exceso en jugo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio (análisis a montar) - Razón: el exceso de calcio en el jugo es una referencia de la cantidad de cal agregada para alcanzar el pH deseado. Así, este análisis indica una cuantía aproximada del calcio que está siendo arrastrado por el jugo al salir del proceso de alcalización. Da una indicación de la concentración de calcio en el jugo. - Indicadores asociados: cantidad de cal, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: jugo a la salida de la alcalización - Aproximación inicial: evaluación de diferentes métodos de análisis, implementación y pruebas.

Continuación Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Alcalización	<p style="text-align: center;">Capacidad Buffer del jugo en la entrada</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio (análisis a montar) - Razón: el análisis da una indicación de la cantidad requerida de base o ácido para disminuir o elevar el pH de una muestra de jugo al valor de 7.00, que se requiere en la salida del proceso de alcalización. Este análisis serviría como una referencia para determinar y evaluar la actividad microbiana en el jugo. - Indicadores asociados: cantidad de cal - Muestra: jugo en la entrada del clarificador - Aproximación inicial: evaluación del análisis de fermentación espontánea, implementación del método y pruebas
Clarificación	<p style="text-align: center;">Revoltura (de clarificador)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Modelo - Razón: el uso de un modelo que permita determinar el tiempo de residencia del jugo en el proceso de clarificación. Además, la facilidad y tiempo de sedimentación, asociándolos a la actividad microbiológica. Para este modelo se pretende utilizar también el color del jugo clarificado como una referencia de la calidad del proceso. - Indicadores asociados: no aplica - Muestra: jugo en la entrada del clarificador - Aproximación inicial: establecimiento de las bases del modelo, diseño y construcción del equipo, implementación y pruebas

Continuación Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Evaporación	<p style="text-align: center;">Consumo de vapor</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Medida industrial - Razón: la cantidad de vapor consumida puede servir como una referencia del nivel de incrustación en los tubos de calandria de los vasos de evaporación. Así, cuando se empieza a consumir más cantidad de vapor de lo normal, puede ser una indicación de que se está reduciendo la superficie calórica requerida en el evaporador, aumentando el consumo de vapor para alcanzar la transferencia necesaria. - Indicadores asociados: cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: medida de cantidad de vapor utilizado con controles automáticos - Aproximación inicial: correlacionar los datos de consumo de vapor, obtenidos en el cuarto de control, con la cantidad de cal agregada, el pH del jugo que se está alcalizando, capacidad buffer del jugo
	<p style="text-align: center;">Incrustaciones (tipo y tamaño)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Modelo - Razón: los niveles de incrustación en los tubos de calandria de los evaporadores reducen el área de transferencia de calor en los mismos. Esto conlleva a la necesidad de mayor consumo de vapor y disminución de la presión del vapor utilizado en los vasos. Pueden provenir de diferentes sales minerales, debido a la presencia de las mismas en el jugo que se está concentrando. La presencia de éstas puede disminuir además el rendimiento de los evaporadores y, por lo tanto, los grados Brix del jugo. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: jugo de cada efecto - Aproximación inicial: establecimiento de las bases del modelo, diseño y construcción del equipo, implementación y pruebas. Comparación de resultados de niveles de incrustación con calcio en el exceso en el jugo, cantidad de cal añadida, capacidad buffer del jugo

Continuación Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Evaporación	<p style="text-align: center;">Limpieza de evaporadores (tiempo y frecuencia)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Medida industrial (relacionada a otras variables) - Razón: es necesario realizar limpieza a los evaporadores, con cierta frecuencia para remover las incrustaciones que pudieran estar presentes en los tubos de calandria, interfiriendo en el rendimiento de la operación. Asociado a esto, se encuentra el tiempo, frecuencia y componentes utilizados para llevar a cabo la limpieza de los vasos de cada efecto. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, incrustaciones, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: - Aproximación inicial: correlacionar los datos de tiempo y frecuencia de limpieza de los vasos de evaporación, obtenidos en el área de evaporación con la cantidad de cal agregada, niveles de incrustación, consumo de químicos para la limpieza
	<p style="text-align: center;">Presión de vapor vegetal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Medida industrial - Razón: la medición del vapor vegetal en cada uno de los efectos de la evaporación, puede utilizarse como una referencia del nivel de incrustación en los tubos de calandria de los vasos evaporadores. Esto debido a que una disminución en la presión del vapor vegetal indica que los tubos se encuentran altamente incrustados, dado que se ha reducido el área de calor en los mismos, disminuyendo el rendimiento de la operación. Esta medida se puede asociar además, al consumo de vapor y el nivel de incrustaciones presentes en los equipos. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: medida de presión de vapor en cada efecto con controles automáticos - Aproximación inicial: correlacionar los datos de presión de vapor vegetal, obtenidos en el cuarto de control, con la cantidad de cal agregada, consumo de vapor, niveles de incrustación, limpieza

Continuación Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Evaporación	<p style="text-align: center;">°Brix de la meladura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Medida industrial - Razón: la medición de los grados brix en la meladura que sale del proceso de evaporación es de suma importancia, porque es una indicación de la eficiencia del proceso. Así, este valor tiende a disminuir cuando hay alta presencia de incrustaciones en los tubos de las calandrias, ya que existe una menor transferencia de calor, dando lugar a que la evaporación no se lleve a cabo con éxito. Esta medida está asociada al nivel de incrustación, consumo de vapor y presión del mismo. Estos indicadores, en conjunto, pueden ser una referencia indirecta de la actividad microbiológica. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: jugo en cada efecto y al final del proceso, medida de grados Brix con controles automáticos - Aproximación inicial: correlacionar los datos de grados Brix de la meladura, obtenidos en el cuarto de control, con consumo de vapor, niveles de incrustación y presión de vapor vegetal
	<p style="text-align: center;">Concentración de sales en el jugo</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio (análisis a montar) - Razón: el análisis de concentración de sales en el jugo indica la cantidad de éstas que son transportadas por el jugo durante el proceso. La concentración de las sales en el mismo indica la cantidad de componentes que pudieran ser impurezas en el jugo. Por medio de un balance de masa, podría conocerse la cantidad de sales que quedaron incrustadas en los tubos de calandria de los vasos evaporadores y lo que salió finalmente en la meladura. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: jugo en la salida del proceso de evaporación - Aproximación inicial: evaluación de diferentes métodos de análisis, implementación y pruebas

Continuación Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Cristalización	<p style="text-align: center;">Elongación de cristales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio - Razón: la elongación de los cristales o alargamiento de los mismos durante la etapa de cristalización es una indicación de los efectos de la actividad microbológica al inicio de todo el proceso. Así, altos niveles de alargamiento o deformación de los cristales puede deberse a la presencia de dextrana en los mismos, desfavoreciendo la calidad del grano final y la pérdida de gran cantidad de los mismos durante la centrifugación. - Indicadores asociados: dextrana en azúcar, proporción de cristales en mieles, proporción de cristales en melaza - Muestra: masas cocidas A, B y C - Aproximación inicial: pruebas del método experimentado en el presente estudio, implementación y mejoras
	<p style="text-align: center;">Cenizas en azúcar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio - Razón: la cantidad o presencia de cenizas en el azúcar cristalizado es una indicación de la presencia de sales minerales en el producto terminado, que en algún momento pudieran haber sido interferencia en las diferentes etapas del proceso. Además, sirve como una referencia indirecta de sales, por ejemplo cal, requeridas en etapas iniciales, asociando las cantidades a la actividad microbológica. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en miel, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: cristales de salida de cristalización - Aproximación inicial: evaluación de análisis de cenizas en azúcar por la AOAC, implementación y pruebas

Continuación Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Cristalización	<p style="text-align: center;">Cenizas en miel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio - Razón: al igual que las cenizas en azúcar, es una indicación de la cantidad de sales minerales que han estado presentes en todo el proceso y que son parte de las mieles. Además, por medio de un balance de masa, se puede evaluar la cantidad de las mismas en cada etapa y subproducto del proceso. Finalmente, los valores pueden asociarse de manera indirecta a la actividad microbiológica. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, pureza de miel final, reproducción de masa - Muestra: miel de salida de cristalización - Aproximación inicial: evaluación de análisis de cenizas en miel por la AOAC, implementación y pruebas
	<p style="text-align: center;">Pureza de miel final</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio - Razón: el análisis de pureza de la miel final es un indicador de los niveles de calidad e impurezas que se han alcanzado al final de la cristalización. Con esto, y asociando otros indicadores, se puede realizar una comparación del jugo cuando ingresó a la fase de fabricación y los niveles de sacarosa obtenidos al final de la cristalización. La pureza sería una referencia de la actividad microbiana y sus efectos a lo largo de todo el proceso. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, reproducción de masa - Muestra: miel de salida de cristalización - Aproximación inicial: recolección de datos en el laboratorio y comparación de los mismos con la cantidad de cal agregada, capacidad buffer del jugo, análisis de cenizas

Continuación Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Cristalización	<p style="text-align: center;">Reproducción de masa</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Modelo - Razón: la presencia de componentes indeseados en las masas cocidas durante la cristalización, dan lugar a que se lleve a cabo un proceso deficiente. Con esto se da lugar a obtener cristales que se encuentren deformes o bien aglomerados. Son diferentes los componentes que podrían afectar esta etapa, por lo que un modelo que permita evaluar distintas condiciones de masas, daría una indicación de impurezas y posibles efectos de actividad microbiana en los productos al ingresar y salir de la cristalización. - Indicadores asociados: : cantidad de cal, calcio en exceso en el jugo, consumo de vapor, incrustaciones, limpieza de evaporadores, presión de vapor vegetal, brix de la meladura, concentración de sales en el jugo, cenizas en azúcar, cenizas en miel, pureza de miel final - Muestra: masas cocidas A, B y C - Aproximación inicial: establecimiento de las bases del modelo, diseño y construcción del equipo, implementación y pruebas
	<p style="text-align: center;">Dextrana en azúcar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio (análisis a montar) - Razón: la presencia o concentración de dextrana en las masas cocidas de la cristalización indican las secuelas de la actividad microbiológica a lo largo de todo el proceso. Así, este valor puede asociarse a la elongación de los cristales en cada tipo de masa cocida, A, B y C. Esto permitiría realizar evaluaciones de los efectos de la actividad microbiana, mala calidad del producto terminado y pérdidas económicas. - Indicadores asociados: elongación de cristales, proporción de cristales en mieles, proporción de cristales en melaza - Muestra: masas cocidas A, B y C - Aproximación inicial: evaluación de análisis de dextrana por conductividad por la AOAC, implementación y pruebas. Se pretende implementar un método que resulte más práctico y rápido, para proveer datos inmediatos, que el HPLC que se realiza actualmente

Continuación Tabla 67 Detalle de uso de cada indicador, por etapa del proceso.

Centrifugación	<p style="text-align: center;">Proporción de cristales en melaza</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio (análisis a montar) - Razón: la proporción de cristales en la melaza puede utilizarse como un indicador de la cantidad de estos que se obtuvieron deformes al salir del proceso de la cristalización. Esto puede asociarse a la elongación de los cristales y los niveles de dextrana en los productos. Esto es una referencia de la pérdida de producto, debido a una cristalización deficiente. - Indicadores asociados: elongación de cristales, dextrana en azúcar, proporción de cristales en mieles - Muestra: melaza - Aproximación inicial: evaluación de análisis, implementación y pruebas. evaluación de diferentes métodos de análisis, implementación y pruebas
	<p style="text-align: center;">Proporción de cristales en mieles</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de indicador: Análisis de laboratorio (análisis a montar) - Razón: al igual que la proporción de cristales en la melaza, sirve como una indicación de la deficiencia del proceso de cristalización, debido a la deformación de los cristales. Puede utilizarse para realizar evaluaciones de pérdidas económicas y de cantidad de producto final. - Indicadores asociados: elongación de cristales, dextrana en azúcar, proporción de cristales en melaza - Muestra: mieles finales - Aproximación inicial: evaluación de diferentes métodos de análisis, implementación y pruebas

Tabla 68 Caña molida, cenizas en melaza y cal añadida en cada día del periodo de zafra 2009-2010.

