



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO



Facultad de Ingeniería  
Departamento de Tecnología Química

## PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA (C 9160)

---

*“Comparación del efecto en el uso de levadura en crema y levadura deshidratada sobre la eficiencia de la fermentación alcohólica que utiliza efluente de biogás como agua de dilución.*

*Ensayos a nivel de Planta Piloto.”*

**ALUMNA:** Metallino, Agostina

**DOCENTE TUTOR UNRC:** Microbiólogo Bettera, Carlos Eduardo

**TUTOR EMPRESA:** Ing. Frola, Fabiana

**LUGAR DE REALIZACIÓN:** Bioetanol Río Cuarto S.A (Planta Experimental)

**PERÍODO DE REALIZACIÓN:** 8 de junio de 2018 al 28 de agosto de 2018

**FECHA DE PRESENTACIÓN DEL INFORME:** 22 de febrero de 2019

## **RESUMEN**

En el presente informe se describen las actividades llevadas a cabo durante la Práctica Profesional Supervisada (PPS) en la Planta Experimental de la empresa Bioetanol Río Cuarto S.A, también conocida como Bio4, dedicada a la producción de bioetanol a partir de maíz.

Inicialmente se presentan los objetivos planteados y se brinda información acerca de la empresa y del proceso productivo que se lleva a cabo. Posteriormente, se detallan las actividades realizadas, los resultados alcanzados, el análisis de los mismos y finalmente las conclusiones.

El objetivo de mayor importancia se relaciona con la influencia de los distintos estados iniciales de las levaduras sobre la eficiencia del proceso, utilizando digestato. Para ello, se realizaron planificaciones y ensayos a escala piloto en la Planta Experimental de Bio4. Se llevaron a cabo estudios previos del proceso para comprender el efecto de las diferentes variables realizando un adecuado análisis de los resultados obtenidos. En este informe se presenta dicha comparación, se evalúan los parámetros más importantes que inciden en las diferentes etapas del proceso productivo del bioetanol: molienda, licuefacción y fermentación.

Además, durante la PPS se redactaron documentos técnicos, protocolos y manuales de trabajo utilizados en la Planta Experimental. Se participó en el ámbito laboral y se pusieron en juego las habilidades adquiridas en la carrera de Ingeniería Química.

Como conclusiones significativas, se destaca que las eficiencias de fermentación alcanzadas en los ensayos empleando tanto levadura seca como levadura en crema, no presentaron diferencias significativas entre ellas, por ello, la elección de utilizar una u otra en el proceso dependerá de otros criterios.

El desarrollo de la Práctica Profesional resultó enriquecedor y satisfactorio, permitió integrar los conocimientos adquiridos en las diversas asignaturas de la carrera Ingeniería Química y fundamentalmente aplicarlos a una situación real.

## CONTENIDO

1	OBJETIVOS.....	- 1 -
1.1	Objetivos planteados.....	- 1 -
1.1.1	Objetivos Generales .....	- 1 -
1.1.2	Objetivos Específicos .....	- 1 -
1.2	Objetivos alcanzados .....	- 1 -
2	DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	- 2 -
2.1	Presentación.....	- 2 -
2.2	Descripción de la empresa.....	- 2 -
2.3	Área de la empresa donde se realiza la práctica .....	- 2 -
2.4	Organigrama de la empresa .....	- 3 -
2.5	Tecnologías y procesos.....	- 4 -
3	DESCRIPCIÓN DE TAREAS REALIZADAS.....	- 9 -
3.1	Actividades realizadas .....	- 9 -
3.1.1	Reconocimiento de las instalaciones.....	- 9 -
3.1.2	Estudio de Normas que alcanzan el sistema de producción.....	- 9 -
3.1.3	Estudio del proceso de producción.....	- 11 -
3.1.4	Modificación y confección de documentos.....	- 11 -
3.1.5	Corrección del Diagrama P&I de la planta experimental .....	- 11 -
3.1.6	Actividades orientadas al método 5S .....	- 11 -
3.1.7	Ensayos de fermentación a escala piloto.....	- 12 -
3.2	Resultados y análisis de los datos experimentales.....	- 13 -
3.2.1	Materia prima .....	- 13 -
3.2.2	Molienda.....	- 14 -
3.2.3	Licuefacción .....	- 15 -
3.2.4	Fermentación .....	- 18 -
3.2.5	Determinación de la eficiencia .....	- 21 -
4	CONCLUSIONES .....	- 23 -
5	BIBLIOGRAFÍA.....	- 24 -
6	ANEXOS.....	- 25 -

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 Objetivos planteados

### 1.1.1 *Objetivos Generales*

- Desarrollar habilidades prácticas propias de la actividad profesional en una planta industrial a escala piloto.
- Participar activamente en el ámbito laboral, procurando una buena comunicación con todo el personal de la planta.
- Conocer la planta industrial de la empresa Bio4: el organigrama, sus instalaciones, el proceso de producción de bioetanol a partir de maíz y la tecnología empleada. Además, las normas que alcanzan al sistema de producción.
- Analizar la influencia de la levadura seca y la levadura en crema en el proceso de fermentación alcohólica a partir de maíz, con digestato como parte del agua de dilución.

