



PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AL SISTEMA DE GESTIÓN DE STOCKS DE
INSUMOS PARA EL DEPARTAMENTO DE PROCESOS DE LA EMPRESA BIOENERGY
ZONA FRANCA SAS

JEIMAN GERARDO SILVA OCAMPO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS, TECNOLOGIA E INGENIERIA

2018

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AL SISTEMA DE GESTIÓN DE STOCKS DE
INSUMOS PARA EL DEPARTAMENTO DE PROCESOS DE LA EMPRESA BIOENERGY
ZONA FRANCA SAS

JEIMAN GERARDO SILVA OCAMPO

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero industrial.

ADRIANA YOLIMA MORALES RAMIREZ

Director

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS, TECNOLOGIA E INGENIERIA

2018

RESUMEN

En el presente trabajo tiene como objetivo central generar una propuesta de mejoramiento al sistema de gestión de stocks del departamento de procesos de la empresa Bioenergy Zona Franca SAS. En este se describe el proceso empleado por la empresa para la obtención del etanol anhidro. Se presenta las cantidades reales de insumos requeridas para la normal operación de la planta ajustándose a las modificaciones realizadas en la fase de estabilización de la producción. Después del cálculo de las tasas de consumo, se realiza el análisis de la demanda y se determina que el mejor método para la gestión de inventarios, es emplear una estrategia de planeación y control de la producción. A partir de lo anterior, se genera el MRP calculando la explosión para cada uno de los materiales, que dio como producto un plan de emisión de órdenes de compra con el que se espera cubrir las necesidades de insumos del departamento de procesos de Bioenergy para la zafra de producción 2018 – 2019 sin caer en los excesos ni incurrir en el déficit. De igual forma, se presenta los costos derivados del MRP y recomendaciones para la minimización de los mismos.

Palabras clave. Etanol, proceso, producción, estabilización, insumo, stock, tasa de consumo, requerimiento, compra.

ABSTRACT

The principal objective of the present work, is generate a improvement proposal to stocks management system of process department of Bioenergy Zona Franca SAS. This describe the process used for the Company for the production of anhydrous etanol. This work present the real quantities required for the normal operation of de plant in agreement to the changes in the production stabilization stage. After calculating the consumption rate, is realized the demand analysis and decide the better stocks system model, is a planning and control production model. From the previous, is generated the explosion of MRP for every one materials, after, the result is a purchase orders issue plan with which expected satisfy the inputs needs of process department of Bioenergy for the production zafra 2018 – 2019 whitout excess or deficit. Also, is present the MRP costs and recomendatios for minimize them.

Keywords. Ethanol, process, production, stabilization, input, stock, consumption rate, requeriment, purchase.

TABLA DE CONTENIDO

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
2.	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.	ETANOL: PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA EN EL SECTOR ENERGÉTICO.....	7
2.2.	GESTIÓN DE INVENTARIOS	8
2.3.	PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS MATERIALES (MRP).....	10
3.	BIOENERGY: ACERCA DE LA EMPRESA	13
3.1.	Quiénes somos.....	13
3.2.	Misión.....	13
3.3.	Visión.....	13
3.4.	Valores corporativos.....	13
3.5.	Perfil corporativo.....	14
3.6.	Unidad de negocio.....	14
3.7.	Política RSE.....	15
3.8.	Sostenibilidad.....	16
4.	PRODUCCIÓN DE ETANOL AHNIDRO	17
4.1.	RECEPCIÓN DE LA CAÑA.....	18
4.2.	PREPARACIÓN Y EXTRACCIÓN.....	19
4.3.	TRATAMIENTO DE JUGOS.....	20
4.4.	FERMENTACIÓN.....	23
4.5.	DESTILACIÓN Y DESHIDRATACIÓN.....	29
4.6.	EVAPORACIÓN DE VINAZAS.....	31
4.7.	ÁREAS AJENAS AL DEPARTAMENTO DE PROCESOS.....	32
5.	TASA DE CONSUMO DE INSUMOS.....	33
5.1.	CÁLCULO DE TASA DE CONSUMO DE INSUMOS.....	34
5.2.	RESUMEN.....	53
6.	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AL SISTEMA DE GESTIÓN DE STOCKS DE INSUMOS DE PROCESOS	54
6.1.	ANÁLISIS DE DEMANDA Y ELECCIÓN DE MODELO DE GESTIÓN DE STOCKS.....	54
6.2.	PRECEDENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MRP.....	55
7.	PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS MATERIALES MRP	56
7.1.	HORIZONTE DE PLANEACIÓN.....	56
7.2.	PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS).....	57

7.3.	CODIFICACION DE MATERIALES.	57
7.4.	LISTA DE MATERIALES (BOM).....	58
7.5.	DETERMINACIÓN DE STOCKS DE SEGURIDAD.	59
7.6.	REGISTRO DE INVENTARIOS.....	61
7.7.	DESARROLLO DEL MRP.....	62
7.8.	INFORME DE NECESIDADES.....	81
7.9.	COSTOS.....	82
8.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
9.	RECOMENDACIONES.....	92
10.	CONCLUSIONES	94
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	96

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Grado alcohólico y tiempos de variedad xp vs mix brasileiro.....	25
Tabla 2. Datos de insumos para procesos.....	35
Tabla 3. Datos de preparación de solución caustica para limpieza CIP.....	49
Tabla 4. Cuadro compendio de tasas de consumo de insumos para procesos.....	53
Tabla 5. Resumen de periodos y fechas del horizonte de planeación.....	56
Tabla 6. Plan maestro de producción.....	57
Tabla 7. Codificación de materiales.....	58
Tabla 8. Fichero de inventarios.....	61
Tabla 9. Datos para cálculo de la explosión de PRO-0-100.....	62
Tabla 10. Calculo de explosión para PRO-0-100, periodo 1 a 11.....	63
Tabla 11. Calculo de explosión para PRO-0-100, periodo 12 a 23.....	63
Tabla 12. Calculo de explosión para PRO-0-100, periodo 24 a 35.....	63
Tabla 13. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-102.....	64
Tabla 14. Calculo de explosión para PRO-2-102, periodo 1 a 11.....	64
Tabla 15. Calculo de explosión para PRO-2-102, periodo 12 a 24.....	64
Tabla 16. Calculo de explosión para PRO-2-102, periodo 25 a 35.....	65
Tabla 17. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-103.....	65
Tabla 18. Calculo de explosión para PRO-2-103, periodo 1 a 10.....	65
Tabla 19. Calculo de explosión para PRO-2-103, periodo 11 a 23.....	66
Tabla 20. Calculo de explosión para PRO-2-103, periodo 24 a 35.....	66
Tabla 21. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-104.....	66
Tabla 22. Calculo de explosión para PRO-2-104, periodo 1 a 10.....	66
Tabla 23. Calculo de explosión para PRO-2-104, 11 a 23.....	67
Tabla 24. Calculo de explosión para PRO-2-104, periodo 24 a 35.....	67
Tabla 25. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-105.....	67
Tabla 26. Calculo de explosión para PRO-2-105, periodo 1 a 8.....	68
Tabla 27. Calculo de explosión para PRO-2-105, periodo 9 a 21.....	68
Tabla 28. Calculo de explosión para PRO-2-105, periodo 22 a 35.....	68
Tabla 29. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-106.....	69
Tabla 30. Calculo de explosión para PRO-2-106, periodo 1 a 8.....	69
Tabla 31. Calculo de explosión para PRO-2-106, periodo 9 a 21.....	69
Tabla 32. Calculo de explosión para PRO-2-106, periodo 22 a 35.....	69
Tabla 33. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-107.....	70
Tabla 34. Calculo de explosión para PRO-2-107, periodo 1 a 8.....	70
Tabla 35. Tabla 34. Calculo de explosión para PRO-2-107, periodo 9 a 21.....	71
Tabla 36. Tabla 34. Calculo de explosión para PRO-2-107, periodo 22 a 35.....	71
Tabla 37. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-108.....	71
Tabla 38. Tabla 34. Calculo de explosión para PRO-2-108, periodo 1 a 11.....	72
Tabla 39. Calculo de explosión para PRO-2-108, periodo 12 a 24.....	72
Tabla 40. Calculo de explosión para PRO-2-108, periodo 25 a 35.....	72
Tabla 41. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-109.....	72
Tabla 42. Calculo de explosión para PRO-2-109, periodo 1 a 11.....	73
Tabla 43. Calculo de explosión para PRO-2-109, periodo 12 a 24.....	73

Tabla 44. Calculo de explosión para PRO-2-109, periodo 25 a 35.....	73
Tabla 45. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-110.	74
Tabla 46. Calculo de explosión para PRO-2-110, periodo 1 a 10.....	74
Tabla 47. Calculo de explosión para PRO-2-110, periodo 11 a 23.....	74
Tabla 48. Calculo de explosión para PRO-2-110, periodo 24 a 35.....	74
Tabla 49. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-111.	75
Tabla 50. Calculo de explosión para PRO-2-111, periodo 1 a 11.....	75
Tabla 51. Calculo de explosión para PRO-2-111, periodo 12 a 24.....	75
Tabla 52. Calculo de explosión para PRO-2-111, periodo 25 a 35.....	76
Tabla 53. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-112.	76
Tabla 54. Calculo de explosión para PRO-2-112, periodo 1 a 11.....	76
Tabla 55. Calculo de explosión para PRO-2-112, periodo 12 a 24.....	77
Tabla 56. Calculo de explosión para PRO-2-112, periodo 25 a 35.....	77
Tabla 57. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-113.	77
Tabla 58. Calculo de explosión para PRO-2-113, periodo 1 a 11.....	78
Tabla 59. Calculo de explosión para PRO-2-113, periodo 12 a 14.....	78
Tabla 60. Calculo de explosión para PRO-2-113, periodo 25 a 35.....	78
Tabla 61. Datos para cálculo de la explosión de PRO-3-114.	78
Tabla 62. Calculo de explosión para PRO-3-114, periodo 1 a 11.....	79
Tabla 63. Calculo de explosión para PRO-3-114, periodo 12 a 24.....	79
Tabla 64. Calculo de explosión para PRO-3-114, periodo 24 a 35.....	79
Tabla 65. Datos para cálculo de la explosión de PRO-3-115.	80
Tabla 66. Calculo de explosión para PRO-3-115, periodo 1 a 11.....	80
Tabla 67. Calculo de explosión para PRO-3-115, periodo 12 a 24.....	80
Tabla 68. Calculo de explosión para PRO-3-115, periodo 25 a 35.....	80
Tabla 69. Plan de emisión de compras, periodo -1 a 11.	81
Tabla 70. Plan de emisión de compras, periodo 12 a 24.....	81
Tabla 71. Tabla 70. Plan de emisión de compras, periodo 25 a 35.....	82
Tabla 72. Costos del MRP, periodo -1 a 5.	83
Tabla 73. Costos del MRP, periodo 6 a 12.	84
Tabla 74. Costos del MRP, periodo 13 a 19.	84
Tabla 75. Costos del MRP, periodo 20 a 26.	84
Tabla 76. Costos del MRP, periodo 27 a 35.	85

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Entradas y salidas del MRP.....	12
Figura 2. Proceso de obtención de etanol anhidro.	17
Figura 3. Sonda de muestreo.....	18
Figura 4. Preparación de la caña.....	19
Figura 5. Extracción de jugo.....	20
Figura 6. Tratamiento de jugos.....	21
Figura 7. Formula estequiométrica de la fermentación alcohólica.	23
Figura 8. Fermentación.....	28
Figura 9. Destilación y deshidratación.....	30
Figura 10. Tiempos de inoculación de levadura zafra 2017 – 2018.	38
Figura 11. Estructura para codificación de materiales.....	57
Figura 12. BOM.....	59
Figura 13. Costos del MRP por periodo.....	90
Figura 14. Costos del MRP por material.....	91

INTRODUCCIÓN

La alta oferta y diversidad de productos en el mercado ha obligado a las empresas a buscar la forma de incrementar su competitividad, con el fin de destacar y establecer una unidad de negocio rentable. Una de las alternativas más recurrentes y eficaces por la que suelen optar las empresas para ser competentes, es la implementación de diversas metodologías que garanticen una producción a bajo costo. La optimización de todos los procesos internos de una empresa tanto administrativos, contables, financieros así como las actividades de producción contribuyen a la mitigación y/o eliminación de falencias, puntos débiles y cuellos de botella de los sistemas, favoreciendo el mejoramiento continuo de la organización, que en su mayoría generan cambios representativos en su estructura de costos. La automatización de los procesos productivos, por ejemplo, supone una inversión inicial alta de capital, pero se verá compensada con el pasar del tiempo gracias a la reducción de costos por mano de obra. La optimización de los procesos estimulan el uso eficiente de los recursos estableciendo el principio de “producir más con menos” manteniendo los más altos estándares de calidad derivados de la procedimentación de las actividades productivas de la empresa, mediante la acción de los sistemas de gestión integral.

Otra forma de estimular una producción a bajo costo, es mediante la gestión eficiente de los inventarios de la empresa. “El control y la administración de inventarios es uno de los proceso más importantes en todo el ambiente organizacional que compete cualquier cadena de suministros” (Liévano y Villada, 2013, p.123). Los inventarios constituyen gran parte del capital de una organización. Una mala gestión de inventarios traduce un incremento en costos para la empresa, pues de acuerdo a Sánchez et. al, (2013) “el tenerlos en demasía representa incrementar los costos de almacenaje, y el no tenerlos, incrementar los costos de penalización” (p.37). De aquí radica la importancia de mantener los niveles óptimos de inventarios para el normal desarrollo de los procesos productivos de la empresa. Existen muchos modelos para la gestión de inventarios que deberá seleccionarse de acuerdo a las características que presente la demanda del producto objetivo.

En el presente trabajo se presenta el caso de la empresa Bioenergy Zona Franca SAS dedicada a la producción de etanol anhidro. El trabajo centra en el departamento de procesos, quien abarca el mayor porcentaje de operación para la obtención del etanol. Este comprende el ajuste de las tasas de consumo de los insumos empleados en la producción del biocombustible, pues por ser una empresa con una reciente puesta en marcha, las cantidades de insumos requeridas han variado con respecto a las consideradas inicialmente, ya que se han ejecutado una serie de cambios con el fin de estabilizar la producción de la planta. Garantizar una buena gestión de inventarios asegura que la empresa cuente con los recursos necesarios para su debida operación y cumplimiento de las metas de producción.

Consecuentemente, se realiza una propuesta de mejoramiento al sistema de gestión de stocks de insumos para el departamento de procesos, cuyo objetivo es proporcionar los niveles óptimos de inventarios en el lugar y tiempo requerido, basado en metodologías de planeación y control de la producción.

Dicha propuesta es desarrollada gracias a la implementación de un sistema de planeación de requerimientos materiales (MRP), ya que se ajusta perfectamente a las características de la demanda de los insumos. El MRP es una de las estrategias más empleadas en la actualidad por las empresas manufactureras, pues permite una planeación de necesidades muy acertada de los materiales si se conoce con certeza la demanda de estos. El MRP permite generar un plan de órdenes de producción y/o aprovisionamiento con el que se espera poder brindar un sistema de gestión de inventarios que cubra satisfactoriamente las necesidades reales del proceso, sin incurrir en el exceso o el déficit.

De igual forma, se presentan los costos que debe acarrear la empresa por las cantidades de insumos calculadas para cubrir las necesidades de la producción en el horizonte de planeación y se realizan recomendaciones para la minimización de los mismos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Generar una propuesta de mejoramiento al sistema de gestión de stocks de insumos para el departamento de procesos de la empresa Bioenergy Zona Franca SAS, que satisfaga las necesidades reales del proceso de acuerdo a los ajustes realizados en la fase de estabilización de la producción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir el proceso de obtención de etanol anhidro a partir de caña de azúcar, los momentos puntuales de adición de insumos y utilidad de los mismos dentro del proceso.

Determinar las cantidades de insumos (tasas de consumo) reales aplicadas al proceso teniendo en cuenta los ajustes realizados durante la fase de estabilización de producción.

Identificar las características de la demanda de los insumos y proponer el modelo de control de inventarios más conveniente.

Aplicar el modelo elegido para la generación de un nuevo sistema de gestión de stocks de insumos, que satisfaga las necesidades reales del proceso.

Determinar los costos generados por el nuevo sistema de gestión de stocks.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Bioenergy es una empresa dedicada a la producción de etanol anhidro a partir de caña de azúcar cuya planta puso en marcha su actividad productiva a finales del segundo trimestre del año 2017. La planta alcoholera se encuentra aún en fase de estabilización en la cual se están realizando los ajustes necesarios a la producción para mantener los parámetros de operación dentro de los límites permisibles del proceso. En determinados puntos del proceso es necesario la adición de insumos para asegurar dichos parámetros. Sin embargo a lo largo del periodo de estabilización de producción de la planta, se ha evidenciado que las cantidades reales de insumos consumidos difieren de las cantidades pronosticadas en la fase de proyecto. A continuación se mencionan algunas de las causas que han generado estas variaciones:

- i. Se han realizado ajustes en la dosificación dada por los proveedores de acuerdo al comportamiento y variaciones de los parámetros de operación en el proceso.
- ii. Inefectividad de los insumos que obligan al cambio, es decir, a buscar otras alternativas como nuevos productos y/o proveedores.
- iii. Se han incluido nuevos insumos para adicionar al proceso de acuerdo a las diversas situaciones y necesidades surgidas a lo largo de la fase de estabilización de la producción.
- iv. Se han eliminado insumos que no generaban un aporte significativo al proceso.

A continuación se mencionan algunos ejemplos de insumos y el porqué de las variaciones en su aplicación al proceso:

- ✓ *Soda caustica concentrada*: Utilizada en el proceso para limpieza CIP (Clean in place) que tiene como finalidad remover incrustación de equipos (especialmente intercambiadores de calor) y contaminación microbiana que afecta especialmente la parte de fermentación. Los consumos se han incrementado debido a que ha tenido que aumentarse la frecuencia con que se hace CIP a equipos y reactores puesto que se estaban presentando casos de contaminación microbiana que disparan los niveles permisibles de acidez volátil, así como incrustación en intercambiadores de calor que dificultan la transferencia de calor entre los fluidos. Además, se aumentó la dosificación de soda en destilación para el control de pH y

así cumplir con la normatividad colombiana para la comercialización de etanol. En algunas ocasiones ha llegado el stock a cero.

- ✓ *Levadura*: Se tenían previstos 2 variedades de levadura para la fermentación del jugo dadas por proveedor de construcción de la destilería (Praj), variedad xp (cepa de laboratorio) y etanol red (levadura seca) como contingencia; sin embargo estas levaduras no se adaptaron bien a las condiciones del proceso y tuvieron que ser eliminadas debido a que no se estaba alcanzando el grado alcohólico esperado y los tiempos para esto eran muy superiores a los previstos. A cambio de estas se adquirió 3 variedades, CAT-1, FT-858, PE-2, dadas por el proveedor brasilero LNF, que han resultado muy exitosas. (OH esperado: 10,1%v/v, OH con variedad xp: 8 – 9%v/v, OH con mix brasilero: hasta 11,57%v/v); (Tiempo previstos: 12-16 horas, Tiempos con variedad xp: >24 horas, tiempos con mix brasilero: 10-12 horas).
- ✓ *Urea (aporte de nitrógeno para la levadura)*: se tenía estipulada una aplicación de 250ppm por cada reactor para la variedad xp; Debido al cambio de variedad, se está aplicando en algunos reactores hasta 400ppm para asegurar el desempeño de la variedad brasilera.
- ✓ *DAP (Aporte de fosforo y nitrógeno en menor proporción)*: Se había previsto la aplicación de 200ppm en el área de fermentación para aumentar los fosfatos; Sin embargo, en el área de purificación de jugos es aplicado ácido fosfórico para elevar los fosfatos necesarios para la clarificación del jugo, lo que hace que los fosfatos lleguen en los niveles óptimos al área de fermentación, por tanto se ha eliminado la aplicación de DAP casi por completo, aun se aplica una pequeña cantidad en la fase de propagación de levadura.
- ✓ *Effycane*: Aditivo para la levadura, previsto para la variedad xp, se bajó dosificación de 20ppm a 5ppm por cambio a variedad brasilera.
- ✓ *Antiespumante*: Disminuye el consumo por cambio de proveedor y método de aplicación a los reactores.
- ✓ Entre otros.

Todas estas fluctuaciones en el proceso, han dejado obsoleto el sistema de gestión de inventarios que se había generado con anterioridad para el departamento de procesos de la empresa Bioenergy; Adicional a eso, el área de almacén y compras cuentan con poco personal y estos se concentran especialmente en la gestión de materiales para el área de mantenimiento, dando como resultado desorden en la forma en que se abastecen los insumos para procesos, ya que ha habido incluso algunas ocasiones en el que el stock para algunos insumos ha llegado a cero. Este último es una

situación muy importante, preocupante e inaceptable, ya que Bioenergy es una planta de producción continua y llegar a un stock cero de un insumo de gran relevancia para el proceso, como la cal, el floculante o la levadura por ejemplo, significa una parada inminente de actividades de producción de la planta que lleva a la empresa a pérdidas de ganancias brutas por valor de \$44.048.600/hora solo por producción de alcohol, sin tener en cuenta otras fuentes que generan ingresos adicionales como la energía eléctrica vendida a la red nacional resultante del proceso de cogeneración.



2. MARCO TEÓRICO

2.1. ETANOL: PRODUCCIÓN E IMPORTANCIA EN EL SECTOR ENERGÉTICO.

El etanol es obtenido mediante la utilización de un agente microbiológico (generalmente levadura) para la fermentación de azúcares; El aporte de azúcares se toma de materias primas tales como caña de azúcar, remolacha, mieles/melazas y almidones como el maíz y la yuca. Una vez fermentado el mosto, se realiza la separación de la levadura y se obtiene el denominado vino (ya con cierto grado alcohólico), que sirve como alimento para las columnas de destilación, donde se separa el etanol de otros componentes como vinaza, flemaza, aceite fusel y aldehídos; Finalmente el alcohol concentrado se deshidrata (por tamizado molecular, por ejemplo) para obtener etanol puro con concentraciones mayores a 99,6% v/v.

El denominado bioetanol ha tomado gran importancia en el sector energético ya que genera beneficios económicos y ambientales al utilizarse como fuente de energía renovable, puesto que siendo empleado como combustible para automotores se disminuye la emisión de gases de invernadero. Por otro lado, las destilerías productoras de etanol son compatibles con otras industrias alimenticias, por ejemplo los ingenios azucareros. De acuerdo a Aguilar (2007), “La flexibilidad de la producción combinada, de azúcar y etanol en los ingenios, permitirá alcanzar esquemas y objetivos ambientales como nación” (p.25), pues aparte de la contribución al medio ambiente funciona como generador de ingresos adicionales para los ingenios y como alternativa para el crecimiento económico del país. En Colombia se reglamentó la mezcla gasolina - etanol producido a partir de caña de azúcar en proporciones de 92% y 8% respectivamente gracias a la Ley 693 de 2001 (Mantilla, Galeano y Muñoz, 2016). Esto motivo a los ingenios azucareros a introducir tecnologías para la instalación de destilerías aledañas a sus fábricas de azúcar, dando como resultado la obtención de etanol mediante el aprovechamiento de subproductos del proceso de producción de azúcar, tomando mieles, melazas y meladuras como materia prima para la fermentación.

2.2. GESTIÓN DE INVENTARIOS

El término inventario se refiere a una lista ordenada de todo aquello que posee una persona u organización. Para una empresa, el inventario constituye gran parte del activo circulante, por lo que el control de este debe ser muy preciso, ya que bajos o muy altos niveles de inventario pueden ocasionar sobrecostos y/o pérdidas por paradas de producción o por mantenimiento del mismo.

