



Informe

Práctica Profesional

- Título del tema de la Práctica: Determinación de la eficiencia de fermentación de maíz con la incorporación de distintos volúmenes de efluente de Planta de Biogás.
- Nombre y Apellido del alumno: Simón José Pussetto.
- Nombre y Apellido de los Tutores:
Empresa: Ing. Fabiana Frola.
Universidad: Dra. Ing. Miriam Massera.
- Lugar de realización de la Práctica: Bioetanol Rio Cuarto S.A.
- Período de realización de la Práctica: 05 de Marzo - 09 de Mayo 2018
- Fecha de presentación del Informe: 11/12 /2018



Resumen

En el siguiente informe se detallan las actividades realizadas en la Práctica Profesional Supervisada (PPS), llevadas a cabo en la empresa Bioetanol Río Cuarto.

En una primera instancia se plantean los objetivos propuestos que refieren tanto a la relación del ámbito laboral, como también a objetivos particulares enfocados a la obtención de resultados y conclusiones de Experiencias de Planta Piloto, agregando un efluente de Planta de Biogás (digestato) a la fermentación de maíz para la producción de alcohol. En el transcurso de la práctica se incorporan nuevos objetivos que se detallan en el desarrollo del informe.

Se realiza una introducción institucional y del área de trabajo, junto con los respectivos organigramas. Seguidamente se comenta la tecnología empleada detallando equipos y proceso productivo.

El cuerpo del informe es el análisis de los resultados obtenidos en los distintos ensayos, haciendo un razonamiento de la influencia de las variables más importantes que luego permitirá comparar las experiencias y sacar las conclusiones pertinentes basadas en los objetivos propuestos.



Índice

1. Objetivos.....	5
1.1 Generales	5
1.2 Particulares	5
1.3 Adicionales	5
1.4 Objetivos alcanzados	6
2. Descripción de la Empresa	7
2.1 Presentación.....	7
2.2 Área de la empresa donde se desarrolla la práctica	8
2.3 Organigrama	9
3. Tecnología y proceso.....	11
3.1. Resumen de proceso	11
3.2 Tecnología y equipos.....	11
3.3 Etapas de Proceso	14
3.4. Planificación del Proceso	17
4. Tareas realizadas.....	18
4.1. Actividades realizadas	18
4.1.1. Inducción de Ingreso a Planta.....	18
4.1.2. Introducción Institucional.....	18
4.1.3. Recorrido	18
4.1.4. Estudio de Instrucciones Operativas (IO) y Manuales Operativos (MO). ..	18
4.1.5. Estudio de Normas que Alcanzan al Sistema de Producción	19
4.1.5.1.Capacitaciones	19
4.2. Ensayos Pilotos de fermentación de maíz con adición de digestato.....	20
4.3. Análisis de resultados	20
4.3.1. Materia prima	20
4.3.2. Molienda.....	21



4.3.3.Tratamiento térmico	22
4.3.4.Licuefacción	23
4.3.5.Fermentación:	26
4.3.6. Eficiencia, rendimiento y receta	29
5. Conclusiones.....	32
6. Bibliografía.....	33
7. Anexos	34
Anexo 1	34
Anexo 2.1.	37
Anexo 2.2.	38
Anexo 3	39
Anexo 4	40
A.4.1.Análisis granulométrico.....	40
A.4.2. Cálculo de rendimiento.....	40
A.4.3. Cálculo de eficiencia del proceso (ϵ).....	40



1. Objetivos

1.1 Generales

- Desarrollar habilidades prácticas propias de la actividad profesional en una planta industrial a escala piloto.
- Participar proactivamente en el ámbito laboral, procurando una buena comunicación con todo el personal de la planta.
- Reconocer la planta industrial de la empresa Bio4: el organigrama de la empresa, sus instalaciones, el proceso de producción de bioetanol de maíz y la tecnología empleada; y las normas que alcanzan al sistema de producción.

1.2 Particulares

- Analizar el proceso de fermentación de maíz para la obtención de alcohol con la incorporación de efluente proveniente de Planta de Biogás.
- Planificar y realizar los ensayos experimentales de fermentación a desarrollarse en la Planta Experimental.
- Determinar la eficiencia de fermentación de ensayos experimentales que incorporen diferentes volúmenes de efluente de Planta de Biogás.
- Desarrollar habilidades para la redacción de documentos técnicos, protocolos y manuales de trabajo de plantas industriales.

1.3 Adicionales

- Corregir y completar las Instrucciones Operativas utilizadas en los ensayos experimentales.
- Confeccionar “check list” destinado a minimizar los errores operativos de los ensayos, debido a descuidos accidentales en la operación de equipos e instrumentación, como también de sus fallas inesperadas.
- Implementar el sistema de gestión 5 S para agilizar las actividades de la Planta Experimental.
- Analizar implementación de mayores medidas de seguridad en la realización de las actividades de la Planta Experimental para minimizar posibles eventos que atenten contra la vida de personas.



- Introducir a demás pasantes no pertenecientes a Ingeniería, en la operación de equipos e instrumentos.

1.4 Objetivos alcanzados

Todos los objetivos fueron alcanzados.



2. Descripción de la Empresa

2.1 Presentación

- Nombre: Bioetanol Río Cuarto S.A.
- Direcciones:
 - Oficinas comerciales: Av. Guillermo Marconi 751 3er Piso. Río Cuarto, Córdoba.
Teléfono: + 54 9 358 4210620
 - Planta Industrial: Ruta Provincial N° 19 km 1,2 (altura Km 609 de la Ruta Nacional N° 8) Río Cuarto, Córdoba.
- Capacidad instalada de producción de bioetanol= 90.000.000 L/año.
- Burlanda de maíz seca y húmeda (DDGS y WDGS)= 41.800 T/año.
- Empleos directos, mas de 120.
- Molienda de maíz, mas de 200 mil T/año.

Bioetanol Río Cuarto S.A., Bio4, es una empresa agroindustrial formada por 28 socios empresarios agropecuarios. Tiene como visión agregar valor a los granos producidos en la región obteniendo bioetanol, como biocombustible para el cortado de las naftas y aprovechando los subproductos burlanda húmeda y seca para la nutrición de ganado. Además busca trabajar en pos de una producción sustentable, mediante una gestión equilibrada de los capitales económicos, naturales y sociales del medio. El compromiso se verifica por el cumplimiento de las leyes aplicables al producto, al cuidado del medio ambiente, a la salud y seguridad del trabajador y de las operaciones. Para ello, dentro de su Sistema de Gestión Integral (SGI), la empresa tiene en cuenta los requerimientos de organismos controladores y las siguientes normativas internacionales: [ISO 9001/2008](#) de calidad de productos, [ISO 14001/2005](#) de Ambiente, [OSHAS 18001/2007](#) de Seguridad Higiene, [Agricultura Certificada](#) (protocolo de Aapresid), Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y Procedimientos Operativos Estandarizados de Sanitización (POES).

Bio4 cuenta con una Planta Experimental, emplazada dentro del predio industrial de Bioetanol Río Cuarto S.A., creada bajo un plan del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MINCyT), con fondos del Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC), en colaboración de la Facultad de Ingeniería de la UNRC y la fundación FADA en



el ámbito público y FOCSed S.R.L y Bioetanol Río Cuarto S.A en el ámbito privado.

2.2 Área de la empresa donde se desarrolló la práctica

La Práctica Profesional Supervisada se realizó en la Planta Experimental consorcio Bio4-UNRC cumplimentándose desde el 05 de marzo de 2018 hasta el 09 de mayo de 2018, en principio, que luego fue extendida por acuerdo de ambas partes hasta el 11 de mayo para dar lugar a la finalización del último ensayo. Los horarios de ingreso y egreso fueron de 9 a 13 h. (4h. laborales) los días normales, mientras que los días de ensayo fueron franjas horarias de 6 h. laborales como se había estipulado esto es, de 6 a 12 horas, de 12 a 18 horas y de 16 a 22 horas. La elección de estas estuvieron determinadas por la decisión en conjunto de los pasantes, de acuerdo a sus necesidades.

2.3 Organigrama

En la Figura N° 1 se muestra el diagrama organizativo de la empresa.

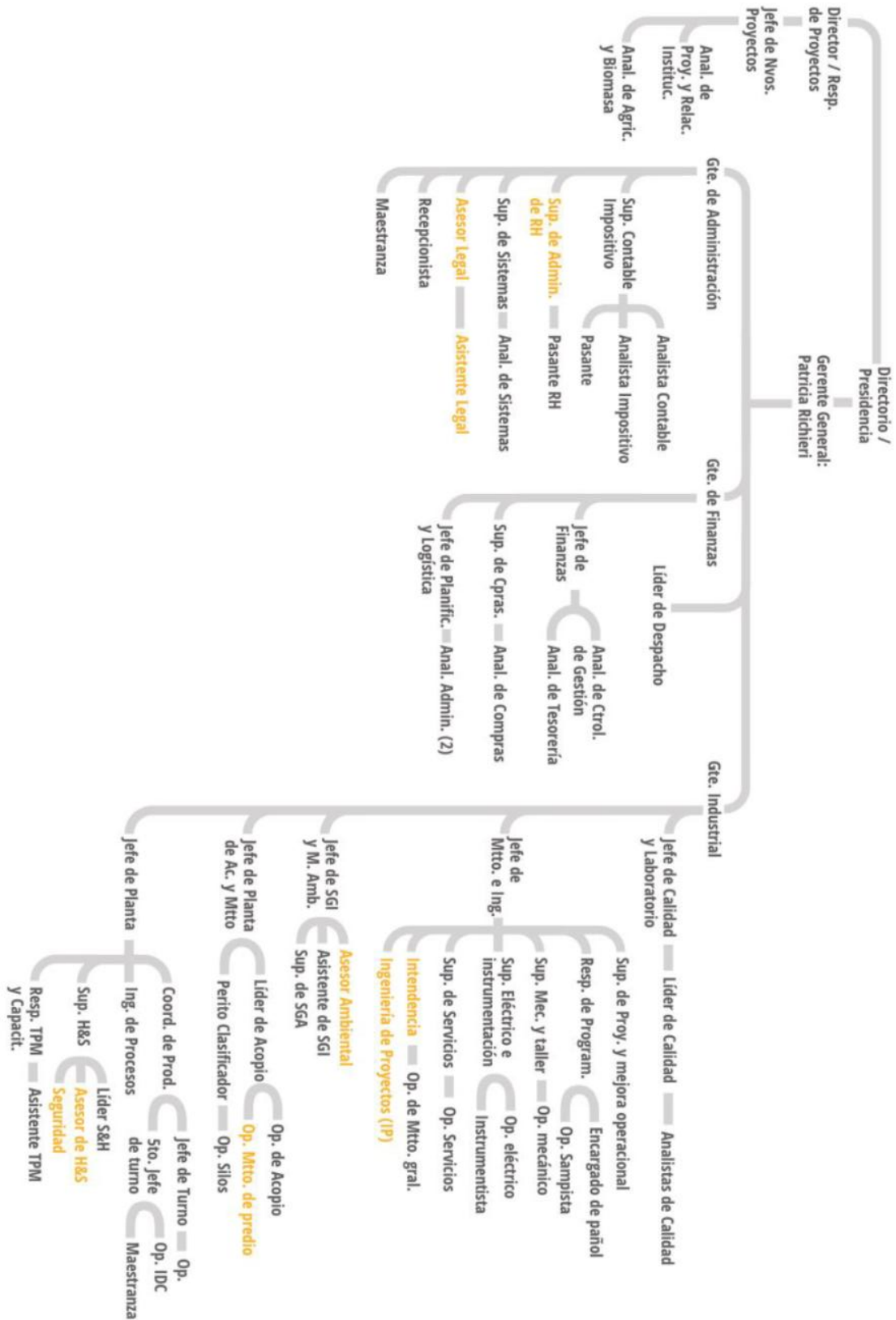


Figura 1 Organigrama de la Empresa.

La ubicación organizacional particular de la Planta Experimental en la empresa se detalla en la Figura N°2.

