

**INFORME NO. 2 DE PASANTÍA
MATERIAS PRIMAS Y FERMENTACIÓN
INCAUCA S.A.**

KLINTON ABRAHAM HURTADO GARCÍA

**Universidad de San Buenaventura
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2014**

**INFORME NO. 2 DE PASANTÍA
MATERIAS PRIMAS Y FERMENTACIÓN
INCAUCA S.A.**

KLINTON ABRAHAM HURTADO GARCÍA

**TRABAJO DE GRADO
PRACTICA EMPRESARIAL**

**FERNANDO A. CUERVO C.
TUTOR**

**Universidad de San Buenaventura
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2014**

INDICE

1. INTRODUCCION	4
2. CONSIDERACIONES GENERALES.....	5
3. TANQUES DE MIELES	8
4. TANQUE DE MEZCLA.....	10
5. PROPAGADORES	13
6. FERMENTACIÓN.....	16
7. SEDIMENTADOR	18
8. ACIDULADOR.....	19
9. TANQUE DE MOSTO	20
10. MONITOREO DEL PROCESO	20
11. BIBLIOGRAFIA	24

1. INTRODUCCION

Para todo tipo de transformación se necesita de materias primas, que deben tener lugar adecuado para su almacenamiento, su adecuación y la entrada al proceso.

La miel A y miel B provenientes de la elaboración de azúcar, hacen parte de las materias primas de la destilería del ingenio del cauca (Incauca), estas son almacenadas en tanques.

Se procede a hacer la mezcla de las mieles en el T-124 (tanque de mezcla), para luego ser enviada al proceso de fermentación.

Incauca S.A. lleva a cabo la fermentación por medio de una levadura propia llamada GRX que produce invertasa, esta levadura rompe los enlaces glucosídicos de la sacarosa para poder dejar los azúcares en forma de glucosa y fructuosa de este modo proceder a consumirlos transformándolos dentro de esta por medio de la fermentación anaeróbica en alcohol (C_2H_5OH) y dióxido de carbono (CO_2).

Las muestras de la cantidad de azúcares reductores en las mieles que se emplean en la destilería son tomadas diariamente, esos resultados son dados con nombre de azúcares totales reductores (ATR) y corresponden al (%p/p) de glucosa en la miel, el procedimiento de análisis es llevado a cabo por la **Técnica Cromatografía HPLC** (cromatografía líquida de alta eficacia), la máquina usada es para compuestos no volátiles con alto punto de ebullición, esta se encarga de leer las cantidades de sacarosa, glucosa y fructuosa; se eleva la temperatura de la muestra con el fin de trasladar los azúcares en forma líquida al detector de índice de refracción, arrojando por medio del software incorporado el resultado de cada uno de los azúcares mencionados, al tener el contenido de sacarosa se divide por 0.95 (conversión de sacarosa a glucosa) y es sumado a las cantidades reportadas de glucosa y fructuosa; dando como resultado final la cantidad de Azúcares Totales Reductores.

2. CONSIDERACIONES GENERALES

Fermentación: La fermentación puede definirse como un grupo de reacciones químicas catalizadas por microorganismos que convierten compuestos orgánicos complejos en compuestos más simples. La fermentación para obtener etanol es un proceso microbiológico en el cual los monosácaridos (Glucosa y Fructosa) son convertidos por la levadura en etanol, CO₂ y energía. (Incauca S.A, 2010)

Los subproductos: son adicionales al etanol y CO₂, los azúcares son consumidos por la levadura para su propio desarrollo y formación de subproductos como glicerol, ácido succínico, ácido acético, etc. (Incauca S.A, 2010)

La invertasa: El azúcar presente en el alimento (Sustrato) es sacarosa (disacárido). Esta molécula se hidroliza para convertirse a glucosa y fructosa por la enzima llamada 'invertasa' localizada en la membrana periplásmica de la espora de levadura. La transferencia de glucosa/fructosa dentro de la célula de levadura está asociada con el sistema de transporte de la membrana. (Incauca S.A, 2010)

Reacción química (Producción de Etanol): Cuando la levadura metaboliza azúcar a etanol y CO₂ bajo condición anaerobia, se presentan una serie de reacciones químicas dentro de la levadura. Una síntesis de las reacciones puede expresarse en la reacción química (Imagen 1).

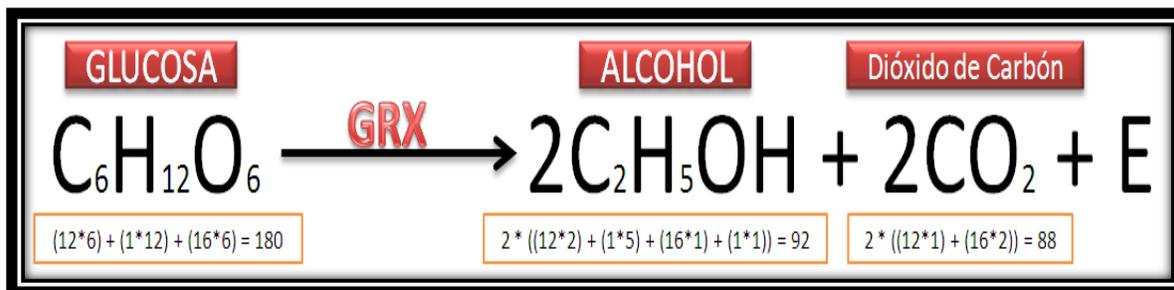


Imagen 1. Ecuación ideal de la transformación de glucosa a alcohol, fuente: autor.