Para asegurar la funcionalidad del inventario se establece una política de inventario que “consiste en los lineamientos acerca de que adquirir o fabricar, cuando efectuar acciones y en qué cantidad” (Bowersox, Closs y Cooper, 2007, p.133), los cuales son determinantes para la administración de este. Para medir el desempeño del inventario se acude a dos indicadores: El nivel de servicio que “se mide en términos de un tiempo de ciclo de pedido, de las tasas de abastecimiento de contenidos, de la línea y de pedidos o cualquier combinación de ellos” (Bowersox, Closs y Cooper, 2007, p.133), y el inventario promedio que suele referirse a “los materiales, los componentes, el trabajo en proceso y el producto terminado” (Bowersox, Closs y Cooper, 2007, p.133) que son almacenados en el sistema logístico.

Son varios los aspectos que influyen en la decisión de adoptar uno u otro modelo para el control de los inventarios y determinan la complejidad del mismo. El comportamiento de la demanda es una de las características más importantes a tener en cuenta para la selección de un modelo de inventarios; Para la demanda determinística se aplican modelos simples debido a que esta es constante, mientras que para la demanda incierta, deben aplicarse modelos estocásticos más complejos fundamentados en probabilidad, los cuales suponen una tasa promedio de demanda constante y son aplicados a horizontes de planeación originados a partir de datos históricos. De igual forma, los tiempos son importantes para consolidar una política de inventarios sólida y funcional; Los tiempos de entrega definen el tiempo que se demora en llegar un artículo desde que se emite un pedido o en el que se produce, si se hace a nivel interno. Por otro lado, están los tiempos de revisión, los cuales son establecidos para conocer el nivel de stocks que se tienen en el momento. Algunos artículos son susceptibles al cambio conforme pasa el tiempo durante el cual pierden utilidad, como los alimentos, por ejemplo, que poseen fecha de caducidad; Este último es definido como inventario cambiante y suele referirse a aquellos artículos con una vida útil determinada, por lo cual deben efectuarse modelos mucho más complejos para asegurar la adecuada administración de este tipo de inventarios y evitar pérdidas por caducidad de los mismos (Nahmias, 2014).

Además de asegurar los niveles óptimos de stock, uno de los objetivos principales del control de inventarios es minimizar los costos asociados a estos. De acuerdo a García (2014), para los modelos de inventario debe existir un equilibrio entre los costos mencionados a continuación:

- i. Costos de mantener: Son los referentes al manejo de los inventarios los cuales comprenden costos de capital invertido, costo de obsolescencia, impuestos, seguros y almacenaje.
- ii. Costos de ordenar: Comprende los gastos que debe asumir una empresa para colocar un pedido u orden de producción.
- iii. Costos de carecer: Se refiere a la situación en que la empresa se queda sin existencia de inventario los cuales pueden generar paradas de producción, tiempos ociosos, pérdida de ventas, entre otros. (p.275-276)

De todos los modelos de inventarios, el modelo EOQ (cantidad económica de pedido) es el modelo básico. El modelo EOQ cumple con los supuestos de que la demanda es constante y es conocida, no se permiten faltantes, no hay tiempo de entrega de pedido y deben considerarse costos de preparación por pedido colocado, costo proporcional de pedido por unidad y costo de mantenimiento de inventario/unidad/unidad de tiempo. Sin embargo, partiendo de este modelo, se pueden ir generando modelos un poco más complejos que consideren por ejemplo el tiempo de pedido, para el cual se calcula un punto de reorden que asegure el nivel del inventario óptimo en el momento justo en que este llegue a cero. Otra aplicación del modelo EOQ, es cuando el proveedor ofrece descuento por cantidades en el cual se inicia con el cálculo de la cantidad óptima para cada costo/unidad ofrecida por el proveedor y se elige aquel resultado cuya cantidad óptima se encuentre entre el rango de cantidad asociado a su respectivo costo/unidad. Al EOQ, pueden adherirse otras extensiones como adaptarse a modelos de producción como el JIT, su aplicación a varios artículos con restricciones de espacio o a modelos para planeación de producción (Nahmias, 2014).

Los modelos anteriormente expuestos, aplican principalmente a aquellos productos cuya demanda posee la característica de ser independiente. La gestión y control de inventarios para componentes e insumos que constituyen un producto de jerarquía superior y que sus necesidades dependen estrictamente de la demanda de este, suele realizarse mediante la implementación de metodologías de planeación y control de la producción cuyo principio de aplicación es proporcionar las

cantidades necesarios en los sitios y tiempos requeridos, con el fin de minimizar los niveles de inventarios.

2.3. PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS MATERIALES (MRP).

El MRP (Materials Requirements Planning) es el sistema de “planificación de la producción y de gestión de stock más utilizada en la actualidad; se fundamenta en un soporte matemático y se utiliza cuando el método de gestión del flujo material es programado y se parte de una demanda conocida”. (Miño et al., 2014, p.251).

Para el desarrollo del MRP, es necesario conocer con certeza los tiempos de entrega de proveedores y a clientes, y las cantidades requeridas; Esto hace que sea especialmente utilizado para componentes e insumos con demandas dependientes. De acuerdo a Nahmias (2014), este sistema es basado en el “cálculo de explosión” denominándolo como “un conjunto de reglas para convertir un plan maestro de producción (MPS) en uno diseñado para todos los componentes, incluido el producto final”. (p.303)

De acuerdo a lo anterior, el MRP se ejecuta mediante una secuencia lógicamente ordenada que hace necesario tener a mano toda la información requerida para la aplicación de la técnica de planeación de producción.

Inicialmente, es necesario determinar la demanda que debe satisfacer la organización. Para esto existen diversas técnicas que, mediante la aplicación de modelos matemáticos, permiten realizar pronósticos de la demanda para un horizonte de planeación determinado, partiendo de los datos históricos de la compañía. Los valores obtenidos como pronósticos de la demanda, son el insumo para consolidar el programa maestro de producción (MPS), el cual “especifica las cantidades exactas y los tiempos de producción de cada artículo terminado en un sistema productivo” (Nahmias, 2014, p.306). Luego, el MPS es necesario fragmentarlo para la generación del MRP.

El siguiente paso es realizar el listado de materiales representado generalmente mediante un diagrama de árbol, en el cual se especifica las cantidades requeridas de cada componente o insumo para producir un componente de jerarquía mayor y así sucesivamente, se continúa de manera ascendente hasta el producto final. Es necesario tener también una ficha donde se identifique todos los componentes/insumos y se registre datos como el lead time (externo para proveedores o interno

si se produce al interior de la planta), el método de determinación de tamaño de lote, el stock de seguridad y la jerarquía de acuerdo al diagrama de árbol.

Para determinar la cantidad de pedido normalmente se utiliza el método lote por lote que, de acuerdo a Nahmias (2014), “el número de unidades programadas para la producción cada periodo era el mismo que los requerimientos netos para dicho periodo” (p.312). Sin embargo, pueden ejecutarse métodos que optimizan estos resultados, pero que solo pueden ser aplicados si se cuenta con información acerca de los costos de almacenamiento y de preparación de pedidos. El EOQ por ejemplo, es un método que permite integrarse a la planeación de la producción para el cálculo de tamaño de lote, siempre y cuando se cuenten con los datos anteriormente descritos. El modelo matemático para la determinación de la cantidad económica de pedido es la siguiente:

$$Q = \sqrt{\frac{2K\lambda}{h}}$$

Donde λ es la tasa de demanda promedio, K el costo de preparación y h el costo de almacenamiento.

De igual forma pueden aplicarse otros métodos como el heurístico de Silver-Meal, el costo mínimo unitario o el balanceo por periodos parciales, que priorizan la minimización de los costos para determinar la cantidad óptima de pedido.

2.3.1. Cálculo de la explosión. Para el cálculo de la explosión deberá conocerse la siguiente información de cada parte, componente o insumo:

- i. *Lead time*: Tiempo desde que se coloca una orden de compra (externo) o de producción (interno) hasta que se recibe el pedido o se completa la producción, respectivamente.
- ii. *Stock de seguridad*: Cantidad de unidades disponibles para cubrir la demanda en caso de cualquier eventualidad de retraso.
- iii. *Recepciones programadas*: Órdenes de compra colocadas en periodos anteriores para el actual horizonte de planeación.
- iv. *Disponibilidad en almacén*: Stock de partes, componentes, insumos o productos disponibles en almacén.

Una vez se posea la información necesaria, deberá seguirse la siguiente secuencia:

- i. *Necesidades brutas*: Corresponde a la multiplicación de la cantidad del producto de nivel 0 registrado en el MPS por la cantidad requerida de la parte, componente o insumo para la fabricación de 1 producto de nivel 0.
- ii. *Recepciones programadas*: Órdenes de compra colocadas en periodos anteriores para el actual horizonte de planeación.
- iii. *Stock de seguridad*: Se debe contar previamente con este valor para cada artículo, componente, parte o insumo.
- iv. *Inventario disponible*: Cantidad disponible de periodos anteriores para el periodo actual.
- v. *Necesidades netas*: Cantidad resultante de restar el inventario disponible y recepciones planeadas de las necesidades brutas. Representan las unidades que no alcanzan a cubrirse y que deberán ser cubiertas para satisfacer la demanda.
- vi. *Lanzamiento de pedido*: Órdenes de compra o producción que deben colocarse de acuerdo al lead time y las necesidades netas de un periodo específico.
- vii. *Recepciones previstas o de pedidos*: Las cantidades a recibir por pedidos lanzados en periodos anteriores (dentro del actual horizonte de planeación).

Una vez finalizado el MRP, se contará con la información necesaria para la construcción de un plan para la colocación y ejecución de órdenes de compra y/o producción requeridas para satisfacer las necesidades del proceso productivo y la demanda del mercado.

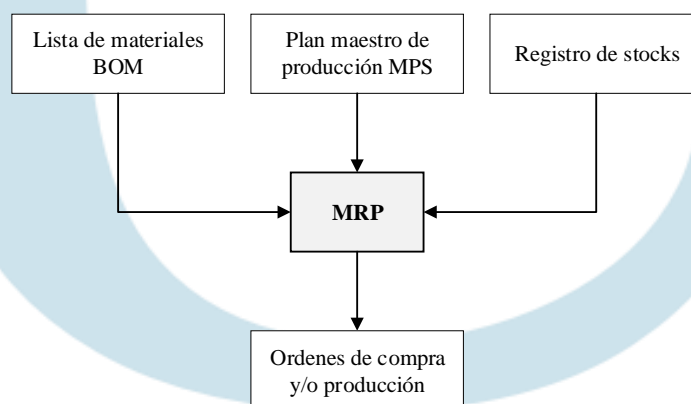


Figura 1. Entradas y salidas del MRP.

3. BIOENERGY: ACERCA DE LA EMPRESA

3.1. Quiénes somos.

Somos la primera empresa agroindustrial de la Orinoquía productora de Etanol. Nuestro propósito es posicionarnos como el mayor productor del sector en el país, usando como materia prima la caña de azúcar que es sembrada en la altillanura colombiana y a través de la utilización de equipos especializados de última tecnología que permite hacer un mejor uso del agua y del suelo; actualmente contamos con operaciones en el departamento del Meta, lugar en donde tenemos ubicada nuestra planta de producción “El Alcaraván”, kilómetro 43 de la vía que conduce de Puerto López a Puerto Gaitán.

3.2. Misión.

Somos una empresa que busca ser líder en la producción y comercialización de energías renovables con énfasis en etanol en Colombia, con el firme propósito de generar valor a la sociedad, a los inversionistas, colaboradores y en general, a todos los grupos de interés.

3.3. Visión.

Bioenergy será líder del sector de los Biocombustibles y un actor relevante en energía renovable en Colombia, aportando a la conservación del medio ambiente, a la economía de la región y al desarrollo del entorno, bajo la premisa de la seguridad de sus colaboradores.

3.4. Valores corporativos.

- i. *Vida:* Trabajamos pensando en nuestro autocuidado y el de los que nos rodean.
- ii. *Tenacidad:* Nosotros no desistimos frente a retos; no aceptamos un no fácilmente.
- iii. *Creatividad:* Hacemos más con menos, y usamos los recursos que están a nuestro alcance.
- iv. *Sencillez:* Somos una organización plana donde solamente hacemos lo que genera valor.

- v. *Sentido de urgencia:* Respondemos con prontitud y sin necesidad de que otros nos digan que hacer. En el momento que reconocemos una necesidad, damos soluciones efectivas y a tiempo para el negocio.

3.5. Perfil corporativo.

Bioenergy es la primera empresa agroindustrial de la Orinoquía productora de etanol, lo que le ha significado el gran reto de ampliar las fronteras agrícolas en Colombia.

A través de la adecuación y preparación del terreno, Bioenergy siembra la caña por medio de equipos especializados de última tecnología y bajo un diseño innovador de curvas a nivel, que permite hacer un mejor uso del agua y del suelo.

El control de plagas que afectan los cultivos de caña se realiza a través de la liberación en campo de un tipo de avispas desarrolladas en la Fábrica de Control Biológico de la compañía.

Una vez la caña está lista, es recogida y transportada con equipos mecanizados hasta la planta industrial, en donde luego de varios procesos se logra la obtención de etanol, el cual es despachado a las plantas de abastecimiento. Bioenergy es amigable con el medio ambiente porque aprovecha sus residuos y reutiliza el agua.

3.6. Unidad de negocio.

3.6.1. Caña de azúcar: La materia prima para la producción de etanol es la caña de azúcar. Bioenergy cuenta con 20.082 hectáreas de caña sembradas de diferentes variedades, las cuales han sido importadas desde Brasil y se han adaptado perfectamente al clima y a la región de los llanos orientales. El modelo de siembra implementado se ha llevado a cabo bajo un diseño de curvas a nivel con sistemas de terrazas, lo que permite que el suelo retenga mayor humedad, evite la erosión por escorrentía y no se requiera de fuentes hídricas naturales para el riego de los cultivos, protegiendo el medio ambiente. Para conservar la sanidad de los cultivos respecto a la plaga conocida como Diatrea o Barrenador de la caña, Bioenergy libera en campo dos avispas (*Cotesia Flavipes* y *Trichogramma*), producidas en el laboratorio de Control Biológico de la compañía.

3.6.2. Etanol: Bioenergy produce aproximadamente 504.000 litros diarios de etanol, lo que incrementará la mezcla de este producto con la gasolina en el centro del país. La compañía aporta hasta el 20% del etanol que se produce en Colombia, lo que tiene un impacto en la calidad del aire que se respira, al disminuir en un 74% las emisiones a la atmósfera de gases efecto invernadero. Para la producción del etanol, Bioenergy dispone de cultivos propios de caña de azúcar, la cual es procesada para extraer el producto por medio de procesos de evaporación, fermentación, destilación y deshidratación.

3.6.3. Energía: Bioenergy genera 35MV hora de energía, producto del bagazo de la caña de azúcar. 19MW hora son entregados a la red eléctrica nacional y el restante abastece la operación de la planta. La energía se obtiene mediante la utilización de biomasa (caña de azúcar, residuos de cosecha, residuos de maderas, cascarilla de arroz, entre otras), la cual es convertida en energía a través de una caldera con los más altos estándares de remoción de partículas en suspensión, minimizando la emisión de gases efecto invernadero y cumpliendo con la legislación ambiental colombiana.

3.7. Política RSE.

La Responsabilidad social es el marco dentro del cual se desarrollan los objetivos corporativos de Bioenergy, contribuyendo al crecimiento humano enfocado en los tres pilares de la sostenibilidad.

Como empresa socialmente responsable, Bioenergy reconoce los impactos que su desarrollo tiene sobre sus grupos de interés y trabaja articuladamente con ellos para generar valor social, económico y ambiental.

3.7.1. Política de salud en el trabajo y medio ambiente. Bioenergy establece los controles necesarios para proteger la seguridad y la salud de las personas, así como el cuidado del medio ambiente.

3.7.2. Política de derechos humanos. Esta política establece los lineamientos que regulan la gestión de Bioenergy en relación con el respeto a los Derechos Humanos, rechazando cualquier tipo de abuso o violación de los mismos.

3.8. Sostenibilidad.

3.8.1. Ambiental. Bioenergy impulsa el desarrollo de una industria amigable con el medio ambiente, bajo el marco de la responsabilidad social. En este sentido, sus acciones están enfocadas a la ecoeficiencia, una producción más limpia y el manejo adecuado de los recursos naturales, materias primas e insumos.

3.8.2. Social. Bioenergy en el transcurso de su operación ha generado más de 4.100 empleos, de los cuales un alto porcentaje de mano de obra pertenece a la zona de influencia. Alineada con las políticas gubernamentales, la compañía se unió al programa "40 Mil Primeros Empleos" del Ministerio de Trabajo, con el fin de brindar oportunidades de formación y empleo para los jóvenes de la región.

El laboratorio de control biológico es manejado por mujeres, en su mayoría madres cabeza de hogar del municipio de Puerto López. Sus labores como auxiliares de laboratorio no sólo constituyen un valor agregado para la compañía, sino que también representan el sustento económico para cada una de sus familias.

A través de convenios con entidades como el SENA, personas de la región actualmente están capacitadas en producción industrial, mecanización agrícola, producción agrícola y asuntos administrativos (asistentes de gerencia).

Adicionalmente, la compañía ha formado directamente al personal en la operación agrícola en labores requeridas para este exigente modelo de negocio alrededor de la operación mecanizada. La dotación de equipos médicos de laboratorio de última tecnología por parte de Bioenergy al Hospital de Puerto López, ha permitido que este centro médico mejore la prestación de sus servicios a 35 mil usuarios del municipio y zonas aledañas, incluyendo comunidades indígenas.

4. PRODUCCIÓN DE ETANOL AHNIDRO

En Colombia, el etanol se obtiene utilizando subproductos de las fábricas azucareras como materias primas: el jugo, las mieles y las meladuras, son los componentes utilizados para generar una mezcla rica en azúcares que posteriormente son degradados por agentes microbiológicos. Esto ha generado la tendencia de instalar destilerías aledañas a las fábricas de azúcar, donde, mediante el aprovechamiento de subproductos del proceso de obtención de azúcar, se crean nuevas líneas productivas que dan paso al establecimiento de plantas de producción integrada.

Bioenergy es la única empresa en Colombia cuya planta está dedicada únicamente a la producción de etanol. Al no existir fábrica de azúcar, no se utilizan mieles y meladuras y el jugo extraído de la caña de azúcar, es la única materia prima y se utiliza exclusivamente para producir etanol.

El jugo extraído es sometido a un tratamiento de purificación y concentración previo a la llegada al área de fermentación, luego se adicionara una corriente de levadura encargada de fermentar el jugo para la obtención del vino que se destilará y deshidratará hasta obtener etanol anhidro como producto final.

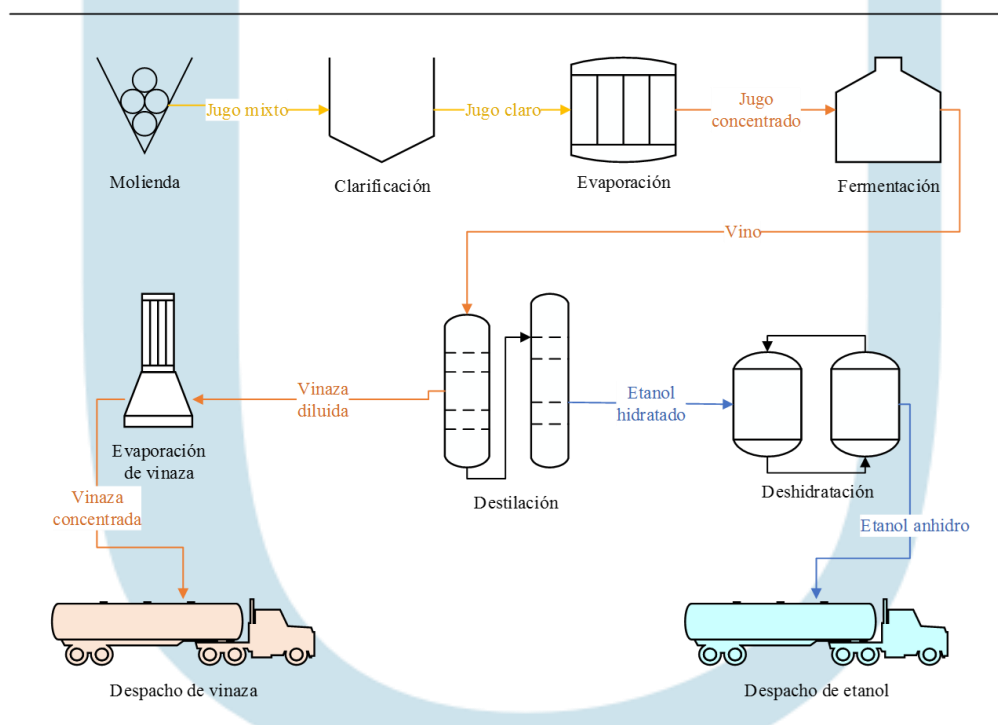


Figura 2. Proceso de obtención de etanol anhidro.

Bioenergy tiene un periodo de producción anual de 8 meses al cual se denomina zafra y un periodo de 4 meses denominado interzafra en la cual la planta para y se dedica al mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de todos los sistemas, equipos e instrumentos de la empresa.

4.1. RECEPCIÓN DE LA CAÑA.

El departamento agrícola por medio de su laboratorio de pre-cosecha, es el encargado de determinar cuándo un lote de caña se encuentra en las condiciones adecuadas para ser cortada y procesada. La caña se cosecha por métodos 100% mecanizados y es transportada hasta la planta por trenes cañeros compuestos por dos vagones. Una vez llegan los trenes a la planta, estos pasan a la báscula donde se realiza el pesaje de la caña; Cada tren transporta 60 Ton de caña aproximadamente (30 Ton caña/vagón).

Posteriormente, el tren se dirige al laboratorio de caña donde por medio de una sonda automática, se toma una muestra aleatoria de cada vagón a la cual se le realizan una serie de análisis para determinar los niveles de materia extraña contenida en el vagón y los niveles de azúcares contenidas en la caña. Una vez muestreada la caña, los trenes pueden ser dirigidos directamente al área de molienda para su inmediato procesamiento o a patio para almacenarse temporalmente.



Figura 3. Sonda de muestreo.

4.2. PREPARACIÓN Y EXTRACCIÓN.

Los trenes enfilados van pasando uno a uno a la grúa hilo encargada del levantamiento de los vagones y el vaciado de la caña sobre la mesa alimentadora o “mesa-caña”, donde se realiza el lavado de la materia prima y la distribuye uniformemente sobre una banda transportadora; Esta última conduce la caña a través de la picadora, desfibradora, electroimán y finalmente, a los molinos. La picadora compuesta por una gran cantidad de cuchillas rotativas, reduce el tamaño de la caña a pequeños trozos los cuales son conducidos a la desfibradora, una maquina con funcionamiento similar a la picadora que en lugar de cuchillas posee pesados martillos (alrededor de 23Kg/martillo) que al revolucionarse y entrar en contacto con el material, exponen las fibras de la caña formando una capa uniforme sobre la banda transportadora que alimenta el primer molino. El desfibrado es la operación más importante de la preparación de la caña, puesto que se ha evidenciado que al trabajar con la desfibradora fuera de línea, se acarrea con una serie de problemas en la molienda y la caldera que pueden generar paradas de producción por tacos en molinos, bandas transportadoras, “shutters” y atasco de bombas centrifugas, debido a la inadecuada consistencia (pequeños trozos y no fibras) de la caña con la que ingresa a la operación de extracción de jugo. La caña desfibrada pasa por debajo del electroimán encargado de separar materiales ferrosos y por un detector de materiales no ferrosos, con el fin de evitar posibles daños a las mazas de los molinos.