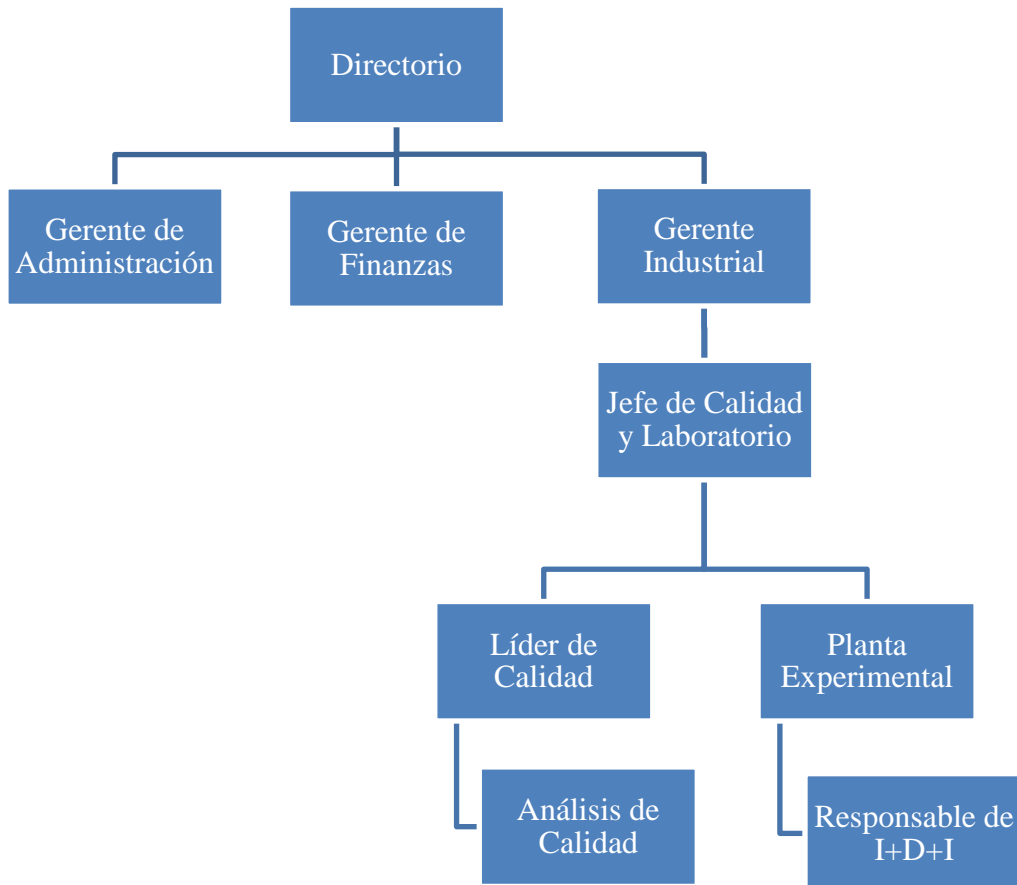


Figura N° 2 Organigrama de ubicación de Planta Experimental.

El tipo de estructura organizacional corresponde a la lineal-funcional, que está basada en la lineal, pero donde los jefes de distintos departamentos pueden impartir órdenes a los subordinados pero limitadas a sus respectivas especialidades.



3. Tecnología y proceso.

3.1. Resumen de proceso

Materias primas:

- Maíz
- “Digestato”: consiste en mezcla de digestato¹ propiamente dicho y vinaza liviana² en proporciones iguales.
- Agua de proceso (agua de pozo), rechazo de ósmosis y condensado³.

Teniendo como referencia las Figuras N° 3 y 4, la transformación del maíz comienza con la molienda seca, esta consiste en la rotura de la semilla para exponer el gránulo de almidón. Luego, en la licuefacción, con el agregado de la porción líquida se genera el mosto (mezcla de líquidos y sólidos antes de fermentar), al que se le adiciona la enzima α -amilasa encargada de descomponer parcialmente el almidón. El siguiente paso es la sacarificación conjunta con la fermentación, se lleva a cabo con la incorporación de la enzima glucoamilasa, encargada de degradar las dextrinas en azúcares fermentables, y levaduras propagadas (replicadas) en Planta Industrial, generando alcohol, dióxido de carbono y calor.

3.2 Tecnología y equipos

La Planta Experimental es, a grandes rasgos, una planta a escala piloto del proceso industrial donde por cuestiones técnicas no se replican exactamente los procesos. Las operaciones unitarias irremplazables como puede ser la molienda y el intercambio de calor son con equipos similares, pero el agitado y el sistema de calentamiento (servicio) son distintos. El primero es un agitador de palas inclinadas que ayuda a la recirculación con bombas utilizada en la escala industrial, y no se utiliza vapor para calentar sino que se utiliza agua caliente procedente de un calentador eléctrico. Los resultados igual se logran satisfactoriamente.

De este modo, se puede realizar ensayos con nuevas materias primas y variando parámetros que puedan representar de forma correcta el comportamiento de la escala industrial, sin que ello suponga un alto riesgo de pérdidas económicas muy importantes.

¹ Digestato: líquido con sólidos en suspensión, subproducto de la descomposición anaeróbica de biomasa vegetal, en la obtención de biogás.

² Vinaza liviana: subproducto de la destilación del mosto fermentado en la Planta Industrial.

³ Rechazo de ósmosis: efluente de la obtención de agua destilada por ósmosis inversa para caldera.
Condensado: vapores de caldera condensados en el proceso.



Durante todo el desarrollo de la Práctica Profesional no se dispuso del destilador, por lo tanto el mosto de fin de fermentación se derivaba en contenedores de almacenamiento “(bin´s)” al sector de destilación de la planta industrial.

A continuación se detallan los **equipos y tableros de control** utilizados en la Planta Experimental. Ver Figura N°3

- » **Rototornillo (RT 1701):** es un tornillo sin fin que tienen como finalidad transportar el cereal entero a una tolva TA 1701 que se encuentra localizada encima del molino (MG 1701). (Figura A1.1). El control es con botonera independiente on/off fuera de los tableros por ser un equipo agregado con posterioridad.
- » **Molino (MG 1701):** es del tipo martillo con malla de 2 mm. Marca Royto encargado de moler la materia prima que se descarga de la tolva (TA 1701). (Figura A1.2).
- » **Rototornillo (RT 1702):** tornillo sin fin que tiene como finalidad transportar el cereal molido que entrega MG 1701 hacia el Licuefactor (TQ 1701). (Figura A1.3).
- » **Licuefactor (TQ 1701):** es un tanque cilíndrico de base cónica con agitador de pala inclinada y baffles. En la parte superior posee una boca de inspección, utilizada para verter enzimas, y dos contenedores de acero inoxidable, para vertido de ácido y base de forma segura. En el costado está la termocupla y el medidor de nivel. Volumen útil: 1800 L. (Figura A1.4).
- » **Fermentador (TQ 1702) y Tanque respaldo (TQ 1703):** difieren de TQ 1701 solamente en que posee camisa calefactora. (Figura A1.4).
- » **Intercambiador de Calor (IC 1701):** es del tipo espiral, similar al del diseño original de planta⁴ pero desarmable y de menor tamaño con un área de 4,2 m². Tanto a la entrada como salida del mosto posee termocuplas TPE 1000 enlazadas a tablero de control.(Figura A1.4).

⁴ Los intercambiadores de planta sellados se reemplazan por intercambiadores de placa a medida que se obstruyen

- » **Calentador Eléctrico (CL1701):** forma parte de un sistema cerrado de circulación de agua que es calentada por resistencias trifásicas. La temperatura de corte e inicio de calentamiento es determinado por dos termostatos asociados al tablero de control donde también posee llave de “on/off” y indicador luminoso de estado calentando/ no calentando. Además posee medidor de presión y temperatura analógico, Presostato inversor (corte por falta de agua), válvula de seguridad y de purga. Como todo sistema de calefacción de fluido líquido existe un tanque de expansión (TQ 1705), otro de almacenamiento (TQ 1704), que tiene un medidor de nivel, y una bomba de recirculación (BO 1703). Potencia total: 126 Kw 380 V- 50 Hz. Aislación térmica: lana de vidrio de alta densidad, de 2" y cubierta exterior en chapa de aluminio KICSA, de 0,8 mm. Presión de trabajo 3 kg/cm^2 . Presión de prueba 5 kg/cm^2 . (Figura A1.5).
- » **Torre de Enfriamiento (TE 1701):** Modelo EWK 144/09. TR(máx.) 60. Motor eléctrico trifásico de 2 HP, 920 rpm. Ventilador de 6 palas Noryl forma parte de un sistema cerrado de agua de enfriamiento, la que puede circular por las camisas calefactoras y/o IC 1701. Posee dos termocuplas TPE 1000 en la entrada y salida, enlazadas al tablero de control. (Figura A1.6).
- » **Tablero N° 1:** es un gabinete estanco en donde se incrustan todos los visores de temperatura digital de las termocuplas TP100 y de los sensores de nivel. Estos últimos, solo los poseen TQ 1701, TQ 1702 y TQ 1703. Se controla el encendido o apagado de las bombas asociadas a TQ 1701/02 (BO 1701/02 respectivamente), como también los agitadores de los tres tanques y RT 1702 y MG 1701. El estado de cada equipo se presenta con tres indicadores luminosos; encendido, apagado y falla, ésta representa un consumo excesivo correspondiente a un calado del motor o aparato. (Figura A1.7).
- » **Tablero N° 2 o de servicios:** es un gabinete estanco donde se controla el encendido o apagado de bomba de recirculación del sistema de calentador, de sistema de torre de enfriamiento y su ventilador. Así como el tablero 1, posee los indicadores luminosos de encendido, apagado y falla. (Figura A1.8).

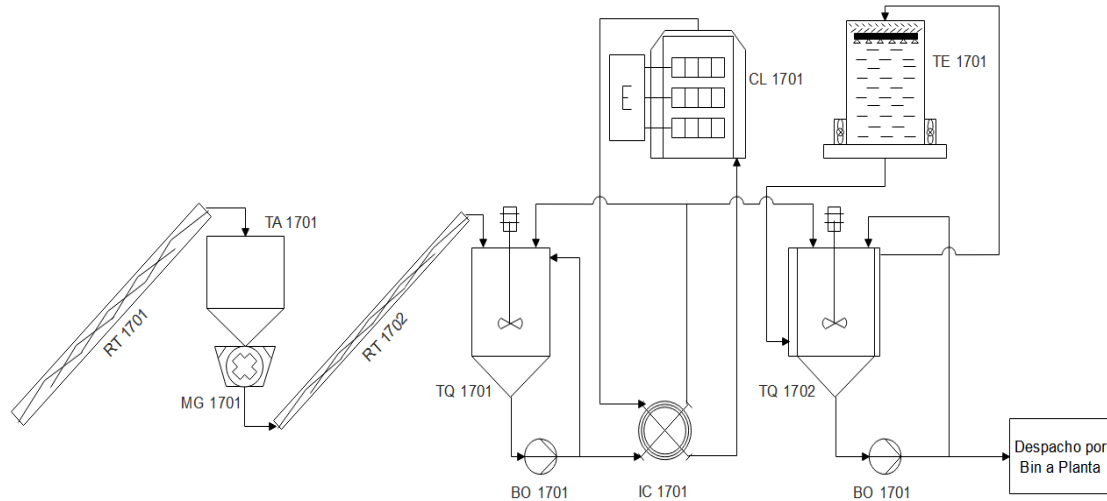


Figura N° 3 Diagrama simplificado de equipos en Planta Experimental

3.3 Etapas de Proceso

En Figura N° 4 se muestra las etapas del proceso.

Encendido de servicios: se inicia el sistema de calefacción CL 1701.

Carga de Aguas: Se precarga en TQ1701 el digesto almacenado en “bin” 1 y, desde “bin” 2, el condensado y rechazo, todo ello con BO 1705 (bomba portátil).

Desinfección parcial de aguas: por un período de 2 h se recircula las aguas cargadas en TQ 1701 por IC 1701 en la configuración de calentamiento a una temperatura de 90 °C y con agitación. Esto es con el fin de bajar la carga microbiana del digestato para que la levadura no tenga competencia metabólica o, a lo sumo, sea mínima en la etapa de fermentación. Se sacan muestras para realizar RAT (Recuento de Anaerobios Totales) al principio y final del proceso.