Durante esta reacción química (Imagen 1) se libera energía en forma de calor, es decir, es una reacción exotérmica.

El rendimiento teórico de la reacción con 100 kg de azúcar (glucosa) se obtiene teóricamente un rendimiento de 51.11 kg de etanol y 48.89 kg de CO₂ (Ecuación 1).

$$100 \text{ kg Glucosa} * \left(\frac{1 \text{ kmol de Glucosa}}{180 \text{ kg de Glucosa}} \right) * \left(\frac{2 \text{ kmol de Etanol}}{1 \text{ kmol de Glucosa}} \right) * \left(\frac{46 \text{ kg de Etanol}}{1 \text{ kmol de Etanol}} \right) = 51.11 \text{ kg Etanol}$$

Ecuación 1. Rendimiento teórico de la reacción con 100 kg de glucosa.

La levadura es un organismo viviente que durante su desarrollo pasa por las siguientes etapas (Imagen 2):

- Fase de Latencia – Adaptación al ambiente.
- Fase Exponencial o Logarítmica – La levadura se multiplica exponencialmente.
- Fase Estacionaria – Detenimiento de la multiplicación de las células debido al agotamiento de nutrientes.
- Fase de Muerte – La levadura decae debido al agotamiento de nutrientes.

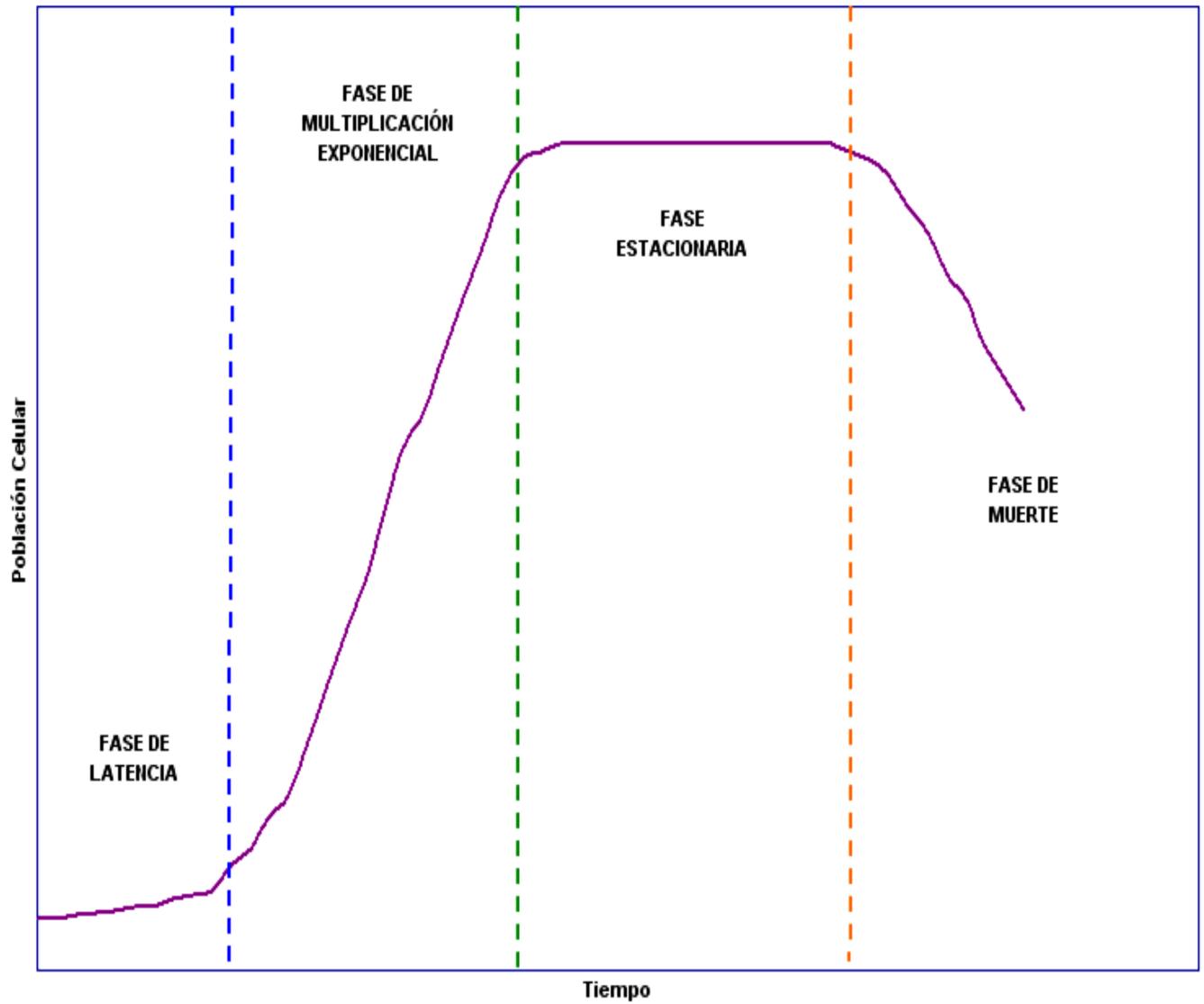


Imagen 2. Curva de crecimiento de la levadura, fuente: (Incauca S.A, 2010)

3. TANQUES DE MIELES

Para la llegada de las mieles provenientes de la producción de azúcar se hace uso de 4 tanques en acero al carbón A36, cada uno con una capacidad distinta de volumen (Cuadro 1).