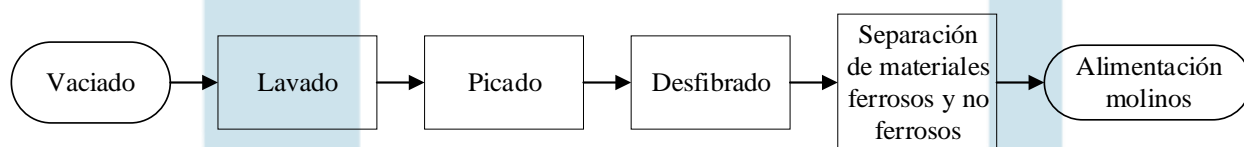


Figura 4. Preparación de la caña.

Una vez finalizada la preparación, la banda transportadora alimenta la caña desfibrada a 5 molinos en serie de tamaño decreciente: cada molino consta de 4 mazas rotatorias que giran a una velocidad de 6 rpm y son los encargados de extraer el jugo de la caña. El bagazo que sale del segundo, tercero y cuarto molino es humedecido con condensados vegetales con temperatura alrededor de los 68°C para facilitar la extracción de la sacarosa después del primer molino donde se extrae la mayor cantidad de jugo. De igual forma, estos condensados brindan la humedad adecuada al bagazo que será combustible para la caldera. El jugo extraído es recolectado en un canal y enviado hacia un filtro trommel que separa trazas de bagacillo contenidas en el jugo; El bagacillo es

conducido por un tornillo sinfín a la banda transportadora justo antes de la alimentación del primer molino para ser reprocesado, mientras el jugo va al tanque de jugo mixto, denominado así por los condensados utilizados para la imbibición del bagazo en la molienda.

El área de molienda cuenta con la capacidad de procesar 6.800 Ton/día de caña trabajando al 100%, lo que corresponde a 283 m³/h de jugo enviados al departamento de procesos para la producción de alcohol.

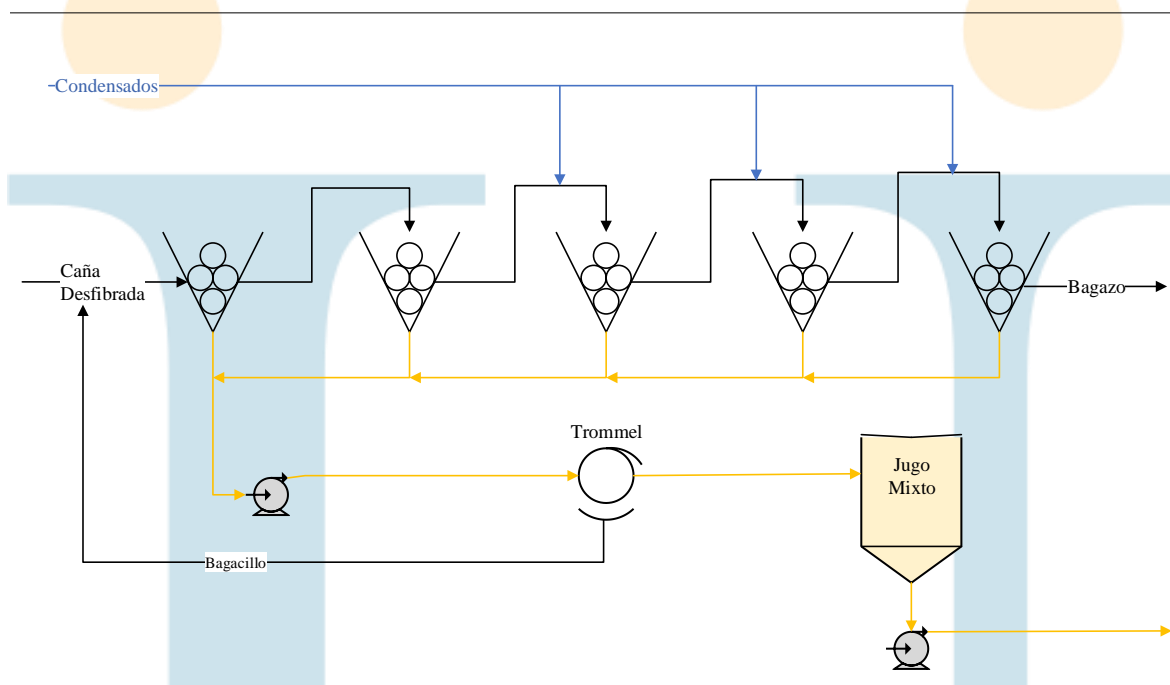


Figura 5. Extracción de jugo.

4.3. TRATAMIENTO DE JUGOS.

El jugo mixto filtrado, se envía al área de tratamiento de jugos con el objetivo de retirar lodos y suciedades presentes en el fluido. Los lodos son sometidos a un proceso de filtración para retirar humedad y poder hacer la disposición final de estos, mientras el jugo es sometido a un proceso evaporación para aumentar la concentración de sacarosa.

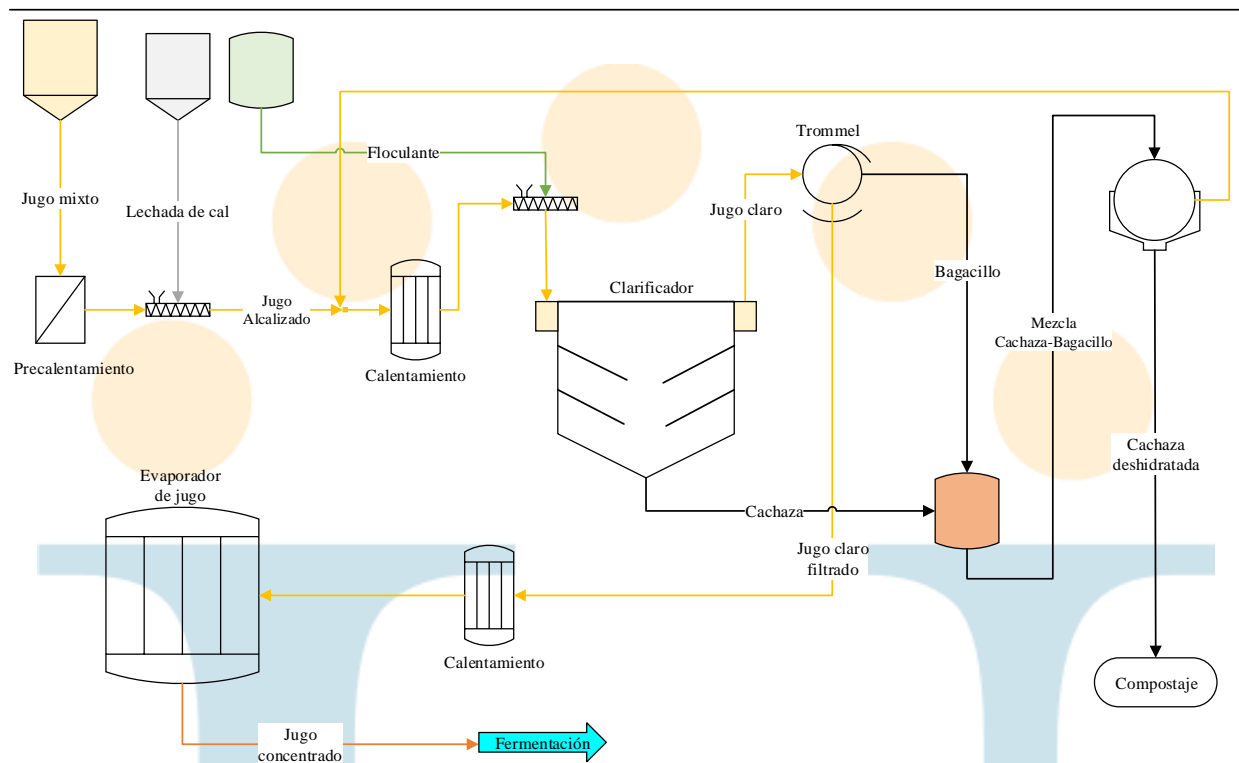


Figura 6. Tratamiento de jugos.

4.3.1. Clarificación de jugo. Para la clarificación del jugo hay 3 variables que deber ser estrictamente controladas: El pH, la temperatura y la dosificación de floculante. El pH debe oscilar entre 6,5 y 7,2 para la adecuada reacción del floculante y es controlado mediante la adición de lechada de cal previamente preparada a la cual se le debe asegurar un tiempo de maduración de 24 horas. Al igual que la cal, el floculante se le debe suministrar un tiempo de maduración, en este caso, de 4 horas, y se tienen 20 horas para consumirse; En caso de que en una parada de planta exista floculante ya preparado y este exceda las 20 horas desde su maduración, este debe descartarse puesto que la reacción no será eficaz.

El jugo mixto justo antes de clarificarse, se le hace una adición de ácido fosfórico (115 g/Ton de jugo) para asegurar de 250 a 300 ppm de fosfatos en el jugo.

El jugo mixto proveniente de molienda se precalienta mediante su paso por dos intercambiadores de placa en serie, incrementado su temperatura de 36 a 44°C y de 44 a 71°C, luego, mediante un mezclador estático se adiciona la lechada de cal de forma automática mediante un pH metro en línea que censa y ajusta la dosificación

de cal mediante una válvula FCV. El jugo alcalinizado es calentado nuevamente en dos intercambiadores de tubo y carcasa con vapor de baja hasta los 105°C para facilitar la homogenización de la cal con el jugo, después pasa por un tanque flash ubicado en la parte superior del clarificador, donde se libera energía y la temperatura decrece hasta los 96°C. Junto antes de la entrada del jugo alcalinizado al clarificador, se adiciona la corriente de floculante (5 g/m^3 de jugo) en un mezclador estático e inmediatamente ingresa a la caja repartidora de jugo encargada de alimentar las 5 bandejas del clarificador. La clarificación del jugo se da por floculación, lo que significa que los sólidos insolubles indeseables en el jugo se separan por decantación. Los lodos separados son denominados como cachaza y son conducidos hacia el fondo del clarificador por un barredor giratorio. El jugo claro por su parte, sale de las bandejas por rebose a un caja donde es bombeado a un filtro trommel que separa el bagacillo que no se decantó en el clarificador.

4.3.2. Filtración de cachaza. La cachaza que sale del fondo del clarificador llega a un tanque con agitación constante donde se mezcla con bagacillo para darle mayor consistencia. La mezcla es impulsada por bombas de desplazamiento positivo hasta los filtros de vacío, cuyo objetivo es recuperar las azúcares contenidas en la cachaza y reducir la humedad de la misma para su disposición final. El filtro de cachaza maneja varios niveles de presión de vacío y cada uno cumple una función específica: El bajo vacío se encarga de adherir la torta al filtro, el alto vacío succiona y recupera las azúcares y por último, una sección sin vacío cuya finalidad es facilitar que la torta de cachaza ya deshidratada se desprege del filtro. El jugo recuperado se conduce al tanque de jugo alcalinizado para ser reprocesado, mientras la cachaza deshidratada es conducida por bandas transportadoras hacia una tolva, donde se hace el cargue de volquetas que dispondrán de la cachaza en la sección de compostaje.

4.3.3. Evaporación de jugo. El objetivo de esta sección es aumentar la concentración de sacarosa mediante la evaporación de agua contenida en el jugo. El jugo claro es calentado por tres intercambiadores de tubo y carcasa en serie que pueden ser alimentados con vapor de baja proveniente de caldera o vapor vegetal proveniente de los evaporadores de jugo; la temperatura del jugo es elevada desde los 96°C hasta los 116°C. El jugo claro con una concentración de 12 – 12,5°Bx ingresa a los

evaporadores de jugo que son calentados con vapor de baja que viaja por el lado carcaza, mientras que el jugo inunda la calandria que consta de 8.600 tubos a una presión de 1,7 Bar(a) y una temperatura alrededor de los 118°C. El jugo es retenido dentro del evaporador hasta alcanzar la concentración deseada. El jugo concentrado a 19 – 20°Bx rebosa a un tubo central que conduce al fondo del evaporador, mientras que el vapor de agua retirado del jugo o vapor vegetal (115°C) sale por la parte superior del evaporador y es utilizado en los calentadores de jugo, la sección de deshidratación y evaporación de vinaza. El jugo concentrado realiza intercambio de energía con el jugo mixto en los precalentadores de jugo y es conducido a la sección de fermentación.

4.4. FERMENTACIÓN.

En la fermentación se agrega una nueva corriente al proceso: La levadura. La levadura es el agente microbiológico encargado de degradar las azúcares presentes en el jugo y convertirlas en alcohol. La levadura invierte la sacarosa obteniendo glucosa y fructosa. A continuación se presenta la fórmula estequiométrica del proceso de obtención de etanol:

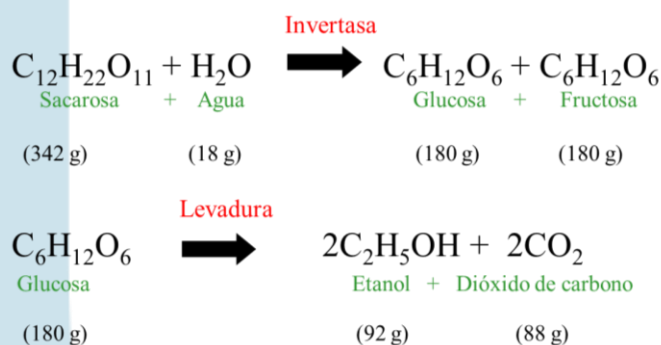


Figura 7. Fórmula estequiométrica de la fermentación alcohólica.

La levadura desempeña diferentes funciones dependiendo si está en presencia de aire o en ausencia de este. En fase aerobia la levadura se reproduce, mientras que en fase anaerobia la levadura lleva a cabo la fermentación de las azúcares.

El jugo concentrado proveniente del área de tratamiento de jugos llega al área de fermentación a unos 19 -20°Bx de concentración y a unos 70°C de temperatura. La temperatura óptima para la

levadura debe rondar entre los 30 – 32°C (temperaturas inferiores inhiben la levadura y superiores propician la aparición y proliferación de agentes patógenos contaminantes), por lo que el jugo concentrado es enfriado con agua proveniente de una torre de enfriamiento al pasarse por un intercambiador de placas. Adicional a eso, todos los recipientes en los que a la levadura debe suministrársele un tiempo de residencia, cuentan con un sistema de enfriamiento que regula la temperatura que tiende a incrementarse por la reacción dada al interior de los recipientes; Esta puede darse por chaqueta o por intercambiador de placas, dependiendo del volumen de los reactores. Una vez el jugo concentrado es enfriado, llega a un cabezal que reparte el fluido a cada una de las etapas de la levadura, según sea requerido. En dicho cabezal, se ingresa una corriente de antiespumante adicionado por una bomba de golpe dosificadora, con el fin de evitar desborde de espuma en los tanques por la reacción dada; Inicialmente, se adicionaba antiespumante a los recipientes cuando se activaba el sensor de alto nivel o cuando estos ya se desbordaban; consecuentemente, los consumos eran muy elevados y se decidió modificar el método de dosificación por la anteriormente mencionada.

La levadura suele tener las siguientes etapas:

- i. Propagación.
- ii. Activación.
- iii. Fermentación.
- iv. Recuperación.

En cada una de las etapas se hace un seguimiento a la levadura por medio de análisis microbiológico, entre los que se destacan población expresada en “millones de células/ml” y viabilidad expresando en porcentaje la porción de células vivas de dicha población.

4.4.1. Propagación de levadura. El objetivo de esta fase es la masificación de la levadura. Se cuentan con los recipientes de cultivo I y II de 6,5m³ y 45m³ respectivamente. Para la propagación es necesario preparar un medio de cultivo que proporcione las condiciones necesarias y óptimas para la levadura. Se debe garantizar la asepsia de los reactores, esto se hace mediante la esterilización con soda caustica diluida y/o someténdolo a alta temperatura mediante la adición de vapor. De igual forma, se debe asegurar el suministro de agua de enfriamiento a través de la chaqueta para regular la temperatura, y el flujo aire para asegurar la reproducción de la

levadura; El aire también ayuda a homogenizar el medio y evitar la decantación de la levadura. Se prepara una mezcla de jugo y agua hasta obtener una concentración de 12°Bx o una gravedad específica de 1.040 – 1.050. Se realiza la adición de nutrientes: 400ppm de urea como aporte de nitrógeno, 200 ppm de DAP como aporte de fosfatos y 5 ppm de Effycane, que es un aditivo potencializador dado por el proveedor de la destilería. Por último, se debe hacer el control de pH (si es necesario) entre 4,2 – 4,7 mediante la adición de ácido sulfúrico. Una vez finalizado el medio, se inoculan 70L de levadura de laboratorio de la variedad xp, se da una residencia de 18 – 20 horas aproximadamente, se prepara un medio en el recipiente de cultivo II con las mismas características y se transfiere el contenido del cultivo I a este. En el cultivo II se da un tiempo de residencia de 12 horas aproximadamente y se transfiere a los recipientes de activación de levadura o activadores.

Sin embargo, la variedad de levadura xp suministrada por PRAJ (proveedor que diseñó la destilería) no dio los resultados esperados, los grados alcohólicos eran menores y los tiempos de reacción superiores a los previstos. Por tal motivo, se decidió realizar el cambio de la variedad xp al mix brasilero que consiste en la mezcla de las variedades de levadura seca CAT-1, PE-2 y FT-858. De esta forma, la inoculación de la levadura se realiza directamente en los activadores y una pequeña porción en el cultivo II, mientras se alcanza la población de levadura óptima.

	Esperado	Variedad xp	Mix brasilero
Grado alcohólico.	10,1% v/v	8 – 9% v/v	Hasta 11,57% v/v
Tiempo.	12 – 16 horas	>24 horas	10 – 12 horas

Tabla 1. Grado alcohólico y tiempos de variedad xp vs mix brasilero.

De esta forma, cada que se cumplen las 12 horas, se hace corte al cultivo hacia el activador que menor población tenga y se deja un pie de cuba del 15 – 20% del volumen del reactor, se prepara medio de cultivo con las mismas características sobre este y se da nuevamente tiempo de residencia. Cuando la población de levadura en el sistema es la óptima, la fase de propagación se elimina del proceso hasta que sea necesaria su implementación nuevamente.

4.4.2. Activación de levadura. Al igual que en la propagación, el objetivo de la activación de levadura es continuar generando biomasa, solo que a una escala mucho mayor. Se cuentan con dos recipientes de activación de 330m³ cada uno; La activación se realiza por batch y no continua. En los recipientes de activación se recibe la levadura propagada del cultivo II y la levadura recuperada por las centrifugas. Para esta fase, se prepara un medio de cultivo con los mismos parámetros que en la propagación, pero a una concentración menor (10°Bx), se asegura la limpieza y flujo de aire, se alimenta la corriente de levadura, jugo y agua para bajar la concentración, se adicionan nutrientes, 150 ppm de urea y 5 ppm de Effycane, se controla pH en caso de ser necesario con H₂SO₄. Se da un tiempo de residencia de 8 horas. La levadura activada de un reactor debe ser suficiente para satisfacer la población requerida en un fermentador.

En un arranque de producción, la levadura seca se inocula, hidrata y masifica directamente en los activadores. Se adicionan 330Kg de levadura brasilera (110Kg de cada referencia) en agua o jugo con bajo brix (6 – 7) en un activador y se maneja la metodología de corte (pie de cuba del 10 – 15%) hasta que la población en el sistema sea satisfactoria; El segundo activador será el encargado de recibir la levadura recuperada. Los activadores cuentan un intercambiador de placas para control de temperatura y una bomba de recirculación para mantener la mezcla homogenizada. Una vez cumpla las 8 horas, la levadura activada se transfiere a los fermentadores. Una vez eliminada la fase de propagación, los dos recipientes de activación son utilizados para la recepción de la crema de levadura recuperada en la centrifugación del mosto fermentado.

4.4.3. Fermentación. En esta fase la levadura degrada las azúcares y se obtiene el etanol. Se cuenta con 4 fermentadores con capacidad de 1.100m³ cada uno y se trabaja por batch. Para la fermentación, se alimenta jugo concentrado sin diluir y una corriente de levadura activada, se adiciona 170 ppm de urea y 5 ppm de Effycane durante el llenado, que dura 4 horas aproximadamente. Una vez lleno el recipiente, este debe quedar con una población entre los 400 y 600 millones de cel/ml: Una población menor prolonga los tiempos previstos para alcanzar el grado alcohólico deseado y una población mayor, genera una reacción muy violenta que provoca derramamientos de

espuma, incrementando consumo de antiespumante y generando pérdidas de material. Cada fermentador cuenta con un intercambiador de placas para control de temperatura, una bomba de recirculación para la homogenización del medio y un scrubber que es básicamente una columna para realizar el lavado de gases: ubicado en la parte superior, mediante una cortina de agua recupera el alcohol arrastrado por el CO₂, las aguas alcohólicas son enviadas a los recipientes de activación mientras los gases son liberados a la atmosfera. La levadura tiene múltiples rutas metabólicas, por lo que en la fermentación, aparte de etanol, se pueden producir otros compuestos como aceite fusel y algunos aldehídos. Una vez lleno el recipiente, se estima un tiempo de 8 a 10 horas de reacción para alcanzar un grado alcohólico de 10,1% v/v.

4.4.4. Recuperación de levadura. Una vez alcanzado el grado alcohólico, el jugo fermentado es transferido hacia el beerwell, recipiente cuyo único objetivo es un almacenamiento temporal del fluido para la alimentación de las centrifugas. Se cuenta con 4 centrifugas (3 en funcionamiento y 1 en standby), alimentadas con jugo fermentado y a una velocidad de 4.800 rpm, separan el vino de la levadura, la fase liviana se descarga por la parte superior de máquina y es almacenado temporalmente en el tanque de vino o pulmón de la mostera, mientras la fase pesada, es liberada por unas boquillas y por gravedad es conducida al tanque de crema de levadura, donde se realiza la acidulación de la misma con H₂SO₄ hasta un pH de 2,7 a 2,9, con el objetivo de propiciar la recuperación de la pared celular de la levadura y la eliminación de agentes contaminantes. La levadura acidulada es retornada a los recipientes de activación mientras que el vino se alimenta al área de destilación.

El proceso de fermentación es susceptible a la contaminación microbiana cuando no se tiene la asepsia adecuada; Las más comunes es por bacterias y levaduras salvajes que producen ácido acético o acidez volátil y lactobacilos que producen ácido láctico. Con el fin de evitar posibles casos de contaminación, se recurre a la utilización de antibióticos para controlar y eliminar la población microbiana; Se realiza la aplicación de bioclean, normalmente 3 ppm en propagadores y activadores; Cuando la severidad de contaminación es demasiado alta, se procede a desechar el contenido contaminado para evitar que se siga proliferando en el sistema.