Molienda de maíz: la finalidad de esta operación, como se mencionó anteriormente, es exponer el gránulo de almidón, rompiendo el grano de maíz para que sea posible la licuefacción. Se procede a poner en marcha MG 1701 y RT 1702, luego se abre la clapeta de TA 1701 hasta que se establezca un flujo continuo de molido, éste se vierte en TQ 1701 manteniendo una temperatura de las aguas de 85 °C. Se determinó por experiencias previas, que es conveniente agregar una porción de α -amilasa al comienzo de esta operación para prevenir la formación de grumos. Se extraen muestras de molido y en laboratorio se le efectúa análisis granulométrico (Zonytest).



Licuefacción: esta etapa es la encargada de desdoblar las cadenas de almidón y exponer los enlaces α 1-4 glucosídicos para que, la enzima α -amilasa los descompongan en azúcares denominados Dextrinas. Cuando se finaliza la molienda se toma como hora cero de licuefacción, donde se corrige el pH (entre 5,2 y 5,6), se agrega el resto de α -amilasa manteniendo la temperatura a 85 °C con agitación. La operación lleva 4 h. en las que se debe tomar muestras cada dos horas y registrar temperatura y nivel. Las muestras se llevan a laboratorio para practicarles análisis de NIR y pH, entre otras que se pudieran haber planificado. En la Figura A3.5 se muestra el equipo NIR utilizado y en Figura A3.4 el pH metro.

Fermentación y Sacarificación: es la etapa en donde, la descomposición enzimática de las dextrinas, por la acción de la glucoamilasa, provee in situ los azúcares fermentables a las levaduras para que las conviertan en alcohol, CO₂ y calor. Por lo tanto, se debe agregar urea como proveedor de nitrógeno necesario para la síntesis de biomasa celular, y glucoamilasa en intervalos predefinidos para que la levadura no sufra estrés y desvíe su metabolismo a la producción de metabolitos indeseables (glicerol y alcoholes superiores). Esta etapa se produce en TQ 1702, por lo tanto, se transvasa desde TQ 1701 por medio de BO 1701. La temperatura ideal de fermentación es 32-33 °C, fuera de este rango se produce estrés celular, y debe procurarse no sobrepasar los 35 °C para prevenir la muerte. Entonces, se debe enfriar desde los 85 °C de la etapa anterior y extraer el calor generado una vez agregado los insumos y las levaduras. El sistema encargado de esto es el de enfriamiento que se activa desde el tablero 2. La fermentación transcurre durante 60 h., período durante el cual se deben tomar muestras cada seis horas y registrar temperatura y nivel. Las muestras se llevan al laboratorio para practicarles análisis de NIR, pH y dextrosa equivalente para llevar control del avance de la fermentación. A la última muestra correspondiente a fin de fermentación (FF), se le practica una destilación en laboratorio para determinar el grado alcohólico alcanzado.

Despacho a planta: debido a que el destilador no estuvo operativo, el mosto fermentado se despachaba al sector de destilación en “bines”.

Limpieza y desinfección: es la etapa que cuando se trata de procesos biológicos, cobra especial importancia, porque es la encargada de mantener una carga microbiana lo más reducida posible, para que las levaduras seleccionadas genéticamente, se dediquen exclusivamente a producir lo que interesa y no a competir con otros microorganismos. Esta etapa, en primer lugar, consta de una limpieza de todos los equipos utilizados con

distintos métodos, ejemplos son: MG1701 se limpia el material particulado con aire comprimido y cepillo de ser necesario, TQ1701/02 con agua de manguera manual de alta presión, cepillos y aspersor interno, se desprende el mosto adherido a las paredes y agitador. Luego para disminuir la carga microbiana, se limpia las cañerías y el intercambiador de calor, se hace circular agua caliente por todos ellos por dos horas y siempre, procurando hacer un uso razonable de agua apuntando a que sea la mínima cantidad necesaria.

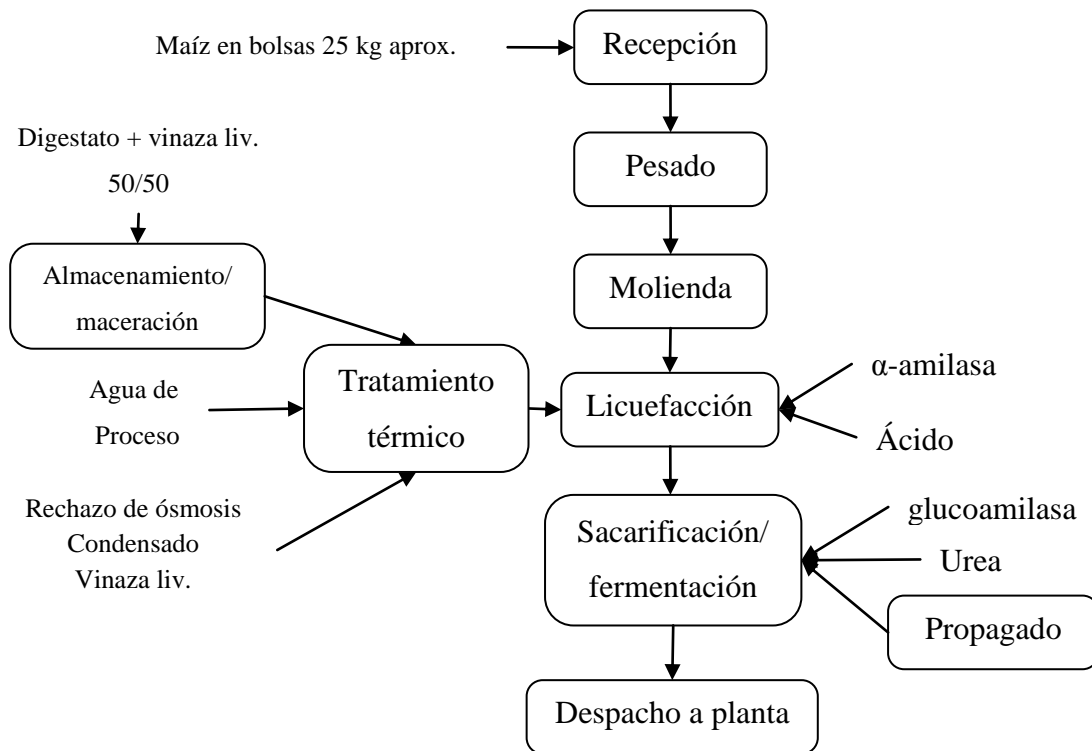


Figura N° 4 Diagrama de bloques de proceso en PE.



3.4. Planificación del Proceso

La planificación de una nueva experiencia comienza, de ser posible, luego de controlar que las planillas de la experiencia anterior están completas, y de realizar la limpieza total de las instalaciones. En general todo ello demanda seis días de la siguiente manera; primer día: revisión de las planillas y corrección si hiciera falta (día de fin de fermentación), segundo día limpieza, tercer y cuarto día análisis de resultados de ensayo anterior. El quinto día se utiliza para preparar los recipientes para las distintas muestras e insumos (lavado, desinfectado, secado y rotulado), incluido un *bin* para que el sector de calderas, entregue el “condensado” y rechazo de ósmosis (rechazo). Se determina, en base al análisis de los resultados de los ensayos anteriores, las nuevas cantidades y proporciones de materias primas e insumos, para el próximo ensayo, además, se hace el pedido al área de almacenamiento de bolsas con maíz y al área de calderas para condensado y rechazo de ósmosis. El sexto día se pesa el maíz y se carga por RT 1701 a TA 1701, se pesa en laboratorio los insumos; α -amilasa, glucoamilasa, urea y otros si corresponde⁵. Se imprimen las planillas y se comienza a repasar el check list (Figura A2.1.1). Todo lo anterior debe estar planificado para que el ensayo propiamente dicho comience a lo sumo un día martes (se recomienda el lunes), de lo contrario no se tendrá tiempo suficiente para concluir antes del fin de semana, dado que se estima, un día de molienda y licuefacción, 60 h de fermentación (aprox. 3 días laborales), y no se recomienda aplazar el control de planillas de datos como tampoco la limpieza y desinfección para la siguiente semana.

⁵ Cuando en planta no se produce propagado y se usa levadura en crema, se debe preparar antibióticos y antiincrustante



4. Tareas realizadas

4.1. Actividades realizadas

4.1.1. Inducción de Ingreso a Planta

4.1.2. Introducción Institucional

A cargo de jefe de Seguridad e Higiene, León Benitez. En esta etapa de la inducción, se reprodujo videos institucionales que explicaban la visión de la empresa, la producción, el cumplimiento de las distintas normas, etc. Luego se realizó una charla informativa sobre las normas de circulación dentro y fuera de la planta Industrial. Además se hizo entrega de calzado de seguridad, casco, gafas y sordinas.

4.1.3. Recorrido

Realizado por Ing. Fabiana Frola, tutora de pasantía y encargada de Planta Experimental. Consistió en una recorrida guiada y personalizada por todas las áreas de la planta Industrial con explicación detallada del proceso, sistema productivo, proyectos, ubicación de oficinas y otros sectores mientras se respondían a preguntas e inquietudes.

Luego se realizó un reconocimiento edilicio de Planta Experimental sistemas aplicados (5 S, Sistema de Gestión Integral, etc.), visión y propósitos. Seguidamente, los pasantes salientes estuvieron a cargo de la explicación detallada de equipos, procesos, instrucciones operativas, normas de seguridad e higiene, particularidades de la pasantía, opiniones e intercambio de ideas y experiencias.

4.1.4. Estudio de Instrucciones Operativas (IO) y Manuales Operativos (MO).

Desde el primer día comienza el estudio de las Instrucciones Operativas (IO) vigentes de Planta Experimental, como también los Manuales Operativos (MO) de laboratorio, estos documentos fueron obtenidos desde una carpeta compartida de Dropbox. Los documentos estudiados fueron Molienda, Licuefacción, Fermentación, Arranque y Parada de MLF⁶, Limpieza y Desinfección, Procedimiento para Granulometría, Termobalanza (Figura A3.3), Medición de

⁶ Molienda, Licuefacción, Fermentación.



pH, NIR (Near Infra Red) Perten DA7200, Foss (análisis infrarrojo) y Dextrosa Equivalente. Este último, aunque no estaba planificado realizarlo por parte del pasante, se decidió estudiarlo igualmente para tener una dimensión de los datos que se obtuviesen, además de que algunos contenidos de las IO son ya conocidas, se estudian de igual manera para ajustarse a la forma de trabajar normalizada de la empresa. Además de las IO y MO, se decidió estudiar la Planta Experimental con Plano de PID (Piping and Instrumentation Diagram) en mano recorriendo cañerías, válvulas y equipos. Luego con IO arranque y parada de MLF en mano, se simuló varias veces un ensayo estático realizando todo el procedimiento, en este momento se encuentran las primeras inconsistencias de las IO que luego se corrigieron oportunamente. El estudio de todo lo citado tomó aproximadamente una semana. En (Figura A2.2.1) puede observarse un resumen de IO típica.

4.1.5. Estudio de Normas que Alcanzan al Sistema de Producción

4.1.5.1. Capacitaciones

- Higiene y seguridad: junto con la Introducción institucional antes detallada, el responsable del sector capacitó en el uso de los Elementos de Protección Personal (EPP), vías de circulación, puntos de encuentros y modo de evacuación al momento del sonar de la alarma de emergencia.

Durante la segunda semana, cuando se incorporaron los demás pasantes, se impartieron las capacitaciones de:

- Sistema de Gestión (SGI) a cargo de Ismael Carbonari donde se detallaron las normas que cumple la empresa, ISO 9001 (satisfacción de cliente, producto de calidad y trazabilidad), ISO 14001 (sist. de gestión ambiental), 18001 (gestión de seguridad), CAC (Campos de Agricultura Certificada), POES(sistema de limpieza y sanitización).
- Capacitación en laboratorio: luego de estudiar los MO de los distintos equipos, se brindó instrucciones prácticas y detalladas del buen y correcto uso de los equipos y del laboratorio.

En una instancia posterior se capacitó en el sistema de organización 5 S , el que se busca aplicar permanentemente en toda la empresa. Este sistema de gestión es auditado por personal de otras áreas y luego de su evaluación, se mejoró la implementación en Planta Experimental. (Figura A3.2).