Tanque	Capacidad en m ³
#1	640
#2	1067
#3	1067
#4	988

Cuadro 1. Volumen de cada tanque de almacenamiento.

La tubería por la cual se suministra miel A puede descargar hacia los 4 tanques, mientras que la tubería por donde llega la miel B descarga en los primeros 3 tanques.

Las mieles almacenadas en estos tanques deben de ser caracterizadas para el uso de diferentes materias primas, después son bombeadas hasta el tanque de mezcla para efectuar su correcta dilución (Imagen 3).

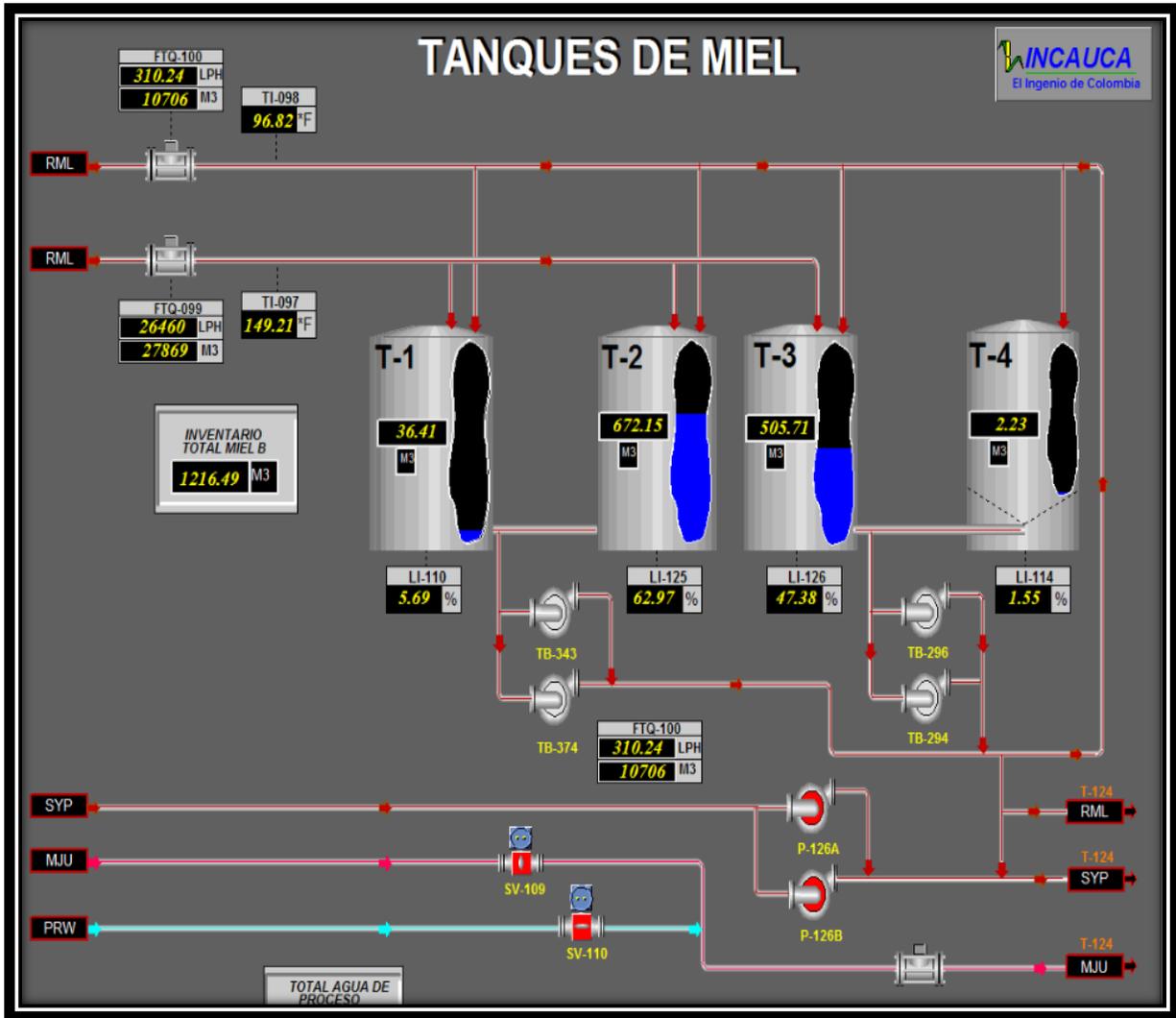


Imagen 3: Tanques de mieles, fuente: pantallazo del cuarto de control de la Destilería del Ingenio del Cauca (INCAUCA S.A.).

4. TANQUE DE MEZCLA

Es necesario ajustar el consumo de mieles con respecto a los ATR de las mieles almacenadas para evitar cambios en las producciones para el consumo de la levadura. La dilución se hace con agua para disminuir sus ATR y ayudar al transporte de la mezcla, que se realiza a través de tuberías en acero.

Esta mezcla se calienta por medio de vapores que son inyectados aumentando su temperatura evitando la contaminación de esta, que posteriormente es dirigida a la fermentación.

En la etapa de acondicionamiento se cuenta con medidores de flujo los cuales por medio de válvulas automáticas miden y controlan el flujo que se desea disponer hacia el tanque de mezcla y hacia la fermentación.