### 1.1.2 *Objetivos Específicos*

- Planificar y realizar los ensayos experimentales de fermentación a desarrollarse en la Planta Experimental.
- Determinar y comparar la eficiencia de fermentación de ensayos experimentales con diferentes estados de las levaduras.
- Desarrollar habilidades para la redacción de documentos técnicos, protocolos y manuales de trabajo de plantas industriales.

## 1.2 Objetivos alcanzados

De los cuatro objetivos generales planteados, se lograron alcanzar satisfactoriamente tres de ellos de acuerdo a lo esperado. El objetivo referido a la influencia en la eficiencia de los tipos de levadura se alcanzó parcialmente por no contar, en el período de desarrollo de la práctica, con uno de los productos para realizar el ensayo específico. Sin embargo, la comparación de eficiencia de los ensayos empleando diferentes estados de levaduras fue posible por disponer de datos de ensayos anteriores, aportados por la empresa.

## **2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

### **2.1 Presentación**

- *Nombre de la empresa:* Bioetanol Río Cuarto S.A.
- *Dirección:* Ruta Provincial N°19 km 1,2
- *Tel/fax:* (0358) 4210620
- *Email:* info@bio4.com.ar
- *Rubro:* Empresa Agroindustrial dedicada a la producción de bioetanol a partir de maíz. Como subproducto genera burlanda seca o granos secos de destilería (DDGS, siglas del inglés Dry Distillers Grains) y burlanda húmeda o granos húmedos de destilería (WDGS, siglas del inglés Watery Distillers Grains), comercializada para alimento de ganado por su alto contenido proteico.
- *Capacidad:* La capacidad anual instalada de la planta modelo es de 82.000.000 litros de alcohol y 41.772,15 Tn de DDGS y WDGS.

### **2.2 Descripción de la empresa**

Bioetanol Río Cuarto S.A es una empresa agroindustrial cuyos socios son 28 productores agropecuarios de Río Cuarto y de la zona. El objetivo general y común de éstos es aportar valor agregado al grano de maíz, utilizándolo como materia prima para la obtención de bioetanol como producto principal y como subproducto la burlanda empleada como alimento para el ganado.

La empresa Bio4 busca producir biocombustibles y bioenergía a partir de la producción primaria, aportando beneficios económicos y sociales a la región a partir de una producción sustentable, valiéndose como gestión política de un firme compromiso por cumplir las leyes aplicables al producto, al cuidado del medio ambiente y al trabajador, priorizando la seguridad en las operaciones.

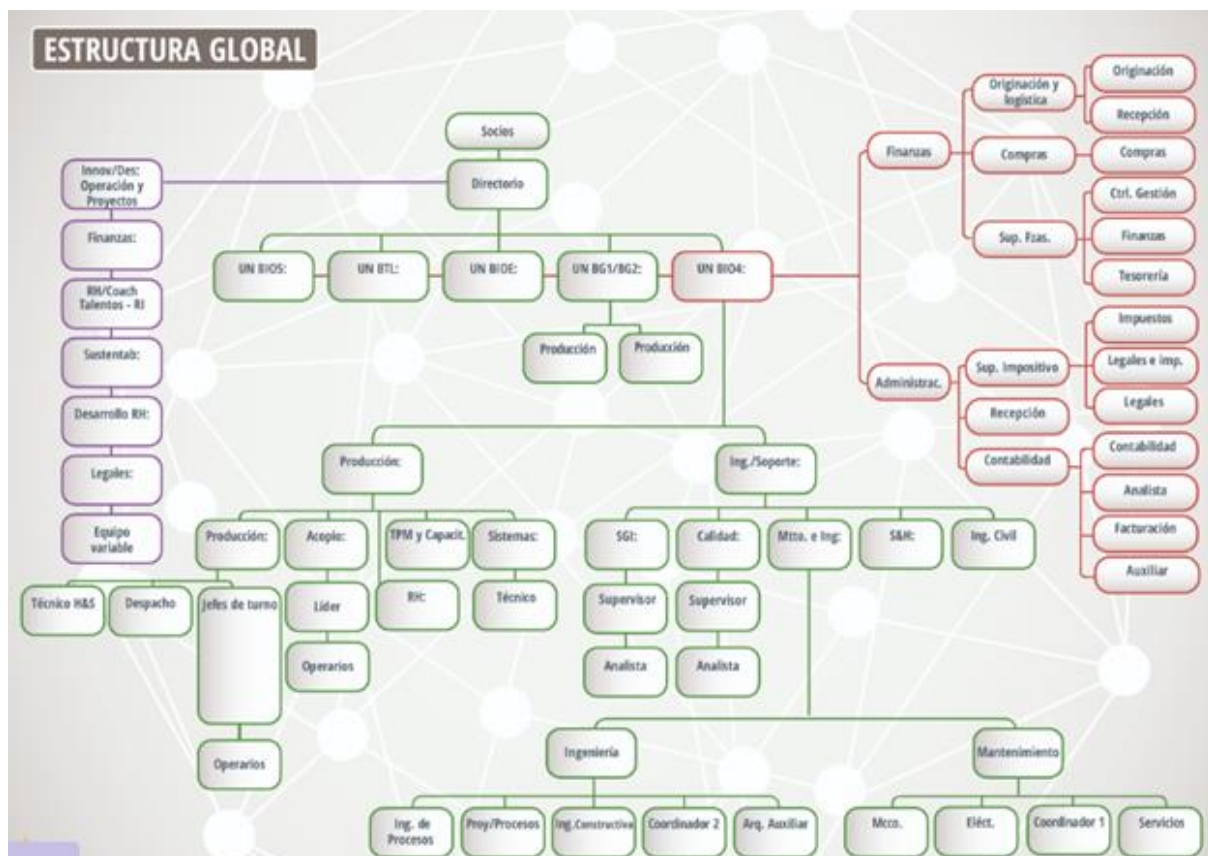
### **2.3 Área de la empresa donde se realizó la Práctica Profesional**