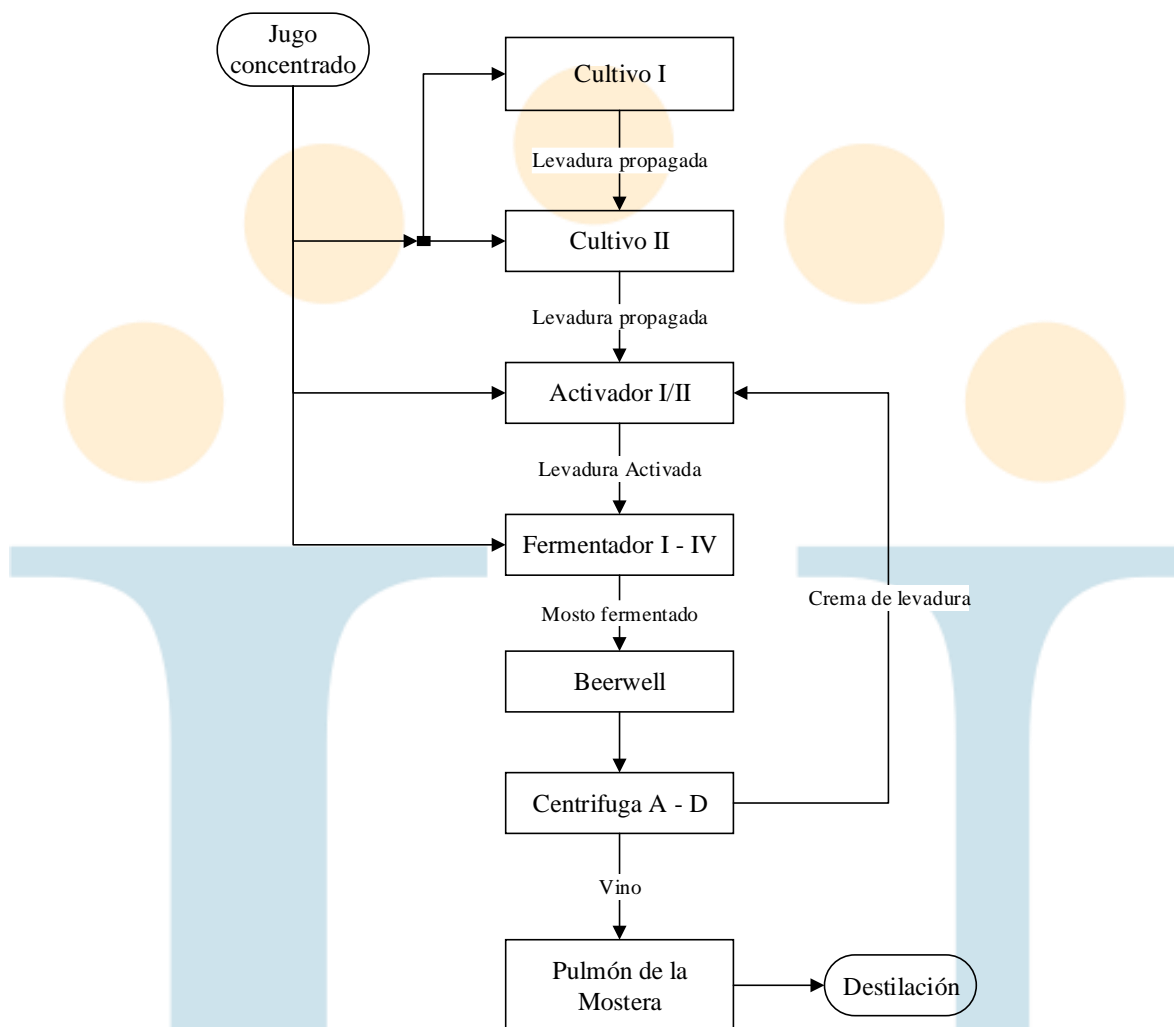


Figura 8. Fermentación.

Para el área de fermentación, también se tenía previsto la utilización de otros nutrientes como sulfatos de Mn, Mg y Zn, pero se tomó la decisión de eliminar su aplicación debido a que no aportaban valor significativo al proceso.

4.5. DESTILACIÓN Y DESHIDRATACIÓN.

En el área de destilación se separa el etanol de otros componentes, tomando como base sus respectivos puntos de ebullición. Toda el área de destilación es operada a presión de vacío con el fin evaporar los fluidos a temperaturas más bajas y así disminuir la cantidad energía requerida para el proceso.

La columna mostera consta de 21 platos y es calentada con vapor de vinaza proveniente del área de evaporación de vinazas. El vino procedente del área de fermentación es precalentado por un intercambiador de placas e ingresa a la mostera por la parte superior, en la cual se separa el etanol de la vinaza: por la parte superior salen vapores de alcohol al 45% v/v de concentración, mientras por el fondo de la columna se extrae la vinaza que es enviada al área de evaporación de vinazas. Los vapores de alcohol ingresan a la columna rectificadora y la calientan con ayuda de vapores provenientes de la agotadora, obteniendo por la parte superior vapores de alcohol hidratado al 95% v/v que pasan por dos condensadores e ingresa a un tanque que permite reflujar alcohol a la columna rectificadora o ingresarlo a la columna de aldehídos; Los vapores que no alcanzan a condensarse allí, pasan por un scrubber para recuperar el alcohol, que es enviado a la agotadora como aguas alcohólicas. La rectificadora consta de 44 platos: por los platos 4, 6 y 8 se separa el fusel pesado mientras que por los platos 10, 12 y 14 se extrae el fusel liviano. El fusel es enviado a un decantador para ser separado y enviado al área de almacenamiento. Por los platos 18 y 20, se realiza una dosificación constante de soda caustica (15% aprox.) para subir el pH. Los fondos de la rectificadora son enviados a la columna agotadora que consta de 14 platos y es calentada por vapor de vinaza, aquí se separa bajas concentraciones de alcohol, por la parte superior se obtiene vapores de alcohol que son dirigidos a la rectificadora y por la parte inferior se obtiene flemaza que debe tener 0% de concentración de alcohol y son enviados hacia evaporación de vinazas.

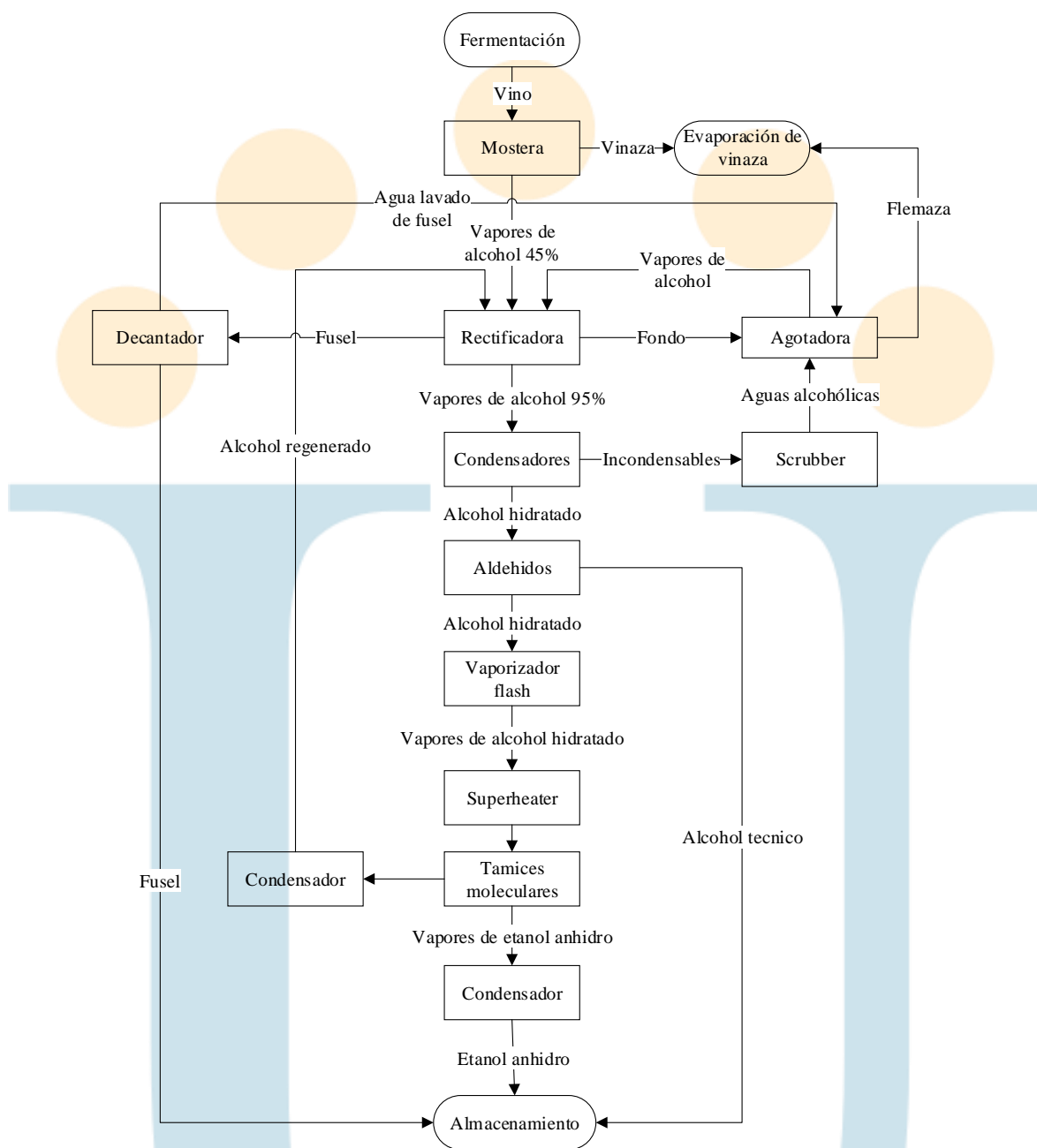


Figura 9. Destilación y deshidratación.

En la columna de aldehídos se separan algunas impurezas de bajo punto de ebullición. Esta consta de 50 platos y es calentada por vapores de anhidro provenientes de deshidratación. Se alimenta el alcohol hidratado a esta, por la parte inferior se obtiene alcohol hidratado libre de impurezas y es enviado al área de deshidratación, mientras que por la cima se extraen vapores de alcohol técnico que son condensados y posteriormente almacenados.

El objetivo del proceso de deshidratación es llevar el alcohol hidratado a concentraciones superiores a 99,5% v/v. El alcohol hidratado ingresa a un vaporizador flash calentado por vapor vegetal donde pasa a fase vapor. Los vapores de alcohol hidratado se llevan hasta los 123°C al pasarse por un supercalentador (alimentado con vapor de media) e ingresan a los tamices moleculares. Estos últimos, llenos de zeolita, aprovechan su capacidad desecante para capturar las moléculas de agua y dejar pasar las moléculas de alcohol, obteniendo de esta manera etanol anhidro con concentraciones superiores a 99,5% v/v; A este proceso se le llama adsorción y es operado a presión un poco mayor a la atmosférica. En total son dos tamices y estos trabajan por ciclos de 5 minutos, uno en adsorción como se mencionó anteriormente y el otro en regeneración: Cuando el tamiz que está en adsorción completa los 5 minutos pasa a regeneración y viceversa. La regeneración por su parte, es operada bajo presión de vacío generada por el efecto Venturi de un eyector, extrae el agua que fue retenida en la fase de adsorción y lo pasa a través de un condensador; Este se le llama alcohol regenerado y posee una concentración de alcohol que ronda el 70% v/v. El alcohol regenerado es enviado a la columna rectificadora para reprocesarse, mientras que los vapores de anhidro pasan por el precalentador de alcohol hidratado, precalentador de regenerado y por la columna de aldehídos para entregar su energía. Por último pasa por un condensador y es enviado hacia almacenamiento como producto final. Se obtienen 480 m³/día de etanol anhidro.

4.6. EVAPORACIÓN DE VINAZAS.

En esta fase se concentra la vinaza desde 2,8°Bx hasta 40°Bx. Es un sistema multiefecto; Se cuentan con 6 evaporadores de película descendente para cinco efectos y uno en standby. El efecto 1 trabaja a presión un poco mayor a la atmosférica y es calentado con vapor vegetal procedente de los evaporadores de jugo, mientras los efectos 2 – 5 son operados al vacío y se calientan con el vapor de vinaza producido en el efecto anterior. Del efecto 3, se envía el vapor que calienta la columna mostera y agotadora en destilación (36 Ton/h aprox.). Cada evaporador consta de un intercambiador de tubos, un VLS (Separador vapor – líquido) y un eliminador de niebla. La vinaza diluida sale de la columna mostera y alimenta el efecto 1, continuando en serie hasta el efecto 5, donde se obtiene vinaza concentrada a 40°Bx. Esta es almacenada en 3 piscinas, donde son despachadas en carro tanques para riego de cultivos.

4.7. ÁREAS AJENAS AL DEPARTAMENTO DE PROCESOS.

4.7.1. Almacenamiento y despacho. En esta área se almacenan las sustancias químicas como la soda caustica, el ácido sulfúrico y fosfórico requerido para el proceso. De igual forma cuenta con tanques de almacenamiento para aceite fusel, alcohol técnico, alcohol fuera de especificaciones, tanques intermedios de producto y tanques de etanol anhidro, así como ACPM y gasolina. Para el despacho, se realiza la desnaturalización del etanol mediante adición de gasolina; posteriormente, se carga en carro tanques y es despachado para ser comercializado como etanol carburante.

4.7.2. Cogeneración. La caldera (de tipo acuotubular), utilizando el bagazo resultante del proceso de molienda como combustible, es alimentada con agua desmineralizada para la producción de vapor. El vapor de alta presión, a unos 70 bar(a) y 525°C aproximadamente, pasa por un turbina para la generación de energía eléctrica; Se produce 35MV/h de energía: 19MW/h son entregados a la red eléctrica nacional y el restante abastece la operación de la planta. De igual forma, el departamento de cogeneración suministra el vapor de baja y media al departamento de procesos para el tratamiento del jugo y deshidratación del etanol.

4.7.3. Planta de aguas. La PTA (Planta de tratamiento de aguas), es la encargada de tratar y suministrar los diversos tipos de agua a todas las áreas para satisfacer el proceso: Agua clarificada para procesos, agua suavizada para sellos de bombas, agua desmineralizada para la caldera y agua de enfriamiento para refrigeración de fluidos y equipos. La PTARI (Planta de tratamiento de aguas residuales industriales), se encarga de tratar todas las aguas o fluidos que son desechos del proceso y dejarla en condiciones aptas para ser utilizada como riego en los cultivos; La PTARI trata drenajes y efluentes de proceso, condensados de vapor, flemaza y purgas de las torres de enfriamiento.

4.7.4. Control industrial. Ejecuta el plan de calidad, realizando los análisis pertinentes para asegurar que el proceso se encuentre dentro los límites permisibles. Cuenta con laboratorio físico-químico, de aguas y microbiología.

4.7.5. Planeación. Encargado del mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo de líneas y equipos en la parte mecánica, eléctrica e instrumentación de la planta.

5. TASA DE CONSUMO DE INSUMOS.

Bioenergy es una planta de producción continua que debe mantener su proceso dentro de unos parámetros de operación muy estrictos de los cuales algunos son controlados mediante la adición de insumos en partes específicas del proceso.

Durante la fase de estabilización de producción de la planta, se han realizado ciertos ajustes a la dosificación de algunos insumos al sistema, teniendo en cuenta su comportamiento en el proceso. Sin embargo, para algunos insumos se han mantenido las dosificaciones proporcionadas inicialmente por el proveedor, dada la eficiencia y eficacia de las cantidades aplicadas al proceso. Esta característica se acomoda especialmente a aquellos insumos necesarios para la clarificación del jugo mixto en el área de tratamiento de jugos, donde las cantidades (Kg) se aplican en función de la cantidad de toneladas de caña molida.

Los insumos aplicados en el área de fermentación, se vieron afectados principalmente por el cambio de variedad de levadura utilizada en el proceso. Inicialmente, se tenía previsto la utilización de levadura xp, cuya preparación y propagación inicial, se llevaba a cabo bajo condiciones de laboratorio y posteriormente se realizaba su inoculación en campo. Sin embargo, la levadura no se adaptó a las condiciones del proceso y se implementó el mix de tres variedades de levadura seca brasilera, la cual es mucho más flexible para adaptarse a diversas condiciones. Los requerimientos de nutrientes para la xp y la brasilera difieren una de la otra, por lo que las cantidades planeadas antes de la puesta en marcha de la planta no se ajustaron a las necesidades que debían afrontarse por el cambio de levadura. La fermentación se trabaja por batch, por lo que los nutrientes no son adicionados de la misma manera y no de forma continua. A continuación, se presenta el esquema de tiempos para el área de fermentación:

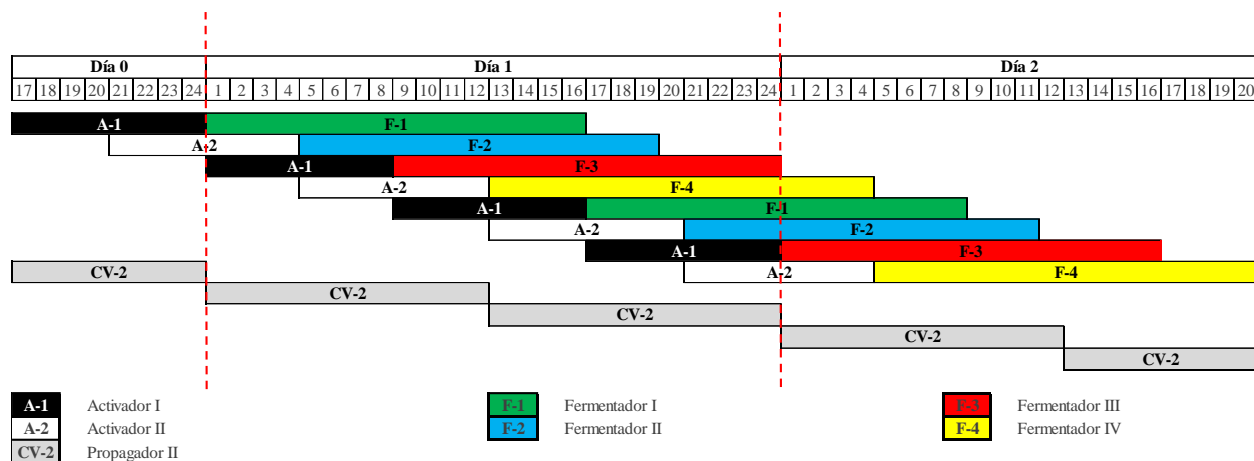


Figura 9. Esquema de tiempos para fermentación.

Los químicos utilizados en la preparación de soluciones CIP como la soda caustica y el ácido fosfórico para las áreas de tratamiento de jugos, fermentación y evaporación de vinazas, se ajustaron de acuerdo a la efectividad de la limpieza de recipientes y equipos.

5.1. CÁLCULO DE TASA DE CONSUMO DE INSUMOS.

En la siguiente tabla se relaciona el compilado de insumos y dosificaciones ajustadas a la producción real de la planta.

Insumo	Proveedor	Presentación	Dosificación
Ácido Fosfórico (para aumentar fosfatos en el jugo).	Brenntag	Isotank por 1.000 Kg.	0,115 Kg/ton caña molida
Cal.	Química MG	Big bag por 1.000 Kg.	1 Kg/ton caña molida
Floculante.	Lipesa	Bulto por 25 Kg.	0,005 Kg/ton caña molida
Levadura CAT-1.	LNF	Caja por 10 Kg.	Propagadores 50 Kg Activadores 110 Kg
Levadura PE-2.	LNF	Caja por 10 Kg.	Propagadores 50 Kg Activadores 110 Kg
Levadura FT-858.	LNF	Caja por 10 Kg.	Propagadores 50 Kg Activadores 110 Kg
Urea.	Ciamsa	Bulto por 50 Kg.	Propagadores 400 ppm Activadores 150 ppm Fermentadores 170 ppm
DAP.	Ciamsa	Bulto por 25 Kg.	200 ppm
Effycane.	PRAJ	Cuñete por 25 Kg.	5 ppm
Bioclean.	Chemicoaching	Cuñete por 10 Kg.	3 ppm
Antiespumante.	Chemicoaching	Isotank de 900 Kg.	24 g/min
Ácido sulfúrico	Industrias básicas de Caldas.	A granel.	1,1 ml/L
Soda caustica.	Brenntag	A granel.	Concentración 7% v/v
Ácido fosfórico (para preparación de soluciones CIP).	Brenntag	A granel.	Concentración 20% v/v
Latostab.	Protech	Tambor por 20 Kg.	20 ppm
Sulfatos de Mg, Mn y Zn.	Merquímica	Bultos de por Kg.	150 ppm

Tabla 2. Datos de insumos para procesos.

Teniendo en cuenta la información respecto a dosificación de insumos registrada en la tabla 2, a continuación se realizan los cálculos correspondientes a tasas de consumos para cada insumo. De igual forma, se relaciona el área de aplicación, los cambios en la dosificación y los motivos de dichas modificaciones.

5.1.1. Ácido fosfórico.

5.1.1.1. *Dosificación.* 0,115 Kg/ton caña molida (dada por proveedor).

5.1.1.2. *Cambios en la dosificación.* Ninguno.

5.1.1.3. *Área de aplicación.* Tratamiento de jugos.

5.1.1.4. *Cálculos:*

$$T_c = 6.800 \text{ Ton/día} * 0,115 \text{ Kg/Ton}$$

$$T_c = 782 \text{ Kg/día}$$

5.1.2. Cal.

5.1.2.1. *Dosificación.* 1 Kg/ton caña molida (dada por proveedor).

5.1.2.2. *Cambios en la dosificación.* Ninguno.

5.1.2.3. *Área de aplicación.* Tratamiento de jugos.

5.1.2.4. *Cálculos:*

$$T_c = 6.800 \text{ Ton/día} * 1 \text{ Kg/Ton}$$

$$T_c = 6.800 \text{ Kg/día}$$

5.1.3. Floculante.

5.1.3.1. *Dosificación.* 0,005 Kg/ton caña molida (dada por proveedor).

5.1.3.2. *Cambios en la dosificación.* Ninguno.

5.1.3.3. *Área de aplicación.* Tratamiento de jugos.

5.1.3.4. *Cálculos:*

$$T_c = 6.800 \text{ Ton/día} * 0,005 \text{ Kg/Ton}$$

$$T_c = 34 \text{ Kg/día}$$

5.1.4. Levadura.

5.1.4.1. *Dosificación.* 50 Kg y 110 Kg de cada referencia para propagadores y activadores respectivamente (CAT-1, FT-858, PE-2) (Ajustada durante estabilización de la producción).

5.1.4.2. *Cambios en la dosificación.* Fue uno de los cambios más significativos en el esquema de producción de la planta y uno de los principales causantes de las

variaciones que surgieron respecto a la dosificación de insumos en el proceso. Inicialmente se trabajó la variedad xp dada por PRAJ, el proveedor de la destilería, la cual se inicia a partir de una cepa preparada bajo condiciones de laboratorio previamente a su inoculación y masificación en planta. De igual forma, se contaba con la variedad etanol red, una levadura seca que se utilizaba como contingencia en casos de déficit de población en el sistema de fermentación. Ninguna de las dos variedades se adaptó satisfactoriamente a las condiciones del proceso, dando lugar a una dilatación en los tiempos de reacción y grados alcohólicos por debajo de los previstos, que hacían imposible alcanzar las metas de producción para la cual fue diseñada la planta. Dado lo anterior, se introducen exitosamente al sistema las referencias de levadura seca CAT-1, PE-2 y FT-858, dadas por el proveedor brasilero LNF, obteniendo tiempos inferiores de reacción y grados alcohólicos superiores a lo previsto (Ver Tabla 1. Grado alcohólico y tiempos de variedad xp vs mix brasilero).

5.1.4.3. Área de aplicación. Fermentación.