La miel A contiene mayor cantidad de azúcares totales reductores (ATR) (67.5%) que la miel B, la miel B va a tener mayor cantidad de azúcares totales reductores (ATR) (63%) que la meladura.

La mezcla que es dirigida hacia el área de fermentación tiene un promedio de 55% de azúcares totales reductores (ATR).

Los azúcares totales reductores (ATR) se deben determinar diariamente para cuantificar los azúcares destinados a la fermentación, esto se hace por medio de unas cajas muestreadoras (ubicadas en la tubería para cada materia prima) estas nos permiten obtener una muestra pasados cada 10 minutos, acumulándolas durante las 24 horas de operación por día, en un frasco obteniendo una mezcla homogénea con los azúcares totales reductores de cada materia prima consumida durante el día, estas son llevadas al laboratorio para medir el porcentaje de azúcares totales reductores.

Cuando la mezcla en el tanque (T-124) está en una temperatura promedio de 200°F (93.3°C), es bombeada hacia el tanque T-347, para llegar hasta este debe pasar por unos calentadores llamados M-347 (A/B), a los cuales se les inyecta vapor de 250°F

(121.1°F) para que la mezcla suba de temperatura para llegar al tanque (T-347) con una temperatura promedio de 220°F (104.4°C).

El transporte de mezcla con alta temperatura y la inyección de vapor introducida al M-347 (A/B) se realizan para evitar la contaminación de esta.

En el T-124 diariamente se debe conocer la densidad promedio de la mezcla suministrada a la fermentación para calcular la eficiencia, a la mezcla también se le toman a diario los azúcares totales reductores (ATR) de igual forma que las mieles, el ácido láctico y sólidos insolubles.

Todos los insumos y materiales empleados en esta etapa deben de ser pasados a informes escritos que pasan a ser archivados y guardados, como también lo es el consumo de mieles, el consumo de agua y el consumo de vapor al igual que los datos determinados por el laboratorio de la Destilería.

La mezcla almacenada en el T-347 es bombeada al propagador de levadura (R-305), a los fermentadores #1, #2, #3, #4 y #5 (R-311, R-315, R-312, R-313, R-314), por lo general la mezcla no es bombeada al último fermentador, ya que lo que se espera en este es que su grado alcohólico aumente sin adición de más azúcares.