Las actividades propuestas en la PPS fueron efectuadas en la Planta Experimental de la empresa Bioetanol Río Cuarto S.A. Se asistieron los días hábiles de la semana, por 4 horas diarias. A excepción de las semanas en donde se realizaron ensayos, en las cuales se concurrió 6 horas en los primeros 3 días desde el inicio de este, para poder realizar el seguimiento y control del proceso productivo que no puede ser interrumpido y debe ser monitoreado con

frecuencia. En total, para llevar a cabo las actividades propuestas en el plan de trabajo se permaneció 200 horas en el lugar, comenzando el 8 de junio y finalizando el 28 de agosto del corriente año.

## 2.4 Organigrama de la empresa

En la Figura 1, se presenta el diagrama global de organización de la empresa, la cual corresponde a una estructura matricial.



*Figura 1. Organigrama de la empresa*

La Planta Experimental donde se concretó la Práctica Profesional Supervisada está gestionada, particularmente, por el sector de Ingeniería Soporte, en la sección de Calidad, por lo cual, se encuentra dentro de la dirección del jefe de calidad. En la Figura 2 se representa la estructura de organización de dicha área:



*Figura 2. Organigrama de la Planta Experimental*

## 2.5 Tecnologías y procesos

El bioetanol es alcohol etílico de alta pureza, anticorrosivo y oxigenante que puede ser empleado como combustible al mezclarlo en diferentes proporciones con las naftas. Se obtiene a partir de biomasa de origen vegetal que contenga azúcares simples o algún compuesto que pueda convertirse en ello, como el almidón o la celulosa. Se produce mediante la fermentación alcohólica de levaduras, las cuales metabolizan los azúcares simples, generando etanol y dióxido de carbono.

En Bio4 se emplea maíz como especie vegetal de partida, el almidón que contiene el grano es el único componente que se transforma en alcohol. Para esto, se utilizan enzimas específicas que hidrolizan el almidón hasta azúcares simples como la glucosa. El alcohol producido en la fermentación alcohólica es destilado para obtener alcohol de calidad y concentración adecuada (95 %v/v). Posteriormente ese alcohol es deshidratado, la absorción de agua se produce por medio de tamices moleculares de zeolita donde el alcohol queda con una concentración de 99,5 %v/v, grado de pureza que se requiere para su uso como combustible. Esta etapa se denomina anhidración.

El desecho producido en la destilación, conocido como vinaza pesada (VP), es el resto de los componentes del grano de maíz que no se convirtió en alcohol, tales como las proteínas, materias grasas y fibras disueltos en una mezcla de líquidos. Mediante separación centrífuga se divide la VP en sólidos (burlanda) y líquidos, lo que se denomina vinaza liviana (VL). A su vez, estos sólidos se concentran mediante evaporación, obteniendo la burlanda húmeda (WDGS) que parte es comercializada como tal y otra parte es derivada a un sistema de secado para reducir el contenido de agua a aproximadamente un 10-12 % logrando la burlanda seca (DDGS). La burlanda y sus variantes se emplean como alimento para el ganado por su alto contenido proteico.

En el Anexo I se presenta a modo ilustrativo el proceso productivo de la planta principal de Bio4.