Fecha	Caña molida (t)	Ceniza en melaza (%)	Cal (kg / t caña)
11/14/2009 0:00	16,469.90	-	0.8569
11/15/2009 0:00	19,878.98	-	0.9263
11/16/2009 0:00	21,631.63	-	0.9213
11/17/2009 0:00	23,220.25	-	0.8888
11/18/2009 0:00	23,958.29	11.93	0.886
11/19/2009 0:00	24,883.50	-	0.8837
11/20/2009 0:00	20,972.23	-	0.9172
11/21/2009 0:00	24,178.70	-	0.9218
11/22/2009 0:00	23,941.13	12.15	0.9282
11/23/2009 0:00	20,382.35	12.15	0.9846
11/24/2009 0:00	23,281.59	12.15	0.986
11/25/2009 0:00	25,275.16	12.15	1.0025
11/26/2009 0:00	24,589.04	12.15	1.0052
11/27/2009 0:00	25,608.17	-	0.9781
11/28/2009 0:00	24,117.36	-	0.9877
11/29/2009 0:00	25,015.64	12.15	0.9966
11/30/2009 0:00	23,998.31	-	1.0832
12/1/2009 0:00	19,508.38	-	1.0306
12/2/2009 0:00	23,731.05	13.45	0.981
12/3/2009 0:00	24,686.49	13.45	0.9776
12/4/2009 0:00	20,302.98	13.45	0.9654
12/5/2009 0:00	23,593.99	13.45	0.9763
12/6/2009 0:00	24,058.24	13.19	0.9635
12/7/2009 0:00	23,647.54	13.85	0.9818
12/8/2009 0:00	23,610.37	13.85	1.0025
12/9/2009 0:00	24,360.13	13.85	0.9851
12/10/2009 0:00	22,595.58	12.44	0.9924
12/11/2009 0:00	25,196.68	12.44	0.9671
12/12/2009 0:00	24,896.42	12.44	1.0146
12/13/2009 0:00	25,314.80	12.44	1.003
12/14/2009 0:00	25,878.19	13.35	0.9731
12/15/2009 0:00	25,784.98	13.35	0.9433
12/16/2009 0:00	24,615.58	13.35	0.9824
12/17/2009 0:00	25,631.77	13.35	0.9803
12/18/2009 0:00	24,635.84	13.35	0.9714
12/19/2009 0:00	22,017.02	13.62	0.9474

Continuación Tabla 68 Caña molida, cenizas en melaza y cal añadida en cada día del periodo de zafra 2009-2010.

Fecha	Caña molida (t)	Ceniza en melaza (%)	Cal (kg / t caña)
12/20/2009 0:00	17,556.98	12.36	0.9482
12/21/2009 0:00	23,388.60	12.36	0.9496
12/22/2009 0:00	23,980.96	12.36	1.0049
12/23/2009 0:00	23,959.11	12.36	1.0172
12/24/2009 0:00	23,124.90	12.36	0.9826
12/25/2009 0:00	21,337.94	12.36	1.009
12/26/2009 0:00	20,383.25	12.22	0.9238
12/27/2009 0:00	25,911.08	12.92	0.8329
12/28/2009 0:00	22,352.17	12.92	0.9435
12/29/2009 0:00	26,653.19	12.92	0.9337
12/30/2009 0:00	25,560.01	12.92	0.8777
12/31/2009 0:00	25,816.81	12.92	0.9125
1/1/2010 0:00	26,472.56	12.92	0.8656
1/2/2010 0:00	25,460.06	12.95	0.8644
1/3/2010 0:00	25,086.10	13.88	0.8908
1/4/2010 0:00	22,625.09	13.88	0.8909
1/5/2010 0:00	25,573.31	13.88	0.8939
1/6/2010 0:00	24,256.83	13.88	0.9254
1/7/2010 0:00	23,544.22	13.88	0.9284
1/8/2010 0:00	25,783.42	13.88	0.9014
1/9/2010 0:00	26,789.74	13.88	0.9114
1/10/2010 0:00	24,945.81	13.45	0.9088
1/11/2010 0:00	26,716.17	13.45	0.899
1/12/2010 0:00	26,315.10	13.45	0.8703
1/13/2010 0:00	22,922.50	13.45	0.9159
1/14/2010 0:00	25,337.23	13.45	0.9369
1/15/2010 0:00	21,036.80	13.45	0.9804
1/16/2010 0:00	26,505.51	13.45	0.993
1/17/2010 0:00	24,570.41	12.58	1.1164
1/18/2010 0:00	27,139.91	12.58	0.86
1/19/2010 0:00	21,065.13	12.58	1.07
1/20/2010 0:00	26,202.65	12.58	0.9075
1/21/2010 0:00	22,806.25	12.58	1.0295
1/22/2010 0:00	25,760.89	12.58	0.902
1/23/2010 0:00	26,614.03	12.58	0.9251
1/24/2010 0:00	26,637.06	13.30	0.903

Continuación Tabla 68 Caña molida, cenizas en melaza y cal añadida en cada día del periodo de zafra 2009-2010.

Fecha	Caña molida (t)	Ceniza en melaza (%)	Cal (kg / t caña)
1/25/2010 0:00	26,056.25	13.30	0.9338
1/26/2010 0:00	25,666.03	13.30	0.9193
1/27/2010 0:00	25,682.05	13.30	0.8881
1/28/2010 0:00	25,909.83	13.30	0.8904
1/29/2010 0:00	26,056.33	13.30	0.9043
1/30/2010 0:00	22,947.14	13.30	0.8607
1/31/2010 0:00	26,620.73	13.79	0.8596
2/1/2010 0:00	25,394.74	13.79	0.9064
2/2/2010 0:00	25,198.35	13.79	0.8615
2/3/2010 0:00	26,128.78	13.79	0.8784
2/4/2010 0:00	25,032.80	13.79	0.8895
2/5/2010 0:00	23,343.03	13.79	0.8199
2/6/2010 0:00	23,887.61	13.78	0.8925
2/7/2010 0:00	22,961.55	12.82	1.0115
2/8/2010 0:00	20,788.39	12.82	1.0357
2/9/2010 0:00	21,814.37	12.82	1.133
2/10/2010 0:00	23,684.19	12.82	0.951
2/11/2010 0:00	25,064.86	12.82	0.94
2/12/2010 0:00	11,566.23	12.82	0.98
2/13/2010 0:00	5,951.76	12.82	0.0021
2/14/2010 0:00	24,296.38	12.29	0.919
2/15/2010 0:00	23,685.69	12.29	0.9379
2/16/2010 0:00	23,913.76	12.29	0.9035
2/17/2010 0:00	23,958.54	12.29	0.8963
2/18/2010 0:00	24,164.27	12.29	0.9261
2/19/2010 0:00	22,781.47	12.29	0.8889
2/20/2010 0:00	21,707.14	12.29	0.8858
2/21/2010 0:00	25,391.93	13.02	0.8853
2/22/2010 0:00	24,453.90	13.02	0.9122
2/23/2010 0:00	26,260.42	13.02	0.8823
2/24/2010 0:00	25,882.77	13.02	0.8853
2/25/2010 0:00	25,034.05	13.02	0.8684
2/26/2010 0:00	25,425.75	13.02	0.8916
2/27/2010 0:00	23,170.87	13.02	0.8826
2/28/2010 0:00	23,054.16	12.97	1.1186
3/1/2010 0:00	20,765.60	12.97	1.0818

Continuación Tabla 68 Caña molida, cenizas en melaza y cal añadida en cada día del periodo de zafra 2009-2010.

Fecha	Caña molida (t)	Ceniza en melaza (%)	Cal (kg / t caña)
3/2/2010 0:00	23,889.19	12.97	1.0312
3/3/2010 0:00	21,544.86	12.97	0.9459
3/4/2010 0:00	23,085.59	12.97	1.0273
3/5/2010 0:00	23,118.89	12.97	1.0376
3/6/2010 0:00	24,596.44	12.97	0.8367
3/7/2010 0:00	22,663.27	13.48	0.9701
3/8/2010 0:00	21,574.04	13.48	0.9903
3/9/2010 0:00	21,652.89	13.48	0.933
3/10/2010 0:00	23,293.30	13.48	0.9443
3/11/2010 0:00	23,158.17	13.48	0.9452
3/12/2010 0:00	24,276.97	13.48	0.9553
3/13/2010 0:00	25,104.42	13.48	0.9447
3/14/2010 0:00	24,746.29	13.52	0.9713
3/15/2010 0:00	22,522.71	13.52	0.9563
3/16/2010 0:00	24,118.65	13.52	0.9645
3/17/2010 0:00	22,411.61	13.52	0.9239
3/18/2010 0:00	22,483.79	13.52	0.9564
3/19/2010 0:00	23,767.08	13.52	0.9641
3/20/2010 0:00	24,315.73	13.52	0.9601
3/21/2010 0:00	24,627.60	13.16	0.9981
3/22/2010 0:00	19,028.70	13.16	1.0583
3/23/2010 0:00	23,901.56	13.16	1.0307
3/24/2010 0:00	24,629.57	13.16	1.1174
3/25/2010 0:00	24,499.75	13.16	1.0088
3/26/2010 0:00	23,911.14	13.16	1.1499
3/27/2010 0:00	22,912.31	13.16	1.1057
3/28/2010 0:00	22,889.81	13.21	0.997
3/29/2010 0:00	20,335.77	13.21	0.9798
3/30/2010 0:00	22,475.75	13.21	1.0012
3/31/2010 0:00	22,616.70	13.21	0.9966
4/1/2010 0:00	24,041.40	13.21	1.0469
4/2/2010 0:00	23,814.92	13.21	0.9994
4/3/2010 0:00	23,792.06	13.21	1.0069
4/4/2010 0:00	22,215.74	13.48	0.9964
4/5/2010 0:00	16,661.01	13.48	0.9821
4/6/2010 0:00	20,891.70	13.48	0.9781

Continuación Tabla 68 Caña molida, cenizas en melaza y cal añadida en cada día del periodo de zafra 2009-2010.

Fecha	Caña molida (t)	Ceniza en melaza (%)	Cal (kg / t caña)
4/7/2010 0:00	20,851.26	13.48	1.0355
4/8/2010 0:00	17,243.96	13.48	1.0755
4/9/2010 0:00	15,761.41	13.48	0.9969
4/10/2010 0:00	20,243.15	13.48	0.9621
4/11/2010 0:00	23,643.93	13.35	1.0462
4/12/2010 0:00	23,122.45	13.35	0.8385
4/13/2010 0:00	22,497.72	13.35	0.9063
4/14/2010 0:00	19,986.07	13.35	1.1168
4/15/2010 0:00	18,293.07	13.35	1.0237
4/16/2010 0:00	19,092.39	13.35	0.9818
4/17/2010 0:00	19,513.20	13.35	1.1545
4/18/2010 0:00	20,421.05	12.11	0.9672
4/19/2010 0:00	22,348.51	12.11	0.9609
4/20/2010 0:00	22,535.37	12.11	0.9644
4/21/2010 0:00	20,609.67	12.11	0.9678
4/22/2010 0:00	20,386.86	12.11	0.9581
4/23/2010 0:00	19,822.39	12.11	1.035
4/24/2010 0:00	20,836.66	12.11	0.9651
4/25/2010 0:00	23,270.72	12.77	1.018
4/26/2010 0:00	21,753.61	12.77	0.9982
4/27/2010 0:00	20,256.48	12.77	1.0081
4/28/2010 0:00	18,033.05	12.77	0.9602
4/29/2010 0:00	9,637.98	12.77	1.0626
4/30/2010 0:00	18,631.81	12.77	1.0854
5/1/2010 0:00	12,745.04	12.77	0.9376
5/2/2010 0:00	20,091.05	12.28	0.8651
5/3/2010 0:00	17,003.42	12.28	1.0837
5/4/2010 0:00	19,774.67	12.28	0.8861
5/5/2010 0:00	20,451.19	12.28	0.9205
5/6/2010 0:00	21,047.86	12.28	1.0661
5/7/2010 0:00	23,601.32	12.28	1.0501
5/8/2010 0:00	21,862.30	12.28	1.2271
5/9/2010 0:00	22,935.68	12.31	1.0059
5/10/2010 0:00	23,389.59	12.31	1.0151
5/11/2010 0:00	23,335.27	12.31	1.021
5/12/2010 0:00	23,213.28	12.31	1.0171

Continuación Tabla 68 Caña molida, cenizas en melaza y cal añadida en cada día del periodo de zafra 2009-2010.