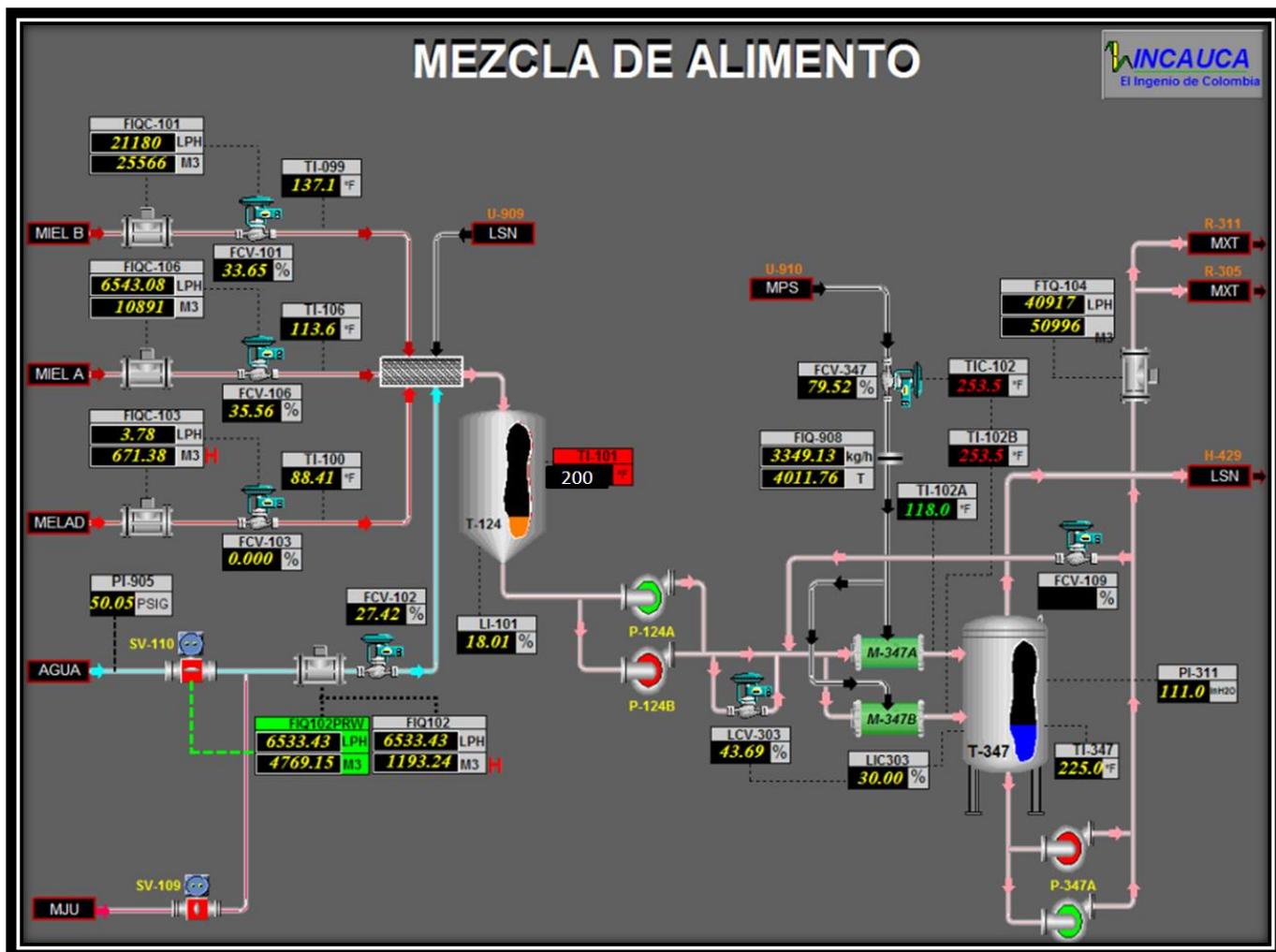


Imagen 4. Mezcla de alimento asía Fermentación (T-124, M-347 y T-347), fuente: pantallazo del cuarto de control de la Destilería del Ingenio del Cauca (INCAUCA S.A.).

5. PROPAGADORES

La etapa de propagación requiere una perfecta coordinación entre el inicio de la propagación a escala laboratorio, el alistamiento de los tanques en la sección de propagación, la disponibilidad de materias primas y servicios (vapor, CIP, energía eléctrica, agua de proceso, miel B, aire, etc.). La limpieza y pasteurización de los equipos se realizan con previa programación, evitando un tiempo superior a 12 horas después de haber preparado el tanque y su inoculación.

La eliminación de la etapa de sanitización y el no uso de vapor para la limpieza y pasteurización del medio durante la etapa de propagación facilita la contaminación por Bacterias ácido lácticas, principal fuente de contaminación en el proceso de fermentación de alcohol. La contaminación en las primeras etapas del proceso conlleva a las bacterias a competir con la levadura por nutrientes (azúcar, vitaminas, aminoácidos, etc.) presentando un crecimiento exponencial, a diferencia del crecimiento de la levadura que permanece en estado de latencia.

En el laboratorio se desarrolla la propagación de la levadura GR-X por etapas, con el objetivo de alcanzar la población necesaria para continuar la propagación de estas a nivel de planta y posteriormente iniciar el proceso de fermentación. Generalmente se conserva y se mantiene el cultivo puro y viable de levadura en un “slant” (tubo de ensayo con levadura). En INCAUCA S.A. se optó por conservar la levadura aplicando el método de liofilización y posterior sellado al vacío, considerado como el método más adecuado para la preservación de microorganismos porque garantiza un periodo de preservación superior a 5 años.

- **Propagación de levadura (etapa laboratorio):** En esta etapa las células de levadura provenientes del “Slant” (Tubo de ensayo con células en un Cultivo Puro) se propagan cuidadosamente en el laboratorio hasta obtener 15 litros de levadura. La masa de células que se obtiene en el laboratorio se envía a la sección de propagación en la planta de fermentación. (Incauca S.A, 2010)

- **Propagación de levadura en planta I:** En esta etapa, las células de levadura provenientes del laboratorio se transfieren al Tanque de Cultivo de Levadura I (R-303) para continuar con su crecimiento y reproducción. (Incauca S.A, 2010)

En el Tanque de Cultivo se deben tener condiciones asépticas para evitar la contaminación de la Levadura, es decir, deben estar libres de suciedad y gérmenes que puedan contribuir a la contaminación del sistema. (Incauca S.A, 2010)

- **Propagación de levadura en planta II (activación de levadura):** Posterior a la propagación en el Tanque de Cultivo I (R-303), la población de levadura se transfiere en su totalidad al Tanque de Cultivo II (R-305), continuando así con el escalado de la levadura hasta obtener una población de células suficiente para iniciar el proceso de fermentación. En esta etapa se lleva a cabo una activación de la levadura para lo cual se le suministra mezcla de sustrato garantizando una concentración de azúcares en el rango de 5-8 %, nutrientes (Fosfato de Diamonio), ácido sulfúrico, micronutrientes y aire. Al igual que en el tanque de cultivo I (R-303), en el tanque de cultivo II (R-305) se deben garantizar condiciones asépticas para evitar la contaminación de la levadura. (Incauca S.A, 2010)