5.1.4.4. Cálculos:

Para el propagador se inoculan 150 Kg del mix brasilero (50 Kg de CAT-1, 50 Kg de PE-2 y 50 Kg de FT-858).

Para cada activador se inoculan 330 Kg del mix brasilero (110 Kg de CAT-1, 110 Kg de PE-2 y 110 Kg de FT-858).

A partir de la revisión del historial del “Formato de Consumo de insumos – Fermentación” (Bioenergy, 2017-2018), se establecen los tiempos de inoculación de levadura para la zafra 2017 – 2018, representados en la siguiente figura:

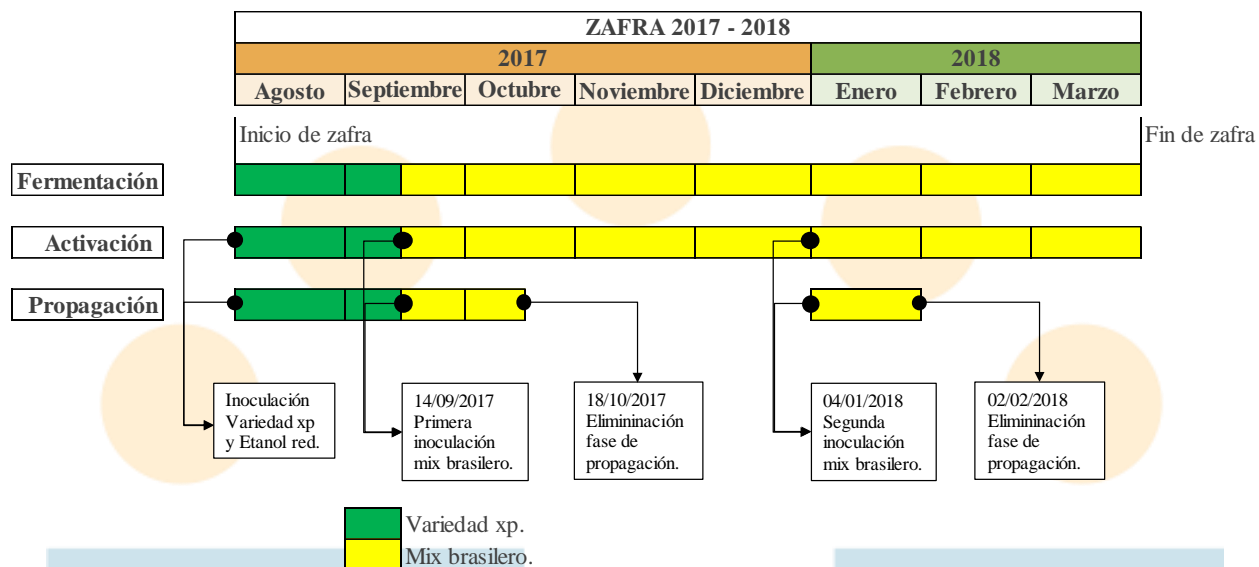


Figura 10. Tiempos de inoculación de levadura zafra 2017 – 2018.

De acuerdo a la información registrada en la figura 11, el ciclo de vida de la levadura inoculada en el mes de septiembre de 2017, fue de 3 meses 20 días, mientras que la inoculada en enero del 2018, duro 3 meses debido a la llegada inminente de parada de planta para entrar al periodo de interzafra; Esta levadura aún contaba con poblaciones que rondaban los $500 \times 10^6 \text{ cel/ml}$ en fermentadores y viabilidad alrededor del 82%, es decir, aun se encontraba en condiciones óptimas para seguir utilizándose en el proceso. De acuerdo a lo anterior, se concluye que la levadura inoculada tiene una vida útil de cuatro meses aproximadamente para el óptimo funcionamiento del proceso de fermentación. De igual forma, se puede observar que completado el mes después de inoculada la levadura, se toma la decisión de eliminar la fase de propagación hasta que se hace una nueva inoculación; Esto se hace debido a que empiezan a haber sobrepoblación de levadura y se hace necesario reducir la masificación para mantener los niveles óptimos de biomasa en el sistema.

Tasa de consumo (Kg/cuatrimestre):

5.1.4.4.1. *Variedad CAT-1:*

$$T_c = (110Kg * 2) + 50Kg$$

$$T_c = 270Kg/Cuatrimestre$$

5.1.4.4.2. *Variedad PE-2:*

$$T_c = (110Kg * 2) + 50Kg$$

$$T_c = 270Kg/Cuatrimestre$$

5.1.4.4.3. *Variedad FT-858*

$$T_c = (110Kg * 2) + 50Kg$$

$$T_c = 270Kg/Cuatrimestre$$

5.1.5. Urea.

5.1.5.1. Dosificación. 400 ppm para propagadores, 150 ppm para activadores y 170 ppm para fermentadores, sobre el volumen al que se maneja el reactor (Ajustada durante estabilización de la producción).

5.1.5.2. Cambios en la dosificación. El cambio de variedad de levadura contrajo variación en las cantidades aplicadas en los reactores dado que las necesidades de nitrógeno difieren de una variedad a la otra. Se pasó de aplicar 200 ppm en todos los recipientes a 400, 150 y 170 ppm para propagadores, activadores y fermentadores respectivamente.

5.1.5.3. Área de aplicación. Fermentación.

5.1.5.4. Cálculos. Para el cálculo de la tasa de consumo de la urea se tienen en cuenta las siguientes condiciones:

- ✓ El cálculo se hace en base a los requerimientos de nitrógeno de la levadura.
- ✓ La urea tiene una pureza del 50% (porcentaje de nitrógeno).

- ✓ Para el propagador II, los nutrientes se adicionan durante la preparación del medio, es decir un tiempo no mayor a una hora una vez se inicia el llenado del recipiente.
- ✓ Para los activadores I y II, los nutrientes se adicionan durante el llenado del recipiente que dura aproximadamente 2 horas.
- ✓ Para los fermentadores I – IV, los nutrientes se adicionan durante el llenado del recipiente que dura aproximadamente 4 horas.
- ✓ La unidad de cálculo es ppm y se considera la densidad del jugo concentrado igual a 1 Kg/L.
- ✓ El volumen es de 45 m³ para el propagador, 330 m³ para los activadores y 1.100 m³ para los fermentadores.
- ✓ La dosificación es de 400 ppm para propagadores, 150 ppm para activadores y 170 ppm para fermentadores.
- ✓ De acuerdo al esquema de tiempos de fermentación y teniendo en cuenta las condiciones nombradas anteriormente para la dosificación de la urea, se preparan diariamente 2 propagaciones, 6 activadores y 6 fermentadores.
- ✓ Los recipientes de propagación y fermentación se manejan usualmente a un nivel máximo del 80%, mientras que los recipientes de activación se manejan en un nivel del 50%.
- ✓ El resultado de masa obtenida para activadores y fermentadores, se aproxima a múltiplos de 50, ya que la presentación del insumo es en bultos de 50Kg y en operación real, se adicionan bultos completos para los recipientes en mención; Solo para los propagadores se realiza medición exacta del nutriente debido a que son pequeñas cantidades.
- ✓ Para el cálculo de los ppm se despeja la siguiente formula, donde m es el soluto en gramos y la masa de la solución es expresada en toneladas:

$$ppm = \frac{m}{Ton\ Solución} \rightarrow ppm * Ton\ Solución = m$$

5.1.5.4.1. *Urea para propagador II:*

Masa del recipiente: $45\text{m}^3 = 45 \text{ Ton}$

$$45(0,8) = 36\text{Ton}$$

$$m = 400 \frac{\text{g}}{\text{Ton}} (36\text{Ton})(2)$$

$$m = 14.000\text{g}(2)$$

$$m = 28.800\text{g} = 28,8\text{Kg}$$

Tasa de consumo (Kg/día) para propagadores:

$$T_c = 28,8\text{Kg}(2)$$

$$T_c = 57,6 \text{ Kg/día}$$

5.1.5.4.2. *Urea para activadores:*

Masa del recipiente: $330\text{m}^3 = 330 \text{ Ton}$

$$330(0,5) = 165\text{Ton}$$

$$m = 150 \frac{\text{g}}{\text{Ton}} (165\text{Ton})(2)$$

$$m = 49.500\text{g}$$

$$m = 49,5\text{Kg} \approx 50\text{Kg}$$

Tasa de consumo (Kg/día) para activadores:

$$T_c = 50\text{Kg}(6)$$

$$T_c = 300\text{Kg/día}$$

5.1.5.4.3. *Urea para fermentadores:*

Masa del recipiente: $1.100\text{m}^3 = 1.100 \text{ Ton}$

$$1.100(0,8) = 880\text{Ton}$$

$$m = 170 \frac{\text{g}}{\text{Ton}} (880\text{Ton})(2)$$

$$m = 299.200\text{g}$$

$$m = 299,2\text{Kg} \approx 300\text{Kg}$$

Tasa de consumo (Kg/día) para fermentadores:

$$T_c = 300\text{Kg}(6)$$

$$T_c = 1.800\text{Kg/día}$$

5.1.5.4.4. *Tasa de consumo (Kg/día) total:*

$$T_c = 57,6 + 300 + 1.800$$

$$T_c = 2.157,6\text{Kg/día}$$

Nota: Esta tasa de consumo aplica para el primer mes después de inoculada la levadura. A partir de ahí, se elimina la fase de propagación, por lo que la tasa de consumo para los siguientes meses será de:

$$T_c = 300 + 1.800$$

$$T_c = 2.100\text{Kg/día}$$

5.1.6. DAP.

5.1.6.1. Dosificación. 200 ppm (Dada por proveedor).

5.1.6.2. Cambios en la dosificación. Se tenía estimado la aplicación de 200 ppm para propagadores, activadores y fermentadores. Por cambio de variedad de levadura, actualmente solo se aplica a la fase de propagación.

5.1.6.3. Área de aplicación. Fermentación.

5.1.6.4. Cálculos:

Masa del recipiente: $45\text{m}^3 = 45\text{Ton}$

$45(0,8) = 36\text{Ton}$

$$m = 200 \frac{g}{\text{Ton}} (36\text{Ton})$$

$$m = 7.200g = 7,2Kg$$

Tasa de consumo (Kg/día) para propagadores:

$$T_c = 7,2Kg(2)$$

$$T_c = 14,4 Kg/día$$

Nota: El número de aplicaciones por día, se define a partir de la figura 10, esquema de tiempos para fermentación.

Esta tasa de consumo aplica para el primer mes después de inoculada la levadura. A partir de ahí, se elimina la fase de propagación, por lo que las necesidades de DAP serán de cero hasta que se realice la segunda inoculación.

5.1.7. Effycane.

5.1.7.1. Dosificación. 5 ppm (Ajustada durante estabilización de la producción).

5.1.7.2. Cambios en la dosificación. Por cambio de variedad de levadura se cambia dosificación de 20 a 5 ppm para cada recipiente.

5.1.7.3. Área de aplicación. Fermentación.

5.1.7.4. Cálculos:

5.1.7.4.1. *Effycane para propagador II:*

Masa del recipiente: $45\text{m}^3 = 45 \text{ Ton}$

$$45(0,8) = 36\text{Ton}$$

$$m = 5 \frac{\text{g}}{\text{Ton}} (36\text{Ton})$$

$$m = 180\text{g} = 0,18\text{Kg}$$

Tasa de consumo (Kg/día) para propagadores:

$$T_c = 0,18\text{Kg}(2)$$

$$T_c = 0,36 \text{ Kg/día}$$

5.1.7.4.2. *Effycane para activadores:*

Masa del recipiente: $330\text{m}^3 = 330 \text{ Ton}$

$$330(0,5) = 165\text{Ton}$$

$$m = 5 \frac{\text{g}}{\text{Ton}} (165\text{Ton})$$

$$m = 825\text{g} = 0,85\text{Kg}$$

Tasa de consumo (Kg/día) para activadores:

$$T_c = 0,85\text{Kg}(6)$$

$$T_c = 5,1\text{Kg/día}$$

5.1.7.4.3. *Effycane para fermentadores:*

Masa del recipiente: $1.100\text{m}^3 = 1.100 \text{ Ton}$

$$1.100(0,8) = 880\text{Ton}$$

$$m = 5 \frac{\text{g}}{\text{Ton}} (880\text{Ton})$$

$$m = 4.400\text{g} = 4,4\text{Kg}$$

Tasa de consumo (Kg/día) para fermentadores:

$$T_c = 4,4\text{Kg}(6)$$

$$T_c = 26,4 \text{ Kg/día}$$

Nota: El número de aplicaciones por día, se define a partir de la figura 10, esquema de tiempos para fermentación.

5.1.7.4.4. *Tasa de consumo (Kg/día) total:*

$$T_c = 0,36 + 5,1 + 26,4$$

$$T_c = 31,86 \text{ Kg/día}$$

Esta tasa de consumo aplica para el primer mes después de inoculada la levadura. A partir de ahí, se elimina la fase de propagación, por lo que la tasa de consumo para los siguientes meses será de:

$$T_c = 5,1 + 26,4$$

$$T_c = 31,5\text{Kg/día}$$

5.1.8. Antiespumante.

5.1.8.1. *Dosificación.* 14g/min (Ajustada durante estabilización de la producción).

5.1.8.2. Cambios en la dosificación. Inicialmente se contaba con un tanque de antiespumante y un par de bombas enlazadas a un sensor de alto nivel que se activaba en el momento que la espuma hacia contacto con él, haciendo adición automática de material hasta que el nivel de espuma bajara y el sensor dejara de enviar señal de alarma. Sin embargo, los sensores algunas veces fallaban, se activaban sin ser requerido o seguían activos aun cuando el nivel de espuma era bajo, haciendo que el consumo del insumo fuera muy elevado. En algunas veces, cuando era requerida la adición, el sensor no se activaba, los reactores se desbordaban y habían pérdidas significativas de material (Jugo, levadura, alcohol...). Por tal motivo, se implementó un nuevo sistema de dosificación en línea, en el que se adiciona una pequeña pero contante cantidad de antiespumante en el jugo antes de ingresar a los reactores, de esta forma se mitigaron las reacciones violentas y se solucionó el problema de desbordes por espuma, pérdidas de material y consumo excesivo del insumo. Al cambiar la forma de dosificación, también se cambió el producto suministrado por “Protecnic ingeniería” al del proveedor “Chemicoaching”.

5.1.8.3. Área de aplicación. Fermentación.

5.1.8.4. Cálculos:

$$T_c = 24 \frac{g}{min} * 60 \frac{min}{h} * 24 \frac{h}{día}$$

$$T_c = 34,560 g/día$$

$$T_c = 34,56Kg/día$$

5.1.9. Ácido sulfúrico.

5.1.9.1. Dosificación. 1,1ml/L (Determinada mediante pruebas por laboratorio de microbiología).

5.1.9.2. Cambios en la dosificación. Se pasó de dosificación del insumo por batch a dosificación continua. Se realizaron pruebas por parte del laboratorio de microbiología para determinar la cantidad de H₂SO₄ a utilizar para la acidulación de la crema de levadura. Se realizaron varias pruebas donde se tomó un litro de

crema de levadura con un pH que oscilaba entre los 4,3 y 4,5 y se adicionaban pequeñas cantidades de ácido sulfúrico hasta alcanzar un pH entre 2,7 y 2,9. Después de promediar las cantidades obtenidas, se obtuvo una dosificación de H_2SO_4 de 1,1ml/L de crema de levadura para alcanzar el pH deseado.

5.1.9.3. Área de aplicación. Fermentación.

5.1.9.4. Cálculos. La crema de levadura, es separada del vino por centrifugación. Se cuentan con tres centrifugas funcionando las 24 horas del día que separan en promedio $12\text{m}^3/\text{h}$ de crema de levadura cada una. El ácido sulfúrico presenta una densidad de 1,84 Kg/L.

$$Q = 12 \text{ m}^3/\text{h} (3)(24 \text{ h/día})$$

$$Q = 36 \text{ m}^3/\text{h} (24 \text{ h/día})$$

$$Q = 864 \text{ m}^3/\text{día}$$

Tasa de consumo (L/día):

$$1,1 \text{ ml/L} = 1,1 \text{ L/m}^3$$

$$T_c = 864 \text{ m}^3/\text{día} (1,1 \text{ L/m}^3)$$

$$T_c = 950,4 \text{ L/día}$$

En peso:

$$T_c = 950,4 \text{ L/día} (1,84 \text{ Kg/L})$$

$$T_c = 1.748,73 \text{ Kg/día}$$

5.1.10. Bioclean.

5.1.10.1. Dosificación. 3 ppm para propagadores y activadores (dada por proveedor).

5.1.10.2. Cambios en la dosificación. Ninguno.

5.1.10.3. Área de aplicación. Fermentación.

5.1.10.4. Cálculos:

5.1.10.4.1. Bioclean para propagador II:

Masa del recipiente: $45\text{m}^3 = 45 \text{ Ton}$

$$45(0,8) = 36\text{Ton}$$

$$m = 3 \frac{\text{g}}{\text{Ton}} (36\text{Ton})$$

$$m = 108\text{g} = 0,108\text{Kg}$$

Tasa de consumo (Kg/día) para propagadores:

$$T_c = 0,108\text{Kg}(2)$$

$$T_c = 0,216 \text{ Kg/día}$$

5.1.10.4.2. Bioclean para activadores:

Masa del recipiente: $330\text{m}^3 = 330 \text{ Ton}$

$$330(0,5) = 165\text{Ton}$$

$$m = 3 \frac{\text{g}}{\text{Ton}} (165\text{Ton})$$

$$m = 495\text{g} = 0,495\text{Kg}$$

Nota: El número de aplicaciones por día, se define a partir de la figura 10, esquema de tiempos para fermentación.

Tasa de consumo (Kg/día) para activadores:

$$T_c = 0,495Kg(6)$$

$$T_c = 2,97Kg/día$$

5.1.10.4.3. *Tasa de consumo total (Kg/día):*

$$T_c = 0,216 Kg/día + 2,97Kg/día$$

$$T_c = 3,186 Kg/día$$

Esta tasa de consumo aplica para el primer mes después de inoculada la levadura. A partir de ahí, se elimina la fase de propagación, por lo que la tasa de consumo para los siguientes meses será únicamente la cantidad calculada para activadores.

5.1.11. Soda caustica.

5.1.11.1. *Dosificación y cambios.* Inicialmente se tenía previsto realizar la preparación de soluciones causticas a un 5% de concentración, sin embargo se aumentó a 7% para aumentar la efectividad de las limpiezas CIP.

En la siguiente tabla se relacionan los datos de concentración y periodicidad para la preparación de solución caustica para la limpieza CIP.

Área	Volumen recipiente	Preparación del recipiente (%)	Concentración	Periodicidad
Tratamiento de jugos.	100 m ³	80%	7%	Semanal
Fermentación.	50 m ³	80%	7%	Semanal
Evaporación de vinazas.	50 m ³	80%	7%	Semanal

Tabla 3. Datos de preparación de solución caustica para limpieza CIP.

5.1.11.2. Cálculos. Teniendo en cuenta que la soda caustica posee una concentración del 50% y una densidad de 1.520Kg/m^3 , se calculan los volúmenes requeridos del insumo aplicando la siguiente formula:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2 \rightarrow V_1 = \frac{V_2 C_2}{C_1}$$

5.1.11.2.1. Soda para tratamiento de jugos:

$$100\text{m}^3(0,8) = 80\text{m}^3$$

$$V_1 = \frac{80\text{m}^3(7)}{50}$$

$$V_1 = 11,2\text{m}^3$$

5.1.11.2.2. Soda para fermentación:

$$50\text{m}^3(0,8) = 40\text{m}^3$$

$$V_1 = \frac{40\text{m}^3(7)}{50}$$

$$V_1 = 5,6\text{m}^3$$

5.1.11.2.3. Soda para evaporación de vinazas:

$$50\text{m}^3(0,8) = 40\text{m}^3$$

$$V_1 = \frac{40\text{m}^3(7)}{50}$$

$$V_1 = 5,6\text{m}^3$$

5.1.11.2.4. Soda para destilación:

Dosificación a columna rectificadora: 80L/h a una concentración del 15%

$$80 \text{ L/h} = 0,08 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 0,08 \text{ m}^3/\text{h} (24 \text{ h/día})$$

$$V = 1,92 \text{ m}^3/\text{día} \rightarrow 15\% \text{ de concentración.}$$

$$V_1 = \frac{1,92 \text{ m}^3 (15)}{50}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ m}^3/\text{día} \approx 0,6 \text{ m}^3/\text{día} \rightarrow 50\% \text{ de concentración.}$$

5.1.11.2.5. Tasa de consumo total de soda (m^3/sem):

$$T_c = 11,2 \text{ m}^3 + 5,6 \text{ m}^3 + 5,6 \text{ m}^3 + (0,6 \text{ m}^3/\text{día} (7 \text{ día/sem}))$$

$$T_c = 26,6 \text{ m}^3/\text{sem}$$

En peso:

$$T_c = 26,6 \text{ m}^3/\text{sem} (1.520 \text{ Kg/m}^3)$$

$$T_c = 40.432 \text{ Kg/sem}$$

5.1.12. Ácido fosfórico.

5.1.12.1. Dosificación y cambios. Con una concentración de 75%, es utilizado para preparación de solución acida para limpieza CIP en el área de tratamiento de jugos; Se cuenta con un tanque de 100m^3 que se prepara a un 80% de nivel y un

20% de concentración. La frecuencia de preparación es 1 vez/semana al igual que el CIP caustico. No ha sufrido modificaciones.

5.1.12.2. Área de aplicación. Tratamiento de jugos.

5.1.12.3. Cálculos: El ácido fosfórico presenta una densidad de 1.707Kg/m^3 .

$$100\text{m}^3(0,8) = 80\text{m}^3$$

$$V_1 = \frac{80\text{m}^3(20)}{75}$$

$$V_1 = 21,3\text{m}^3$$

Tasa de consumo (m^3/sem):

$$T_c = 21,3 \text{ m}^3/\text{sem}$$

En peso:

$$T_c = 21,3 \text{ m}^3/\text{sem} (1.707 \text{ Kg/m}^3)$$

$$T_c = 36.359,1 \text{ Kg/sem}$$

5.1.13. Otros insumos:

5.1.13.1. Antibiótico Latostab. Se tenía previsto su utilización en cantidades de 20 ppm para casos de contaminación severa, pero en vista de que en la mayoría de veces que se presentan estos casos, se toma la decisión de desechar el material contaminado (además de su alto costo), no se tendrá en cuenta para la presente proyección de requerimientos de insumos.

5.1.13.2. Sulfatos de Mg, Mn y Zn. Eliminados debido a que no aportaban un valor significativo al proceso; No se tendrá en cuenta para la presente proyección de requerimientos de insumos.

5.2. RESUMEN.

Las tasas de consumo para cada insumo empleado por el departamento de procesos para la producción de etanol anhidro, se calcularon tomando como base la información registrada en la “Tabla 2. Datos de insumos para procesos”, donde se relacionan las dosificaciones ajustadas a la producción real durante la fase de estabilización de la planta. Se estableció el consumo diario para todos los insumos teniendo en cuenta la periodicidad de aplicación, con algunas excepciones como la levadura que, gracias a su ciclo de vida, se estableció una tasa de consumo cuatrimestral o los químicos utilizados para limpieza CIP, cuya preparación se realiza semanalmente. De igual forma se consignaron los motivos que condujeron a las modificaciones en la dosificación de insumos al proceso. En el siguiente cuadro se presenta el compendio de las tasas de consumo calculadas anteriormente, escalándose a periodos de tiempo mayores a los estimados.