Fecha	Caña molida (t)	Ceniza en melaza (%)	Cal (kg / t caña)
5/13/2010 0:00	20,392.86	12.31	1.0647
5/14/2010 0:00	22,150.13	12.31	1.0491
5/15/2010 0:00	20,137.52	12.31	1.0346
5/16/2010 0:00	23,625.00	13.15	0.9841
5/17/2010 0:00	23,104.22	13.15	1.0626
5/18/2010 0:00	21,620.20	13.15	1.0706
5/19/2010 0:00	22,011.74	13.15	1.0466
5/20/2010 0:00	22,483.80	13.15	0.8955
5/21/2010 0:00	15,274.90	13.15	1.0809
5/22/2010 0:00	14,061.22	13.15	1.079

Tabla 69 Muestra #1 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	0.60	0.30	Sí
	2	0.60	0.50	No
	3	0.50	0.50	No
	4	0.40	0.30	No
	5	0.30	0.30	No
	6	0.50	0.40	No
	7	0.90	0.50	Sí
	8	0.40	0.10	Sí
	9	0.90	0.30	Sí
	10	0.30	0.10	Sí
Campo 2	1	0.60	0.50	No
	2	0.70	0.50	No
	3	0.60	0.40	No
	4	0.60	0.60	No
	5	1.00	0.80	No
	6	0.60	0.50	No
	7	0.60	0.40	No
	8	0.80	0.20	Sí
	9	0.80	0.80	No
	10	0.50	0.30	No
Campo 3	1	0.50	0.30	No
	2	0.60	0.10	Sí
	3	1.10	1.00	No
	4	1.40	1.00	No
	5	0.50	0.30	No
	6	0.50	0.40	No
	7	0.50	0.30	No
	8	0.60	0.20	Sí
	9	0.60	0.50	No
Campo 4	1	0.50	0.10	Sí
	2	0.40	0.30	No
	3	0.60	0.10	Sí
	4	0.60	0.30	Sí
	5	0.50	0.10	Sí
	6	0.40	0.40	No
	7	1.00	0.50	No
	8	0.30	0.30	No
	9	0.50	0.40	No
	10	0.30	0.20	No
	11	0.30	0.10	Sí
Campo 5	1	0.80	0.30	Sí
	2	0.60	0.40	No
	3	0.30	0.10	No
	4	0.50	0.10	Sí
	5	0.30	0.20	No

Continuación Tabla 69 Muestra #1 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 5	6	0.40	0.30	No
	7	0.60	0.20	Sí
	8	0.30	0.10	No
	9	0.60	0.40	No
	10	0.50	0.20	No

Tabla 70 Muestra #2 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	0.10	0.10	No
	2	0.80	0.40	No
	3	0.60	0.20	Sí
	4	0.50	0.50	No
	5	0.30	0.20	No
	6	0.50	0.20	Sí
	7	0.20	0.20	No
	8	0.50	0.40	No
	9	0.20	0.10	No
	10	0.60	0.50	No
Campo 2	1	0.50	0.20	Sí
	2	0.60	0.40	No
	3	0.80	0.60	No
	4	0.60	0.40	Sí
	5	0.50	0.10	Sí
	6	0.70	0.20	Sí
	7	0.30	0.10	Sí
	8	0.50	0.50	No
	9	0.30	0.20	No
	10	0.60	0.50	No
Campo 3	1	1.00	0.20	No
	2	0.90	0.20	Sí
	3	0.50	0.20	No
	4	0.50	0.50	No
	5	0.40	0.30	No
	6	0.40	0.10	Sí
	7	0.20	0.10	No
	8	0.40	0.30	No
	9	0.20	0.10	No
	10	0.30	0.10	Sí
Campo 4	1	0.60	0.40	No
	2	0.30	0.30	No
	3	0.80	0.50	Sí
	4	0.60	0.60	No
	5	0.30	0.10	Sí
	6	0.50	0.40	No
	7	0.30	0.20	No
	8	0.30	0.10	Sí
	9	1.00	0.30	Sí
	10	0.70	0.30	Sí
Campo 5	1	0.80	0.20	Sí
	2	0.20	0.10	No
	3	0.40	0.10	Sí
	4	0.10	0.10	No

Continuación Tabla 70 Muestra #2 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 5	5	0.10	0.10	No
	6	0.50	0.30	Sí
	7	0.40	0.40	No
	8	0.30	0.30	No
	9	0.30	0.20	No
	10	0.10	0.10	No

Tabla 71 Muestra #3 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	0.30	0.20	No
	2	0.40	0.20	No
	3	0.50	0.30	Sí
	4	0.60	0.50	No
	5	0.70	0.70	No
	6	0.50	0.20	Sí
	7	0.80	0.30	Sí
	8	0.50	0.30	Sí
	9	0.40	0.30	No
	10	0.50	0.30	Sí
Campo 2	1	0.60	0.30	Sí
	2	0.50	0.30	Sí
	3	0.70	0.30	Sí
	4	0.60	0.30	Sí
	5	0.50	0.50	No
	6	0.70	0.50	No
	7	0.50	0.40	No
	8	0.50	0.40	No
	9	0.40	0.20	Sí
	10	0.60	0.40	No
Campo 3	1	0.50	0.40	No
	2	0.80	0.30	Sí
	3	0.90	0.80	No
	4	0.80	0.30	Sí
	5	0.70	0.50	No
	6	0.70	0.20	Sí
	7	0.30	0.20	No
	8	0.30	0.20	No
	9	0.70	0.10	Sí
	10	0.70	0.30	Si
Campo 4	1	0.80	0.50	No
	2	0.40	0.20	Sí
	3	0.70	0.30	Sí
	4	0.40	0.30	No
	5	0.40	0.40	No
Campo 5	1	0.40	0.10	Sí
	2	0.30	0.10	No
	3	0.60	0.30	Sí
	4	0.30	0.20	No
	5	0.40	0.10	Sí

Tabla 72 Muestra #4 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	0.60	0.40	No
	2	1.10	1.00	No
	3	1.00	0.40	Sí
	4	0.40	0.30	No
	5	0.90	0.50	Sí
	6	0.80	0.40	Sí
	7	0.60	0.20	Sí
	8	0.60	0.30	Sí
	9	0.70	0.20	Sí
	10	0.80	0.50	Sí
Campo 2	1	1.00	0.60	Sí
	2	0.90	0.40	Sí
	3	1.20	0.40	Sí
	4	1.30	0.30	Sí
	5	0.50	0.30	Sí
	6	1.50	0.30	Sí
	7	0.80	0.50	No
	8	1.00	0.40	Sí
	9	0.70	0.10	Sí
	10	0.50	0.30	No
Campo 3	1	1.00	0.30	Sí
	2	0.60	0.50	No
	3	0.20	0.20	No
	4	1.00	0.40	Sí
	5	0.60	0.20	Sí
	6	0.70	0.30	Sí
	7	0.80	0.10	Sí
	8	0.40	0.10	Sí
	9	0.40	0.30	No
	10	0.60	0.20	Sí
Campo 4	1	0.40	0.20	Sí
	2	0.60	0.10	Sí
	3	0.30	0.10	Sí
	4	0.80	0.30	Sí
	5	1.00	0.40	Sí
Campo 5	1	0.50	0.50	No
	2	1.00	0.80	No
	3	0.70	0.30	Sí
	4	1.10	0.30	Sí
	5	1.00	0.40	Sí

Tabla 73 Muestra #5 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	1.30	0.40	Sí
	2	1.10	0.30	Sí
	3	1.00	0.50	Sí
	4	0.90	0.30	Sí
	5	1.10	0.60	Sí
	6	0.30	0.10	No
	7	0.30	0.20	No
	8	0.80	0.70	No
	9	0.40	0.20	Sí
	10	0.60	0.60	No
Campo 2	1	1.00	0.50	Sí
	2	0.60	0.20	Sí
	3	0.40	0.10	Sí
	4	0.80	0.20	Sí
	5	0.60	0.40	No
	6	1.00	0.70	No
	7	1.40	0.80	Sí
	8	1.00	0.40	Sí
	9	0.50	0.20	Sí
	10	1.00	0.30	Sí
Campo 3	1	0.60	0.20	Sí
	2	1.00	0.50	Sí
	3	1.10	0.20	Sí
	4	0.80	0.40	Sí
	5	0.60	0.30	No
	6	1.00	0.50	Sí
	7	1.00	0.40	Sí
	8	0.70	0.30	Sí
	9	0.90	0.50	No
	10	0.30	0.20	No
Campo 4	1	0.80	0.40	Sí
	2	0.70	0.30	No
	3	0.50	0.30	No
	4	1.00	0.60	No
	5	0.60	0.30	Sí
Campo 5	1	0.80	0.70	No
	2	0.40	0.40	No
	3	0.70	0.20	Sí
	4	0.60	0.10	Sí
	5	0.50	0.40	No

Tabla 74 Muestra #6 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	0.5	0.5	No
	2	0.6	0.5	No
	3	0.5	0.4	No
	4	0.5	0.4	No
	5	0.5	0.5	No
	6	0.6	0.5	No
	7	0.5	0.4	No
	8	0.4	0.3	No
	9	1	0.8	No
	10	1	0.5	Sí
Campo 2	1	0.4	0.1	Sí
	2	0.5	0.4	No
	3	1	0.5	Sí
	4	0.4	0.4	No
	5	0.5	0.3	No
	6	0.4	0.1	Sí
Campo 3	1	0.7	0.3	Sí
	2	1	0.4	Sí
	3	0.5	0.4	No
	4	0.5	0.5	No
	5	0.3	0.1	No
	6	0.5	0.4	No
	7	0.8	0.3	Sí
Campo 4	1	0.6	0.5	No
	2	0.5	0.4	No
	3	0.7	0.5	No
	4	0.7	0.4	No
	5	0.6	0.4	No
	6	0.7	0.2	Sí
	7	0.6	0.2	Sí
	8	1	0.3	Sí
	9	0.5	0.5	No
Campo 5	1	0.5	0.3	No
	2	0.7	0.4	No
	3	1	0.5	Sí
	4	0.6	0.5	No
	5	0.8	0.5	No
	6	0.5	0.4	No
	7	0.6	0.4	No
	8	0.8	0.5	No
	9	0.5	0.3	No

Tabla 75 Muestra #7 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	1	0.5	Sí
	2	0.8	0.5	No
	3	0.6	0.2	Sí
	4	0.5	0.3	No
	5	0.6	0.4	No
	6	0.7	0.5	No
	7	0.6	0.1	Sí
	8	0.4	0.4	No
	9	0.5	0.5	No
	10	0.7	0.5	No
Campo 2	1	0.5	0.5	No
	2	1	0.5	Sí
	3	0.8	0.4	Sí
	4	0.5	0.4	No
	5	0.6	0.5	No
	6	0.8	0.2	Sí
	7	0.6	0.2	Sí
	8	0.5	0.5	No
Campo 3	1	0.8	0.5	No
	2	0.5	0.4	No
	3	0.8	0.5	No
	4	0.9	0.5	No
	5	1	0.5	Sí
	6	0.5	0.4	No
	7	0.6	0.5	No
	8	0.6	0.4	No
	9	0.5	0.5	No
Campo 4	1	0.6	0.5	No
	2	0.7	0.5	No
	3	0.5	0.3	No
	4	0.5	0.4	No
	5	0.6	0.5	No
	6	0.5	0.5	No
Campo 5	1	0.4	0.3	Sí
	2	0.5	0.5	Sí
	3	1	0.4	Sí
	4	0.5	0.2	Sí
	5	0.7	0.1	Sí
	6	0.8	0.3	Sí
	7	0.5	0.4	No

Tabla 76 Muestra #8 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	0.8	0.5	No
	2	0.5	0.2	Sí
	3	0.5	0.5	No
	4	0.8	0.5	No
	5	0.4	0.3	No
	6	0.8	0.4	Sí
	7	0.9	0.3	Sí
	8	0.6	0.2	Sí
	9	0.5	0.3	No
	10	0.8	0.5	No
Campo 2	1	0.8	0.5	No
	2	0.9	0.4	Sí
	3	0.7	0.3	Sí
	4	1	0.9	No
	5	0.4	0.3	No
	6	0.4	0.1	Sí
	7	0.8	0.5	No
	8	0.7	0.2	Sí
	9	0.7	0.2	Sí
	10	0.5	0.4	No
Campo 3	1	0.6	0.2	Sí
	2	0.5	0.3	Sí
	3	0.8	0.5	No
	4	0.8	0.2	Sí
	5	0.6	0.4	No
	6	0.4	0.4	No
	7	0.6	0.3	Sí
	8	0.7	0.3	Sí
	9	0.7	0.5	No
	10	0.6	0.3	Sí
Campo 4	1	0.9	0.4	Sí
	2	0.7	0.5	No
	3	1	0.5	Sí
	4	0.4	0.2	Sí
	5	0.5	0.1	Sí
Campo 5	1	0.8	0.3	Sí
	2	1	0.5	Sí
	3	0.8	0.5	No
	4	0.6	0.4	No
	5	0.5	0.4	No

Tabla 77 Muestra #9 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	0.9	0.4	Sí
	2	0.5	0.4	No
	3	0.7	0.5	No
	4	1	0.4	Sí
	5	0.5	0.3	No
	6	1.1	0.2	Sí
	7	0.4	0.3	No
	8	1	0.5	Sí
	9	0.6	0.4	No
	10	0.7	0.2	Sí
Campo 2	1	1.8	0.4	Sí
	2	0.5	0.4	No
	3	0.5	0.1	Sí
	4	1	0.2	Sí
	5	0.9	0.3	Sí
	6	0.5	0.5	No
	7	0.8	0.5	No
	8	0.4	0.3	No
	9	0.6	0.4	No
	10	0.3	0.1	Sí
Campo 3	1	0.5	0.3	No
	2	0.8	0.6	No
	3	1.2	0.5	Sí
	4	0.5	0.4	No
	5	1	0.3	No
	6	0.4	0.3	No
	7	0.9	0.2	Sí
	8	0.7	0.5	No
	9	0.9	0.3	Sí
	10	0.6	0.3	Sí
Campo 4	1	0.5	0.3	No
	2	0.8	0.3	Sí
	3	0.5	0.5	No
	4	0.6	0.4	No
	5	0.5	0.2	Sí
Campo 5	1	1.1	0.3	Sí
	2	0.7	0.5	No
	3	0.6	0.4	No
	4	0.7	0.4	No
	5	0.3	0.1	Sí

Tabla 78 Muestra #10 de masa cocida C para determinación de proporciones.