En la Planta Experimental de la empresa, se desarrollan ensayos con la finalidad de evaluar la adaptación de la levadura a los cambios en las recetas<sup>1</sup>, asociados a las modificaciones que se proponen para la línea de producción principal de Bio4. Además, permiten visualizar los ajustes que pueden efectuarse para mejorar la eficiencia en la producción, tanto en las variables relacionadas al proceso como en las proporciones de los insumos empleados. Para ello, la Planta Experimental cuenta con un equipamiento que permite replicar a escala piloto el proceso productivo del bioetanol, desde la molienda del grano hasta la destilación del mosto<sup>2</sup> fermentado. La Planta Experimental no está diseñada para obtener los subproductos burlanda y sus variantes, se considera que se obtienen a partir de separaciones físicas que no influyen en la eficiencia del proceso, el foco se sitúa en controlar la fermentación de la levadura. En el Anexo II se especifican los equipos instalados en la Planta Experimental, los cuales se encuentran identificados mediante un código.

Las etapas del proceso productivo llevado a cabo en los ensayos que se realizan en la Planta Experimental se detallan a continuación:

### *1. Recepción del cereal*

A la Planta Experimental llega el cereal en bolsas de 25 kg aproximadamente, limpio y acondicionado para la producción. Luego de recibido, se realiza un análisis de sus características físicoquímicas (contenido de almidón, humedad, proteínas y grasas).

### *2. Molienda*

El objetivo de la molienda es romper los granos de cereal y reducir el tamaño de partículas lo suficiente como para permitir el hinchamiento y ablandamiento de los gránulos de almidón y ser hidrolizados por la enzima alfa amilasa, lo cual reduce el tiempo de cocción y facilita el bombeo del material.

Para ello, el cereal limpio se carga a una tolva de almacenamiento TA 1701 a través de un transportador sinfín RT 1701. Esta tolva alimenta al molino de martillos MG 1701 equipado con una malla de 2 mm. Luego, mediante un segundo sinfín RT 1702 el grano molido es dirigido hacia el tanque de licuefacción TQ 1701 de forma gradual para evitar la formación de grumos.

---

<sup>1</sup> Fórmula que describe los ingredientes y las cantidades que se emplea en la industria para la producción de bioetanol. Las recetas utilizadas para los ensayos están a cargo de la jefa de calidad de Bio4 y la responsable de la PE.

<sup>2</sup> Se refiere al maíz molido hidratado para la licuefacción.



### 3. *Licuefacción*

Esta etapa tiene como objetivo dar inicio a la degradación de la estructura del almidón para permitir su hidrólisis mediante la enzima alfa-amilasa que actúa de manera aleatoria sobre los enlaces glucosídicos alfa 1-4 en la amilosa y amilopectina, dos moléculas de las que consta el almidón, convirtiéndolo en cadenas menores llamadas dextrinas.

El cereal molido es transportado hacia el tanque licuefactor TQ 1701 ya cargado con el nivel de mezcla de aguas, la cual puede contener agua de servicios, agua de rechazo de ósmosis de Bio4, condensado de Bio4, vinaza liviana de Bio4 y/o digestato según se especifique en la receta. Es muy importante que mientras los sólidos son adicionados exista agitación continua para evitar la aglomeración del cereal molido dentro del tanque. Para ello, el tanque licuefactor cuenta con un agitador mecánico AG 1701, además de una bomba centrífuga BO 1701 que recircula una porción del mosto para facilitar la mezcla y lograr homogeneidad.

En caso de que la mezcla de aguas contenga digestato (efluente de la planta de biogás) es necesario realizarle un tratamiento térmico previo a la adición del cereal molido. Se realiza con el fin de disminuir la gran carga microbiana que contiene, para ello, se calienta el contenido del tanque licuefactor TQ 1701 haciéndolo pasar por el intercambiador en espiral IC 1701 (por el que circula agua caliente en contracorriente, proveniente del calentador eléctrico CL 1701) hasta alcanzar los 90 °C y se lo mantiene a esa temperatura durante 2 horas.

Una vez adicionado el maíz, se debe asegurar que la temperatura se encuentre entre 84-85 °C y el pH entre 5,1-5,3. Ambas, son las condiciones necesarias para lograr una buena actividad de la enzima alfa-amilasa. Por lo general el pH inicial del mosto se encuentra en valores más altos, por la influencia del digestato, y se corrige con la adición de ácido sulfúrico concentrado. Además, el porcentaje de sólidos totales (%ST) al inicio de la licuefacción debe encontrarse entre 32-33 % p/p para evitar el estrés de las levaduras por exceso de sustrato. Esta etapa tiene una duración de 4 horas.