4.2. Ensayos Pilotos de fermentación de maíz con adición de digestato

Se realizaron un total de cuatro ensayos (016, 017, 018, 019), donde los dos últimos se realizaron con la variante de levadura en crema por disponibilidad técnica (la Planta Industrial no generó levadura propagada). Se compararán con ensayos anteriores para analizar los rendimientos y poder sacar conclusiones sobre las variables que intervienen en el proceso.

La nomenclatura de los ensayos consta de una numeración por orden de realización, seguido de una breve descripción de las materias primas y luego la fecha de realización

4.3. Análisis de resultados

4.3.1. Materia prima

En cada ensayo se tomó una muestra de maíz entero desde TA1701 para realizar el análisis de composición por FOSS (análisis infrarrojo) (Figura A3.1). Los resultados se muestran en la figura N° 5.

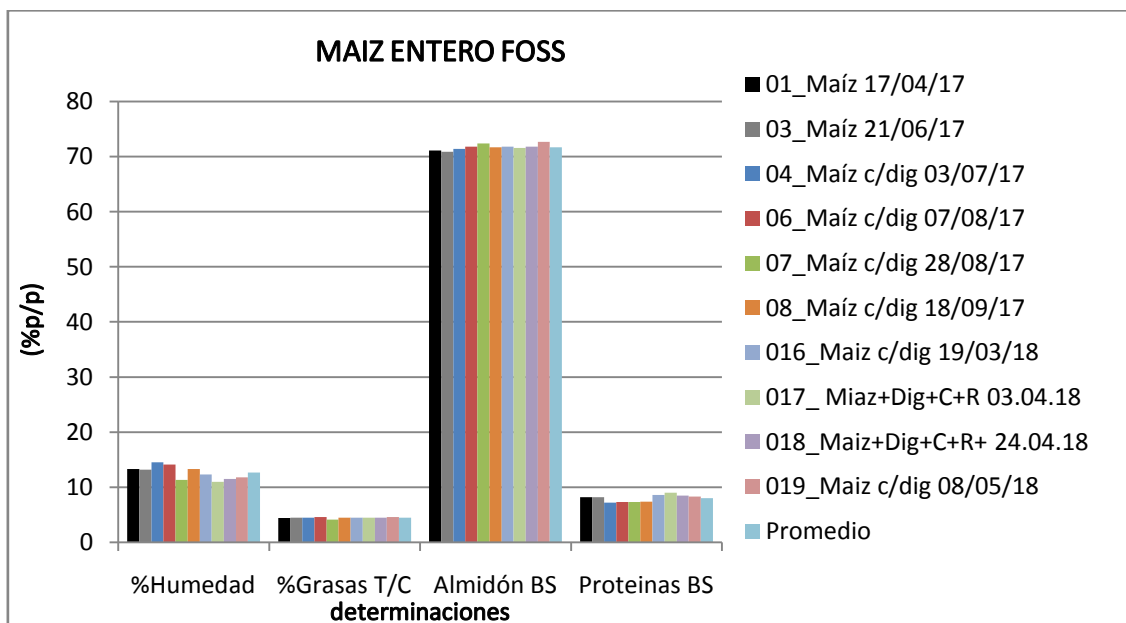


Figura N° 5 Resultado de análisis FOSS a maíz.

Se observa que la variabilidad de los resultados de las muestras es despreciable a los fines prácticos. Este análisis es necesario para mantener un control de calidad de materia prima en la planta industrial y aporta valores para calcular el rendimiento teórico. No se obtuvieron valores fuera de lo común porque el producto ya estaba aceptado por el área de calidad.

Por su parte el digestato consistente en una mezcla 50/50 de vinaza liviana y digestato filtrado, se debe ajustar a parámetros de cantidad de ac. acético, ac. láctico y glicerol de 0,05%, 0,5% y 1,5% respectivamente. En caso de que supere estos valores, significa que las bacterias anaeróbicas ya han degradado a sobremanera las proteínas presentes, por lo tanto, se debe preparar nuevamente con digestato fresco, de lo contrario afectará el metabolismo deseado de las levaduras.

4.3.2. Molienda

En esta operación se recolectan muestras que se analizan en una serie de tamices vibratorios (Zonitest). Los resultados se muestran en la Figura N° 6.

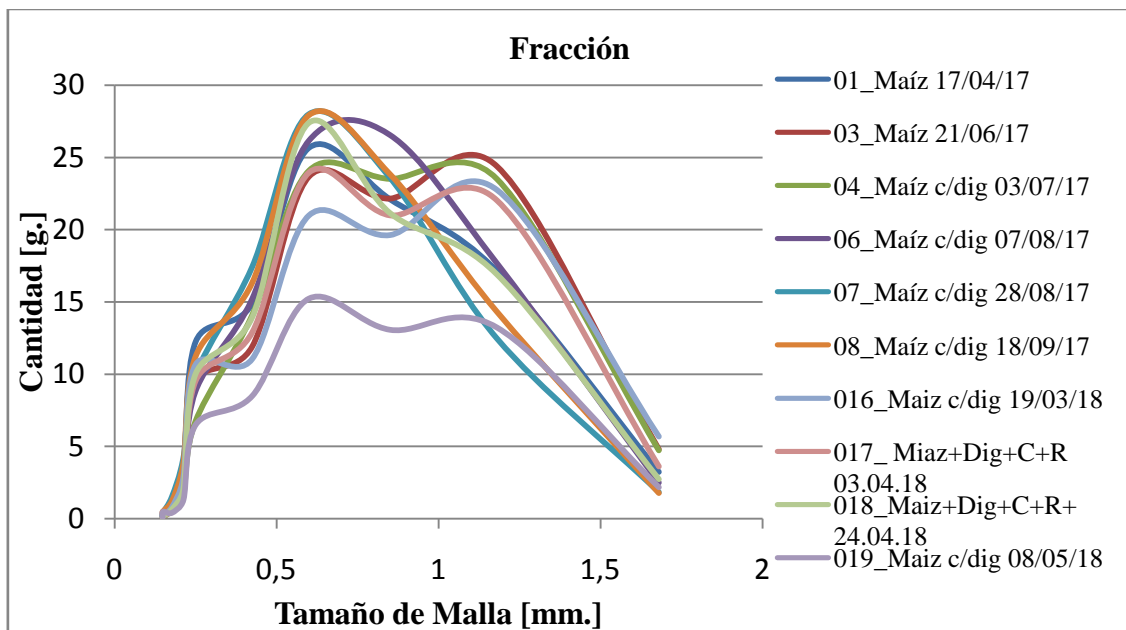


Figura N° 6 resultados de análisis de granulométrico a maíz molido.

Se observa que los resultados de las muestras presentan, en general, una tendencia estable entre ellas. En particular la muestra 19 presenta un desfase mayor, aunque de igual manera tiene una estructura similar a las demás, entonces se puede concluir que se usó menos muestra que lo normalmente utilizado, debido seguramente a un error operacional. La Ecuación A.4.1 fue la utilizada para obtener los valores.

4.3.3. Tratamiento térmico

En las Figuras N° 7, 8 y 9 se muestran los resultados de los análisis RAT (Recuento de Anaerobios Totales) en las distintas muestras de los ensayos.

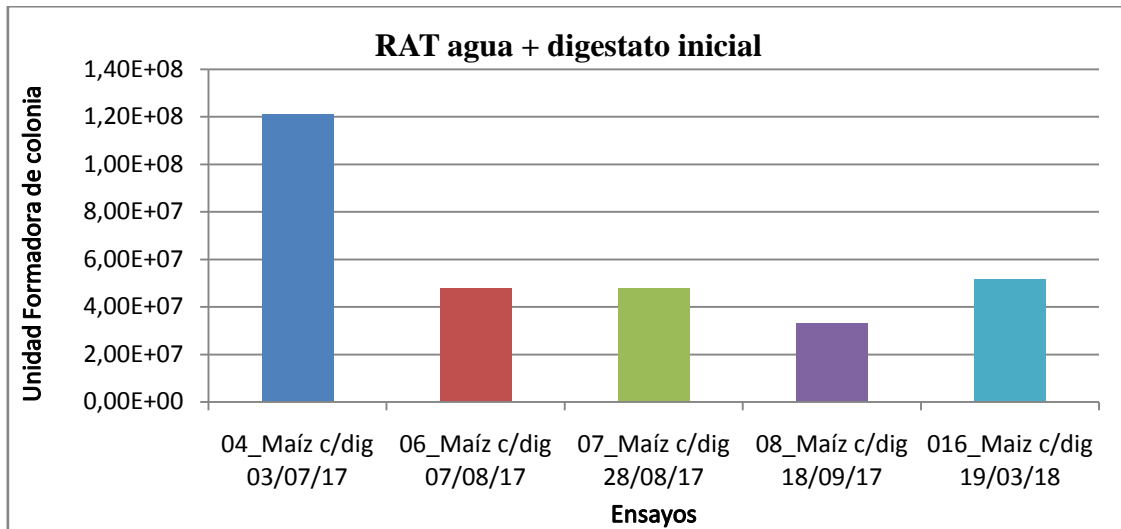


Figura N° 7 Recuento Anaerobios Totales inicio Tratamiento térmico.

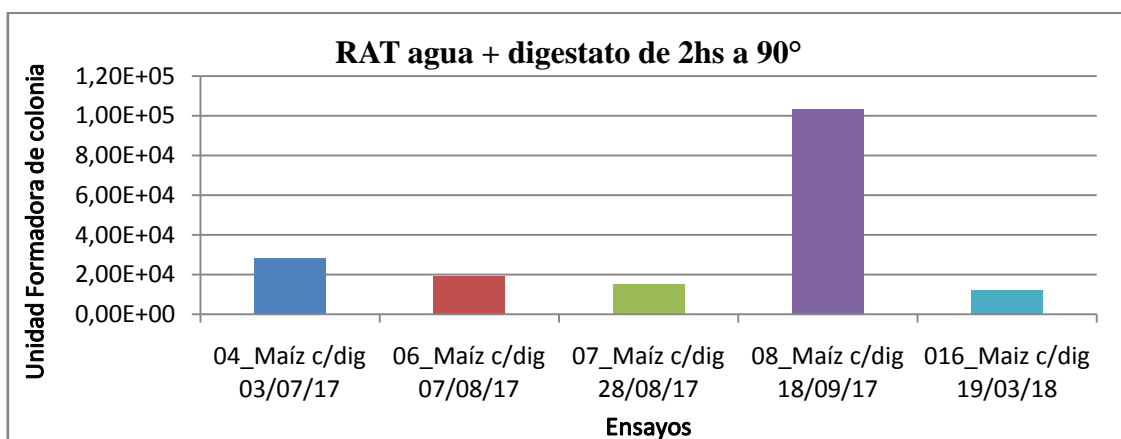


Figura N° 8 Recuento Anaerobios Totales final de Tratamiento térmico.

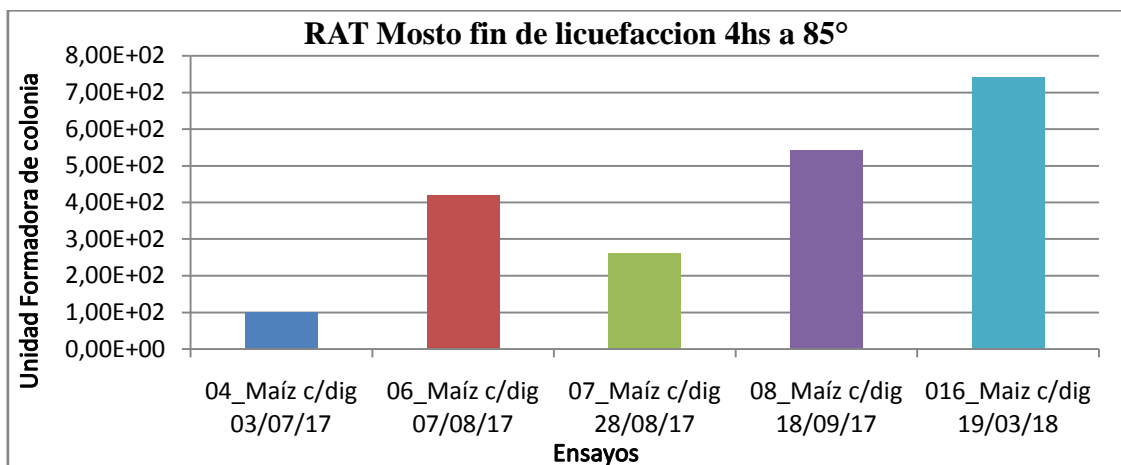


Figura N° 9 Recuento Anaerobios Totales final de Licuefacción.