	Cristal No.	Largo	Ancho	Alargado (Sí o No)
Campo 1	1	1	0.6	No
	2	0.8	0.5	No
	3	1	0.1	Sí
	4	0.9	0.2	Sí
	5	0.8	0.5	No
	6	1	0.2	Sí
	7	0.8	0.3	Sí
	8	1.1	0.2	Sí
	9	0.9	0.4	Sí
	10	0.8	0.4	Sí
Campo 2	1	1	0.5	Sí
	2	0.9	0.4	Sí
	3	0.3	0.2	No
	4	0.6	0.4	No
	5	1	0.7	No
	6	0.8	0.5	No
	7	0.7	0.4	Sí
	8	1.1	0.4	Sí
	9	0.5	0.4	No
	10	0.6	0.5	No
Campo 3	1	1	0.7	No
	2	0.9	0.2	Sí
	3	0.2	0.1	No
	4	1.2	0.4	Sí
	5	1	0.5	Sí
	6	1	0.7	No
	7	0.8	0.5	No
	8	1	0.5	Sí
	9	0.4	0.4	No
	10	0.7	0.4	Sí
Campo 4	1	1.3	0.3	Sí
	2	1	0.6	No
	3	1	0.4	Sí
	4	0.5	0.5	No
	5	1.1	0.5	Sí
Campo 5	1	1	0.3	Sí
	2	0.6	0.4	No
	3	0.4	0.1	No
	4	0.8	0.3	Sí
	5	1.5	0.5	Sí

Tabla 79 Día y fecha de recolección de muestras.

Día No.	Fecha
1	06 de marzo de 2010
2	16 de abril de 2010
3	21 de abril de 2010
4	24 de abril de 2010
5	05 de mayo de 2010
6	06 de mayo de 2010
7	15 de mayo de 2010

Tabla 80 Análisis de masa cocida A de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	13.5	10	1
	2	16	9.3	2
	3	12.7	7.5	1
	4	8.6	6.3	1
	5	15.5	10.3	1
	6	4.8	3	0
	7	7	5	0
	8	6	3.5	1
	9	6.5	5	0
	10	4.4	2.8	1
Muestra 2	1	9.4	1.9	1
	2	6.5	3	2
	3	4	1	1
	4	7	8.1	0
	5	3	1.5	1
	6	4.4	2	0
	7	3.3	2	1
	8	1	0.4	3
	9	4.7	2.5	0
	10	2.2	1	2
Muestra 3	1	6.7	4	0
	2	6.4	3.7	0
	3	5.8	3	1
	4	5.1	3.8	2
	5	5.7	3	1
	6	7.3	3.8	1

Continuación Tabla 80 Análisis de masa cocida A de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 3	7	4.4	2.5	1
	8	5	3.4	2
	9	2	1.2	0
	10	6.3	3	0
Muestra 4	1	6.5	3.5	0
	2	3.7	2.4	0
	3	5	4.1	0
	4	6	3.2	1
	5	4	2.8	1
	6	5	3.1	1
	7	3.4	5.4	0
	8	5.7	2.9	2
	9	0.8	0.5	2
	10	5.6	2.9	1
Muestra 5	1	2.1	1	2
	2	3.5	2	3
	3	2.8	1.5	2
	4	5.2	2.1	0
	5	2	1	2
	6	1.2	0.6	2
	7	1.1	0.3	1
	8	3	1.2	5
	9	2.7	1.2	2
	10	1.1	0.6	1
Muestra 6	1	2.6	0.9	2
	2	6	2	0
	3	5	1.5	0
	4	2	1.1	1
	5	4.3	1.6	1
	6	2.9	1.5	1
	7	4.5	1.7	0
	8	4.6	1.5	2
	9	6	2.4	0
	10	3.6	1.6	1
Muestra 7	1	2.1	0.7	2
	2	2.8	0.8	3
	3	2	0.5	1
	4	4.3	1.5	3
	5	3.1	1	0

Continuación Tabla 80 Análisis de masa cocida A de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 7	6	4	1.8	1
	7	2.7	1	2
	8	3.9	1.5	1
	9	1.2	0.4	3
	10	1.9	0.5	5
Muestra 8	1	5	1.7	1
	2	4	1.2	0
	3	2.3	0.9	1
	4	3	0.9	0
	5	2	0.6	2
	6	2.9	0.7	2
	7	3.2	1.4	0
	8	3	1	1
	9	2.8	1.5	2
	10	2	0.4	0
Muestra 9	1	2.7	0.7	2
	2	1.5	0.5	0
	3	3.6	1.5	1
	4	3.7	1.2	1
	5	2.2	1.3	1
	6	4.1	1.9	3
	7	5.6	2.1	0
	8	3.4	1.2	2
	9	3.7	1.5	3
	10	3.4	1.5	1
Muestra 10	1	5	2.6	2
	2	5	2	0
	3	2.6	1.5	0
	4	2	0.9	2
	5	1.7	0.5	3
	6	1.9	0.5	0
	7	2.4	0.6	4
	8	2.6	1	2
	9	4.5	1	0
	10	3.3	1.3	2
Muestra 11	1	3	1.3	1
	2	2.9	1.2	2
	3	1.7	0.9	3
	4	2.1	0.7	3

Continuación Tabla 80 Análisis de masa cocida A de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 11	5	3.6	1.2	3
	6	5.1	1.7	2
	7	3.5	1	5
	8	2.3	0.7	2
	9	1.5	0.4	0
	10	1	3	2
Muestra 12	1	5	1.5	1
	2	5.6	2	2
	3	5.2	1.8	0
	4	5	2	3
	5	5.3	1	1
	6	3.5	1	4
	7	1.4	0.8	1
	8	5.4	1.7	2
	9	3.8	1.3	2
	10	5.5	2.6	0

Tabla 81 Análisis de masa cocida B de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	10	8	2
	2	2.7	2.3	1
	3	1.5	1	1
	4	2	1.5	4
	5	1.1	1	3
	6	3.5	2.7	4
	7	2.3	1.5	1
	8	0.9	0.5	6
	9	1.1	0.5	1
	10	1.3	1	5
Muestra 2	1	1.4	0.8	3
	2	3	2	2
	3	0.6	0.4	0
	4	1.5	0.8	3
	5	0.9	0.4	1
	6	1.3	0.6	5
	7	0.8	0.5	1
	8	1.6	0.7	1
	9	1.5	1	0
	10	1.3	0.6	2
Muestra 3	1	1.9	1.2	0
	2	1.6	1.1	1
	3	2.5	1	2
	4	1	0.5	5
	5	1.4	0.8	2
	6	1.6	0.7	3
	7	2.4	1.1	2
	8	2.8	1.7	3
	9	2.6	1.5	0
	10	1.7	0.6	2
Muestra 4	1	0.5	0.2	1
	2	0.9	0.5	2
	3	0.4	0.2	2
	4	0.8	0.4	5
	5	0.7	0.4	4
	6	0.8	0.5	1
	7	1.5	1	2
	8	0.9	0.3	1
	9	1.7	1	0

Continuación Tabla 81 Análisis de masa cocida B de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 4	10	0.8	0.5	0
Muestra 5	1	1.5	0.8	2
	2	1.2	0.6	1
	3	1.2	0.3	3
	4	0.5	0.2	2
	5	1	0.4	3
	6	0.9	0.5	1
	7	1.2	0.6	2
	8	2.2	0.7	0
	9	2	1.1	1
	10	0.9	0.6	0

Tabla 82 Análisis de masa cocida C de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.2	0.5	1
	2	0.5	0.4	2
	3	1.9	0.5	4
	4	0.6	0.4	5
	5	0.5	0.4	6
	6	1	0.8	4
	7	0.9	0.5	6
	8	0.7	0.4	2
	9	0.9	0.5	2
	10	0.9	0.7	1
Muestra 2	1	1.8	0.8	3
	2	1.1	0.6	3
	3	0.9	0.3	1
	4	1.3	0.5	3
	5	1.4	0.5	2
	6	1.6	0.6	1
	7	1.1	0.4	1
	8	1	0.3	4
	9	0.9	0.5	5
	10	0.7	0.3	0
Muestra 3	1	0.7	0.3	0
	2	0.9	0.4	2
	3	1.6	0.6	2
	4	1.3	0.5	1

Continuación Tabla 82 Análisis de masa cocida C de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 3	5	1.5	0.7	1
	6	0.8	0.3	2
	7	1.3	0.7	3
	8	1.8	0.6	2
	9	0.7	0.2	3
	10	1.1	0.5	1
Muestra 4	1	1.5	1.2	0
	2	0.8	0.3	1
	3	0.5	0.2	4
	4	0.5	0.1	5
	5	0.7	0.4	5
	6	0.6	0.3	1
	7	0.6	0.2	0
	8	0.5	0.2	2
	9	0.4	0.1	3
	10	0.6	0.2	6
Muestra 5	1	1.4	0.4	1
	2	1.9	0.4	4
	3	1	0.4	0
	4	0.8	0.3	2
	5	0.9	0.4	1
	6	1.4	0.7	2
	7	1.2	0.6	1
	8	0.9	0.3	3
	9	1.8	0.7	3
	10	1.4	0.2	2
Muestra 6	1	1.8	0.5	2
	2	2	0.4	2
	3	2.4	0.6	3
	4	1.3	0.7	2
	5	0.9	0.5	1
	6	1.2	0.4	2
	7	1.5	0.6	2
	8	0.9	0.3	2
	9	2	0.6	3
	10	1.6	0.7	1
Muestra 7	1	0.7	0.2	0
	2	3.5	0.6	3
	3	1.4	0.5	2

Continuación Tabla 82 Análisis de masa cocida C de día #1.

	Campo No.	Largo	Ancho	Conteo
Muestra 7	4	1.6	0.7	3
	5	1.1	0.3	0
	6	1.2	0.4	1
	7	1.9	0.5	5
	8	1	0.5	2
	9	1.4	0.5	4
	10	1.3	0.4	1
Muestra 8	1	1	0.6	2
	2	1	0.4	3
	3	1.5	0.6	4
	4	0.8	0.3	2
	5	1.2	0.6	3
	6	1.6	0.6	1
	7	1.5	0.3	6
	8	1	0.4	3
	9	1.1	0.4	3
	10	0.8	0.3	5

Tabla 83 Análisis de masa cocida A de día #2.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.5	0.6	1
	2	1.6	0.4	3
	3	1.2	0.8	2
	4	4.8	0.5	3
	5	4	0.7	1
	6	4	1.1	1
	7	3.1	0.4	1
	8	3.5	0.7	0
	9	2.6	0.9	0
	10	1.3	0.4	2
Muestra 2	1	2.3	0.8	2
	2	1.1	0.4	0
	3	3.2	0.7	2
	4	2	0.5	3
	5	2.5	0.4	1
	6	4.4	0.8	2
	7	4.9	1.5	0
	8	3.4	0.7	0
	9	4.6	1.2	2
	10	3.9	0.8	2
Muestra 3	1	4	1.2	2
	2	4.5	1.3	2
	3	3.2	0.8	3
	4	3.9	0.7	1
	5	3	0.6	1
	6	3.4	0.7	3
	7	3.7	0.9	0
	8	3.2	0.8	2
	9	1.9	0.4	0
	10	4.3	0.9	1

Tabla 84 Análisis de masa cocida B de día #2.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	2.4	0.5	4
	2	1.8	0.3	3
	3	1.3	0.4	5
	4	1.2	0.2	2
	5	1.8	0.5	3
	6	1.7	0.3	2
	7	2.2	0.5	2
	8	1.1	0.3	2
	9	2.9	0.7	1
	10	2.5	0.5	3
Muestra 2	1	4.4	1	3
	2	2.2	0.5	1
	3	2.5	0.6	1
	4	3.9	0.6	2
	5	2.2	0.5	3
	6	2.8	0.7	0
	7	1.9	0.3	2
	8	2.7	0.7	2
	9	2	0.2	2
	10	4.4	0.8	3

Tabla 85 Análisis de masa cocida C de día #2.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	4.9	1.2	3
	2	1.8	0.6	6
	3	1.6	0.6	5
	4	1.3	0.2	3
	5	1.5	0.5	4
	6	1.1	0.3	5
	7	1.8	0.5	2
	8	2.1	0.4	2
	9	1.3	0.2	3
	10	1.5	0.3	4
Muestra 2	1	1.5	0.5	6
	2	3.1	0.7	5
	3	3.7	1.1	3
	4	2.2	0.7	5
	5	1.9	0.6	7
	6	2.3	0.4	3
	7	2.6	0.7	4
	8	1.7	0.4	2
	9	1.8	0.5	3
	10	2.4	0.6	4
Muestra 3	1	1.5	0.2	5
	2	2.6	0.6	3
	3	1.8	0.5	4
	4	1.9	0.4	3
	5	2.1	0.2	4
	6	2.4	0.6	2
	7	1.5	0.2	3
	8	1.4	0.2	3
	9	3.2	0.4	11
	10	3	0.5	6