### 4. *Fermentación*

En esta etapa se lleva a cabo la conversión de los azúcares a etanol mediante un proceso metabólico de las levaduras. Finalizada la licuefacción, se enfría el mosto hasta 33-34°C, haciéndolo circular por el intercambiador de calor IC 1701 en contracorriente con agua de enfriamiento, proveniente de la torre de enfriamiento TE 1701. Luego se realiza el trasvase desde el tanque licuefactor TQ 1701 al tanque fermentador TQ 1702 utilizando la bomba

centrífuga BO 1701. Una vez trasvasado todo el mosto, se adicionan las levaduras. Éstas pueden ser levadura seca (condición anhidra) o en crema. En caso de emplearse levadura seca en el proceso, es necesario realizar su activación y propagación. En la planta Bio4, la activación se realiza a escala laboratorio y consiste en un proceso de rehidratación con agua de servicio, donde recuperan parte del líquido con el que contaban originalmente en su estructura y su capacidad para alimentarse y reproducirse. La propagación, es el proceso en el que se le dan las condiciones aeróbicas y nutritivas que las levaduras necesitan para obtener el inóculo que se utilizará en el fermentador. En caso de utilizar levadura en crema, no se realiza el proceso de activación y propagación.

En la Planta Experimental, se opera bajo tres posibles modalidades en cuanto a la disposición de las levaduras que se van a adicionar al tanque fermentador (TQ 1702), de acuerdo al proceso ensayado:

- Levaduras hidratadas y propagadas en Planta Bio4.
- Levaduras hidratadas y propagadas en Planta Experimental.
- Levaduras en crema en Planta Experimental.

Una vez mezclado el mosto con la levadura incorporada en el TQ 1702, se agrega urea para proveer el nitrógeno necesario como nutriente; antibióticos para evitar la proliferación de microorganismos que compiten con las levaduras y podrían causar disminución en el rendimiento y la enzima gluco-amilasa que actúa sobre los enlaces glucosídicos alfa 1-4 y alfa 1-6 para liberar moléculas individuales de glucosa a partir de la mezcla de dextrinas obtenida en la licuefacción.

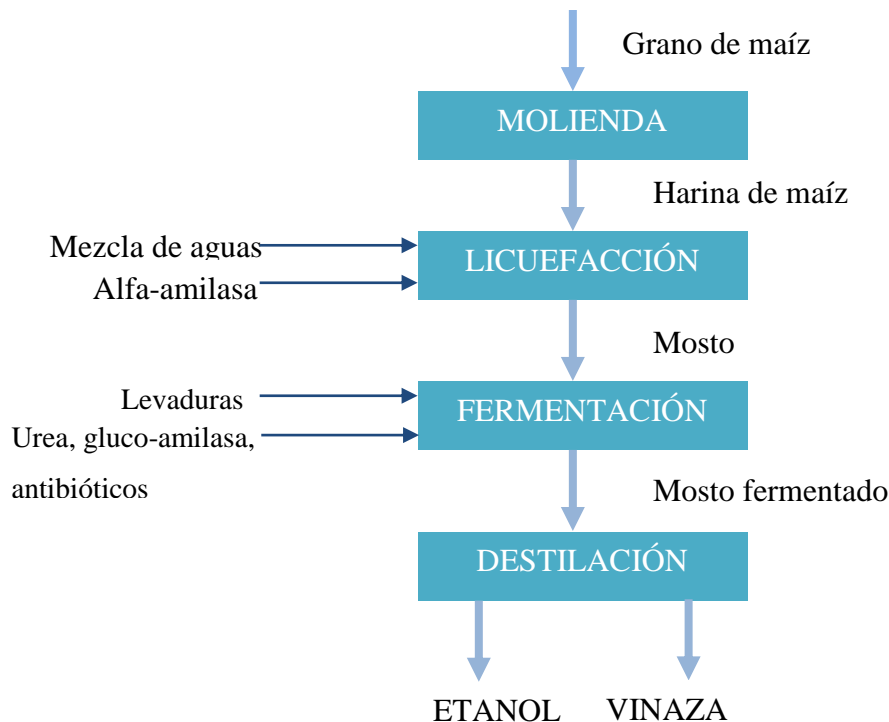
La etapa de fermentación tiene una duración de 60 horas, donde se genera etanol, que es el producto de interés, dióxido de carbono que se ventea a la atmósfera y calor. Es importante controlar y mantener la temperatura entre 32-33 °C debido a que es la óptima para el desarrollo de las levaduras. El daño por exceso térmico a las levaduras lleva a una desnaturalización de las proteínas y ácidos nucleicos, provocando la muerte. Cuanto mayor es la temperatura por encima de la óptima, mayor es la pérdida de viabilidad. Por lo tanto, el tanque fermentador TQ 1702 cuenta con una camisa refrigerante por la cual circula agua de enfriamiento que proviene de la torre TE 1701 para cuando se requiera extraer calor.