A partir de los gráficos anteriores se puede observar que el tratamiento térmico inicial, cumple satisfactoriamente el propósito de reducir la carga microbiana, por la reducción de las unidades formadoras de colonia, además, la licuefacción también reduce la cantidad de microorganismos por la acción de la temperatura a la que se realiza. Entonces, el tratamiento deficiente de la experiencia 08 no será un problema en la fermentación. A los ensayos 17, 18 y 19, no se les realizó el análisis RAT por haberse averiado el incubador del laboratorio utilizado para desarrollar las colonias. Teniendo en cuenta la aseveración anterior, no sería esto un problema.

4.3.4.Licuefacción

Se analiza los parámetros más importantes de la licuefacción a continuación.

Temperatura: la temperatura ideal de licuefacción es 85 °C , que es la temperatura óptima de acción de la enzima α -amilasa. En la Figura N° 10 se presentan las temperaturas de licuefacción.

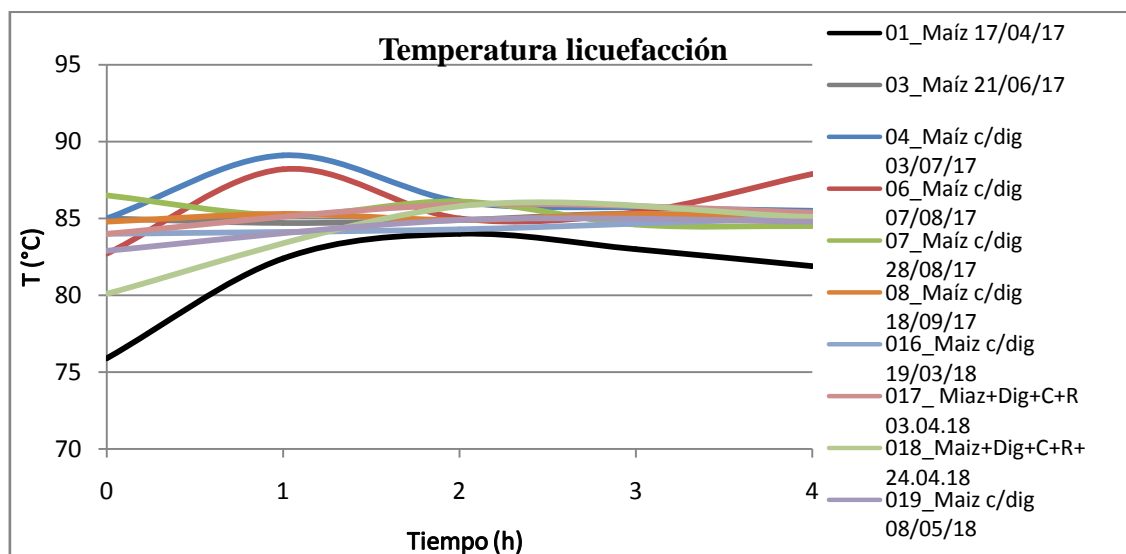


Figura N° 10 Temperaturas de Licuefacción.

En principio, los únicos ensayos deficientes en el control de temperatura fueron 04 y 06, porque en principio, es más nocivo una temperatura por encima de la ideal que una por debajo, ya que la primera desnaturaliza a la enzima y la segunda solo ralentiza el accionar.

pH : se debe establecer entre 5,1 y 5,3 para que la enzima actúe adecuadamente en la Figura N° 11 se muestran los resultados de los análisis de pH.

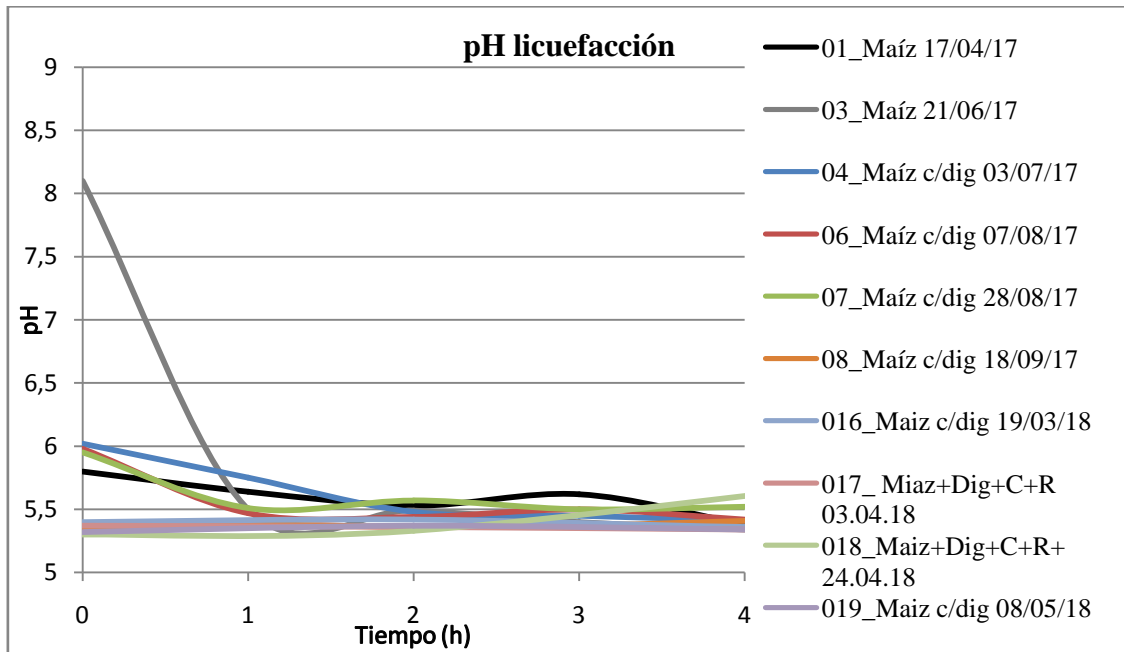


Figura N° 11 Mediciones de pH por hora de licuefacción.

En los primeros cinco ensayos (01, 03, 04, 06, 07) se adicionaba la enzima α -amilasa y se corregía luego el pH con adiciones sucesivas de ácido. En el ensayo 08 se corrigió el pH antes de agregar la enzima. En los ensayos posteriores se determinó que era conveniente agregar una porción de enzima al inicio de la molienda y agregado de maíz molido a TQ 1701, luego en la hora cero de licuefacción que corresponde a el fin de molienda, se corrige el pH y se adiciona el resto de la enzima. Esto tiene como finalidad evitar desde un principio, la aglomeración de material molido al entrar en contacto con el agua caliente en el tanque y esperar para corregir el pH hasta que todo el molido esté mezclado, ya que éste es el que basifica el medio. En la Figura A3.4 se muestra una foto del pH metro utilizado para realizar la medición de pH.

Porcentaje de sólidos totales (% ST): se analiza en las distintas etapas del proceso para controlar que la evaporación de agua no concentre demasiado el mosto, esta variable es de considerar porque un aumento desproporcionado produciría una fermentación deficiente al intoxicar las levaduras con el propio alcohol producido y quedaría azúcares sin fermentar bajando el rendimiento. En la Figura A3.3 se muestra una foto del equipo utilizado para las determinaciones de sólidos totales.

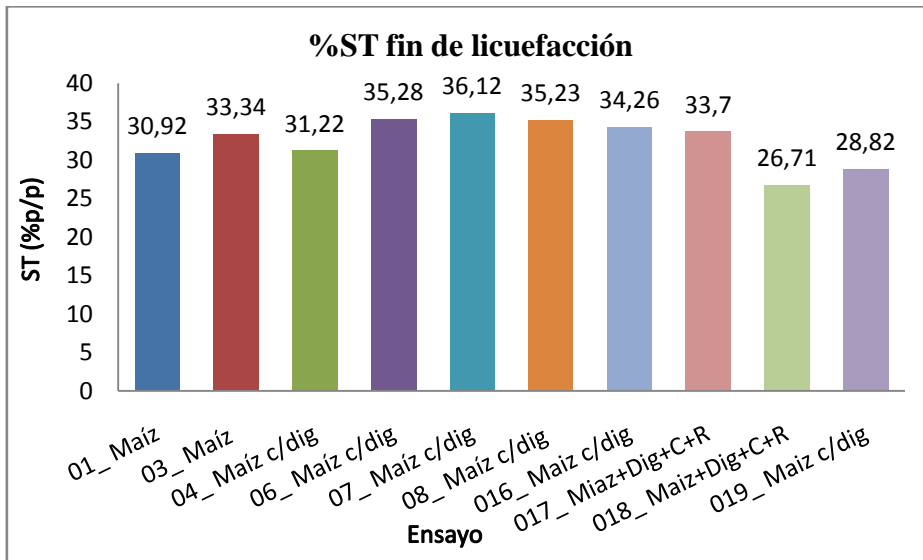


Figura N° 12 Mediciones de porcentaje de sólidos totales en fin de licuefacción.

La cantidad recomendado de ST es 32-33% que son los valores con los que trabaja la planta industrial. Observando el gráfico de la Figura N° 12 se ve que los dos últimos ensayos poseen valores menores por motivos distintos, a saber, en el ensayo N° 18 por un error de operación se desvió mosto al TQ 1703 y por motivos operativos, se agregó agua de proceso. En el ensayo N° 19 se reajustó la compensación de agua evaporada, ya que en los anteriores ensayos el valor de ST era muy alto.

Dextrosa equivalente (DE): se mide al final de licuefacción y representa el grado de hidrólisis del almidón, mientras mayor es su valor más cortas son las cadenas de hidrato de carbono. Da un indicio de que tan correcto fue el proceso de licuefacción. Los datos se muestran en la Figura N° 13.

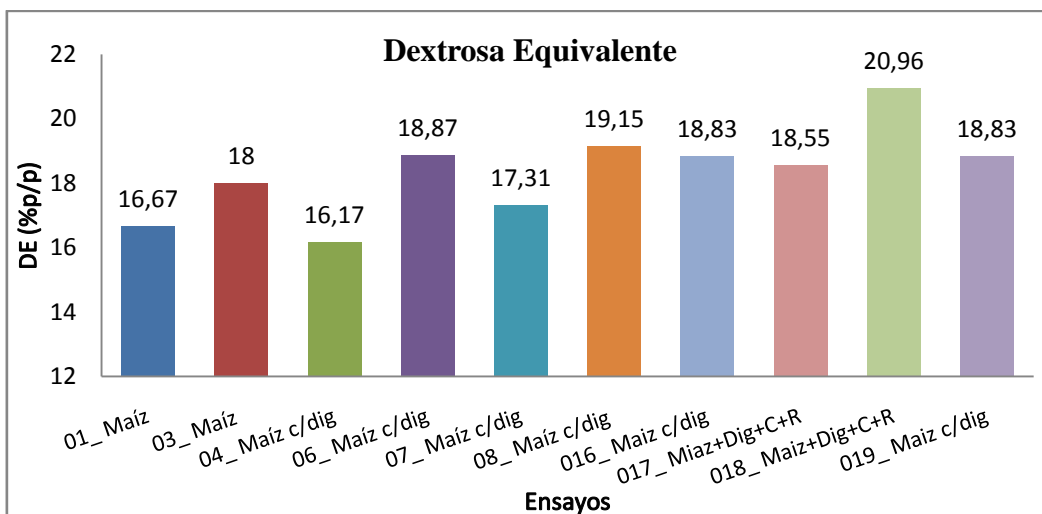


Figura N° 13 Resultados de dextrosa equivalente fin de licuefacción.

En principio el ensayo N° 18 es en el que la enzima actuó mejor, pero este resultado puede estar condicionado de alguna manera con el inconveniente del traspaso accidental de mosto a TQ1703. En los primeros cinco ensayos, salvo algunas excepciones, el valor bajo de DE puede deberse a la forma de control del pH descrita anteriormente.

4.3.5.Fermentación:

Se analiza los parámetros más importantes de la fermentación a continuación.

Porcentaje de sólidos totales de fermentación (%STF): se determinan al principio de la fermentación, que si bien es un momento cercano al fin de licuefacción donde también se mide ST, se observó que los valores son distintos, y como se debe usar para el cálculo teórico de grado alcohólico, se determinó que es conveniente tener estos datos mostrados en la Figura N° 14.