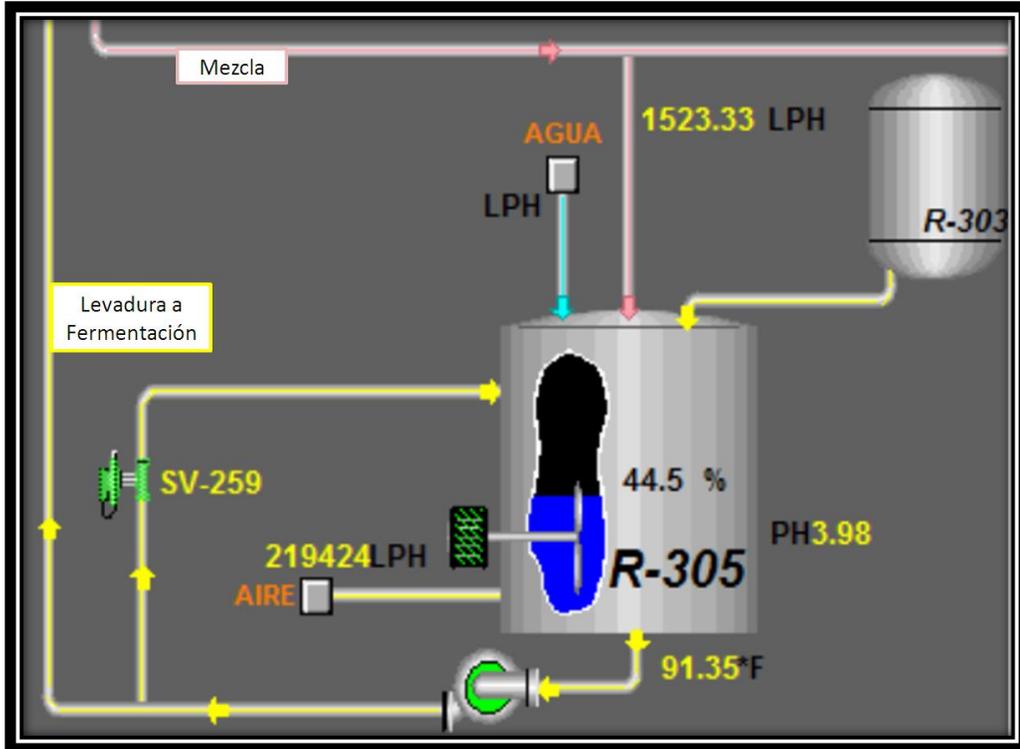


Imagen 5. Propagador R-305, fuente: pantallazo del cuarto de control de la Destilería del Ingenio del Cauca (INCAUCA S.A.).

6. FERMENTACIÓN

Proceso bioquímico efectuado por las levaduras en el que los azúcares presentes en la mezcla de alimento son transformados en etanol y dióxido de carbono, principalmente. Constituye la etapa de mayor cuidado, por ser en la que se genera el producto de interés. En esta etapa se deben manejar condiciones específicas de temperatura, pH, concentración de azúcares y nutrientes, para el desarrollo y buen desempeño de las levaduras. (CENICANA)

El proceso de fermentación consiste en convertir los azúcares presentes en la materia prima que proviene de la fábrica, en etanol y gas carbónico por medio de la acción de las levaduras.

La fermentación continua se opera con cinco fermentadores en serie. Se tiene Miel B y Miel A como materia prima, la cual se alimenta a los cinco fermentadores mezclada con agua (R-311, R-315, R-312, R-313 y R-314). Los fermentadores R-311, R-315 y R-312 se alimentan con vinaza diluida (proveniente de la destilación). El fermentador R-311 además es alimentado con agua.

Todos los fermentadores están provistos con:

- Agitadores para mantener todo el volumen del fermentador en una condición uniforme.
- Intercambiadores de Calor (Enfriadores) para remover el calor generado por la reacción exotérmica y con el fin de controlar la temperatura óptima en el fermentador.
- Tubería de transferencia o línea de rebose entre fermentadores.
- Bomba de recirculación de mosto.
- El mosto fermentado del cuarto fermentador (R-314) se envía al Tanque de Sedimentación de Levadura (S-331).
- El CO₂ generado en la fermentación se envía al Lavador de Gases (C-311) para recuperar el etanol contenido en el gas y este es liberado en la atmosfera.

Al salir del último fermentador se obtiene un producto conocido como mosto o vino fermentado que contiene una concentración de 10,5% (v/v) de alcohol. Además, contiene agua, sólidos y levadura, que se recupera en el tanque de sedimentación para ser usada nuevamente en el proceso.

El mosto o vino fermentado obtenido se envía por tubería a un tanque donde de forma continua sigue al proceso de destilación para continuar la separación del etanol producido llegando primero a la columna mostera la que da inicio al proceso de destilación.