Tabla 86 Análisis de masa cocida A de día #3.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	4.4	1.1	5
	2	4.5	2	4
	3	3.8	1.3	6
	4	4	1.2	2
	5	5	2	2
	6	1.5	0.3	3
	7	2.6	1	1
	8	2.3	1.1	1
	9	1.7	0.5	2
	10	2.3	1.2	2
Muestra 2	1	4.3	1.6	4
	2	3.5	0.8	1
	3	4.8	1.7	4
	4	4.6	1.6	3
	5	5	1.7	3
	6	2.5	0.6	4
	7	3.7	1.1	0
	8	3.1	1	2
	9	3.6	1.2	4
	10	4.7	1.3	1
Muestra 3	1	2.3	0.5	3
	2	3.8	0.8	1
	3	3.9	0.5	1
	4	3.3	0.8	0
	5	3	0.8	1
	6	2.1	0.5	4
	7	3.2	0.9	1
	8	4.9	1.2	2
	9	2	0.8	2
	10	3.5	0.4	3
Muestra 4	1	2.3	0.7	2
	2	2.1	0.3	3
	3	2.4	0.5	5
	4	2.8	0.7	3
	5	2.5	0.8	2
	6	1.8	0.4	3
	7	2.2	0.5	4
	8	1.9	0.5	2
	9	3.3	0.6	3

Continuación Tabla 86 Análisis de masa cocida A de día #3.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 4	10	2.5	0.5	6
Muestra 5	1	5.2	0.6	5
	2	1.3	0.4	2
	3	3	0.5	2
	4	2.1	0.6	1
	5	1.9	0.4	1
	6	2.6	0.3	3
	7	2	0.3	1
	8	3.6	0.4	1
	9	1.6	0.5	2
	10	2.7	0.6	3

Tabla 87 Análisis de masa cocida B de día #3.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	2.5	0.4	3
	2	2.1	0.3	3
	3	2.3	0.5	2
	4	1.5	0.6	2
	5	2.2	0.7	5
	6	1	0.5	2
	7	2.6	0.5	2
	8	3.9	0.9	5
	9	2	0.6	2
	10	1.6	0.5	0

Tabla 88 Análisis de masa cocida C de día #3.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.4	0.4	1
	2	0.9	0.3	4
	3	1	0.3	1
	4	1.9	0.7	2
	5	0.8	0.3	4
	6	1.7	0.5	3
	7	1.4	0.5	1
	8	1.2	0.2	1
	9	1.6	0.4	1
	10	1.3	0.5	1
Muestra 2	1	2.3	0.6	4
	2	2	0.7	2
	3	2.5	0.8	4
	4	1.9	0.5	2
	5	2.7	0.8	3
	6	2.1	0.6	6
	7	3.3	0.6	6
	8	2.2	0.6	1
	9	4.2	0.8	3
	10	2.5	0.6	3
Muestra 3	1	1.5	0.4	4
	2	2	0.3	2
	3	1.2	0.2	1
	4	1.7	0.5	3
	5	1.6	0.3	2
	6	2.2	0.6	4
	7	1.2	0.3	5
	8	2.6	0.7	5
	9	1.7	0.5	3
	10	1.9	0.3	3

Tabla 89 Análisis de masa cocida A de día #4.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	2.9	1.1	8
	2	2.8	0.9	5
	3	3.6	1.2	4
	4	2.9	0.9	3
	5	5.7	1.8	1
	6	3.2	0.7	3
	7	5	2	5
	8	3.9	1	7
	9	3	0.4	7
	10	5.2	1.8	5
Muestra 2	1	6.7	1.9	1
	2	4.8	1.2	1
	3	6.6	2	2
	4	3	0.8	1
	5	5.4	1.6	1
	6	4.1	1.3	2
	7	3.5	0.7	0
	8	2.4	1	0
	9	5	1.2	2
	10	4.9	1.1	3
Muestra 3	1	3.7	1.3	3
	2	4	0.8	2
	3	4.5	1	1
	4	4.5	1.4	3
	5	5.7	1.5	2
	6	4.4	1.2	0
	7	5.3	1.8	0
	8	8.1	2	1
	9	3.2	0.9	2
	10	5	1.6	1
Muestra 4	1	2.2	0.4	2
	2	2.6	0.8	4
	3	2.3	0.5	2
	4	3	0.6	1
	5	2.2	0.6	2
	6	1.3	0.4	3
	7	4	0.9	4
	8	3.6	0.7	3
	9	2.4	1.1	2

Continuación Tabla 89 Análisis de masa cocida A de día #4.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 4	10	3.3	1	2
Muestra 5	1	3.4	0.9	1
	2	2.5	0.5	1
	3	3.7	0.8	0
	4	4.5	1	1
	5	3	0.5	1
	6	2.3	0.5	2
	7	3	0.8	0
	8	5.9	1	3
	9	2.9	0.6	2
	10	4.9	1.1	1
Muestra 6	1	4.1	0.5	0
	2	3.6	1.1	1
	3	6	0.6	1
	4	1.9	0.4	1
	5	4.9	0.9	3
	6	2.5	0.3	1
	7	1.9	0.5	2
	8	3.9	0.6	0
	9	4	1	2
	10	5.5	0.9	2

Tabla 90 Análisis de masa cocida B de día #4.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	2.2	0.3	4
	2	2.6	0.8	2
	3	2	0.5	1
	4	1.3	0.3	2
	5	2.3	0.5	3
	6	1.9	0.6	3
	7	1.8	0.4	3
	8	3	0.7	1
	9	2.5	0.6	1
	10	2.3	0.5	3
Muestra 2	1	1.5	0.3	3
	2	1.2	0.3	4
	3	1.9	0.4	2
	4	2.5	0.6	4
	5	1.4	0.4	3
	6	3.6	0.5	3
	7	3.2	0.5	4
	8	1.2	0.4	2
	9	2.5	0.3	3
	10	3.7	0.5	3

Tabla 91 Análisis de masa cocida C de día #4.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.8	0.7	1
	2	1.2	0.5	0
	3	1.4	0.6	1
	4	0.9	0.3	2
	5	1.1	0.4	2
	6	0.9	0.4	4
	7	1.1	0.2	1
	8	1.5	0.5	2
	9	1.9	0.7	3
	10	2	0.6	2
Muestra 2	1	1.4	0.3	6
	2	1.3	0.3	9
	3	1.6	0.5	7
	4	1.8	0.5	5
	5	2.7	0.7	4
	6	1.7	0.4	3
	7	1.9	0.5	5
	8	1.6	0.5	13
	9	2.6	0.6	9
	10	2.2	0.7	6
Muestra 3	1	1.6	0.5	0
	2	0.6	0.2	2
	3	0.9	0.2	3
	4	1	0.3	3
	5	0.9	0.2	1
	6	1.1	0.4	0
	7	1.1	0.2	4
	8	1.2	0.4	1
	9	0.7	0.2	3
	10	1.4	0.4	3
Muestra 4	1	0.9	0.2	2
	2	2.4	0.2	2
	3	2.7	0.7	4
	4	2.1	0.4	4
	5	1.6	0.5	1
	6	2	0.6	3
	7	1.7	0.6	0
	8	2.7	0.6	1
	9	1.6	0.5	3

Continuación Tabla 91 Análisis de masa cocida C de día #4.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 4	10	0.9	0.3	1

Tabla 92 Análisis de masa cocida A de día #5.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.6	0.5	3
	2	4.6	1.8	4
	3	2.9	0.9	4
	4	7	1	1
	5	4.2	1.1	3
	6	2.2	0.6	3
	7	4.3	1.4	6
	8	6	1.6	1
	9	2.9	1	2
	10	5.5	1.4	3
Muestra 2	1	3.1	0.8	4
	2	1.9	0.5	4
	3	3.2	0.9	3
	4	3.8	1	1
	5	2.1	0.5	4
	6	2.4	0.6	1
	7	2.2	0.7	1
	8	2.6	0.6	1
	9	2.2	0.7	3
	10	5.5	1	1
Muestra 3	1	2.3	0.8	1
	2	2.5	0.8	0
	3	5	1.2	3
	4	4.3	1.2	2
	5	2.3	0.5	2
	6	3.9	1.1	2
	7	2.4	0.5	0
	8	3.1	1	3
	9	2.1	0.3	2
	10	3.2	0.7	4
Muestra 4	1	4.4	0.6	2
	2	4.1	1	2
	3	4.7	0.9	2
	4	3.5	1	3
	5	3.8	0.7	4
	6	2.5	0.8	0
	7	2.7	0.7	1
	8	3.9	1	0
	9	4.9	0.9	2
	10	4.1	0.9	2

Continuación Tabla 92 Análisis de masa cocida A de día #5.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 5	1	4.3	1	2
	2	1.7	0.5	1
	3	2	0.6	0
	4	2.2	0.5	2
	5	1.6	0.4	4
	6	1.1	0.5	2
	7	4	0.5	1
	8	1.9	0.6	2
	9	5.2	0.6	2
	10	3.3	0.3	0

Tabla 93 Análisis de masa cocida B de día #5.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.7	0.4	2
	2	3.5	0.8	3
	3	1.7	0.7	5
	4	1.9	0.6	4
	5	2.5	0.8	7
	6	1.5	0.4	2
	7	2.8	0.6	3
	8	1.4	0.3	7
	9	3.6	0.9	4
	10	1.3	0.4	3
Muestra 2	1	1.7	0.3	1
	2	1.6	0.7	3
	3	2.3	0.8	1
	4	2.1	0.6	1
	5	1.5	0.6	5
	6	1.4	0.5	1
	7	1.3	0.5	0
	8	3	0.8	2
	9	2.8	0.5	2
	10	1.3	0.5	0

Tabla 94 Análisis de masa cocida C de día #5.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	0.9	0.3	3
	2	0.8	0.2	4
	3	0.7	0.2	5
	4	1.2	0.4	3
	5	2.4	0.2	1
	6	0.8	0.3	1
	7	3	0.3	2
	8	0.8	0.2	4
	9	1	0.4	5
	10	0.8	0.2	4
Muestra 2	1	1.3	0.3	4
	2	1	0.2	3
	3	1.2	0.4	5
	4	1.4	0.4	2
	5	1.1	0.2	6
	6	1.4	0.4	2
	7	1.5	0.3	1
	8	1	0.4	2
	9	1.4	0.3	3
	10	1.1	0.3	3
Muestra 3	1	2.2	0.5	1
	2	1.5	0.7	3
	3	2.8	0.6	2
	4	1.6	0.7	3
	5	4.6	1.1	1
	6	1.9	0.9	2
	7	5.5	2.2	0
	8	0.6	0.1	1
	9	1.4	0.3	1
	10	2.4	0.6	3
Muestra 4	1	1.1	0.3	1
	2	1	0.2	1
	3	1.6	0.5	0
	4	1.5	0.5	2
	5	2	0.5	1
	6	1.7	0.6	3
	7	1	0.3	1
	8	1.1	0.4	2
	9	1.5	0.6	5
	10	1.8	0.6	2

Tabla 95 Análisis de masa cocida A de día #6.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	3.5	1.1	4
	2	5	1	1
	3	6.5	1.7	2
	4	7	2.5	3
	5	3.1	1.1	1
	6	7.4	2.5	2
	7	2.7	0.7	1
	8	3.2	1.2	2
	9	9.8	1	1
	10	2.5	0.5	4
Muestra 2	1	2.6	0.8	1
	2	2.5	0.6	1
	3	6.1	1.7	2
	4	4	1.6	0
	5	4.3	1.2	2
	6	2.7	0.7	0
	7	5	2	0
	8	2.5	1	1
	9	2.5	0.9	3
	10	4	1.6	2
Muestra 3	1	4.5	1.3	2
	2	3.2	1	2
	3	1.7	0.8	1
	4	1.4	0.5	1
	5	1.2	0.5	2
	6	4.5	0.9	1
	7	4.2	1.3	1
	8	4.9	1.7	2
	9	2.7	0.8	2
	10	1.7	0.6	1
Muestra 4	1	2.5	1	3
	2	4.7	1.5	3
	3	2.6	1	2
	4	5.8	1.6	1
	5	5.6	0.8	4
	6	4.8	1.3	2
	7	3.7	1.2	2
	8	3.2	1	1
	9	4.2	1.4	1
	10	4.2	1	4
Muestra 5	1	2	0.5	6
	2	1.4	0.5	1
	3	2	0.9	2
	4	2.3	0.6	3
	5	3	0.4	0
	6	2.5	0.7	5

Continuación Tabla 95 Análisis de masa cocida A de día #6.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 5	7	2.5	0.8	3
	8	1.2	0.4	3
	9	2.3	0.7	1
	10	2.2	0.3	0
Muestra 6	1	2.4	0.6	3
	2	2.9	0.6	4
	3	3.2	0.3	2
	4	2.8	0.4	3
	5	3.6	0.6	0
	6	2.1	0.6	2
	7	4.5	0.7	3
	8	2.8	0.8	2
	9	3.2	0.7	5
	10	2.3	0.5	2

Tabla 96 Análisis de masa cocida B de día #6.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.6	0.5	2
	2	2.2	0.8	3
	3	2.4	0.7	2
	4	4.2	1.3	4
	5	3.5	1.2	3
	6	1.5	0.4	4
	7	1.1	0.4	5
	8	1.6	0.5	2
	9	1.2	0.4	2
	10	5.4	1.4	0