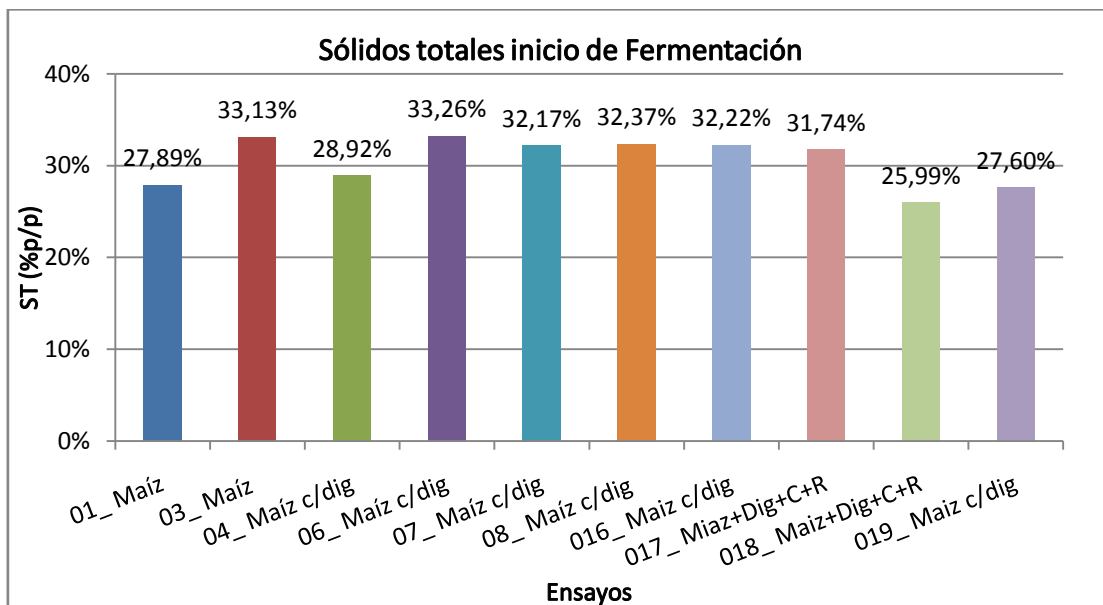


Figura N° 14 Mediciones de porcentaje de sólidos totales en inicio de Fermentación.

El análisis de las variaciones es idéntico al anterior de licuefacción.

Temperatura: En fermentación la temperatura ideal debe ser de 32-33°C. es un parámetro de control crítico para que las levaduras produzcan la mayor eficiencia. A continuación se muestra en Figura N° 15 su evolución en los distintos ensayos.

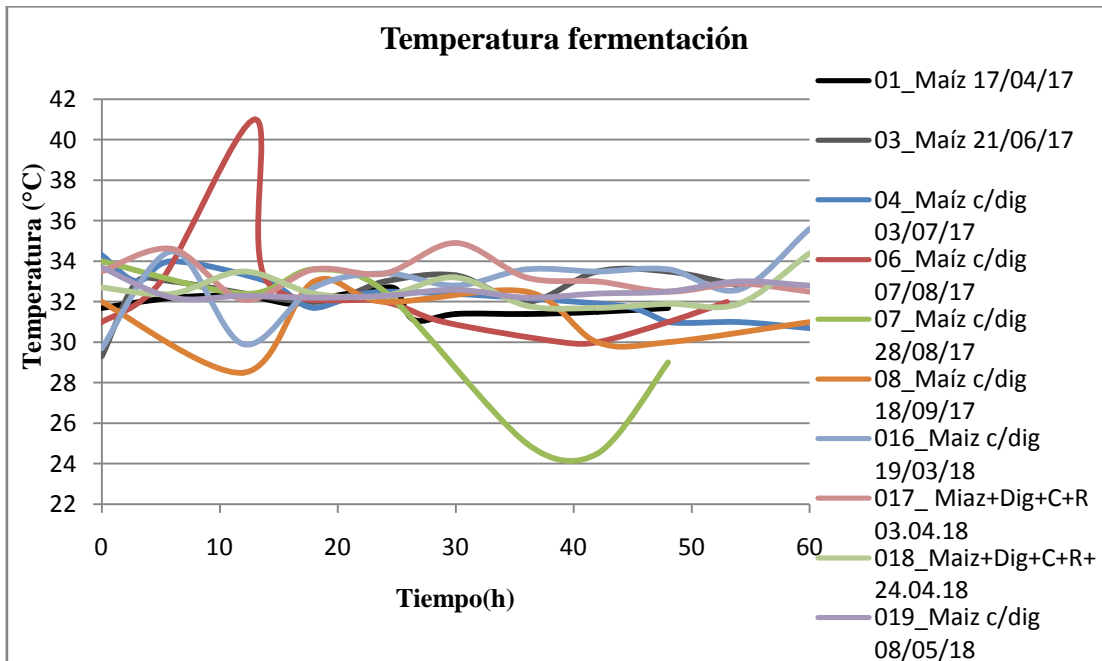


Figura N° 15 seguimiento de Temperatura de Fermentación.

Se observa en que el ensayo N° 06 presenta un pico de temperatura muy por encima de lo ideal, esto repercutirá negativamente en el rendimiento. La baja de temperatura no es tan nociva como el aumento por lo tanto, el ensayo N° 07 y N° 08, no serían afectados en sus rendimientos.

Grado alcohólico (°GL): es la cantidad de alcohol que posee el mosto y se cuantifica a medida que avanza la fermentación por medio de análisis espectrométrico NIR.

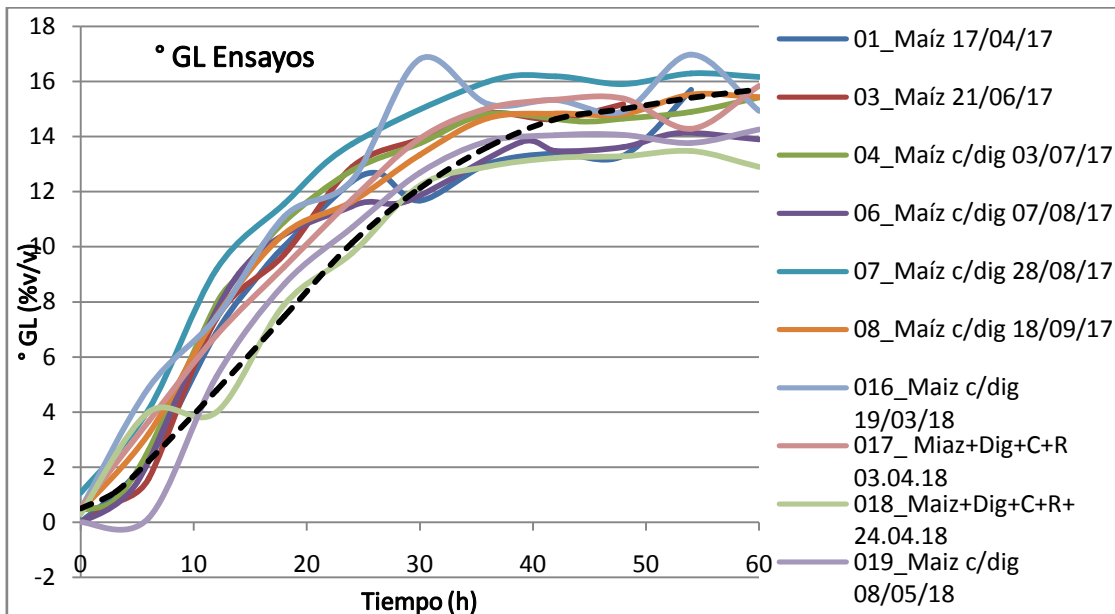


Figura N° 16 Evolución de ° GL en la Fermentación.

Se observa en la Figura N°16 que en el principio de la fermentación el ° GL está por encima de la referencia de planta industrial, esto se debe a que en PE se manejan menores volúmenes por lo que se pone todo el fermentador en funcionamiento en menor tiempo, mientras que en planta industrial el trasvase y mezcla de mosto y levadura se efectúa en 15 h aproximadamente. El grado máximo alcanzado es condicionado por la cantidad de alcohol producido y posiblemente por otros tipos de estrés de las levaduras. Los ensayos con peores niveles como el 018 y 019 tuvieron baja cantidad de sólidos totales, y además se usó levadura en crema, por lo que hay que ser cuidadosos al compararlos con los demás.

HPLC fin de fermentación: este análisis proporciona información de las sustancias remanentes en el mosto fermentado. La glucosa remanente informa si la fermentación fue completa o deficiente. El ácido láctico; el ácido acético y el glicerol indica el grado de estrés que puede haber sufrido la levadura.

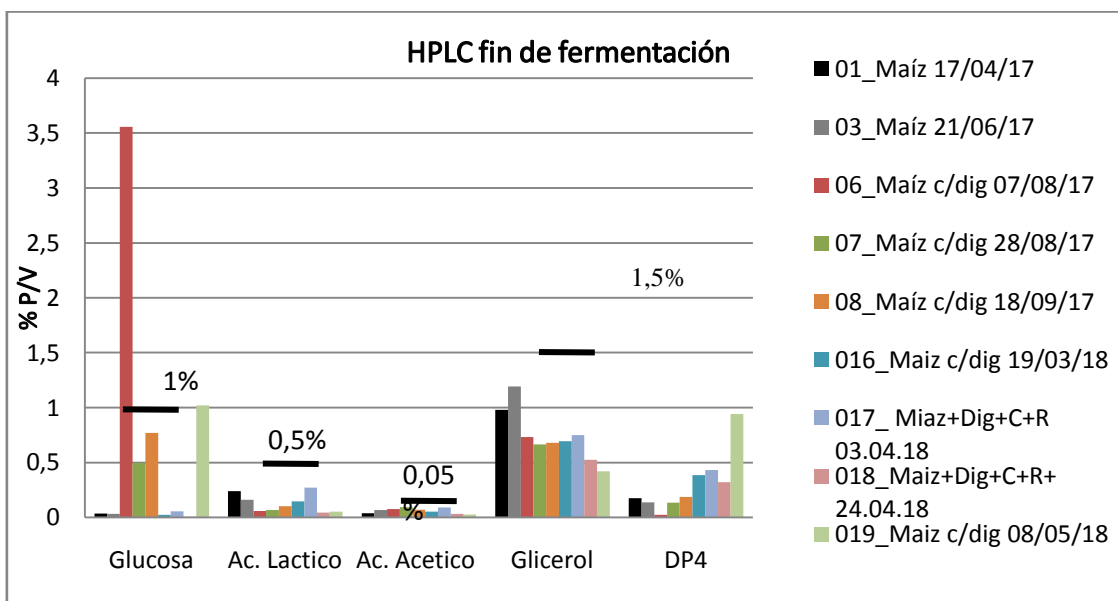


Figura N° 17 Resultado de HPLC fin de Fermentación *.

*Los datos de la experiencia N° 19 son a las 24 horas del inicio de la Fermentación porque no se pudo hacer HPLC en un momento más cercano de Fin de Fermentación (FF), que ocurre a las 60 horas por lo tanto debe prestarse atención a este dato. Otra excepción, con los datos de la Experiencia N° 016 cuyos resultados se determinaron a las 42 horas.

Observando la Figura N° 17 se puede concluir que en principio las levaduras no sufren estrés químico y tampoco existe competencia de organismos anaerobios que produzcan

ac. láctico como tampoco ac. acético. Respecto a la experiencia N° 6 que sufrió un pico de temperatura en la hora crítica, acusa una mayor concentración de glucosa no metabolizada debido a la muerte de levaduras. La experiencia N° 19 si bien el dato es obtenido mucho antes de FF sus niveles son acordes y seguramente fueron bajando progresivamente. El N° 08 donde la temperatura de fermentación fue ligeramente menor, pudo haber tenido un desarrollo más lento en el metabolismo y tal vez se podría haber dejado un tiempo más fermentando.

4.3.6. Eficiencia, rendimiento y receta

El concepto de rendimiento es la cantidad de alcohol producido (Figura N° 18), mientras que la eficiencia es el comparativo de esa cantidad con la que podría haber producido teóricamente (Figuras N° 19). (Ecuación A4.2).