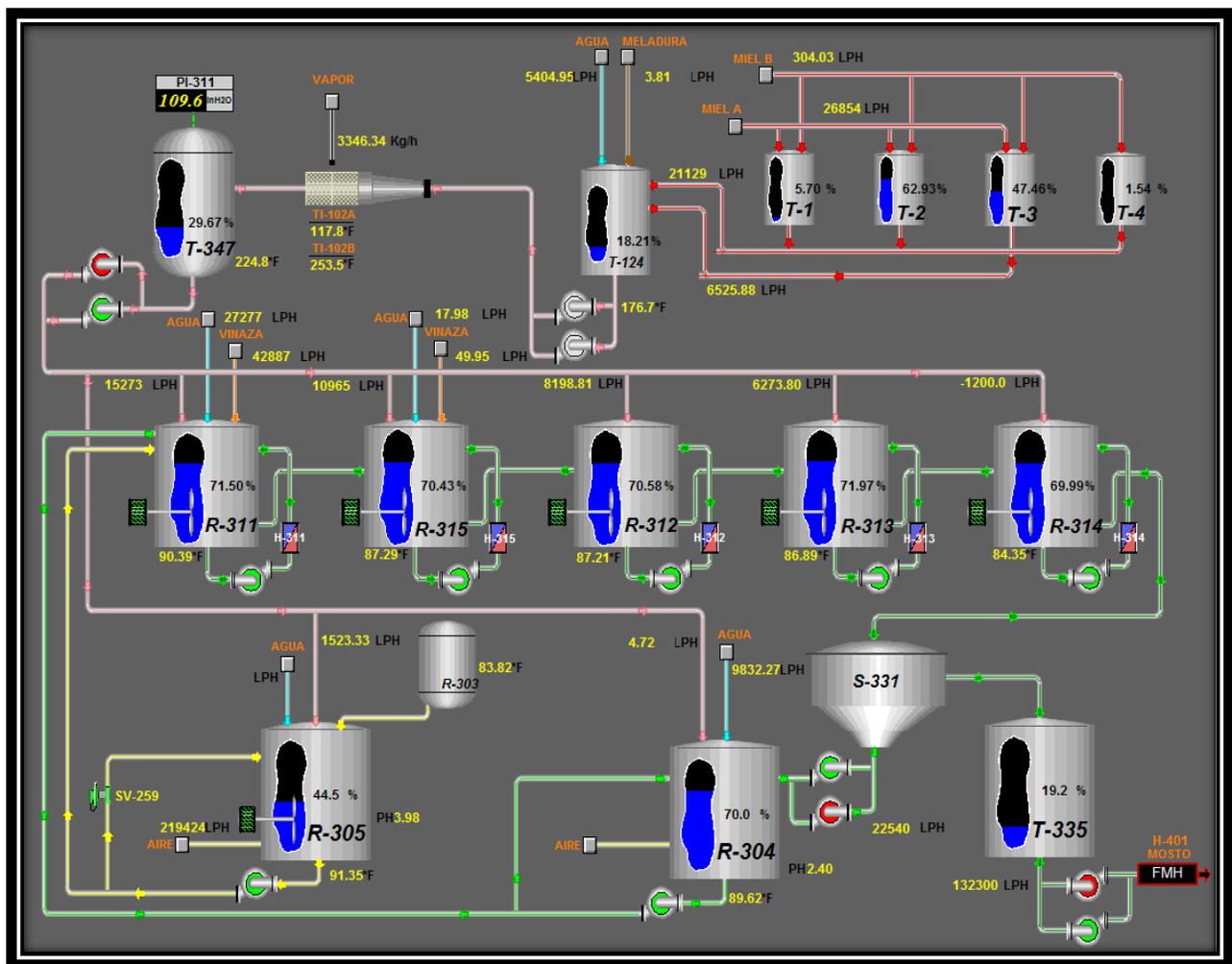


Imagen 4. Materias primas y fermentación, fuente: pantallazo del cuarto de control de la Destilería del Ingenio del Cauca (INCAUCA S.A).

8. ACIDULADOR

La crema de levadura recuperada en el tanque de sedimentación de levadura (S-331), es enviada al tanque de acidulación de crema de levadura (R-304), con el fin de eliminar la contaminación bacteriana que pueda presentar.

En esta etapa se adiciona ácido sulfúrico controlando el pH en un rango de 2.5 - 2.7, también se adiciona agua y aire. Posterior a la acidulación, evitando condiciones de contaminación, viabilidad y población, la crema de levadura es recirculada hacia el primer fermentador (R-311).

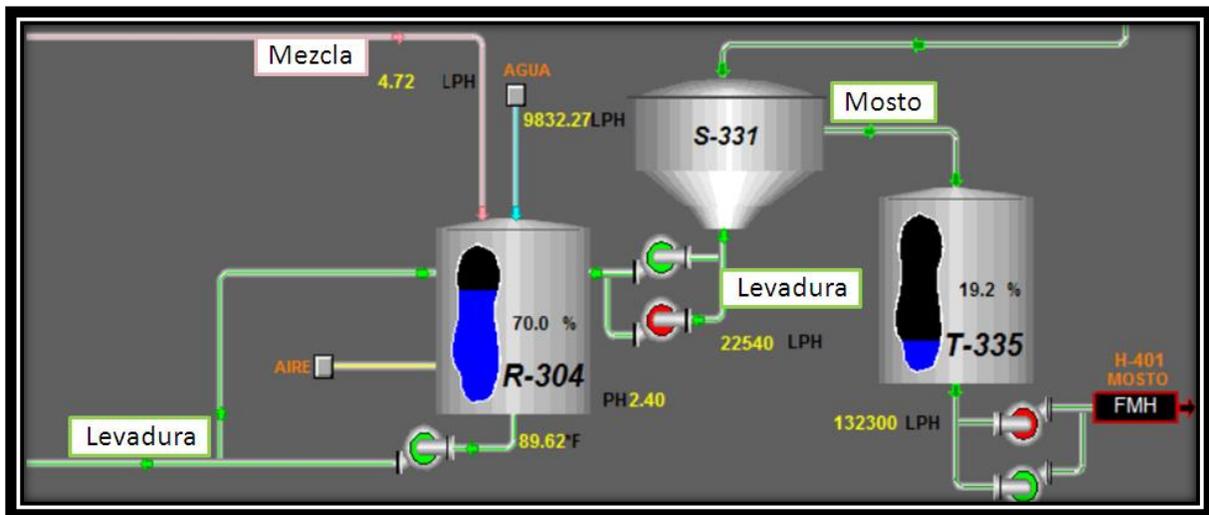


Imagen 7. Levadura del sedimentador al acidulador, fuente: pantallazo del cuarto de control de la Destilería del Ingenio del Cauca (INCAUCA S.A.).

9. TANQUE DE MOSTO

Conocido como el T-335 es este donde llega el mosto o vino final con una concentración de 10,5% v/v etanol proveniente de la etapa de fermentación, donde es enviado de forma continua a la columna mostera como inicio a la etapa de destilación.