Tabla 97 Análisis de masa cocida C de día #6.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.2	0.6	3
	2	0.8	0.2	5
	3	1	0.3	11
	4	0.9	0.2	3
	5	2.2	0.5	5
	6	1.2	0.4	4
	7	1.9	0.4	2
	8	1.7	0.4	4
	9	1.5	0.3	2
	10	2.3	0.5	5
Muestra 2	1	2.5	0.7	2
	2	1.5	0.4	3
	3	1.9	0.5	4
	4	1.7	0.5	2
	5	2.6	0.6	4
	6	1.5	0.5	3
	7	2.1	0.6	2
	8	1.9	0.5	1
	9	2.7	0.4	1
	10	2.2	0.6	5
Muestra 3	1	0.9	0.1	2
	2	1.4	0.3	1
	3	4.2	1	1
	4	1.5	0.3	2
	5	2.8	1	2
	6	1.1	0.3	2
	7	1.3	0.4	2
	8	1.5	0.5	0
	9	1.4	0.4	1
	10	1.7	0.5	0
Muestra 4	1	0.9	0.2	2
	2	1.6	0.4	0
	3	1.5	0.4	0
	4	1.3	0.2	1
	5	1.7	0.4	1
	6	1.4	0.4	2
	7	1.6	0.4	3
	8	1.3	0.5	2
	9	1.6	0.5	4
	10	1.9	0.6	3
Muestra 5	1	0.7	0.2	1
	2	1.9	0.4	4
	3	1.3	0.3	2
	4	1	0.2	3
	5	0.8	0.2	2
	6	0.9	0.1	2

Continuación Tabla 97 Análisis de masa cocida C de día #6.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 5	7	1.1	0.4	4
	8	1.1	0.2	3
	9	1.4	0.2	1
	10	1.7	0.4	1

Tabla 98 Análisis de masa cocida A de día #7.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	4.1	1.7	3
	2	4.4	1.3	3
	3	2.2	0.7	5
	4	4.9	1.5	2
	5	3.8	1.4	3
	6	2.8	0.5	1
	7	4.2	1.1	3
	8	3.8	1.1	1
	9	5.4	2.8	3
	10	4.5	1.5	5
Muestra 2	1	5	1	2
	2	5.6	2.4	4
	3	3	1	0
	4	2.8	1	4
	5	3.2	1.1	5
	6	2.2	0.7	3
	7	4.4	1.2	3
	8	3.7	0.9	4
	9	3	1.4	3
	10	6.1	1.1	4
Muestra 3	1	2.5	0.6	1
	2	4.5	1	3
	3	4.8	0.6	1
	4	2	0.5	0
	5	4.9	1.1	2
	6	6.8	0.8	1
	7	2.4	0.5	3
	8	3.1	1	2
	9	3.3	0.9	1
	10	5	0.7	2
Muestra 4	1	1.9	0.4	0
	2	2.2	0.5	2
	3	4.4	0.6	1
	4	3.1	0.5	0
	5	2.6	0.6	0
	6	1.8	0.6	2
	7	1.6	0.4	3
	8	2.5	0.8	0
	9	3.4	0.9	0
	10	2.5	0.5	1
Muestra 5	1	4.3	0.5	3
	2	3	0.6	3
	3	4	0.6	6
	4	4.2	0.3	3
	5	2.6	0.6	3
	6	2.4	0.3	4

Continuación Tabla 98 Análisis de masa cocida A de día #7.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 5	7	3.7	0.5	4
	8	2.5	0.5	5
	9	4.2	0.5	1
	10	1.9	0.5	3

Tabla 99 Análisis de masa cocida B de día #7.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.9	0.6	2
	2	1.4	0.4	3
	3	1.9	0.6	1
	4	1.1	0.3	2
	5	1.8	0.3	3
	6	2.1	0.5	5
	7	0.9	0.2	0
	8	2.9	1	1
	9	2.3	0.6	2
	10	2.4	0.7	3

Tabla 100 Análisis de masa cocida C de día #7.

	Campo No.	Longitud	Ancho	Conteo
Muestra 1	1	1.9	0.6	1
	2	0.9	0.3	3
	3	1	0.2	3
	4	0.9	0.4	2
	5	2.1	1	3
	6	1.1	0.3	5
	7	0.8	0.3	3
	8	2	0.6	4
	9	1.2	0.3	8
	10	1.4	0.2	4
Muestra 2	1	1.5	0.5	0
	2	1.8	0.5	0
	3	2.4	0.9	0
	4	2.3	1	2
	5	1.2	0.5	2
	6	1.9	0.9	1
	7	3.6	0.8	2
	8	0.9	0.3	3
	9	1.1	0.2	1
	10	0.5	0.2	1
Muestra 3	1	1	0.3	0
	2	1.3	0.5	2
	3	1.1	0.4	4
	4	1.3	0.5	2
	5	1.8	0.4	1
	6	1.8	0.7	1
	7	1.4	0.2	0
	8	2	0.4	0
	9	1	0.3	0
	10	1.9	0.4	2

11.4 Cálculo de muestra.

11.4.1 Cálculo de la proporción de coeficiente de elongación por rango. Para determinar el porcentaje del coeficiente de elongación que se encuentra presente en cada rango establecido, se procedió primero a sumar la cantidad de cristales en los que su coeficiente de elongación cae sobre cada rango establecido para dicho parámetros. La evaluación se realizó para 10 muestras de masa cocida C escogidas al azar. Primero se hizo la suma total de los cristales sometidos al análisis:

Ecuación 16

$$\text{Total de cristales} = \sum_{\text{categoría } I}^{\text{categoría } V} \text{cantidad de cristales}$$

Ejemplo:

$$\text{Total de cristales} = (23 + 109 + 101 + 123 + 66)\text{cristales} = 422 \text{ cristales}$$

Para determinar el porcentaje de cristales en la primera categoría, se procedió como sigue:

Ecuación 17

$$\text{Proporción} = \frac{\text{Cantidad en categoría } n}{\text{Total de cristales}} \times 100\%$$

Ejemplo:

$$\text{Proporción} = \frac{23 \text{ cristales}}{422 \text{ cristales}} \times 100\% = 5.5\%$$

De la misma manera se calcularon las proporciones para todos los cristales. A partir de esto, se pudo determinar en qué rango se encuentran la mayoría de cristales según su coeficiente de elongación. Los datos originales son los que se presentan en las tablas No. 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24. Los resultados se presentan en la tabla No. 48.

11.4.2 Determinación del coeficiente de elongación. A todas las muestras recolectadas para fines del estudio del presente documento se les determinó el coeficiente de elongación, que fue utilizado para la determinación de la calidad del grano en cuanto a su geometría. Después de varios análisis, se concluyó que la ecuación a seguir para determinar dicho parámetro es la que se muestra a continuación:

Ecuación 18

$$\text{Coeficiente de elongación del cristal} = \frac{\text{Ancho del cristal}}{\text{Largo del cristal}}$$

Ejemplo (coeficiente de elongación del cristal No. 1 de la muestra de masa cocida A del día #1, presentada en la tabla No. 26):

$$\text{Coeficiente de elongación del cristal} = \frac{10.0}{13.5} = 0.741$$

Los coeficientes de elongación de todas las muestras se calcularon de la misma manera. Los resultados se muestran en las tablas de la sección de datos calculados para cada caso.

11.5 Análisis de error.

11.5.1 Promedio del conteo de cristales alargados. Para realizar un análisis de la relación entre la cantidad de cristales alargados y cada tipo de masa cocida, fue necesario realizar un promedio de dicho parámetro por día de muestreo. La ecuación utilizada para tal fin es la que se muestra a continuación:

Ecuación 19

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Ejemplo de promedio de conteo de cristales alargados de masa cocida A, para el día #1 (datos originales obtenidos de tabla No. 26) :

$$\bar{x} = \frac{(8 + 11 + 8 + 8 + 20 + 8 + 21 + 9 + 14 + 15 + 23 + 16) \text{cristales}}{12} = 13.42 \text{ cristales}$$

De la misma manera se calcularon todos los promedios mostrados en el presente documento. Los resultados para cada caso se pueden observar en las tablas de la sección de datos calculados.

11.6 Datos calculados.

Tabla 101 Cantidad de cal añadida y porcentaje de ceniza en melaza por semana del periodo de zafra.

Semana No.	Cal añadida (kg / t caña)	Ceniza en melaza (%)
1	6.3451	11.93
2	6.8723	12.15
3	7.0107	13.19
4	6.907	13.15
5	6.8009	13.26
6	6.8353	12.34
7	6.2303	12.92
8	6.3422	13.88
9	6.5043	13.45
10	6.8105	12.58
11	6.2996	13.30
12	6.1078	13.79
13	6.0533	12.82
14	6.3575	12.29
15	6.2077	13.02
16	7.0791	12.97
17	6.6829	13.48
18	6.6966	13.52
19	7.4689	13.16
20	7.0278	13.21
21	7.0266	13.48
22	7.0678	13.35
23	6.8185	12.11
24	7.0701	12.77
25	7.0987	12.28
26	7.2075	12.31
27	7.2193	13.15

Tabla 102 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #1 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	0.50
	2	0.83
	3	1.00
	4	0.75
	5	1.00
	6	0.80
	7	0.56
	8	0.25
	9	0.33
	10	0.33
Campo 2	1	0.83
	2	0.71
	3	0.67
	4	1.00
	5	0.80
	6	0.83
	7	0.67
	8	0.25
	9	1.00
	10	0.60
Campo 3	1	0.60
	2	0.17
	3	0.91
	4	0.71
	5	0.60
	6	0.80
	7	0.60
	8	0.33
	9	0.83
Campo 4	1	0.20
	2	0.75
	3	0.17
	4	0.50
	5	0.20
	6	1.00
	7	0.50
	8	1.00
	9	0.80
	10	0.67
	11	0.33
Campo 5	1	0.38
	2	0.67
	3	0.33
	4	0.20
	5	0.67
	6	0.75

Continuación Tabla 102 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #1 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 5	7	0.33
	8	0.33
	9	0.67
	10	0.40

Tabla 103 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #2 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	1.00
	2	0.50
	3	0.33
	4	1.00
	5	0.67
	6	0.40
	7	1.00
	8	0.80
	9	0.50
	10	0.83
Campo 2	1	0.40
	2	0.67
	3	0.75
	4	0.67
	5	0.20
	6	0.29
	7	0.33
	8	1.00
	9	0.67
	10	0.83
Campo 3	1	0.20
	2	0.22
	3	0.40
	4	1.00
	5	0.75
	6	0.25
	7	0.50
	8	0.75
	9	0.50
	10	0.33
Campo 4	1	0.67
	2	1.00
	3	0.63
	4	1.00
	5	0.33
	6	0.80
	7	0.67

Continuación Tabla 103 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #2 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 4	8	0.33
	9	0.30
	10	0.43
Campo 5	1	0.25
	2	0.50
	3	0.25
	4	1.00
	5	1.00
	6	0.60
	7	1.00
	8	1.00
	9	0.67
	10	1.00

Tabla 104 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #3 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	0.67
	2	0.50
	3	0.60
	4	0.83
	5	1.00
	6	0.40
	7	0.38
	8	0.60
	9	0.75
	10	0.60
Campo 2	1	0.50
	2	0.60
	3	0.43
	4	0.50
	5	1.00
	6	0.71
	7	0.80
	8	0.80
	9	0.50
	10	0.67
Campo 3	1	0.80
	2	0.38
	3	0.89
	4	0.38
	5	0.71
	6	0.29
	7	0.67
	8	0.67
	9	0.14
	10	0.43
Campo 4	1	0.63
	2	0.50
	3	0.43
	4	0.75
	5	1.00
Campo 5	1	0.25
	2	0.33
	3	0.50
	4	0.67
	5	0.25

Tabla 105 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #4 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	0.67
	2	0.91
	3	0.40
	4	0.75
	5	0.56
	6	0.50
	7	0.33
	8	0.50
	9	0.29
	10	0.63
Campo 2	1	0.60
	2	0.44
	3	0.33
	4	0.23
	5	0.60
	6	0.20
	7	0.63
	8	0.40
	9	0.14
	10	0.60
Campo 3	1	0.30
	2	0.83
	3	1.00
	4	0.40
	5	0.33
	6	0.43
	7	0.13
	8	0.25
	9	0.75
	10	0.33
Campo 4	1	0.50
	2	0.17
	3	0.33
	4	0.38
	5	0.40
Campo 5	1	1.00
	2	0.80
	3	0.43
	4	0.27
	5	0.40

Tabla 106 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #5 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	0.31
	2	0.27
	3	0.50
	4	0.33
	5	0.55
	6	0.33
	7	0.67
	8	0.88
	9	0.50
	10	1.00
Campo 2	1	0.50
	2	0.33
	3	0.25
	4	0.25
	5	0.67
	6	0.70
	7	0.57
	8	0.40
	9	0.40
	10	0.30
Campo 3	1	0.33
	2	0.50
	3	0.18
	4	0.50
	5	0.50
	6	0.50
	7	0.40
	8	0.43
	9	0.56
	10	0.67
Campo 4	1	0.50
	2	0.43
	3	0.60
	4	0.60
	5	0.50
Campo 5	1	0.88
	2	1.00
	3	0.29
	4	0.17
	5	0.80