### 5. Destilación

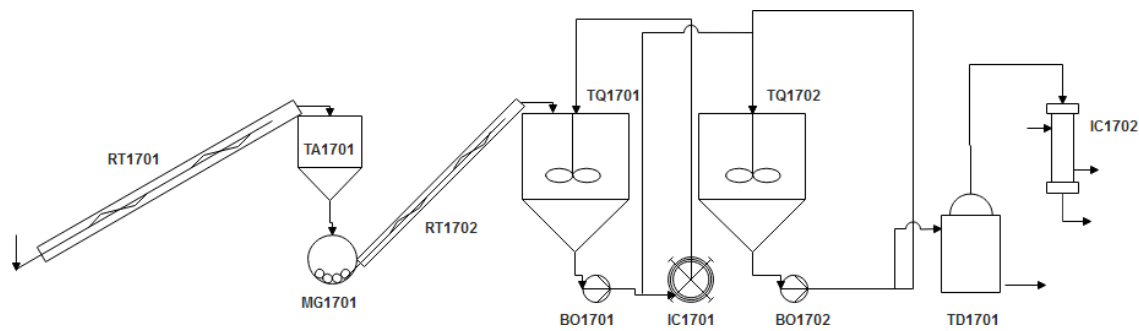
El objetivo de esta sección es separar del mosto el etanol producido en la fermentación alcohólica. Al destilador ingresa el mosto de fin de fermentación. Éste presenta una camisa calefactora por donde circula agua caliente proveniente del calentador eléctrico CL 1701 para permitir que el alcohol se evapore a 78 °C. El alcohol evaporado es condensado en los tubos de un condensador IC 1702 situado a continuación del destilador TD 1701. En la coraza del mismo, circula agua de refrigeración proveniente de la torre de enfriamiento TE 1701. La mezcla de sólidos y el agua que no hierve se llama vinaza pesada (VP) y se recolecta en binses para su posterior tratamiento en la planta Bio4.

Actualmente, esta etapa no está siendo llevada a cabo debido a que el destilador TD 1701 se encuentra averiado. El mosto fermentado se retira del tanque fermentador TQ 1702 a binses que, posteriormente, se envían a la planta de Bio4 para la separación del etanol.

El diagrama de bloques del proceso descrito anteriormente se muestra en la Figura 3 y en la Figura 4, se muestra un esquema representativo de los equipos de la PE.



**Figura 3.** Diagrama de bloques del proceso en Planta Experimental.



*Figura 4. Esquema de los equipos utilizados en la Planta Experimental*

### 3 DESCRIPCIÓN DE TAREAS REALIZADAS

#### 3.1 Actividades realizadas

##### 3.1.1 Reconocimiento de las instalaciones.

En el ingreso a la planta se visualizó un video institucional que describe el proceso de producción, desde la recepción de la materia prima hasta la comercialización del bioetanol y el subproducto burlanda empleado como alimento para ganado.

En los primeros días del desarrollo de la PPS se recorrieron todos los sectores: recepción del maíz, molienda, licuefacción, fermentación, destilación, evaporación -en burlanda-, anhidración y depósito de bioetanol. Además, se visitaron la sala de calderas y las torres de enfriamiento para el acondicionamiento del agua de servicios, finalizando en las lagunas de tratamiento de efluentes y la laguna de retención de agua de lluvia.

Por otro lado, se realizó el reconocimiento de las instalaciones en la Planta Experimental, sector donde se desempeñó la PPS, aquí se imita el proceso productivo de la planta industrial a escala piloto.

##### 3.1.2 Estudio de Normas que alcanzan el sistema de producción

Se realizó una introducción de los organismos controladores y las normativas internacionales que se respetan en la empresa, las cuales son:

- ISO 9001 calidad del producto;
- ISO 14001 de ambiente;
- OSHAS 18001 de seguridad e higiene;
- Ac (Agricultura certificada) sobre la agricultura sustentable;
- Buenas Prácticas de Manufactura (BPM);
- Procedimientos Operacionales Estandarizadas de Sanitización (POES).

Además se comentó la política de gestión en la que se basa la empresa, enfocada en la calidad del producto, la satisfacción del cliente, el cuidado del medio ambiente y la seguridad y salud ocupacional del personal.

A lo largo del desarrollo de la PPS, se recibieron diferentes capacitaciones necesarias para el correcto desempeño en la industria:

*Capacitación en Higiene y Seguridad:* al ingresar a la planta, previo a recorrer las instalaciones, el responsable de Higiene y Seguridad brindó una capacitación que aborda aspectos generales de seguridad en la planta, tales como: utilización de los elementos de protección personal (EPP) necesarios, procedimientos de evacuación ante posibles incidentes; puntos de encuentro; identificación de salidas de emergencias; cuidados a tener en cuenta al momento de trabajar en distintas actividades y la matriz de riesgos, en la cual se indica el riesgo asociado a las diferentes tareas y se evalúa el grado de peligrosidad de cada una.