INSUMO	T _c DÍA	T _c SEMANA	T _c MES	T _c CUATRIMESTRE
Ácido fosfórico para dosificar al jugo.	782 Kg	5.474 Kg	23.460 Kg	-
Cal.	6.800 Kg	47.500 Kg	204.000 Kg	-
Floculante.	34 Kg	238 Kg	1.020 Kg	-
CAT-1.	-	-	-	270 Kg
PE-2.	-	-	-	270 Kg
FT-858.	-	-	-	270 Kg
Urea.	2.157,6 Kg 2.100 Kg	15.103,2 Kg 14.700 Kg	64.728 Kg 63.000 Kg	-
DAP.	14,4 Kg	100,8 Kg	432 Kg	-
Effycane.	31,86 Kg 31,5 Kg	223,02 Kg 220,5 Kg	955,8 Kg 945 Kg	-
Antiespumante.	34,56 Kg	241,92 Kg	1.036,8 Kg	-
Ácido sulfúrico.	1.748,73 Kg	12.214,11 Kg	52.461,9 Kg	-
Bioclean.	3,186 Kg 2,97 Kg	22,302 Kg 20,79 Kg	95,58 Kg 89,1 Kg	-
Soda caustica.	-	40.432 Kg	283.024 Kg	-
Ácido fosfórico para CIP.	-	36.359,1 Kg	254.513,7 Kg	-

Tabla 4. Cuadro compendio de tasas de consumo de insumos para procesos.

6. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO AL SISTEMA DE GESTIÓN DE STOCKS DE INSUMOS DE PROCESOS

6.1. ANÁLISIS DE DEMANDA Y ELECCIÓN DE MODELO DE GESTIÓN DE STOCKS.

Gracias a la mezcla gasolina – etanol establecida en la Ley 693 de 2001 los requerimientos de etanol en el país son mayores, por lo que la demanda que debe satisfacer Bioenergy es equivalente a la capacidad de producción de su planta. Por tanto, se puede afirmar que la demanda de producto es de 480.000 litros/día de etanol anhidro que es la capacidad de producción de la planta; Siendo la demanda conocida y constante, se le atribuye la característica de ser determinística y homogénea.

Para la producción de etanol anhidro se requieren una serie de insumos cuya adición al proceso es indispensable para la obtención del producto final. Se calcularon las tasas de consumo requeridas para lograr las metas de producción basadas en las dosificaciones de cada insumo en el proceso; Dichas cantidades son directamente proporcionales a la cantidad de producto que se requiere producir, haciendo que la demanda de los insumos sea dependiente de la demanda de etanol.

El EOQ es el modelo de inventario básico de mayor aplicación para calcular las cantidades de pedido de productos con demanda determinística. Sin embargo, el propósito no es generar modelo de gestión de inventario para el etanol sino para los insumos requeridos para su producción. Partiendo de lo anterior, se pretende buscar un sistema de inventarios que sea ideal para productos con demanda dependiente.

El MRP (Planeación de requerimientos materiales) es ideal para productos con demanda dependiente, ya que a partir del plan maestro de producción (MPS) que posee toda la información de demanda del producto principal, se pueden planear los requerimientos de los componentes, partes y/o insumos requeridos para su fabricación. Dicho esto, el MRP se ajusta a las características del problema en cuestión, pues la demanda del producto principal es constante y se conoce con certeza las cantidades que deben producirse, lo cual proporciona facilidad para la generación de

un MPS que podrá traducirse en un plan de requerimiento materiales para los insumos requeridos por la empresa para la producción del etanol anhidro que satisfaga las necesidades del mercado.

Basado en lo anterior, se desarrollará un MRP como propuesta de mejoramiento al sistema de gestión de insumos del departamento de procesos de Bioenergy.

6.2. PRECEDENTES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL MRP.

“Las técnicas MRP son una solución relativamente nueva a un problema clásico en producción: el de controlar y coordinar los materiales para que estén disponibles cuando se precisan y sin necesidad de tener un inventario excesivo” (Miño et al., 2014, p.251). Para que este se desarrolle de esta forma, el MRP debe contar con las entradas necesarias para su generación:

- ✓ **PMS:** El plan maestro de producción precisa las cantidades de producto a producir y los momentos en que debe hacerse para satisfacer la demanda.
- ✓ **Lista de materiales:** Contempla las partes, componentes e/o insumos por niveles, especificando las cantidades necesarias para la fabricación del producto principal de nivel superior; Se representa mediante un árbol de estructura.
- ✓ **Fichero de registro de inventarios:** Registra los stocks actuales de insumos en la empresa y las órdenes programadas.

A continuación se enumera la secuencia a seguir para la ejecución del MRP como propuesta de mejoramiento al sistema de gestión de stocks de insumos para el departamento de procesos de Bioenergy Zona Franca S.A.S.:

1. Determinación del horizonte de planeación.
2. Plan maestro de producción (MPS).
3. Codificación de insumos.
4. Lista de materiales (BOM).
5. Determinación de stocks de seguridad.
6. Registro de inventarios.
7. Desarrollo del MRP.
8. Informe de necesidades.
9. Costos asociados.

7. PLANEACIÓN DE REQUERIMIENTOS MATERIALES MRP

7.1. HORIZONTE DE PLANEACIÓN

Los periodos contemplados para el horizonte de planeación corresponden a la zafra 2018 – 2019 de Bioenergy desarrollada a partir del mes de agosto de 2018 hasta el mes de abril de 2019. El horizonte de planeación contemplado consta de 35 periodos, siendo cada periodo un lapso de tiempo igual a una semana, iniciando el 13/08/2018 y finalizando el 14/04/2019.

Periodo	Inicio	Fin	Periodo	Inicio	Fin
1	13/08/2018	19/08/2018	19	17/12/2018	23/12/2018
2	20/08/2018	26/08/2018	20	24/12/2018	30/12/2018
3	27/08/2018	02/09/2018	21	31/12/2018	06/01/2019
4	03/09/2018	09/09/2018	22	07/01/2019	13/01/2019
5	10/09/2018	16/09/2018	23	14/01/2019	20/01/2019
6	17/09/2018	23/09/2018	24	21/01/2019	27/01/2019
7	24/09/2018	30/09/2018	25	28/01/2019	03/02/2019
8	01/10/2018	07/10/2018	26	04/02/2019	10/02/2019
9	08/10/2018	14/10/2018	27	11/02/2019	17/02/2019
10	15/10/2018	21/10/2018	28	18/02/2019	24/02/2019
11	22/10/2018	28/10/2018	29	25/02/2019	03/03/2019
12	29/10/2018	04/11/2018	30	04/03/2019	10/03/2019
13	05/11/2018	11/11/2018	31	11/03/2019	17/03/2019
14	12/11/2018	18/11/2018	32	18/03/2019	24/03/2019
15	19/11/2018	25/11/2018	33	25/03/2019	31/03/2019
16	26/11/2018	02/12/2018	34	01/04/2019	07/04/2019
17	03/12/2018	09/12/2018	35	08/04/2019	14/04/2019
18	10/12/2018	16/12/2018			

Tabla 5. Resumen de periodos y fechas del horizonte de planeación.

7.2. PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS).

La demanda para el alcohol anhidro es determinística y constante, por lo que la demanda para todos los periodos será la misma: 3.360 m³ equivalente a la producción semanal de alcohol anhidro para Bioenergy.

Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MPS	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360

Periodo	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
MPS	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360

Periodo	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
MPS	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	

Tabla 6. Plan maestro de producción.

7.3. CODIFICACION DE MATERIALES.

Los materiales participes de la producción de etanol anhidro se codificaran para su inclusión en el MRP siguiendo la siguiente estructura:

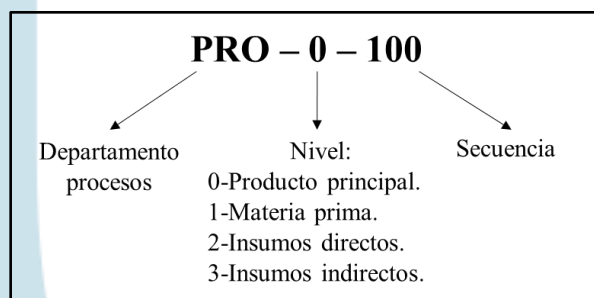


Figura 11. Estructura para codificación de materiales.

Se inicia con las siglas “PRO” indicando que son materiales para el departamento de procesos seguido de un único dígito que corresponde al nivel asignado en el árbol de estructura del producto, siendo 0 el producto principal (etanol), 1 la materia prima, 2 los insumos adicionados directamente sobre las corrientes del proceso y 3 los insumos de aplicación indirecta utilizados como apoyo al proceso. Por último se tiene la secuencia iniciada por el número 100 que se le atribuye al etanol

anhidro por ser el producto de nivel superior; Se continuará la secuencia pasando por los niveles de manera ordenada: Nivel 0, nivel 1, nivel 2, nivel 3 (...) según sea requerido.

De acuerdo a la estructura establecida para la codificación de materiales, a continuación se presenta la codificación para los insumos de proceso de Bioenergy:

Código	Material
PRO-0-100	Alcohol anhidro.
AGR-1-101	Caña de azúcar.
PRO-2-102	Ácido fosfórico.
PRO-2-103	Cal.
PRO-2-104	Floculante.
PRO-2-105	CAT-1.
PRO-2-106	PE-2.
PRO-2-107	FT-858.
PRO-2-108	Urea.
PRO-2-109	DAP.
PRO-2-110	Effycane.
PRO-2-111	Antiespumante.
PRO-2-112	Ácido sulfúrico.
PRO-2-113	Bioclean.
PRO-3-114	Soda caustica concentrada.
PRO-3-115	Ácido fosfórico.

Tabla 7. Codificación de materiales.

7.4. LISTA DE MATERIALES (BOM)

De acuerdo a los niveles establecidos para los materiales en la tabla 6, se genera árbol de estructura para producción de etanol anhidro. Teniendo en cuenta que todos los materiales son insumos y no partes que generan subcomponentes y componentes, los niveles se establecieron de la siguiente manera:

- ✓ Nivel 0: Producto principal.
- ✓ Nivel 1: Materia prima.
- ✓ Nivel 2: Insumos adicionados directamente al proceso.
- ✓ Nivel 3: Insumos indirectos utilizados como apoyo al proceso.

De igual forma, el árbol de estructura se genera a partir de las tasas de consumo registradas en la tabla 5, tomando como base las cantidades de insumos requeridas para el cumplimiento de una producción diaria de 480.000 litros de etanol anhidro.

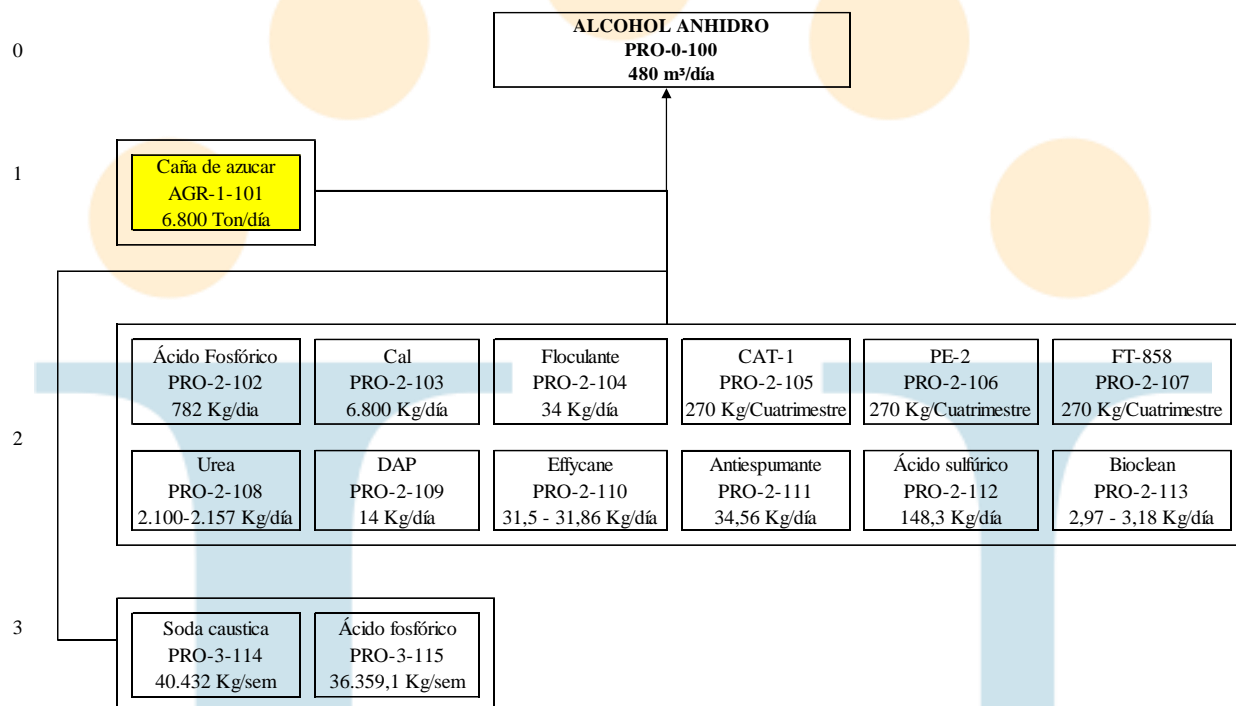


Figura 12. BOM.

7.5. DETERMINACIÓN DE STOCKS DE SEGURIDAD.

Bioenergy, para la mayoría de sus insumos no tiene restricción de almacenamiento, por lo que se tomara como stock de seguridad, una cantidad igual a la tasa de consumo semanal para los siguientes insumos, de tal forma que se puedan cubrir las necesidades de un periodo en caso de cualquier eventualidad:

- ✓ Ácido fosfórico: 5.474 Kg.
- ✓ Cal: 47.500 Kg.
- ✓ Floculante: 238 Kg.
- ✓ Urea: 14.700 Kg.
- ✓ DAP: 100,8 Kg.
- ✓ Effycane: 220 Kg.

✓ Bioclean: 20,79 Kg

En el caso de las variedades de levadura seca (CAT-1, PE-2 y FT-858), dado que su aplicación es una vez cada cuatro meses y se aplica en su totalidad, se toma la tasa de consumo cuatrimestral como stock de seguridad, que corresponde a 270 Kg para cada referencia, para responder a cualquier eventualidad de déficit de población o bajas viabilidades en el sistema.

Por otro lado, los insumos almacenados en tanques cuentan con restricción de capacidad debido a los volúmenes de los recipientes; Este es el caso de la soda cáustica, el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico. Para estos insumos, el stock de seguridad se determinará en base al nivel máximo de trabajo de los tanques, siendo de 80% para la soda caustica, 90% para el ácido fosfórico y 50% para el ácido sulfúrico cuyos volúmenes de los recipientes de almacenamiento son 68 m³, 29 m³ y 29 m³ respectivamente.

Para el caso de la soda se calcula la capacidad de almacenamiento en Kg y a este resultado, se le resta el valor de la tasa de consumo semanal registrada en la tabla 5 para determinar el stock de seguridad:

$$68m^3(0,8)(1.520 \text{ Kg}/m^3) = 82.688Kg \rightarrow \textit{Capacidad de almacenamiento}$$

$$SS = 82.688Kg - 40.432Kg$$

$$SS = 42.256Kg$$

Para el caso del ácido fosfórico, se realizan el mismo procedimiento:

$$29m^3(0,8)(1.707 \text{ Kg}/m^3) = 39.602,4Kg \rightarrow \textit{Capacidad de almacenamiento}$$

$$SS = 39.602,4Kg - 36.359,1Kg$$

$$SS = 3.243,3Kg$$

De igual forma para el ácido sulfúrico:

$$29m^3(0,5)(1.840 \text{ Kg}/m^3) = 26.709Kg \rightarrow \textit{Capacidad de almacenamiento}$$

$$SS = 26.709Kg - 12.214,11Kg$$

$$SS = 14.494,89Kg$$

7.6. REGISTRO DE INVENTARIOS

A continuación se presenta el resumen de las existencias en almacén a la fecha 31/07/2018. Además, el fichero de inventarios presenta toda la información necesaria para dar inicio al desarrollo del MRP: Se detallan datos de lead time, inventario de seguridad, algoritmo para la determinación del tamaño de lote, recepciones programadas y costos unitarios para cada uno los materiales.

Material		Disponibilidad en almacén (Kg)	Lead time (semanas)	Stock de seguridad (Kg)	Método de determinación de cantidad de pedido	Recepciones programadas		Costo unitario (\$/Kg)
Código	Nombre					Periodo	Cantidad (Kg)	
PRO-2-102	Ácido fosfórico.	10.000	2	5.474	Lote a Lote	0	12.000	\$3.944
PRO-2-103	Cal.	14.000	2	47.500	Lote a Lote	-1	100.000	\$562
PRO-2-104	Floculante.	300	2	238	Lote a Lote	0	1.200	\$1.500
PRO-2-105	CAT-1.	180	5	270	Lote a Lote	-1	500	\$225.200
PRO-2-106	PE-2.	180	5	270	Lote a Lote	-1	500	\$225.200
PRO-2-107	FT-858.	150	5	270	Lote a Lote	-1	530	\$259.000
PRO-2-108	Urea.	22.350	2	14.700	Lote a Lote	2	50.000	\$1.255
PRO-2-109	DAP.	1.225	1	100,8	Lote a Lote	0	0	\$1.520
PRO-2-110	Effycane.	275	3	220,5	Lote a Lote	-1	1.000	\$264.700
PRO-2-111	Antiespumante.	0	2	241,92	Lote a Lote	0	9.000	\$16.000
PRO-2-112	Ácido sulfúrico.	9.436	2	14.494,89	Lote a Lote	1	20.000	\$708
PRO-2-113	Bioclean.	40	2	20,79	Lote a Lote	1	120	\$371.200
PRO-3-114	Soda caustica concentrada.	32.480	2	42.256	Lote a Lote	0	50.000	\$928
PRO-3-115	Ácido fosfórico.	4.805	2	3.243,3	Lote a Lote	0	30.000	\$5.104

Tabla 8. Fichero de inventarios.

7.7. DESARROLLO DEL MRP.

A continuación se presenta el cálculo de la explosión para cada uno de los insumos, de acuerdo a la información consignada en la tabla 4 Cuadro compendio de tasas de consumo de insumos para procesos, tabla 6 plan maestro de producción y tabla 8 fichero de inventarios. La construcción del MRP se realiza mediante la utilización de Excel. Para el cálculo de la explosión, se incluirán los siguientes ítems dentro de la secuencia lógica:

- ✓ Nb: Necesidades brutas.
- ✓ Rp: Recepciones programadas.
- ✓ SS: Stock de seguridad.
- ✓ D: Disponibilidad.
- ✓ Nn: Necesidades netas.
- ✓ Rpr: Recepciones previstas.
- ✓ Lp: Lanzamiento de pedido.
- ✓ Lpr: Lanzamiento de cantidad real de pedido.

Se incluye una fila de cálculo adicional correspondiente al “lanzamiento de cantidad real de pedido” con el fin de ajustar las necesidades a la oferta de los proveedores, es decir, a la presentación comercial de los insumos requeridos.

7.7.1. Alcohol anhidro. La explosión del etanol anhidro, producto de nivel superior, es prácticamente calcada al MPS, teniendo en cuenta que la demanda corresponde a la tasa de producción semanal, por lo que se asigna un lead time de 1 y, consecuentemente, el lanzamiento de las órdenes de producción deberá realizarse con una semana de antelación.

PRO-0-100: Alcohol anhidro	
Tasa de consumo (m ³ /sem)	3.360
Lead Time	1
Stock de seguridad	0
Recepciones programadas	0
Disponibilidad en almacén	0
Costo unitario	---
Presentación	A granel

Tabla 9. Datos para cálculo de la explosión de PRO-0-100.

Sem	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nb		3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Rp		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nn		3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Rpr		3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Lp	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Lpr	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360

Tabla 10. Calculo de explosión para PRO-0-100, periodo 1 a 11.

Sem	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Nb	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nn	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Rpr	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Lp	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Lpr	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360

Tabla 11. Calculo de explosión para PRO-0-100, periodo 12 a 23.

Sem	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nn	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Rpr	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360
Lp	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	0
Lpr	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	3.360	0

Tabla 12. Calculo de explosión para PRO-0-100, periodo 24 a 35.

7.7.2. Caña de azúcar. A pesar de ser la materia prima e insumo más importante para la producción del etanol, no es cubierto por la presente planeación de requerimientos materiales, ya que quien lo proporciona y asume los costos, es el departamento agrícola y no procesos. Sin embargo, cabe mencionar que este debe proporcionar

6.800 Ton/día de caña de azúcar que corresponde a 47.600 Ton/sem, ajustándose al tamaño del periodo establecido en el MPS.

7.7.3. Ácido fosfórico. A continuación se presenta cálculo de la explosión para el material PRO-2-102 Ácido fosfórico:

PRO-2-102: Ácido Fosfórico	
Tasa de consumo (Kg/sem)	5.474
Lead Time	2
Stock de seguridad (Kg)	5.474
Recepciones programadas (Kg)	12.000 (Sem 0)
Disponibilidad en almacén (Kg)	10.000
Costo unitario (Kg)	\$3.944
Presentación (Kg/unidad)	1.000

Tabla 13. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-102.

Sem	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nb			5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474
Rp		12.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS			5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474
D	10.000	22.000	16.526	11.052	5.578	6.104	5.630	6.156	5.682	6.208	5.734	6.260	5.786
Nn			0	0	0	5.370	4.844	5.318	4.792	5.266	4.740	5.214	4.688
Rpr			0	0	0	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000
Lp	0	0	0	5.370	4.844	5.318	4.792	5.266	4.740	5.214	4.688	5.162	4.636
Lpr	0	0	0	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000

Tabla 14. Cálculo de explosión para PRO-2-102, periodo 1 a 11.

Sem	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nb	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474	5.474
D	6.312	5.838	6.364	5.890	6.416	5.942	6.468	5.994	5.520	6.046	5.572	6.098	5.624
Nn	5.162	4.636	5.110	4.584	5.058	4.532	5.006	4.480	4.954	5.428	4.902	5.376	4.850
Rpr	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000
Lp	5.110	4.584	5.058	4.532	5.006	4.480	4.954	5.428	4.902	5.376	4.850	5.324	4.798
Lpr	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000

Tabla 15. Cálculo de explosión para PRO-2-102, periodo 12 a 24.

Sem	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Lp	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000
Lpr	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000

Tabla 19. Cálculo de explosión para PRO-2-103, periodo 11 a 23.

Sem	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500	47.500
D	48.000	47.500	48.000	47.500	48.000	47.500	48.000	47.500	48.000	47.500	48.000	47.500
Nn	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000
Rpr	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000
Lp	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	47.500	47.000	0	0
Lpr	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	0	0

Tabla 20. Cálculo de explosión para PRO-2-103, periodo 24 a 35.

7.7.5. Floculante. A continuación se presenta cálculo de la explosión para el material PRO-2-104 floculante:

PRO-2-104: Floculante	
Tasa de consumo (Kg/sem)	238
Lead Time	2
Stock de seguridad (Kg)	238
Recepciones programadas (Kg)	1.200 (Sem 0)
Disponibilidad en almacén (Kg)	300
Costo unitario (Kg)	\$1.500
Presentación (Kg/unidad)	25

Tabla 21. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-104.