Tabla 107 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #6 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	1.00
	2	0.83
	3	0.80
	4	0.80
	5	1.00
	6	0.83
	7	0.80
	8	0.75
	9	0.80
	10	0.50
Campo 2	1	0.25
	2	0.80
	3	0.50
	4	1.00
	5	0.60
	6	0.25
Campo 3	1	0.43
	2	0.40
	3	0.80
	4	1.00
	5	0.33
	6	0.80
	7	0.38
Campo 4	1	0.83
	2	0.80
	3	0.71
	4	0.57
	5	0.67
	6	0.29
	7	0.33
	8	0.30
	9	1.00
Campo 5	1	0.60
	2	0.57
	3	0.50
	4	0.83
	5	0.63
	6	0.80
	7	0.67
	8	0.63
	9	0.60

Tabla 108 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #7 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	0.50
	2	0.63
	3	0.33
	4	0.60
	5	0.67
	6	0.71
	7	0.17
	8	1.00
	9	1.00
	10	0.71
Campo 2	1	1.00
	2	0.50
	3	0.50
	4	0.80
	5	0.83
	6	0.25
	7	0.33
	8	1.00
Campo 3	1	0.63
	2	0.80
	3	0.63
	4	0.56
	5	0.50
	6	0.80
	7	0.83
	8	0.67
	9	1.00
Campo 4	1	0.83
	2	0.71
	3	0.60
	4	0.80
	5	0.83
	6	1.00
Campo 5	1	0.75
	2	1.00
	3	0.40
	4	0.40
	5	0.14
	6	0.38
	7	0.80

Tabla 109 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #8 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	0.63
	2	0.40
	3	1.00
	4	0.63
	5	0.75
	6	0.50
	7	0.33
	8	0.33
	9	0.60
	10	0.63
Campo 2	1	0.63
	2	0.44
	3	0.43
	4	0.90
	5	0.75
	6	0.25
	7	0.63
	8	0.29
	9	0.29
	10	0.80
Campo 3	1	0.33
	2	0.60
	3	0.63
	4	0.25
	5	0.67
	6	1.00
	7	0.50
	8	0.43
	9	0.71
	10	0.50
Campo 4	1	0.44
	2	0.71
	3	0.50
	4	0.50
	5	0.20
Campo 5	1	0.38
	2	0.50
	3	0.63
	4	0.67
	5	0.80

Tabla 110 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #9 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	0.44
	2	0.80
	3	0.71
	4	0.40
	5	0.60
	6	0.18
	7	0.75
	8	0.50
	9	0.67
	10	0.29
Campo 2	1	0.22
	2	0.80
	3	0.20
	4	0.20
	5	0.33
	6	1.00
	7	0.63
	8	0.75
	9	0.67
	10	0.33
Campo 3	1	0.60
	2	0.75
	3	0.42
	4	0.80
	5	0.30
	6	0.75
	7	0.22
	8	0.71
	9	0.33
	10	0.50
Campo 4	1	0.60
	2	0.38
	3	1.00
	4	0.67
	5	0.40
Campo 5	1	0.27
	2	0.71
	3	0.67
	4	0.57
	5	0.33

Tabla 111 Coeficiente de elongación de los cristales de la muestra #10 de masa cocida C.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Campo 1	1	0.60
	2	0.63
	3	0.10
	4	0.22
	5	0.63
	6	0.20
	7	0.38
	8	0.18
	9	0.44
	10	0.50
Campo 2	1	0.50
	2	0.44
	3	0.67
	4	0.67
	5	0.70
	6	0.63
	7	0.57
	8	0.36
	9	0.80
	10	0.83
Campo 3	1	0.70
	2	0.22
	3	0.50
	4	0.33
	5	0.50
	6	0.70
	7	0.63
	8	0.50
	9	1.00
	10	0.57
Campo 4	1	0.23
	2	0.60
	3	0.40
	4	1.00
	5	0.45
Campo 5	1	0.30
	2	0.67
	3	0.25
	4	0.38
	5	0.33

Tabla 112 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.74
	2	0.58
	3	0.59
	4	0.73
	5	0.66
	6	0.63
	7	0.71
	8	0.58
	9	0.77
	10	0.64
Muestra 2	1	0.20
	2	0.46
	3	0.25
	4	1.16
	5	0.50
	6	0.45
	7	0.61
	8	0.40
	9	0.53
	10	0.45
Muestra 3	1	0.60
	2	0.58
	3	0.52
	4	0.75
	5	0.53
	6	0.52
	7	0.57
	8	0.68
	9	0.60
	10	0.48
Muestra 4	1	0.54
	2	0.65
	3	0.82
	4	0.53
	5	0.70
	6	0.62
	7	1.59
	8	0.51
	9	0.63

Continuación Tabla 112 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 4	10	0.52
Muestra 5	1	0.48
	2	0.57
	3	0.54
	4	0.40
	5	0.50
	6	0.50
	7	0.27
	8	0.40
	9	0.44
	10	0.55
Muestra 6	1	0.35
	2	0.33
	3	0.30
	4	0.55
	5	0.37
	6	0.52
	7	0.38
	8	0.33
	9	0.40
	10	0.44
Muestra 7	1	0.33
	2	0.29
	3	0.25
	4	0.35
	5	0.32
	6	0.45
	7	0.37
	8	0.38
	9	0.33
	10	0.26
Muestra 8	1	0.34
	2	0.30
	3	0.39
	4	0.30
	5	0.30
	6	0.24
	7	0.44
	8	0.33

Continuación Tabla 112 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 8	9	0.54
	10	0.20
Muestra 9	1	0.26
	2	0.33
	3	0.42
	4	0.32
	5	0.59
	6	0.46
	7	0.38
	8	0.35
	9	0.41
	10	0.44
Muestra 10	1	0.52
	2	0.40
	3	0.58
	4	0.45
	5	0.29
	6	0.26
	7	0.25
	8	0.38
	9	0.22
	10	0.39
Muestra 11	1	0.43
	2	0.41
	3	0.53
	4	0.33
	5	0.33
	6	0.33
	7	0.29
	8	0.30
	9	0.27
	10	3.00
Muestra 12	1	0.30
	2	0.36
	3	0.35
	4	0.40
	5	0.19
	6	0.29
	7	0.57

Continuación Tabla 112 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 12	8	0.31
	9	0.34
	10	0.47

Tabla 113 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.80
	2	0.85
	3	0.67
	4	0.75
	5	0.91
	6	0.77
	7	0.65
	8	0.56
	9	0.45
	10	0.77
Muestra 2	1	0.57
	2	0.67
	3	0.67
	4	0.53
	5	0.44
	6	0.46
	7	0.63
	8	0.44
	9	0.67
	10	0.46
Muestra 3	1	0.63
	2	0.69
	3	0.40
	4	0.50
	5	0.57
	6	0.44
	7	0.46
	8	0.61
	9	0.58
	10	0.35
Muestra 4	1	0.40
	2	0.56

Continuación Tabla 113 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 4	3	0.50
	4	0.50
	5	0.57
	6	0.63
	7	0.67
	8	0.33
	9	0.59
	10	0.63
Muestra 5	1	0.53
	2	0.50
	3	0.25
	4	0.40
	5	0.40
	6	0.56
	7	0.50
	8	0.32
	9	0.55
	10	0.67

Tabla 114 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.42
	2	0.80
	3	0.26
	4	0.67
	5	0.80
	6	0.80
	7	0.56
	8	0.57
	9	0.56
	10	0.78
Muestra 2	1	0.44
	2	0.55
	3	0.33
	4	0.38
	5	0.36
	6	0.38
	7	0.36
	8	0.30
	9	0.56
	10	0.43
Muestra 3	1	0.43
	2	0.44
	3	0.38
	4	0.38
	5	0.47
	6	0.38
	7	0.54
	8	0.33
	9	0.29
	10	0.45
Muestra 4	1	0.80
	2	0.38
	3	0.40
	4	0.20
	5	0.57
	6	0.50
	7	0.33
	8	0.40
	9	0.25

Continuación Tabla 114 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 4	10	0.33
Muestra 5	1	0.29
	2	0.21
	3	0.40
	4	0.38
	5	0.44
	6	0.50
	7	0.50
	8	0.33
	9	0.39
	10	0.14
Muestra 6	1	0.28
	2	0.20
	3	0.25
	4	0.54
	5	0.56
	6	0.33
	7	0.40
	8	0.33
	9	0.30
	10	0.44
Muestra 7	1	0.29
	2	0.17
	3	0.36
	4	0.44
	5	0.27
	6	0.33
	7	0.26
	8	0.50
	9	0.36
	10	0.31
Muestra 8	1	0.60
	2	0.40
	3	0.40
	4	0.38
	5	0.50
	6	0.38
	7	0.20
	8	0.40

Continuación Tabla 114 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #1.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 8	9	0.36
	10	0.38

Tabla 115 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #2.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.40
	2	0.25
	3	0.67
	4	0.10
	5	0.18
	6	0.28
	7	0.13
	8	0.20
	9	0.35
	10	0.31
Muestra 2	1	0.35
	2	0.36
	3	0.22
	4	0.25
	5	0.16
	6	0.18
	7	0.31
	8	0.21
	9	0.26
	10	0.21
Muestra 3	1	0.30
	2	0.29
	3	0.25
	4	0.18
	5	0.20
	6	0.21
	7	0.24
	8	0.25
	9	0.21
	10	0.21

Tabla 116 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #2.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.21
	2	0.17
	3	0.31
	4	0.17
	5	0.28
	6	0.18
	7	0.23
	8	0.27
	9	0.24
	10	0.20
Muestra 2	1	0.23
	2	0.23
	3	0.24
	4	0.15
	5	0.23
	6	0.25
	7	0.16
	8	0.26
	9	0.10
	10	0.18

Tabla 117 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #2.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.24
	2	0.33
	3	0.38
	4	0.15
	5	0.33
	6	0.27
	7	0.28
	8	0.19
	9	0.15
	10	0.20
Muestra 2	1	0.33
	2	0.23
	3	0.30
	4	0.32
	5	0.32
	6	0.17
	7	0.27
	8	0.24
	9	0.28
	10	0.25
Muestra 3	1	0.13
	2	0.23
	3	0.28
	4	0.21
	5	0.10
	6	0.25
	7	0.13
	8	0.14
	9	0.13
	10	0.17

Tabla 118 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #3.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.25
	2	0.44
	3	0.34
	4	0.30
	5	0.40
	6	0.20
	7	0.38
	8	0.48
	9	0.29
	10	0.52
Muestra 2	1	0.37
	2	0.23
	3	0.35
	4	0.35
	5	0.34
	6	0.24
	7	0.30
	8	0.32
	9	0.33
	10	0.28
Muestra 3	1	0.22
	2	0.21
	3	0.13
	4	0.24
	5	0.27
	6	0.24
	7	0.28
	8	0.24
	9	0.40
	10	0.11
Muestra 4	1	0.30
	2	0.14
	3	0.21
	4	0.25
	5	0.32
	6	0.22
	7	0.23
	8	0.26
	9	0.18

Continuación Tabla 118 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #3.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 4	10	0.20
Muestra 5	1	0.12
	2	0.31
	3	0.17
	4	0.29
	5	0.21
	6	0.12
	7	0.15
	8	0.11
	9	0.31
	10	0.22

Tabla 119 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #3.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.16
	2	0.14
	3	0.22
	4	0.40
	5	0.32
	6	0.50
	7	0.19
	8	0.23
	9	0.30
	10	0.31

Tabla 120 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #3.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.29
	2	0.33
	3	0.30
	4	0.37
	5	0.38
	6	0.29
	7	0.36
	8	0.17
	9	0.25
	10	0.38
Muestra 2	1	0.26
	2	0.35
	3	0.32
	4	0.26
	5	0.30
	6	0.29
	7	0.18
	8	0.27
	9	0.19
	10	0.24
Muestra 3	1	0.27
	2	0.15
	3	0.17
	4	0.29
	5	0.19
	6	0.27
	7	0.25
	8	0.27
	9	0.29
	10	0.16

Tabla 121 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #4.