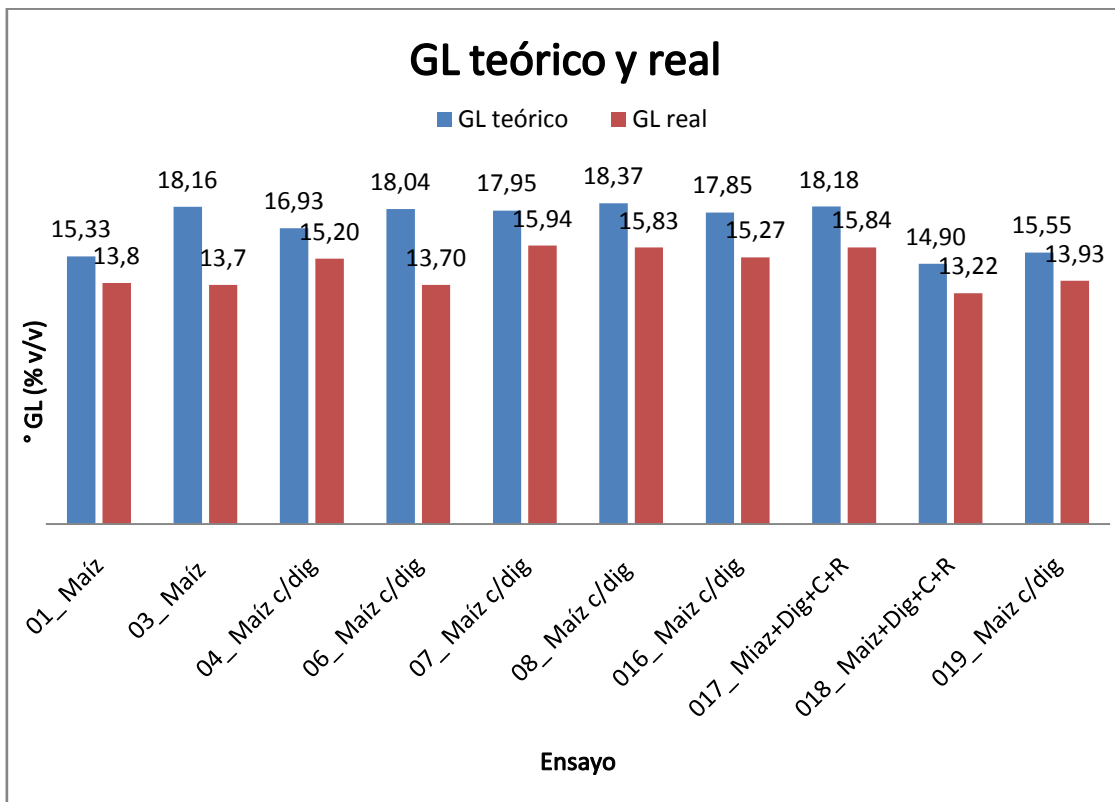


Figura N° 18 Comparativo °GL teórico y real FF.

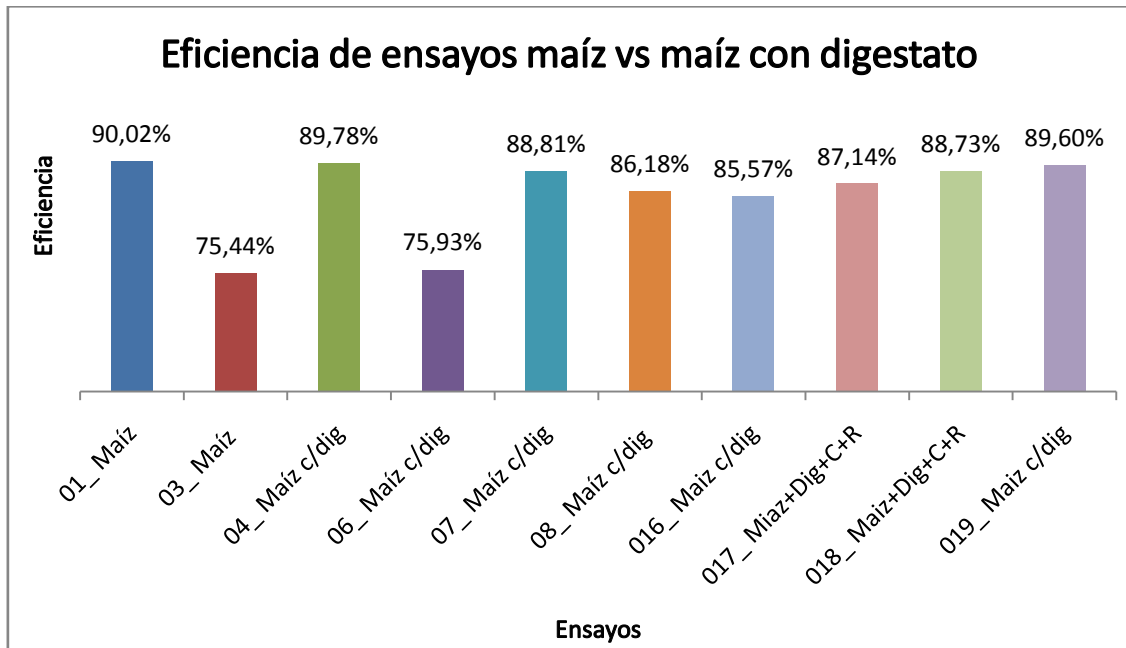


Figura N° 19 Comparativo eficiencia de Ensayos.

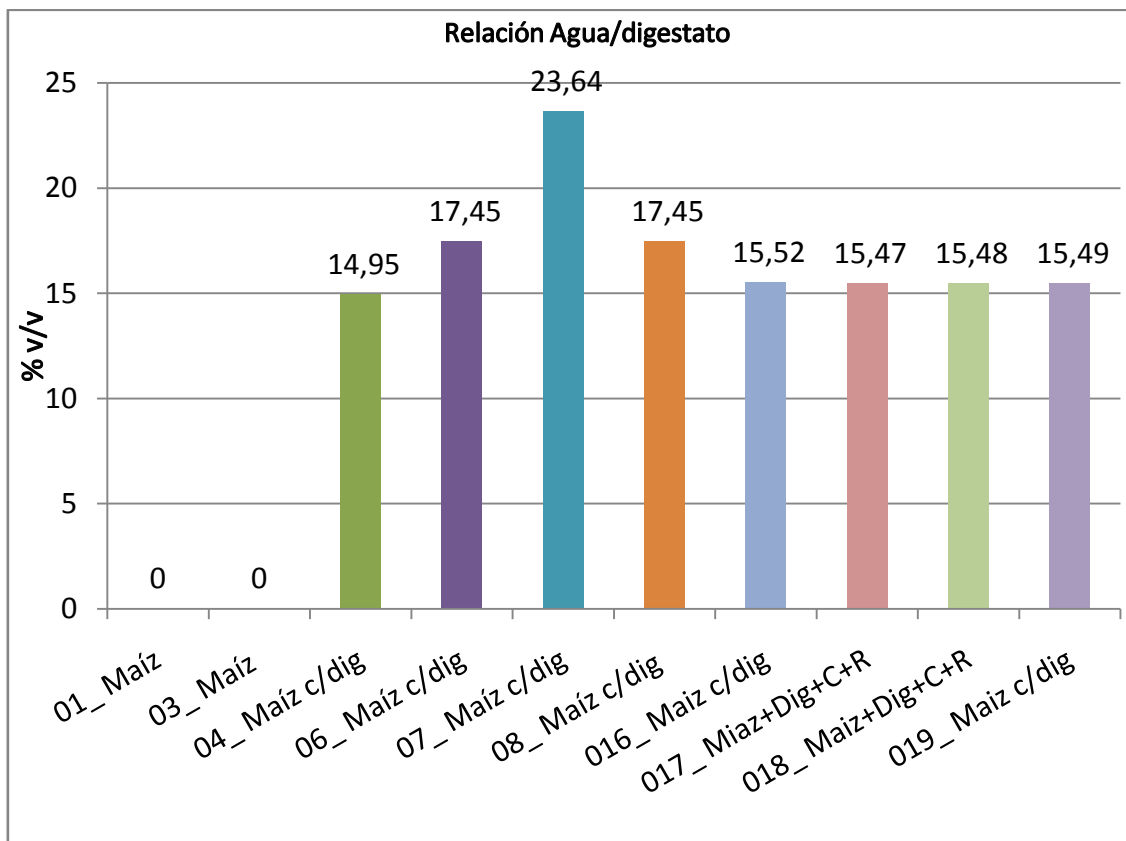


Figura N° 20 Porcentaje de reemplazo de agua por digestato.

De las Figuras N° 18, N° 19 y teniendo presente las demás, se observa que un alto rendimiento no significa alta eficiencia, sino que una alta producción llevaría a que las levaduras mueran debido a una concentración elevada de alcohol, por lo tanto,



quedarían elementos fermentables sin metabolizar provocando una baja eficiencia. Esto se correlacionaría con la concentración de sólidos totales al principio de la fermentación, (sin considerar el ensayo N° 03) porque una mayor concentración de ST produce mayor rendimiento, pero baja eficiencia por lo anteriormente expuesto. Particularmente en el ensayo N° 03 se presenta una desviación que se podría atribuir a un error de medición del grado alcohólico real alcanzado. El ensayo N° 06 fue deficiente por tener una elevación de temperatura en un momento crítico de la fermentación, esto pone de manifiesto que el control de temperatura es esencial, sobre todo a las altas temperaturas.

Comparando todos los ensayos con digestato se concluye que, el agregado de digestato (Figura N° 20) no interfiere significativamente en el proceso porque dejando de lado el ensayo N° 06, que ya fue analizado su bajo rendimiento, en el Ensayo N° 07 se incorporó un 23,64% de digestato y el rendimiento no se vió afectado por ello y, en los ensayos que le siguieron (N° 08 a N° 17), se les adicionó menos proporción de digestato y la eficiencia fue ligeramente menor, contrario a lo que se podría haber esperado. Además, un bajo porcentaje de sólidos totales en el inicio de fermentación (ensayos N° 18 y N° 19) tendría como consecuencia una mayor eficiencia pero a expensas de menor rendimiento.



5. Conclusiones

En cuanto al principal objetivo del Plan de Trabajo, se puede decir que se ha logrado realizar un análisis detallado del proceso, como también, las determinaciones de las eficiencias alcanzadas con distintos volúmenes de digestato. Por lo tanto, se puede decir que, mientras el tratamiento térmico del digestato sea correctamente implementado y los niveles de ácido láctico, ácido acético y glicerol iniciales de la mezcla macerada de digestato filtrado y vinaza liviana se mantengan en el nivel adecuado, el agregado de hasta un 24% no afectarían significativamente el rendimiento. En cuanto al porcentaje adecuado dependerá del requerimiento de planta industrial, si no se pudiese utilizar la totalidad de los efluentes producidos en la planta de biogás, se los destinaría al riego de los campos de maíz con el beneficio del aporte de nutrientes al sembradío. Por otra parte, el agregado de las otras aguas al proceso tampoco afecta el rendimiento, se deberá tener cuidado en el rechazo de ósmosis que posee un alto contenido de sales.

Respecto a la experiencia personal, al objetivo de planificar y a la realización de los ensayos, fue muy gratificante el hecho de pertenecer a un grupo de trabajo, poder interactuar con pasantes que no se relacionan con ingeniería, como con personal de la industria de rango muy variado, poder ver y percibir el movimiento industrial, ser parte de la planificación de las actividades, tener noción de los tiempos requeridos para las mismas, aprender a reaccionar con sensatez y con la mayor celeridad a imprevistos, ser consultado para brindar opiniones a problemas y modificaciones de naturaleza variada, y además tener el incentivo para que la proactividad sea el motor de todos los días y poder, de esa forma, absorber toda la experiencia posible de la práctica.



6. Bibliografía

- www.bio4.com.ar Ultimo acceso 23/07/2018.
- Instrucciones operativas (IO).
- Procedimientos operativos (PO).
- Especificaciones de equipos.
- Planimetría.

7. Anexos

Anexo 1



Figura A1.1 RT 1701, TA 1701 en primer plano.