Sem	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nb			238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
Rp		1.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS			238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
D	300	1.500	1.262	1.024	786	548	310	247	259	246	258	245
Nn			0	0	0	0	0	166	229	217	230	218
Rpr			0	0	0	0	0	175	250	225	250	225
Lp	0	0	0	0	0	166	229	217	230	218	231	219
Lpr	0	0	0	0	0	175	250	225	250	225	250	225

Tabla 22. Cálculo de explosión para PRO-2-104, periodo 1 a 10.

Sem	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Nb	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
D	257	244	256	243	255	242	254	241	253	240	252	239	251
Nn	231	219	232	220	233	221	234	222	235	223	236	224	237
Rpr	250	225	250	225	250	225	250	225	250	225	250	225	250
Lp	232	220	233	221	234	222	235	223	236	224	237	225	238
Lpr	250	225	250	225	250	225	250	225	250	225	250	225	250

Tabla 23. Cálculo de explosión para PRO-2-104, 11 a 23.

Sem	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238	238
D	238	250	262	249	261	248	260	247	259	246	258	245
Nn	225	238	226	214	227	215	228	216	229	217	230	218
Rpr	225	250	250	225	250	225	250	225	250	225	250	225
Lp	226	214	227	215	228	216	229	217	230	218	0	0
Lpr	250	225	250	225	250	225	250	225	250	225	0	0

Tabla 24. Cálculo de explosión para PRO-2-104, periodo 24 a 35.

7.7.6. CAT-1. A continuación se presenta cálculo de la explosión para el material PRO-2-105 CAT-1. De acuerdo a la figura 10, se estableció una tasa de consumo cuatrimestral con una única aplicación del total de la cantidad solicitada. Para la presente planeación de necesidades, se estableció la aplicación del insumo para los periodos 1 y 18, por lo que las necesidades brutas para el resto de periodos serán de 0 Kg.

PRO-2-105: CAT-1.	
Tasa de consumo (Kg/cuat.)	270
Lead Time	5
Stock de seguridad (Kg)	270
Recepciones programadas (Kg)	500 (Sem -1)
Disponibilidad en almacén (Kg)	180
Costo unitario (Kg)	\$225.200
Presentación (Kg/unidad)	10

Tabla 25. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-105.

Sem	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb						270	0	0	0	0	0	0	0
Rp				500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS						270	270	270	270	270	270	270	270
D			180	680	680	410	410	410	410	410	410	410	410
Nn						0	0	0	0	0	0	0	0
Rpr						0	0	0	0	0	0	0	0
Lp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lpr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 26. Cálculo de explosión para PRO-2-105, periodo 1 a 8.

Sem	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	270	0	0	0
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
D	410	410	410	410	410	410	410	410	410	270	270	270	270
Nn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0
Rpr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0
Lp	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0
Lpr	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 27. Cálculo de explosión para PRO-2-105, periodo 9 a 21.

Sem	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
D	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
Nn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rpr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lpr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 28. Cálculo de explosión para PRO-2-105, periodo 22 a 35.

7.7.7. PE-2. A continuación se presenta cálculo de la explosión para el material PRO-2-106 PE-2. De acuerdo a la figura 10, se estableció una tasa de consumo cuatrimestral con una única aplicación del total de la cantidad solicitada. Para la presente planeación de necesidades, se estableció la aplicación del insumo para los periodos 1 y 18, por lo que las necesidades brutas para el resto de periodos serán de 0 Kg.

PRO-2-106: PE-2

Tasa de consumo (Kg/cuat.)	270
Lead Time	5
Stock de seguridad (Kg)	270
Recepciones programadas (Kg)	500 (Sem -1)
Disponibilidad en almacén (Kg)	180
Costo unitario (Kg)	\$225.200
Presentación (Kg/unidad)	10

Tabla 29. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-106.

Sem	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Nb						270	0	0	0	0	0	0	0
Rp				500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS						270	270	270	270	270	270	270	270
D			180	680	680	410	410	410	410	410	410	410	410
Nn						0	0	0	0	0	0	0	0
Rpr						0	0	0	0	0	0	0	0
Lp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lpr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 30. Calculo de explosión para PRO-2-106, periodo 1 a 8.

Sem	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	270	0	0	0
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
D	410	410	410	410	410	410	410	410	410	270	270	270	270
Nn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0
Rpr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130	0	0	0
Lp	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0
Lpr	0	0	0	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 31. Calculo de explosión para PRO-2-106, periodo 9 a 21.

Sem	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
D	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270	270
Nn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rpr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lpr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 32. Calculo de explosión para PRO-2-106, periodo 22 a 35.

Lpr	7.500	0	0	0	10.000	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700
------------	--------------	----------	----------	----------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------

Tabla 38. Tabla 34. Cálculo de explosión para PRO-2-108, periodo 1 a 11.

Sem	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nb	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	15.103	15.103	15.103	15.103	14.700	14.700	14.700
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700
D	14.737	14.737	14.737	14.737	14.737	14.737	14.734	14.731	14.728	14.724	14.724	14.724	14.724
Nn	14.663	14.663	14.663	14.663	14.663	14.663	15.066	15.069	15.072	15.076	14.676	14.676	14.676
Rpr	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	15.100	15.100	15.100	15.100	14.700	14.700	14.700
Lp	14.663	14.663	14.663	14.663	15.066	15.069	15.072	15.076	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676
Lpr	14.700	14.700	14.700	14.700	15.100	15.100	15.100	15.100	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700

Tabla 39. Cálculo de explosión para PRO-2-108, periodo 12 a 24.

Sem	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700
D	14.724	14.724	14.724	14.724	14.724	14.724	14.724	14.724	14.724	14.724	14.724
Nn	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676
Rpr	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700
Lp	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	14.676	0	0
Lpr	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	0	0

Tabla 40. Cálculo de explosión para PRO-2-108, periodo 25 a 35.

7.7.10. DAP. A continuación se presenta cálculo de la explosión para el material PRO-2-109 DAP. De acuerdo a la figura 10, se establecieron los tiempos de actividad de la fase de propagación donde se aplica este insumo, por lo que para los periodos 1, 2, 3, 4, 18, 19, 20 y 21 se verán reflejados las necesidades calculadas, mientras que para el resto de los periodos, las necesidades brutas serán de 0 Kg.

PRO-2-109: DAP	
Tasa de consumo (Kg/sem)	100,80
Lead Time	1
Stock de seguridad (Kg)	100,80
Recepciones programadas (Kg)	0
Disponibilidad en almacén (Kg)	1.225,00
Costo unitario (Kg)	\$1.520
Presentación (Kg/unidad)	25

Tabla 41. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-109.

Sem	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nb			100,8	100,8	100,8	100,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rp		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SS			100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8
D	0,0	1.225,0	1.124,2	1.023,4	922,6	821,8	821,8	821,8	821,8	821,8	821,8	821,8	821,8
Nn			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rpr			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lp		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lpr		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 42. Cálculo de explosión para PRO-2-109, periodo 1 a 11.

Sem	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,8	100,8	100,8	100,8	0,0	0,0	0,0
Rp	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SS	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8
D	821,8	821,8	821,8	821,8	821,8	821,8	721,0	620,2	519,4	418,6	418,6	418,6	418,6
Nn	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rpr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lp	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lpr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 43. Cálculo de explosión para PRO-2-109, periodo 12 a 24.

Sem	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rp	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SS	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8	100,8
D	418,6	418,6	418,6	418,6	418,6	418,6	418,6	418,6	418,6	418,6	418,6
Nn	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rpr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lp	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lpr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 44. Cálculo de explosión para PRO-2-109, periodo 25 a 35.

7.7.11. Effycane. A continuación se presenta cálculo de la explosión para el material PRO-2-110 Effycane. De acuerdo a la figura 10, se establecieron los tiempos de actividad de la fase de propagación donde se aplica este insumo, por lo que para los periodos 1, 2, 3, 4, 18, 19, 20 y 21, las necesidades brutas se verán incrementadas en una pequeña cantidad.

PRO-2-110: Effycane	
Tasa de consumo (Kg/sem)	223,02

	220,50
Lead Time	3
Stock de seguridad (Kg)	220,50
Recepciones programadas (Kg)	1.000 (Sem -1)
Disponibilidad en almacén (Kg)	275,00
Costo unitario (Kg)	\$264.700
Presentación (Kg/unidad)	25

Tabla 45. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-110.

Sem	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nb				223,02	223,02	223,02	223,02	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50
Rp		1.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SS				220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50
D	275,00	1.275,00	1.275,00	1.051,98	828,96	605,94	382,92	237,42	241,92	221,42	225,92	230,42	234,92
Nn				0,00	0,00	0,00	0,00	58,08	203,58	199,08	219,58	215,08	210,58
Rpr				0,00	0,00	0,00	0,00	75,00	225,00	200,00	225,00	225,00	225,00
Lp	0,00	0,00	0,00	0,00	58,08	203,58	199,08	219,58	215,08	210,58	206,08	201,58	197,08
Lpr	0,00	0,00	0,00	0,00	75,00	225,00	200,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	200,00

Tabla 46. Cálculo de explosión para PRO-2-110, periodo 1 a 10.

Sem	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Nb	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	223,02	223,02	223,02	223,02	220,50	220,50
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SS	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50
D	239,42	243,92	223,42	227,92	232,42	236,92	241,42	243,40	245,38	222,36	224,34	228,84	233,34
Nn	206,08	201,58	197,08	217,58	213,08	208,58	204,08	202,10	200,12	198,14	221,16	216,66	212,16
Rpr	225,00	225,00	200,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	200,00	225,00	225,00	225,00
Lp	217,58	213,08	208,58	204,08	202,10	200,12	198,14	221,16	216,66	212,16	207,66	203,16	198,66
Lpr	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	200,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	200,00

Tabla 47. Cálculo de explosión para PRO-2-110, periodo 11 a 23.

Sem	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50
Rp	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SS	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50	220,50
D	237,84	242,34	221,84	226,34	230,84	235,34	239,84	244,34	223,84	228,34	232,84	237,34
Nn	207,66	203,16	198,66	219,16	214,66	210,16	205,66	201,16	196,66	217,16	212,66	208,16
Rpr	225,00	225,00	200,00	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	200,00	225,00	225,00	225,00
Lp	219,16	214,66	210,16	205,66	201,16	196,66	217,16	212,66	208,16	0,00	0,00	0,00
Lpr	225,00	225,00	225,00	225,00	225,00	200,00	225,00	225,00	225,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 48. Cálculo de explosión para PRO-2-110, periodo 24 a 35.

D	2.952,0	2.710,1	2.468,2	2.226,2	1.984,3	1.742,4	1.500,5	1.258,6	1.016,6	774,7	532,8
Nn	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Rpr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lp	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Lpr	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla 52. Cálculo de explosión para PRO-2-111, periodo 25 a 35.

7.7.13. Ácido sulfúrico.

A continuación se presenta cálculo de la explosión para el material PRO-2-112 ácido sulfúrico.

PRO-2-112: Ácido sulfúrico	
Tasa de consumo (Kg/sem)	12.214,11
Lead Time	2
Stock de seguridad (Kg)	14.494,89
Recepciones programadas (Kg)	20.000 (Sem 1)
Disponibilidad en almacén (Kg)	9.436,00
Costo unitario (Kg)	\$708
Presentación (Kg/unidad)	A granel

Tabla 53. Datos para cálculo de la explosión de PRO-2-112.

Sem	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nb			12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214
Rp			20.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS			14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495
D		9.436	17.222	14.496	14.496	14.496	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.496
Nn			0	9.487	12.213	12.213	12.213	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214
Rpr			0	9.488	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.215
Lp	0	9.487	12.213	12.213	12.213	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.213	12.213
Lpr	0	9.488	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.215	12.214	12.214

Tabla 54. Cálculo de explosión para PRO-2-112, periodo 1 a 11.

Sem	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nb	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495
D	14.496	14.496	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.495	14.496	14.496	14.496	14.495	14.495
Nn	12.213	12.213	12.213	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.213	12.213	12.213	12.214
Rpr	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.215	12.214	12.214	12.214	12.214
Lp	12.213	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.213	12.213	12.213	12.214	12.214	12.214

SS			42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256
D	32.480	82.480	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256
Nn			208	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Rpr			208	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Lp	208	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Lpr	208	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432

Tabla 62. Cálculo de explosión para PRO-3-114, periodo 1 a 11.

Sem	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nb	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256
D	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256
Nn	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Rpr	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Lp	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Lpr	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432

Tabla 63. Cálculo de explosión para PRO-3-114, periodo 12 a 24.

Sem	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256
D	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256	42.256
Nn	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Rpr	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
Lp	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	0	0
Lpr	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	0	0

Tabla 64. Cálculo de explosión para PRO-3-114, periodo 24 a 35.

7.7.16. Ácido fosfórico. A continuación se presenta cálculo de la explosión para el material PRO-3-115 ácido fosfórico.

PRO-3-115: Ácido fosfórico	
Tasa de consumo	36.359,10
Lead Time	2
Stock de seguridad (Kg)	3.243,30
Recepciones programadas (Kg)	30.000 (Sem 0)
Disponibilidad en almacén (Kg)	4.805,00
Costo unitario (Kg)	\$5.104
Presentación (Kg/unidad)	A granel

Tabla 65. Datos para cálculo de la explosión de PRO-3-115.

Sem	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nb			36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359
Rp		30.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS			3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243
D	4.805	34.805	3.244	3.244	3.244	3.244	3.244	3.243	3.243	3.244	3.244	3.244	3.244
Nn			4.797	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.358	36.358	36.358
Rpr			4.798	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359
Lp	4.797	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.358	36.358	36.358	36.359	36.359
Lpr	4.798	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359

Tabla 66. Cálculo de explosión para PRO-3-115, periodo 1 a 11.

Sem	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nb	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243
D	3.244	3.244	3.244	3.244	3.243	3.243	3.244	3.244	3.244	3.244	3.244	3.244	3.244
Nn	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.358	36.358	36.358	36.359	36.359	36.359
Rpr	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359
Lp	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.358	36.358	36.358	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359
Lpr	36.359	36.359	36.359	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359

Tabla 67. Cálculo de explosión para PRO-3-115, periodo 12 a 24.

Sem	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Nb	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359
Rp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SS	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243	3.243
D	3.244	3.243	3.243	3.244	3.244	3.244	3.244	3.244	3.244	3.244	3.244
Nn	36.359	36.359	36.359	36.359	36.358	36.358	36.358	36.359	36.359	36.359	36.359
Rpr	36.359	36.359	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359
Lp	36.359	36.359	36.358	36.358	36.358	36.359	36.359	36.359	36.359	0	0
Lpr	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	0	0

Tabla 68. Cálculo de explosión para PRO-3-115, periodo 25 a 35.

7.8. INFORME DE NECESIDADES.

A continuación, se presenta el plan de emisión de órdenes de compra generado a partir de la explosión, de acuerdo a las cantidades de pedido calculadas y el lead time para cada material.

PLAN DE EMISIÓN DE ORDENES DE COMPRA													
Material/Semana	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PRO-2-102	0	0	0	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000
PRO-2-103	0	29.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000
PRO-2-104	0	0	0	0	0	175	250	225	250	225	250	225	250
PRO-2-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-108	7.500	0	0	0	10.000	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700
PRO-2-109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-110	0	0	0	75	225	200	225	225	225	225	225	200	225
PRO-2-111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-112	0	9.488	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.215	12.214	12.214
PRO-2-113	0	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20	20
PRO-3-114	208	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
PRO-3-115	4.798	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359

Tabla 69. Plan de emisión de compras, periodo -1 a 11.

Material/Semana	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PRO-2-102	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000
PRO-2-103	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000
PRO-2-104	225	250	225	250	225	250	225	250	225	250	225	250	250
PRO-2-105	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-106	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-107	0	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-108	14.700	14.700	14.700	14.700	15.100	15.100	15.100	15.100	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700
PRO-2-109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-110	225	225	225	225	225	200	225	225	225	225	225	200	225
PRO-2-111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-112	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.215	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214
PRO-2-113	20	20	20	30	20	20	20	20	30	20	20	20	20
PRO-3-114	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432
PRO-3-115	36.359	36.359	36.359	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359

Tabla 70. Plan de emisión de compras, periodo 12 a 24.

Material/Semana	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	TOTAL
PRO-2-102	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	5.000	6.000	0	0	176.000

PRO-2-103	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	48.000	47.000	0	0	1.596.000
PRO-2-104	225	250	225	250	225	250	225	250	225	0	0	7.075
PRO-2-105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130
PRO-2-106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130
PRO-2-107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	130
PRO-2-108	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	14.700	0	0	460.100
PRO-2-109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-110	225	225	225	225	200	225	225	225	0	0	0	6.700
PRO-2-111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRO-2-112	12.214	12.214	12.215	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	12.214	0	0	412.553
PRO-2-113	20	20	20	20	20	20	20	20	30	0	0	610
PRO-3-114	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	40.432	0	0	1.374.896
PRO-3-115	36.359	36.360	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	36.359	0	0	1.241.007

Tabla 71. Tabla 70. Plan de emisión de compras, periodo 25 a 35.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cálculo de la explosión de todos los materiales, se generó un cuadro compendio de las cantidades a ordenar para cubrir necesidades de insumos de Procesos para la producción de la zafra 2018 – 2019 de manera satisfactoria, donde se detalla únicamente, los periodos y las cantidades en Kg en que deben colocarse las ordenes de aprovisionamiento para cada uno de los materiales participes de la presente planeación de requerimientos, con el fin de que se suministren en el momento requerido mitigando la presencia de eventualidades de faltantes o incurrir en inventarios excesivos. De igual forma, se generó un total en Kg de los requerimientos de cada insumo para la cubrir toda la zafra, es decir, la sumatoria de las cantidades de insumos a ordenarse para cubrir las necesidades de los 35 periodos del horizonte de planeación.

7.9. COSTOS.

El principio de aplicación e implementación de metodologías de planeación de la producción, es suministrar las cantidades necesarias, en el tiempo y lugar requerido para cubrir las necesidades de un proceso productivo y satisfacer la demanda del mercado. El MRP no es la excepción; Todo esto conduce a la minimización de inventarios sin incurrir en el déficit, lo que implica una reducción de costos por mantenimiento de inventarios y costos de oportunidad por faltantes.

Una vez calculada la explosión para todos los materiales, se calcularon los costos que debe asumir el departamento de Procesos de Bioenergy para satisfacer los requerimientos materiales para la producción de etanol anhidro durante la zafra 2018 – 2019. En las tablas 72 a la 76, se muestran los costos derivados de la generación del MRP, donde se pueden distinguir costos individuales de materiales para cada periodo específico, costos totales por insumo para todo el horizonte de planeación, costos totales por periodo y costo total para satisfacer las necesidades de toda la zafra de producción.

COSTOS DEL MRP							
Material/Semana	-1	0	1	2	3	4	5
PRO-2-102	\$0	\$0	\$0	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000
PRO-2-103	\$0	\$16.298.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000
PRO-2-104	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$262.500	\$375.000
PRO-2-105	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-106	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-107	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-108	\$9.412.500	\$0	\$0	\$0	\$12.550.000	\$18.448.500	\$18.448.500
PRO-2-109	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-110	\$0	\$0	\$0	\$19.852.500	\$59.557.500	\$52.940.000	\$59.557.500
PRO-2-111	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-112	\$0	\$6.717.504	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512
PRO-2-113	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$7.424.000
PRO-3-114	\$193.024	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896
PRO-3-115	\$24.488.992	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336
Total por periodo	\$34.094.516	\$246.112.736	\$258.158.744	\$302.237.244	\$349.986.244	\$354.035.744	\$363.683.744

Tabla 72. Costos del MRP, periodo -1 a 5.

Material/Semana	6	7	8	9	10	11	12
PRO-2-102	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000
PRO-2-103	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000
PRO-2-104	\$337.500	\$375.000	\$337.500	\$375.000	\$337.500	\$375.000	\$337.500
PRO-2-105	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-106	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-107	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-108	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500
PRO-2-109	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-110	\$59.557.500	\$59.557.500	\$59.557.500	\$59.557.500	\$52.940.000	\$59.557.500	\$59.557.500
PRO-2-111	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-112	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.648.220	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512

PRO-2-113	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000
PRO-3-114	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896
PRO-3-115	\$185.581.440	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336
Total por periodo	\$368.157.348	\$363.683.744	\$368.152.244	\$363.684.452	\$361.534.744	\$363.683.744	\$368.152.244

Tabla 73. Costos del MRP, periodo 6 a 12.

Material/Semana	13	14	15	16	17	18	19
PRO-2-102	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000	\$19.720.000	\$23.664.000
PRO-2-103	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000
PRO-2-104	\$375.000	\$337.500	\$375.000	\$337.500	\$375.000	\$337.500	\$375.000
PRO-2-105	\$29.276.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-106	\$29.276.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-107	\$33.670.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-108	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.950.500	\$18.950.500	\$18.950.500	\$18.950.500
PRO-2-109	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-110	\$59.557.500	\$59.557.500	\$59.557.500	\$59.557.500	\$52.940.000	\$59.557.500	\$59.557.500
PRO-2-111	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-112	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.648.220	\$8.647.512
PRO-2-113	\$7.424.000	\$7.424.000	\$11.136.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000
PRO-3-114	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896
PRO-3-115	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.581.440	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336
Total por periodo	\$455.905.744	\$368.152.244	\$367.395.744	\$368.659.348	\$357.568.244	\$364.710.952	\$368.129.744

Tabla 74. Costos del MRP, periodo 13 a 19.

Material/Semana	20	21	22	23	24	25	26
PRO-2-102	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000
PRO-2-103	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000
PRO-2-104	\$337.500	\$375.000	\$337.500	\$375.000	\$375.000	\$337.500	\$375.000
PRO-2-105	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-106	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-107	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-108	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500
PRO-2-109	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-110	\$59.557.500	\$59.557.500	\$59.557.500	\$52.940.000	\$59.557.500	\$59.557.500	\$59.557.500
PRO-2-111	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-112	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512
PRO-2-113	\$11.136.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000
PRO-3-114	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896
PRO-3-115	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.581.440
Total por periodo	\$367.920.244	\$367.627.744	\$364.208.244	\$361.010.244	\$364.245.744	\$367.590.244	\$364.250.848

Tabla 75. Costos del MRP, periodo 20 a 26.