	Cristal No.	Coefficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.38
	2	0.32
	3	0.33
	4	0.31
	5	0.32
	6	0.22
	7	0.40
	8	0.26
	9	0.13
	10	0.35
Muestra 2	1	0.28
	2	0.25
	3	0.30
	4	0.27
	5	0.30
	6	0.32
	7	0.20
	8	0.42
	9	0.24
	10	0.22
Muestra 3	1	0.35
	2	0.20
	3	0.22
	4	0.31
	5	0.26
	6	0.27
	7	0.34
	8	0.25
	9	0.28
	10	0.32
Muestra 4	1	0.18
	2	0.31
	3	0.22
	4	0.20
	5	0.27
	6	0.31
	7	0.23
	8	0.19
	9	0.46

Continuación Tabla 121 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #4.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 4	10	0.30
Muestra 5	1	0.26
	2	0.20
	3	0.22
	4	0.22
	5	0.17
	6	0.22
	7	0.27
	8	0.17
	9	0.21
	10	0.22
Muestra 6	1	0.12
	2	0.31
	3	0.10
	4	0.21
	5	0.18
	6	0.12
	7	0.26
	8	0.15
	9	0.25
	10	0.16

Tabla 122 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #4.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.14
	2	0.31
	3	0.25
	4	0.23
	5	0.22
	6	0.32
	7	0.22
	8	0.23
	9	0.24
	10	0.22
Muestra 2	1	0.20
	2	0.25
	3	0.21
	4	0.24
	5	0.29
	6	0.14
	7	0.16
	8	0.33
	9	0.12
	10	0.14

Tabla 123 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #4.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.39
	2	0.42
	3	0.43
	4	0.33
	5	0.36
	6	0.44
	7	0.18
	8	0.33
	9	0.37
	10	0.30
Muestra 2	1	0.21
	2	0.23
	3	0.31
	4	0.28
	5	0.26

Continuación Tabla 123 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #4.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 2	6	0.24
	7	0.26
	8	0.31
	9	0.23
	10	0.32
Muestra 3	1	0.31
	2	0.33
	3	0.22
	4	0.30
	5	0.22
	6	0.36
	7	0.18
	8	0.33
	9	0.29
	10	0.29
Muestra 4	1	0.22
	2	0.08
	3	0.26
	4	0.19
	5	0.31
	6	0.30
	7	0.35
	8	0.22
	9	0.31
	10	0.33

Tabla 124 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #5.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.31
	2	0.39
	3	0.31
	4	0.14
	5	0.26
	6	0.27
	7	0.33
	8	0.27
	9	0.34
	10	0.25
Muestra 2	1	0.26
	2	0.26
	3	0.28
	4	0.26
	5	0.24
	6	0.25
	7	0.32
	8	0.23
	9	0.32
	10	0.18
Muestra 3	1	0.35
	2	0.32
	3	0.24
	4	0.28
	5	0.22
	6	0.28
	7	0.21
	8	0.32
	9	0.14
	10	0.22
Muestra 4	1	0.14
	2	0.24
	3	0.19
	4	0.29
	5	0.18
	6	0.32
	7	0.26
	8	0.26
	9	0.18
	10	0.22
Muestra 5	1	0.23
	2	0.29
	3	0.30
	4	0.23
	5	0.25
	6	0.45

Continuación Tabla 124 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #5.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 5	7	0.13
	8	0.32
	9	0.12
	10	0.09

Tabla 125 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #5.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.24
	2	0.23
	3	0.41
	4	0.32
	5	0.32
	6	0.27
	7	0.21
	8	0.21
	9	0.25
	10	0.31
Muestra 2	1	0.18
	2	0.44
	3	0.35
	4	0.29
	5	0.40
	6	0.36
	7	0.38
	8	0.27
	9	0.18
	10	0.38

Tabla 126 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #5.

	Campo No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.33
	2	0.25
	3	0.29
	4	0.33
	5	0.08
	6	0.38
	7	0.10
	8	0.25
	9	0.40
	10	0.25
Muestra 2	1	0.23
	2	0.20
	3	0.33
	4	0.29
	5	0.18
	6	0.29
	7	0.20
	8	0.40
	9	0.21
	10	0.27
Muestra 3	1	0.23
	2	0.47
	3	0.21
	4	0.44
	5	0.24
	6	0.47
	7	0.40
	8	0.17
	9	0.21
	10	0.25
Muestra 4	1	0.27
	2	0.20
	3	0.31
	4	0.33
	5	0.25
	6	0.35
	7	0.30
	8	0.36
	9	0.40
	10	0.33

Tabla 127 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #6.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.31
	2	0.20
	3	0.26
	4	0.36
	5	0.35
	6	0.34
	7	0.26
	8	0.38
	9	0.10
	10	0.20
Muestra 2	1	0.31
	2	0.24
	3	0.28
	4	0.40
	5	0.28
	6	0.26
	7	0.40
	8	0.40
	9	0.36
	10	0.40
Muestra 3	1	0.29
	2	0.31
	3	0.47
	4	0.36
	5	0.42
	6	0.20
	7	0.31
	8	0.35
	9	0.30
	10	0.35
Muestra 4	1	0.40
	2	0.32
	3	0.38
	4	0.28
	5	0.14
	6	0.27
	7	0.32
	8	0.31
	9	0.33
	10	0.24
Muestra 5	1	0.25
	2	0.36
	3	0.45
	4	0.26
	5	0.13
	6	0.28

Continuación Tabla 127 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #6.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 5	7	0.32
	8	0.33
	9	0.30
	10	0.14
Muestra 6	1	0.25
	2	0.21
	3	0.09
	4	0.14
	5	0.17
	6	0.29
	7	0.16
	8	0.29
	9	0.22
	10	0.22

Tabla 128 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #6.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación
Muestra 1	1	0.31
	2	0.36
	3	0.29
	4	0.31
	5	0.34
	6	0.27
	7	0.36
	8	0.31
	9	0.33
	10	0.26

Tabla 129 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #6.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.50
	2	0.25
	3	0.30
	4	0.22
	5	0.23
	6	0.33
	7	0.21
	8	0.24
	9	0.20
	10	0.22
Muestra 2	1	0.28
	2	0.27
	3	0.26
	4	0.29
	5	0.23
	6	0.33
	7	0.29
	8	0.26
	9	0.15
	10	0.27
Muestra 3	1	0.11
	2	0.21
	3	0.24
	4	0.20
	5	0.36
	6	0.27
	7	0.31
	8	0.33
	9	0.29
	10	0.29
Muestra 4	1	0.22
	2	0.25
	3	0.27
	4	0.15
	5	0.24
	6	0.29
	7	0.25
	8	0.38
	9	0.31
	10	0.32
Muestra 5	1	0.29
	2	0.21
	3	0.23
	4	0.20
	5	0.25
	6	0.11

Continuación Tabla 129 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #6.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 5	7	0.36
	8	0.18
	9	0.14
	10	0.24

Tabla 130 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #7.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.41
	2	0.30
	3	0.32
	4	0.31
	5	0.37
	6	0.18
	7	0.26
	8	0.29
	9	0.52
	10	0.33
Muestra 2	1	0.20
	2	0.43
	3	0.33
	4	0.36
	5	0.34
	6	0.32
	7	0.27
	8	0.24
	9	0.47
	10	0.18
Muestra 3	1	0.24
	2	0.22
	3	0.13
	4	0.25
	5	0.22
	6	0.12
	7	0.21
	8	0.32
	9	0.27
	10	0.14
Muestra 4	1	0.21
	2	0.23
	3	0.14
	4	0.16
	5	0.23
	6	0.33
	7	0.25

Continuación Tabla 130 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida A de día #7.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 4	8	0.32
	9	0.26
	10	0.20
Muestra 5	1	0.12
	2	0.20
	3	0.15
	4	0.07
	5	0.23
	6	0.13
	7	0.14
	8	0.20
	9	0.12
	10	0.26

Tabla 131 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida B de día #7.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.32
	2	0.29
	3	0.32
	4	0.27
	5	0.17
	6	0.24
	7	0.22
	8	0.34
	9	0.26
	10	0.29

Tabla 132 Coeficiente de elongación de los cristales de la masa cocida C de día #7.

	Cristal No.	Coeficiente de elongación del cristal
Muestra 1	1	0.32
	2	0.33
	3	0.20
	4	0.44
	5	0.48
	6	0.27
	7	0.38
	8	0.30
	9	0.25
	10	0.14
Muestra 2	1	0.33
	2	0.28
	3	0.38
	4	0.43
	5	0.42
	6	0.47
	7	0.22
	8	0.33
	9	0.18
	10	0.40
Muestra 3	1	0.30
	2	0.38
	3	0.36
	4	0.38
	5	0.22
	6	0.39
	7	0.14
	8	0.20
	9	0.30
	10	0.21

Tabla 133 Proporción de coeficiente de elongación por rango.

Categoría	Rango del coeficiente de elongación	Cantidad	Proporción	Porcentaje
I	0 - 0.2	23	0.0545	5.5%
II	0.2 - 0.4	109	0.2583	25.8%
III	0.4 - 0.6	101	0.2393	23.9%
IV	0.6 - 0.8	123	0.2915	29.1%
V	0.8 - 1.0	66	0.1564	15.6%
	TOTAL	422	1.0000	100%

Tabla 134 Promedio de cristales alargados por día de muestreo, para cada tipo de masa cocida.

		Conteo de cristales alargados		
		Masa A	Masa B	Masa C
Día 1	Muestra 1	8	28	33
	Muestra 2	11	18	23
	Muestra 3	8	20	17
	Muestra 4	8	18	27
	Muestra 5	20	15	19
	Muestra 6	8	-	20
	Muestra 7	21	-	21
	Muestra 8	9	-	32
	Muestra 9	14	-	-
	Muestra 10	15	-	-
	Muestra 11	23	-	-
	Muestra 12	16	-	-
	PROMEDIO	13.42	19.8	24
Día 2	Muestra 1	14	27	37
	Muestra 2	14	19	42
	Muestra 3	15	-	44
	PROMEDIO	14.33	23	41
Día 3	Muestra 1	28	26	19
	Muestra 2	26	-	34
	Muestra 3	18	-	32
	Muestra 4	33	-	-
	Muestra 5	21	-	-
	PROMEDIO	25.2	26	28.33
Día 4	Muestra 1	48	23	18
	Muestra 2	13	31	67
	Muestra 3	15	-	20
	Muestra 4	25	-	21
	Muestra 5	12	-	-
	Muestra 6	13	-	-
	PROMEDIO	21	27	31.5
Día 5	Muestra 1	30	40	32
	Muestra 2	23	16	31
	Muestra 3	19	-	17
	Muestra 4	18	-	18
	Muestra 5	16	-	-
	PROMEDIO	21.2	28	24.5

Continuación Tabla 134 Promedio de cristales alargados por día de muestreo, para cada tipo de masa cocida.

		Conteo de cristales alargados		
		Masa A	Masa B	Masa C
Día 6	Muestra 1	21	27	44
	Muestra 2	12	-	27
	Muestra 3	15	-	13
	Muestra 4	23	-	18
	Muestra 5	24	-	23
	Muestra 6	26	-	-
	PROMEDIO	20.17	27	25
Día 7	Muestra 1	29	22	36
	Muestra 2	32	-	12
	Muestra 3	16	-	12
	Muestra 4	9	-	-
	Muestra 5	35	-	-
	PROMEDIO	24.2	22	20

Tabla 135 Promedio de coeficiente de elongación del cristal por día de muestreo, por tipo de masa cocida.

		Coeficiente de elongación de los cristales		
		Masa A	Masa B	Masa C
Día 1	Muestra 1	0.6638	0.7181	0.6207
	Muestra 2	0.5018	0.5535	0.4088
	Muestra 3	0.5809	0.5223	0.4086
	Muestra 4	0.7100	0.5365	0.4163
	Muestra 5	0.4650	0.4674	0.3581
	Muestra 6	0.3967	-	0.3626
	Muestra 7	0.3342	-	0.3286
	Muestra 8	0.3379	-	0.3989
	Muestra 9	0.3962	-	-
	Muestra 10	0.3755	-	-
	Muestra 11	0.6233	-	-
	Muestra 12	0.3579	-	-
	PROMEDIO	0.4786	0.5596	0.4128
Día 2	Muestra 1	0.2854	0.2245	0.2535
	Muestra 2	0.2500	0.2025	0.2697
	Muestra 3	0.2337	-	0.1766
	PROMEDIO	0.2564	0.2135	0.2332
Día 3	Muestra 1	0.3615	0.2774	0.3115

Continuación Tabla 135 Promedio de coeficiente de elongación del cristal para cada día de muestreo, por tipo de masa cocida.

		Coeficiente de elongación de los cristales		
		Masa A	Masa B	Masa C
Día 3	Muestra 2	0.3112	-	0.2661
	Muestra 3	0.2344	-	0.2309
	Muestra 4	0.2320	-	-
	Muestra 5	0.1997	-	-
	PROMEDIO	0.2678	0.2774	0.2695
Día 4	Muestra 1	0.3015	0.2371	0.3559
	Muestra 2	0.2798	0.2070	0.2654
	Muestra 3	0.2808	-	0.2840
	Muestra 4	0.2668	-	0.2589
	Muestra 5	0.2155	-	-
	Muestra 6	0.1872	-	-
	PROMEDIO	0.2553	0.2220	0.2911
Día 5	Muestra 1	0.2883	0.2764	0.2661
	Muestra 2	0.2603	0.3219	0.2604
	Muestra 3	0.2579	-	0.3089
	Muestra 4	0.2281	-	0.3118
	Muestra 5	0.2406	-	-
	PROMEDIO	0.2550	0.2992	0.2868
Día 6	Muestra 1	0.2762	0.3156	0.2696
	Muestra 2	0.3325	-	0.2638
	Muestra 3	0.3351	-	0.2614
	Muestra 4	0.3002	-	0.2677
	Muestra 5	0.2825	-	0.2212
	Muestra 6	0.2023	-	-
	PROMEDIO	0.2881	0.3156	0.2567
Día 7	Muestra 1	0.3285	0.2714	0.3110
	Muestra 2	0.3144	-	0.3449
	Muestra 3	0.2123	-	0.2897
	Muestra 4	0.2334	-	-
	Muestra 5	0.1611	-	-
	PROMEDIO	0.2499	0.2714	0.3152

Gráfica 19 Relación entre indicadores por semana del periodo de zafra.