*Capacitación en Sistema de Gestión Integrado (SGI):* la empresa certifica la norma ISO 9001, en función a esto, deben sistematizarse los procesos y documentos. El SGI es el encargado de crear, modificar y autorizar esos archivos. Se mostraron los diferentes tipos de documentos que existen, entre los que se encuentran: instructivo operativo (IO), manual operativo (MO), procedimiento (P), especificaciones técnicas de proceso (ETP), especificaciones de proceso (EP) y lección en un punto (LUP). También se informó sobre el contenido de cada uno de ellos y cómo se debe llevar a cabo la modificación de cualquier documento.

*Capacitación en Sistema de Gestión Ambiental:* La empresa, certifica la norma ISO 14001, en función a ello, se instruyó de acuerdo al tratamiento de los residuos en Bio4. Además, se hizo un reconocimiento de los impactos ambientales sobre los factores naturales y sociales involucrados en la actividad realizada en la industria y se mostraron las medidas que se desarrollan, ya sea para mitigar, eliminar o prevenir los impactos identificados.

*Capacitación de técnicas de laboratorio para determinaciones analíticas:* Se recibieron instrucciones sobre el uso y manejo de los equipos del laboratorio que se utilizaron para el análisis de las muestras en los ensayos (medidor de pH, NIR, HPLC, FOSS), en el Anexo II se presentan en detalle dichos equipos.

*Capacitación sobre metodología 5S:* este método de origen japonés implementado en la empresa, agrupa una serie de actividades que se desarrollan con el objetivo de crear condiciones de trabajo que permitan la ejecución de labores de forma organizada, ordenada y

limpia. Se realizan auditorías internas periódicamente para controlar la implementación de dicha metodología en las diferentes áreas de trabajo.

### *3.1.3 Estudio del proceso de producción*

Se llevó a cabo la lectura de los Manuales Operativos (MO) y los Instructivos Operativos (IO) de las diferentes etapas del proceso productivo en la Planta Experimental, identificando los equipos y válvulas involucradas en las operaciones, también visualizando los puntos de control y los toma muestra que en dichos documentos se mencionan. Esto permitió ser competente en el momento de realizar los ensayos.

### *3.1.4 Modificación y confección de documentos*

Durante el transcurso de la PPS, habiendo tomado conocimiento del proceso, se modificaron los instructivos operativos (IO) existentes en la Planta Experimental, los cuales describen de manera ordenada y detallada las acciones que deben ejecutarse para llevar a cabo las diferentes actividades. Estos instructivos deben ser fáciles de comprender y contener toda la información necesaria para evitar errores o ambigüedades en la interpretación por parte de los operarios, la edición de los mismos estuvo orientada a esa exigencia.

Además, se elaboraron documentos nuevos, por un lado, se realizó para el rotulado de recipientes en los ensayos una Lección en un Punto (LUP), que es una herramienta de comunicación que tiene como objetivo transferir conocimientos y habilidades de manera simple y breve. También, se confeccionó un IO referente al método de limpieza CIP (Clean In Place) que se realiza en la planta de Bio4 de manera frecuente, pero que en la PE no se había puesto en práctica desde su construcción. Fragmentos de los documentos mencionados anteriormente se encuentran en el Anexo III.

### *3.1.5 Corrección del Diagrama P&I de la Planta Experimental*

La Planta Experimental está en continua reforma y modificaciones para encontrar la mejor distribución de los equipos, cañerías y válvulas involucradas en el proceso. Por ello, se realizó un relevamiento de los mismos para modificar el Diagrama P&I obsoleto de la Planta Experimental.

### *3.1.6 Actividades orientadas al método 5S*

Como se mencionó anteriormente, este método apunta a mantener el orden y la limpieza, por ello, se realizó un relevamiento de carteles y rótulos de equipos, instrumentos y mobiliario de los que se disponen en la Planta Experimental y se ubicaron los faltantes. Por otro lado, se delimitaron con cinta amarilla los diferentes sitios que le corresponde a cada objeto en la PE.

### *3.1.7 Ensayos de fermentación a escala piloto*

Durante el transcurso de la práctica se llevaron a cabo tres ensayos de fermentación con la finalidad de determinar y comparar el rendimiento que se alcanza en cada uno. Los ensayos consistieron en la producción de bioetanol a partir de maíz, con la incorporación de digestato. Además de digestato, la mezcla de aguas contenía agua de servicio, condensado y rechazo de ósmosis de Bio4. Estos ensayos se realizaron tal como se describe en la sección Tecnologías y Procesos (pág. 7), con la incorporación de levaduras propagadas en Bio4. Se llevó a cabo un seguimiento del proceso tomando en cada etapa diferentes muestras y registrando todos los datos necesarios.

En todos los ensayos se buscó mantener las mismas condiciones de trabajo para asegurar la reproducibilidad y que estos puedan ser comparados entre sí.