10. MONITOREO DEL PROCESO

- pH

El pH óptimo para actividad de la levadura se encuentra entre 4.1 a 4.8, el pH óptimo para el crecimiento bacteriano es superior a este rango, es necesario mantener el pH en este intervalo para lograr una máxima actividad de la levadura e inhibir la actividad de la contaminación bacteriana. (Incauca S.A, 2010)

Una reducción significativa de pH desde el R-311 al R-314 indica una posible alta contaminación bacteriana. (Incauca S.A, 2010)

- Temperatura

La temperatura es un parámetro crítico en la fermentación, la fermentación es un proceso biológico exotérmico (Liberación de calor). La actividad de la levadura es óptima entre una temperatura de 30 y 31.5°C, por ello, la temperatura en el fermentador se debe mantener en estos límites. (Incauca S.A, 2010)

Si se presentan incrementos de temperatura se deben a ineficiencias del sistema de enfriamiento, en este caso se favorece la población bacteriana. (Incauca S.A, 2010)

- Concentración de Etanol

Se Revisa la concentración de alcohol y se compara con el cálculo realizado de alimento de sustrato en cada fermentador. El incremento en la concentración de alcohol

a flujos constantes de agua, sustrato y materias primas indica un incremento en el azúcar fermentable de la miel B, meladura y jugo. El resultado del incremento del azúcar fermentable se puede observar con el incremento en la densidad de la mezcla de sustrato. Se deben reajustar los flujos hacia fermentación para lograr la concentración de alcohol deseada. (Incauca S.A, 2010)

Una disminución de la concentración de alcohol se debe a una reducción de azúcar fermentable en las materias primas y en la mezcla de alimentación (Para flujos de agua y vinaza constantes), se deben reajustar los flujos a fermentación. Una fermentación incompleta se debe a la contaminación del medio y como consecuencia se incrementa el azúcar residual de cada fermentador. (Incauca S.A, 2010)

El incremento en el azúcar residual puede ser por reducción del tiempo de residencia de fermentación. (Incauca S.A, 2010)

- Azúcar Residual

Los azúcares residuales en un proceso de fermentación eficiente son los azúcares no fermentables, el incremento de los azúcares residuales se debe a la reducción de la actividad de la levadura ocasionando pérdidas de azúcares fermentables. (Incauca S.A, 2010)

- Observación Microscópica

La observación Microscópica del mosto fermentado debe mostrar células de levadura elípticas a esféricas, la elongación o encogimiento de las células se debe al incremento de la contaminación o al incremento de la acidez volátil. Cuando la concentración de azúcar es alta, las células de levadura se observan de forma libre de lo contrario, las células forman aglomerados o gránulos, los cuales logran una eficiente operación de sedimentación. (Incauca S.A, 2010)

Durante la recirculación de la levadura, se debe verificar la viabilidad y la población, si la viabilidad de la levadura es baja o se observa alta contaminación bacteriana, se debe disminuir y/o suspender la recirculación hasta observar un mejoramiento de la calidad

de la levadura (la viabilidad de la crema de levadura debe ser superior a 80 %). (Incauca S.A, 2010)

- Acidez Volátil Total

La acidez volátil total en el mosto fermentado depende de la acidez volátil de las materias primas y del nivel de contaminación bacterial. (Incauca S.A, 2010)

Los ácidos volátiles son ácido acético, ácido butírico y ácido propiónico etc, estos son subproductos de la levadura aunque también de la contaminación bacterial (las bacterias producen altas cantidades de ácidos volátiles) (Incauca S.A, 2010)

El incremento en la acidez volátil se debe a:

- Incremento de la temperatura de fermentación.
- Incremento de la población bacterial.
- Alta acidez volátil de las materias primas.

- Acido Láctico

La acidez láctica en el mosto fermentado depende de la actividad metabólica de bacterias, principalmente bacterias ácido lácticas, el ácido láctico es una sustancia fuertemente inhibitoria del proceso de consumo de glucosa en la levadura, por lo cual afecta su reproducción y su desempeño en fermentación. Este ácido orgánico puede tener un efecto más nocivo sobre la levadura si está presente también la acidez volátil.

El ácido láctico se puede generar durante el proceso de fermentación por acción de bacterias, o puede estar presente en las materias primas. (Incauca S.A, 2010)

- Sulfitos

Los sulfitos son compuestos inorgánicos que afectan la capacidad de aprovechamiento energético de las células de levadura, a elevadas concentraciones interrumpen el metabolismo de la levadura, ocasionando la muerte celular. (Incauca S.A, 2010)

Los sulfitos están presentes en la materia prima, ya que constituyen cantidades residuales asociadas al proceso de sulfitación del jugo durante el proceso de elaboración de azúcar. (Incauca S.A, 2010)

- Formación de Espuma

Periódicamente se debe verificar el nivel de espuma de los fermentadores y R-305 y tomar precauciones adecuadas relacionadas con la formación de espuma, la espuma no debe entrar en las líneas de alimentación, líneas de aire y líneas de CO₂. (Incauca S.A, 2010)

La espuma puede controlarse con la adición de agentes antiespumantes.

11. BIBLIOGRAFIA

CENICANA . (n.d.). *www.cenicana.org*. Retrieved from
http://www.cenicana.org/pop_up/fabrica/diagrama_etanol.php

Incauca S.A. (2010). *R660001 Operación Fermentación*.