Material/Semana	27	28	29	30	31	32	33	34	35	Total por material
-----------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	--------------------

PRO-2-102	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$19.720.000	\$23.664.000	\$0	\$0	\$694.144.000
PRO-2-103	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$26.976.000	\$26.414.000	\$0	\$0	\$896.952.000
PRO-2-104	\$337.500	\$375.000	\$337.500	\$375.000	\$337.500	\$375.000	\$337.500	\$0	\$0	\$10.612.500
PRO-2-105	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$29.276.000
PRO-2-106	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$29.276.000
PRO-2-107	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$33.670.000
PRO-2-108	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$18.448.500	\$0	\$0	\$577.425.500
PRO-2-109	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-110	\$59.557.500	\$59.557.500	\$52.940.000	\$59.557.500	\$59.557.500	\$59.557.500	\$59.557.500	\$0	\$0	\$1.773.490.000
PRO-2-111	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
PRO-2-112	\$8.648.220	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$8.647.512	\$0	\$0	\$292.087.524
PRO-2-113	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$7.424.000	\$11.136.000	\$0	\$0	\$226.432.000
PRO-3-114	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$37.520.896	\$0	\$0	\$1.275.903.488
PRO-3-115	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$185.576.336	\$0	\$0	\$6.334.099.728
Total por periodo	\$367.590.952	\$364.245.744	\$360.972.744	\$364.245.744	\$367.590.244	\$364.245.744	\$311.744.744	\$0	\$0	\$12.173.368.740

Tabla 76. Costos del MRP, periodo 27 a 35.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El problema central del presente proyecto, es la ineficiencia de la gestión de stocks de insumos del departamento de procesos de Bioenergy para satisfacer los requerimientos, derivado de las fluctuaciones en la dosificación de los insumos al proceso por modificaciones necesarias para mantener la operación dentro de los límites permisibles. Partiendo de esto, se calcularon nuevamente las tasas de consumo para cada insumo de acuerdo a las modificaciones realizadas en la dosificación durante la fase de estabilización de la producción. Se evidenció que el mayor cambio se dio en los insumos aplicados en el área de fermentación debido al cambio de la variedad de levadura xp por el mix brasilero (CAT-1, PE-2 y FT-858), para las cuales se calculó su tasa de consumo de acuerdo a los tiempos de reacción de los ciclos de fermentación representados en la figura 9. Para el caso de las variedades de levadura brasilera, se tomó como referencia los tiempos de inoculación de la zafra 2017 – 2018 representados en la figura 10, a partir de la cual se determinó una tasa cuatrimestral para dichos insumos. Así mismo, otros insumos no sufrieron alteraciones como es el caso de los insumos requeridos para la clarificación del jugo y limpieza CIP, a excepción de la soda caustica, que se incrementó un poco el consumo debido al aumento aplicado a la concentración de preparación de la solución caustica para limpieza CIP de equipos y recipientes y, la dosificación continua a la columna rectificadora para subir pH del alcohol en el área de destilación. Por su parte, otros insumos como el Latostab y los sulfatos, no se consideraron para la presente planeación de necesidades, puesto que su aplicación fue eliminada debido a que no aportaban un valor significativo al proceso en contrapeso con el costo que generaban.

Una vez se actualizaron las tasas de consumo de acuerdo a las modificaciones realizadas, se realiza el análisis de la demanda donde se establece que el método que más se ajusta a las características del problema en cuestión, es la aplicación de la metodología MRP, planeación de requerimientos materiales debido a que la demanda de los insumos de proceso es dependiente de la demanda del etanol anhidro. Continuamente, se recolecta, organiza y consolida la información de entrada requerida para la generación del MRP.

Se establece el MPS, plan maestro de producción, basado en que la demanda de etanol anhidro es equivalente a la capacidad de producción de la planta, para el cual se establece un horizonte de

planeación a mediano plazo de 35 periodos con una demanda semanal de 3.360 m³, abarcando el total de la zafra 2018 – 2019.

Se realiza la codificación de los materiales (insumos) y se genera el árbol de estructura representado en la figura 4 basado en las tasas de consumo registradas en la tabla 4, asignándose los niveles en el árbol de la siguiente manera: Nivel 0 asignado al producto etanol anhidro, Nivel 1 asignado a la materia prima principal caña de azúcar, nivel 2 para los insumos dosificados directamente sobre las corrientes del proceso y nivel 3 para los insumos de utilización indirecta que sirven como apoyo al proceso, como es el caso de los químicos para la preparación de soluciones para limpieza CIP.

Ya establecido el MPS y el BOM representados en la tabla 6 y figura 12 respectivamente, se alimentó la tabla 8 fichero de inventarios como último insumo para la generación del MRP. Se realizó una revisión de las existencias de insumos en almacén y recepciones programadas con fecha corte al 31/07/2018. Adicional, se establecieron como stocks de seguridad, cantidades iguales a la tasa de consumo semanal para cada insumo, cuatrimestral para las tres variedades de levadura y para el caso de los insumos químicos almacenados en tanques, se calculó el stock de seguridad en base a la capacidad y volumen de trabajo del recipiente, donde el stock de seguridad es igual a la capacidad de trabajo del tanque en Kg menos la tasa de consumo semanal del insumo. Adicional a esto, se incluye información referente al costo unitario en COP/Kg y el algoritmo de determinación de la cantidad de pedido, que en este caso se asignó Lote a lote para todos los materiales.

Con la información colectada anteriormente, se procede a realizar el cálculo de la explosión para cada uno de los materiales, donde se hizo necesario agregar una nueva casilla de cálculo denominada “lanzamiento de cantidad real de pedido”, con el fin de ajustar las órdenes a la oferta (presentación comercial de insumos) de los proveedores. La explosión del PRO-0-100 etanol anhidro, producto de nivel superior, es prácticamente calcada al MPS, teniendo en cuenta que la demanda corresponde a la tasa de producción semanal 3.360 m³, por lo que se asignó un lead time de 1; Las ordenes de producción poseen cantidades homogéneas a lo largo del horizonte de planeación, con 117.600 m³ como producción total para satisfacer la demanda del mercado durante la zafra 2018 -2019. Para la AGR-1-101 caña de azúcar, a pesar de ser la materia prima e insumo más importante para la producción del etanol, no es cubierto por la presente planeación de

requerimientos materiales, ya que quien lo proporciona y asume los costos, es el departamento agrícola y no procesos. Sin embargo, cabe mencionar que este debe proporcionar 47.600 Ton/sem de caña de azúcar de acuerdo al tamaño del periodo establecido en el MPS.

De acuerdo a las tablas 14, 15 y 16, las cantidades correspondientes a disponibilidad en almacén y recepciones programadas para el PRO-2-102 ácido fosfórico, alcanzan a cubrir las necesidades del insumo hasta el periodo 3, emitiendo la primera orden de compra en el periodo 2 para satisfacer los requerimientos del periodo 4; De aquí en adelante, deberán colocarse pedidos que oscilan entre los 5.000 y 6.000 Kg semanales, generando un total de 176.000 Kg para cubrir la zafra completa.

Para el material PRO-2-103 cal, las existencias en almacén y recepciones programadas solo alcanzan a cubrir las necesidades netas del primer periodo, por lo que en el periodo 0 se lanza pedido por 29.000 Kg para cubrir el periodo 2, y de aquí en adelante se colocan ordenes entre los 47.000 y 48.000 Kg semanales según tablas 18, 19 y 20, cubriendo la zafra con un total de 1.596.000 Kg.

La disponibilidad en almacén y recepciones programadas del PRO-2-104 floculante de acuerdo a las tablas 22, 23 y 24, cubren las necesidades netas del material hasta el periodo 5, se emite la primera orden en el periodo 4 por 175 Kg para cubrir las necesidades del periodo 6, y de aquí en adelante se colocan ordenes que oscilan entre los 225 y 250 Kg semanales, cubriendo el total de la zafra con una cantidad de 7.075 Kg.

Para los materiales PRO-2-105 CAT-1, PRO-2-106 PE-2 y PRO-2-107 FT-858, de acuerdo a la figura 10, se estableció una tasa de consumo cuatrimestral con una única aplicación del total de la cantidad solicitada. Para la presente planeación de necesidades, se estableció la aplicación del insumo para los periodos 1 y 18, por lo que las necesidades brutas para el resto de periodos serán de 0 Kg. Para los 3 materiales, la disponibilidad en almacén y recepciones programadas cubren las necesidades netas hasta periodo 17, colocándose una única orden de compra de 130 Kg de cada una en el periodo 13 para satisfacer las necesidades del periodo 18.

De acuerdo a las tablas 34, 35 y 36, el material PRO-2-108 urea, deberá realizarse un pedido de 7.500 Kg en el periodo -1 para cubrir los requerimientos del periodo 1, de igual forma en el periodo 2 se tiene una recepción programada por 50.000 Kg que cubre hasta el periodo 4, de aquí en

adelante, deberá colocarse pedidos entre los 14.700 y 15.100 Kg semanales, cubriendo el total de la zafra con una cantidad de 460.100 Kg.

Los materiales PRO-2-109 DAP y PRO-2-111 antiespumante de acuerdo a las tablas 42 a 44 y 50 a 52 respectivamente, no requieren ningún lanzamiento de pedido, puesto que la sumatoria de las existencias en almacén y las recepciones programadas, son suficientes para satisfacer las necesidades netas del insumo durante toda la zafra de producción.

Para el material PRO-2-110 Effycane, las existencias en almacén y recepciones programadas alcanzan a cubrir las necesidades netas de los periodos 1 al 4, por lo que en el periodo 2 se lanza pedido por 75 Kg para cubrir el periodo 5, y de aquí en adelante se colocan ordenes entre los 200 y 225 Kg semanales según tablas 46, 47 y 48, cubriendo la zafra con un total de 6.700 Kg.

El material PRO-2-112 ácido sulfúrico, la disponibilidad en almacén y las recepciones programadas son suficientes para cubrir el primer periodo, por lo que de ahí en adelante se colocan ordenes semanales por 12.214 Kg según tablas 54, 55 y 56, para una cantidad de 412.553 Kg para el total del horizonte de planeación.

De acuerdo a las tablas 58, 59 y 60, las existencias en almacén y recepciones programadas para PRO-2-113 bioclean, cubren las necesidades netas hasta el periodo 6, colocándose la primera orden en el periodo 5 para cubrir los requerimientos del periodo 7, de aquí en adelante se lanzan pedidos que oscilan entre 20 y 30 Kg semanales, cubriendo el total de la zafra con una cantidad de 610 Kg.

Para el material PRO-3-114 soda caustica y PRO-3-115 ácido fosfórico, se lanzan pedidos desde el inicio del horizonte de planeación por 40.432 Kg y 36.359 Kg semanales respectivamente; Se requieren 1.374.869 Kg de soda concentrada y 1.241.007 Kg de ácido fosfórico para satisfacer las necesidades totales de la zafra.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cálculo de la explosión de todos los materiales, se generó un cuadro compendio de las cantidades a ordenar para cubrir necesidades de insumos de Procesos para la producción de la zafra 2018 – 2019 de manera satisfactoria, donde se detalla únicamente, los periodos y las cantidades en Kg en que deben colocarse las ordenes de aprovisionamiento para cada uno de los materiales participantes de la presente planeación de requerimientos, con el fin de que se suministren en el momento requerido mitigando la presencia de eventualidades de faltantes o incurrir en inventarios excesivos. De igual forma, se generó un

total en Kg de los requerimientos de cada insumo para la cubrir toda la zafra, es decir, la sumatoria de las cantidades de insumos a ordenarse para cubrir las necesidades de los 35 periodos del horizonte de planeación. Los insumos PRO-2-109 y PRO-2-111 son los únicos insumos que no requieren la colocación de órdenes de compra, puesto las existencias en almacén más las recepciones programadas, son suficientes para cubrir el total de las necesidades de toda la zafra.



Figura 13. Costos del MRP por periodo.

En las tablas 72 a la 76 están representados los costos que Bioenergy debe acarrear para satisfacer las necesidades de insumos para la producción de etanol por parte del departamento de Procesos. A partir de la información consignada en estas y en la figura 13, se observa que los costos por periodo a lo largo del horizonte de planeación tienen una tendencia creciente desde el periodo -1 hasta el periodo 6 que corresponde a la época donde se consumirán las existencias en almacén y las cantidades correspondientes a las recepciones programadas; También se puede resaltar que el periodo con costos más elevados es el periodo 13 por valor de \$455.905.744 debido a que en este se emite la única orden de compra de las variedades de levadura seca (PRO-2-105, PRO-2-106 y PRO-2-107) para satisfacer los requerimientos de estos materiales en el periodo 18; Así mismo, se evidencia que los periodos 34 y 35 proporcionan costos por \$0, ya que no se emiten órdenes de compra debido al lead time de los materiales y a que son los periodos finales del horizonte de

planeación, por lo que no se desean existencias para el periodo de parada de planta donde no se consumirán los insumos.

Si se analizan individualmente los costos por material, se puede observar que los insumos de aplicación indirecta al proceso son de los que mayor costo generan en el MRP, siendo el PRO-3-115 (ácido fosfórico para CIP) el insumo de mayor costo por valor de \$6.344.099.728 y el PRO-3-114 (soda caustica) en tercer lugar con \$1.275.903.488, el segundo insumo que mayor costo genera es el PRO-2-110 (Effycane) por valor de \$1.773.490.000 con un 52,03%, 10,48% y 14,5% del costo total respectivamente, de acuerdo a la figura 14, mientras que otros como el PRO-2-109 (DAP) y PRO-2-111 (Antiespumante) generan costos por \$0.

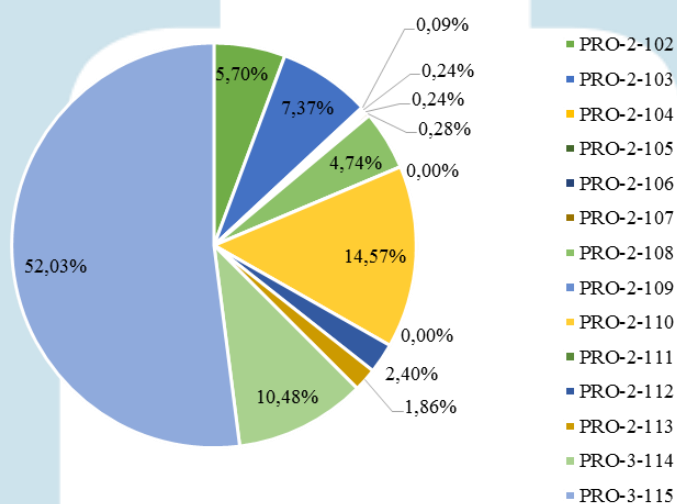


Figura 14. Costos del MRP por material.

Por último, el MRP genera un costo total por valor de \$12.173.368.740, que es el valor que Bioenergy debe para cubrir la totalidad de las necesidades de insumos requeridos por el departamento de procesos para la producción de las cantidades establecidas en el MPS, con el fin de satisfacer la demanda de etanol anhidro en el mercado.

9. RECOMENDACIONES

A partir del trabajo desarrollado anteriormente, se dan las siguientes recomendaciones al departamento de procesos de Bioenergy Zona Franca SAS:

1. Adoptar la presente planeación de requerimientos materiales como sistema de gestión y control de stocks de insumos para el departamento de procesos de Bioenergy, ya que las cantidades calculadas están ajustadas a las necesidades reales de la producción.
2. El MRP es una metodología de planeación y control de la producción para horizontes a corto o medio plazo, por tanto, si se presentan cambios en el plan maestro de producción por cualquier eventualidad, deberá ajustarse el MRP a las nuevas cantidades registradas en el MPS, con el fin de actualizar el plan de emisión de órdenes de compra.
3. Realizar seguimiento a las tasas de consumo con el fin de verificar que estas continúan acorde al consumo real con el paso del tiempo; Si se realizan nuevas modificaciones en la dosificación de uno o más insumos, deberá realizarse el debido ajuste en la tasa de consumo y en el MRP con el fin de actualizar las cantidades de pedido en el plan de emisión de órdenes de compra. Así mismo, si se decide realizar la aplicación de nuevos insumos al proceso, estos deberán incluirse al MRP.
4. Ejecutar el MRP mediante la implementación de algún ERP con el fin de proporcionar comodidad y mayor precisión en los cálculos, además de facilitar el proceso de actualización de datos, en caso de variaciones en el MPS o tasas de consumo de tal forma que se ajuste correctamente el sistema de gestión de stocks de insumos.
5. Utilizar indicadores con el fin de medir el desempeño del MRP como nuevo sistema de gestión de stocks de insumos. Se propone usar por lo menos, los dos siguientes:
 - i. Satisfacción de necesidades de insumos:

$$\frac{\textit{Disponibilidad}}{\textit{Tasa de consumo}}$$

Donde resultados >1 será satisfactorio y ≤ 1 no satisfactorio.

- ii. Eficacia (cumplimiento mensual):

$$\frac{\textit{No. de necesidades cubiertas satisfactoriamente en el mes}}{30} * 100$$

6. Evaluar si existen productos alternativos al PRO-3-115 ácido fosfórico, que cumpla con su misma función y por el que pueda ser reemplazado sin crear alteraciones en el sistema o en su efecto, cotizar con otros proveedores y determinar si hay ofertas más favorables que la brindada por el actual proveedor; Esto con el ánimo de minimizar costos de producción por utilización de insumos en el proceso, ya que es con gran diferencia, el insumo que genera los mayores costos dentro de la presente planeación de requerimientos materiales.
7. Realizar pruebas para evaluar si el uso del material PRO-2-110 Effycane realmente aporta un valor significativo al proceso en balance con el alto costo generado o en su efecto, al igual que con el ácido fosfórico, evaluar productos alternativos que suplan su función a menor costo.

10.CONCLUSIONES

Se realizó la descripción del proceso llevado a cabo por Bioenergy para la obtención de etanol anhidro a partir de caña de azúcar, puntuando cada una de las etapas y variables de operación que se deben asegurar para garantizar que el proceso se desarrolle en óptimas condiciones. Algunas de estas variables de operación requieren la adición de cantidades específicas de insumos en etapas puntuales del proceso para mantenerse dentro de los límites permisibles de la producción. Bioenergy se ha visto obligado a realizar modificaciones dentro de su proceso en cuanto a insumos se refiere con el fin de obtener una producción estable y estandarizada.

Se realizó el cálculo de las tasas de consumo para cada insumo basado en las modificaciones realizadas en su dosificación durante la fase de estabilización de producción, ajustándose a las necesidades reales del proceso. Se encontró que una de los mayores causantes de estas fluctuaciones, fue el cambio de variedad de levadura utilizada en el área de fermentación; Esto acarreo una serie de cambios, ya que los requerimientos, medios y condiciones óptimas para el máximo desempeño, varía de una levadura a la otra. Se calcularon como base tasas de consumo diarias, a excepción de los insumos utilizados para limpieza CIP los cuales se calculó con periodicidad semanal y las variedades de levadura, cuatrimestral.

Se realizó análisis de la demanda para el producto principal y los insumos requeridos para su elaboración. Se encontró que la demanda del etanol anhidro posee la característica de ser independiente y determinística, por lo que se conoce con certeza las cantidades que deben producirse. Para los insumos en cambio, su demanda es dependiente de la demanda del etanol anhidro. Esta característica facilitó la elección del MRP como sistema de gestión de stock ideal para el control de inventarios de los insumos de Procesos, puesto que los productos con demandas dependientes son susceptibles a ser sometidas a metodologías de planeación y control de producción.

Se recolecto la información de entrada necesaria para la generación del MRP. Se estableció un horizonte de planeación a mediano plazo de 35 periodos cuya extensión es igual a una semana, se generó el MPS con una producción homogénea de $3.360 \text{ m}^3/\text{sem}$, se realizó la codificación y lista de materiales BOM donde se clasificaron los insumos de acuerdo a su utilización en 4 niveles (0 a

3), asignándose nivel 0 al etanol anhidro, nivel 2 a insumos directos y nivel 3 a insumos indirectos. Se consolidó el fichero de inventarios alimentándose con información obtenida a partir de la revisión de existencias en almacén, lead time, recepciones programadas y stock de seguridad previamente determinado. Se generó el MRP realizando el cálculo de la explosión para cada uno de los materiales tomando como base las tasas de consumo ajustadas y la información consignada en el fichero de inventarios; Se evidencia que para la mayoría de materiales, las existencias en almacén y las recepciones programadas alcanzan a cubrir las necesidades de los primeros periodos y otros como el DAP y antiespumante logran ser cubiertos durante la totalidad del horizonte de planeación. De acuerdo a las cantidades obtenidas en el MRP, se estableció un plan de emisión de órdenes de compra, donde evidencia que las cantidades de pedido para cada uno de los insumos son homogéneas y varían muy poco a lo largo del horizonte de planeación, aunque se resaltan casos especiales como el de las variedades de levadura que requiere colocar una única orden en el periodo 13 para satisfacer las necesidades del periodo 18, o nuevamente, el caso del DAP y antiespumante que no requiere la colocación de ningún pedido durante toda la zafra de producción.

El MRP genera a Bioenergy un costo de \$12.173.368.740 para cubrir la totalidad de los requerimientos de insumos de procesos para la producción de etanol anhidro de la zafra 2018 - 2019, del cual un 52% se le atribuye a la adquisición de ácido fosfórico para preparación de soluciones CIP, un 14,5% destinado para las necesidades de Effycane para su utilización en el área de fermentación y un 10,5% para abastecer soda caustica al proceso. El 23% restante, se atribuye al costo de los demás materiales, a excepción del DAP y antiespumante que no genera costo, ya que no es necesario la colocación de ninguna orden de compra.

Se realizó la recomendación de evaluar alternativas de otros productos y/o proveedores que puedan sustituir las funciones realizadas por el ácido fosfórico y el Effycane en el proceso con el fin de minimizar costos.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bernal, C. (2010). Metodología de la investigación, tercera edición. Bogotá, Colombia: Pearson Educación.

Nahmias, S. (2014). Análisis de la producción y las operaciones. Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

Bowersox, D., Closs, D. y Cooper, M. (2007). Administración y logística en la cadena de suministros. Segunda edición. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

García, J. (2014). Contabilidad de costos. Cuarta edición. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

Sánchez, J., Mora, C., Cortes, G., Hernandez, D. y Ferrer, J. (2013). Análisis comparativo de modelos matemáticos para calcular los niveles de inventario y minimizar los costos de almacén de refacciones de una empresa vidriera. Revista de ingeniería industrial, Vol. 7, pp. 37-50.

Arcusin, L., Rossetti, G. y Quiroga, O. (2015). Optimización del sistema de inventario de materias primas en una empresa productora de golosinas. Revista Iberoamericana de Ingeniería industrial, vol. 7, pp. 16-181.

Liévano, M. y Villada J. (2013). Un modelo de dinámica de sistemas para la administración de inventarios. Revista soluciones de posgrado EIA, vol. 6, pp. 121-135.

Aguilar, N. (2007). Bioetanol de la caña de azúcar. Veracruz, México: Avances en investigación agropecuaria, vol. 11, pp. 25-39.

Zumalacarregui, L., Pérez, O., Lombardi G., Rodríguez, P. y Zumalacarregui, B. (2008). Calculo del beneficio ambiental de la caña de azúcar para la producción de etanol combustible. Cuba: Ingeniería y competitividad, vol. 10, pp. 65-71.

Castro, J., Stable, K., Acosta, J., Estévez, C. y Díaz, J. (2007). Etanol hidratado como combustible sustituto de la gasolina en Cuba. Cuba: Transporte, desarrollo y medio ambiente, vol. 27, pp. 45-49.

Mantilla, J., Galeano, C. y Muñoz, A. (2016). Mezclas gasolina-etanol en motores de combustión interna en Colombia. Bogotá, Colombia: Revista Mutis, vol.6, pp. 41-53.

Bioenergy (2017-2018). GI-PRO-F-021: Formato de consumo de insumos – Fermentación. Meta, Colombia.

Bioenergy (2017-2018). GI-PRO-F-022: Formato de consumo de insumos – Preparación de químicos. Meta, Colombia.

Vasco, H., González, J. y Uribe, G. (2018). Procedimiento de operación del área de tratamiento y evaporación de jugos, área 120-130 [versión 1]. Meta, Colombia: Bioenergy Zona Franca SAS.

Vasco, H., González, J. y Uribe, G. (2018). Procedimiento de operación del área de fermentación, área 140 [versión 1]. Meta, Colombia: Bioenergy Zona Franca SAS.

Álvarez, E., Hurtado, J. y Peña, C. (2018). Procedimiento de operación del área de destilación y deshidratación, área 150 [versión 1]. Meta, Colombia: Bioenergy Zona Franca SAS.

Álvarez, E., Hurtado, J. y Peña, C. (2018). Procedimiento de operación del área de evaporación de vinazas, área 220 [versión 1]. Meta, Colombia: Bioenergy Zona Franca SAS.

Excel (versión 2016) [software]. (2016). Microsoft.

Visio (versión 2016) [software]. (2016). Microsoft.