Figura A1.2 Molino de martillo Royto MG 1701



Figura A1.3 Rototornillo RT 1702



Figura A1.4 Tanques 1701/02/03; intercambiador IC 1701; Bin de despacho



Figura A1.5 Calentador Eléctrico CL 1701



Figura A1.6 Torre de Enfriamiento TE
1701

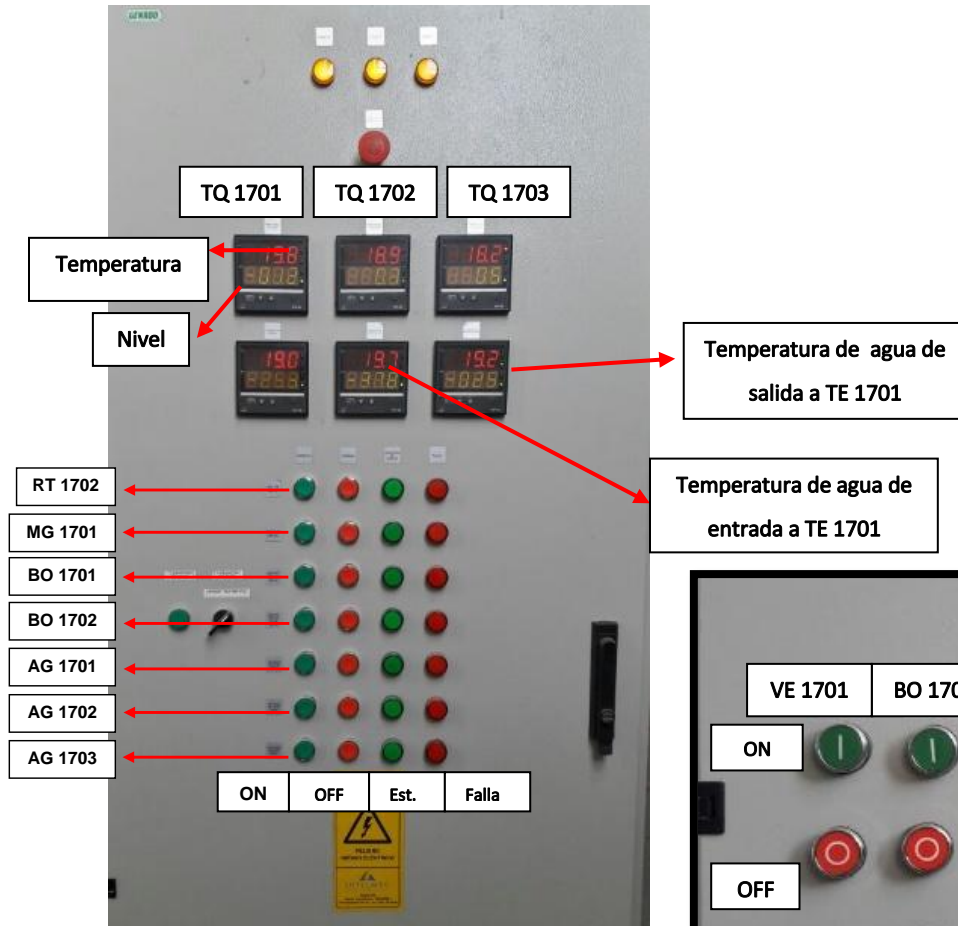


Figura A1.7 Tablero N°1



Figura A1.8 Tablero N° 2



Anexo 2.1.

RELEVADO POR (NOMBRE COMPLETO Y FIRMA):			
CHECK LIST ENSAYO PE			
ACTIVIDADES PRE ENSAYO	SI	NO	OBSERVACIONES
1 Verificar que los 2 bins para despacho de mosto fermentado estén limpios y en el sector asignado.			
2 Verificar que TQ 1701 este completamente vacío y desinfectado.			
3 Verificar que TQ 1702 este completamente vacío y desinfectado.			
4 Verificar que TQ 1703 este completamente vacío.			
5 Controlar sensor de temperatura de TQ 1701 (IO.PD 24 Rev. 00 - Verificación de sensores de temperatura en el área de licuefacción y fermentación)			
6 Controlar sensor de temperatura de TQ 1701 (IO.PD 24 Rev. 00 - Verificación de sensores de temperatura en el área de licuefacción y fermentación)			
7 Controlar sensor de temperatura de TQ 1701 (IO.PD 24 Rev. 00 - Verificación de sensores de temperatura en el área de licuefacción y fermentación)			
8 Controlar sensor de temperatura de IC 1701 (IO.PD 24 Rev. 00 - Verificación de sensores de temperatura en el área de licuefacción y fermentación)			
9 Controlar sensor de temperatura de ingreso de agua de enfriamiento al sistema (IO.PD 24 Rev. 00 - Verificación de sensores de temperatura en el área de licuefacción y fermentación)			
10 Controlar sensor de temperatura de salida de agua de enfriamiento del sistemas (IO.PD 24 Rev. 00 - Verificación de sensores de temperatura en el área de licuefacción y fermentación)			
11 Verificar que este vigente la calibración del phmetro.			
12 Verificar que este vigente la calibración del termometro de alcohol.			
13 Verificar por inspeccion visual que el toma muestra de TQ 1701 (V23) este limpio y desinfectado.			
14 Verificar por inspeccion visual que el toma muestra de TQ 1702 (V49) este limpio y desinfectado.			
15 Verificar por inspeccion visual que el toma muestra de TQ 1702 (V65) este limpio y desinfectado.			
16 Verificar que la tolva (TA 1701) este cargada con cereal			
17 Verificar que TQ1701 poseea el nivel correcto de agua o mezcla de aguas según receta (Controlar Lectura del PLC)			
18 Verificar que los recipientes para muestreo esten limpios, desinfectados, rotulados y en el lugar asignado.			
19 Verificar que las cantidades de los insumos preparados (alfa amilasa, glucoamilasa y urea) esten de acuerdo con la receta y se dispongan en el sector designado.			
20 Verificar que el volumen de ácido sulfúrico este por encima del nivel mínimo indicado en el envase.			
21 Verificar que el volumen de Hidroxido de Sodio (o soda caustica) este por encima del nivel mínimo indicado en el			
22 Verificar que la linterna esta cargada y en el sector designado con su cargador de batería.			
ACTIVIDADES SYSO (HIGIENE Y SEGURIDAD)	SI	NO	OBSERVACIONES
23 Verificar que la Ducha de Emergencia y Lavaojos este en correcto funcionamiento.			
24 Verificar que el Kit anti-derrame este completo: máscara facial y casco, traje, guantes para ácido/soda, material absorbente, cepillo, palita y paños absorbentes en Planta			

Figura A2.1.1 Resumen-Ejemplo de “check list”.

Anexo 2.2.

	Arranque y Parada MLF PE	Página 1 de 26
		IO. Rev.
		Fecha Elab: /04/2018

	ELABORA/MODIFICA	CONTROLA	APRUEBA
Nº Revisión	Función	Función	Función
	Responsable de PE		

NOTA: El presente documento es propiedad de Bioetanol Río Cuarto SA y está prohibida la reproducción parcial y/o total de la información sin un acuerdo por escrito.

1. OBJETIVO:

Describir las tareas de la puesta en marcha y parada para las operaciones de molienda, licuefacción y fermentación de la Planta Experimental.

2. ALCANCE:

Etapas de molienda, de licuefacción y fermentación de la planta experimental.

3. DEFINICIONES Y SIGLAS:

- MLF: Molienda, Licuefacción y Fermentación.
- GA: Gluco Amilasa.
- AA: Alfa Amilasa.
- PE: Planta Experimental
- Digestato: efluente proveniente de Planta de Biogás.

4. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:

5. DESARROLLO:

Etapas de adición y calentamiento de agua de servicios a Tanque Licuefactor (TQ1701):

22) Verificar que TQ 1701 esté vacío y limpio.

23) Verificar el estado de las siguientes válvulas:

- Cerradas: V1 (descarga de TQ 1701); V7, V8, V14 y V15 (entrada de agua de servicio a TQ1701); V43, V44, V71 y V72 (entradas de agua de servicio a TQ 1702/03); V2, V34 y V58 (entradas inferiores de agua de servicio a TQ 1701/02/03) y V7(entrada de agua de servicio).
- Abiertas: V9 (entrada de agua de servicio al sistema).

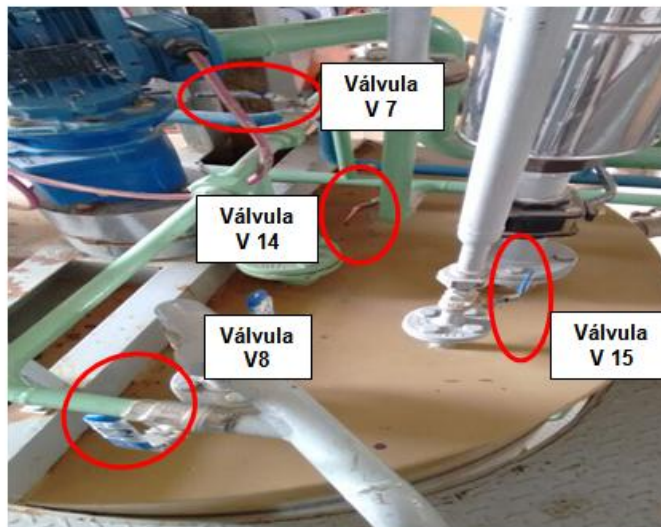


Figura 14: Válvulas de entrada de agua de servicio a TQ 1701.

Figura A2.2.1 Resumen-ejemplo de Instrucción operativa (IO)

Anexo 3



Figura A3.2 Ejemplo implementación 5S



Figura A3.1 Análisis FOSS



Figura A3.3 Termobalanza



Figura A3.4 pH metro



Figura A3.5 Equipo de laboratorio NIR
(Near Infra-Red) perten DA 7200

Anexo 4

A.4.1. Análisis granulométrico

Para calcular el porcentaje o fracción correspondiente a cada rango de tamaño de partícula, se utilizó un total de 250g de muestra de maíz molido y se tomó tanto el peso de los tamices llenos como vacíos del equipo utilizado. En la Ecuación A.4.1 puede verse expresada la forma de cálculo de cada fracción.

$$x_i = \frac{m_{\text{tamiz lleno } i} - m_{\text{tamiz vacío } i}}{m_{\text{muestra total}}} * 100 \quad \text{Ecuación A.4.1}$$

A.4.2. Cálculo de rendimiento

El cálculo del rendimiento alcohólico que se debería lograr teóricamente se hace considerando la Ecuación A.4.2, presentada a continuación.

$$^{\circ}GL_{\text{teórico}} = \frac{Vol_{\text{ferm}} * \frac{\%ST_{\text{ferm}}}{100} * \frac{Abs_{\text{ferm}}}{100} * \gamma * \beta * \frac{\rho_{\text{mosto}}}{\rho_{\text{etanol}}}}{Vol_{\text{ferm}} * \delta} \quad \text{Ecuación A.4.2}$$

Donde:

Vol_{ferm} = Volumen del fermentador en HS 0 de fermentación (m^3)

$\%ST_{\text{ferm}}$ = Procentaje de sólidos totales corregido en HS 0 de fermentación ($g_{\text{sólido}}/g_{\text{mosto}}$).

Abs_{ferm} = Almidón base seca en HS 0 de fermentación ($g_{\text{almidón}}/g_{\text{sólido seco}}$).

γ = Hidrólisis del almidón a glucosa ($g_{\text{glucosa}}/g_{\text{almidón}}$).

β = Conversión de glucosa a etanol ($g_{\text{etanol}}/g_{\text{glucosa}}$).

ρ_{mosto} = Densidad del mosto ($kg_{\text{mosto}}/m^3_{\text{mosto}}$).

ρ_{etanol} = Densidad del etanol ($kg_{\text{etanol}}/m^3_{\text{etanol}}$)

δ = Conversión a dióxido de carbono.

A.4.3. Cálculo de eficiencia del proceso (ϵ)

Considerando el rendimiento obtenido en cada uno de los ensayos y dividiendo dicho valor por el valor teórico calculado a partir de la Ecuación A.4.3, es posible obtener la eficiencia total del proceso fermentativo.

$$\epsilon = \frac{^{\circ}GL_{\text{real}}}{^{\circ}GL_{\text{teórico}}} \quad \text{Ecuación A.4.3}$$