A continuación, se detallan las tareas preliminares a los ensayos, generales y comunes a los tres:

- Rotulado de recipientes y sobres para la toma de muestras en los ensayos.
- Programación de toma de muestras y determinaciones analíticas que deben realizarse.
- Carga del maíz: se pesó la cantidad de maíz indicados en la receta, se cargó a la tolva de almacenamiento TA 1701 mediante el sinfín RT 1701. Luego, se tomó una muestra y se le determinó el contenido de almidón, humedad, proteínas y grasas en el equipo FOSS.
- Filtrado de digestato: en los tres ensayos se utilizó digestato, fue necesario filtrarlo utilizando una malla de alambre para reducir el porcentaje de sólidos totales. Se tomó muestra del digestato para determinar el porcentaje de sólidos totales (%ST).
- Carga de líquidos al tanque licuefactor TQ 1701: las “aguas” empleadas se disponen y mensuran en bines, se trasvasan al tanque mediante un sistema de bomba centrífuga periférica BO 1705, acoples y mangueras. Se tomó muestra de la mezcla de aguas inicial.
- Preparación de insumos: se pesó o se midió el volumen de los insumos a utilizar en los ensayos, establecido en la receta, tal como enzimas, urea y/o antibióticos.
- Completado del Check-list: se trata de una lista de inspección de equipos, herramientas, kit de seguridad y otros servicios de la Planta Experimental, para evitar errores o improvisaciones, además de resguardar la seguridad del operario.

### 3.2 Resultados y análisis de los datos experimentales

A continuación, se lleva a cabo la comparación de los ensayos de fermentación con la adición de levadura seca propagada en la planta principal de Bio4, empleando los datos obtenidos durante el desarrollo de las PPS (codificación M/D/P) y un ensayo con levadura en crema utilizando datos anteriores (codificación M/D/C). Se analizan los resultados más importantes obtenidos en cada etapa y se determina cómo cada variable afecta a la eficiencia del proceso.

#### 3.2.1 Materia prima

- Granos de maíz

Se analizó la muestra de grano de maíz entero en cada ensayo, mediante el Analizador de grano Infratec (FOSS). En todos los ensayos las características del maíz se mantuvieron casi constantes, en la Tabla 1 se informan los valores promedios en los ensayos.

**Tabla 1.** Composición del grano de maíz entero

<b>Humedad</b>	13,13%
<b>Grasas T/C</b>	4,53%
<b>Almidón T/C</b>	71,98%
<b>Proteínas T/C</b>	7,88%

- Digestato

Según criterio de Bio4, el digestato no debería aportar más del 2,5% de sólidos totales (ST) no fermentables, para que el rendimiento de bioetanol sea máximo.

El digestato empleado se trasladó desde Bioeléctrica a la Planta Experimental en un camión cisterna, donde se lo filtró para disminuir los sólidos totales y se almacenó en bins. El porcentaje de sólidos en el digestato, se pueden observar en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Sólidos totales en digestato

<b>Ensayo</b>	<b>%ST digestato</b>
<b>M/D/P 25.06.18</b>	7,6%
<b>M/D/P 10.07.18</b>	5,8%
<b>M/D/P 13.08.18</b>	3,1%
<b>M/D/C 24.04.18</b>	2,6%

La diferencia de %ST del digestato tiene origen en la empresa que lo provee. El ensayo de levadura en crema, se realizó con digestato extraído en otro período que los



ensayos con levadura propagada, el cual presentó menor cantidad de sólidos. En el caso de los ensayos M/D/P 10.07.18 y M/D/P 13.08.18 se realizó un segundo filtrado con malla metálica, con lo cual disminuyó el %ST del digestato, consiguiendo en el último acercarse al valor deseado.

### 3.2.2 Molienda

Se determinó la dispersión del tamaño de partícula en una serie de tamices vibratorios. Se calculó el diámetro de partícula promedio superficial, los resultados se muestran en la Tabla 3 y el procedimiento de cálculo en el Anexo IV. Como se puede apreciar, el diámetro promedio superficial no varía demasiado entre ensayos, excepto en de M/D/P 10.07.18 que es algo mayor, pero no afecta al análisis. En la Figura 5, se graficaron las dispersiones de tamaños de partículas obtenidos en los diferentes ensayos, se espera que las mismas se mantengan similares para poder compararlos entre sí. Además, se los compara con la dispersión de referencia que utiliza la planta de Bio4. El objetivo es mantener la distribución de tamaños de partículas del maíz molido en la planta experimental lo más cercano a la distribución de referencia de Bio4 para poder lograr el escalado con los datos. Se emplean molinos con grandes diferencias de tamaño en ambas plantas, lo que causa esas desviaciones manifestadas.

**Tabla 3.** *Diámetro promedio superficial de las partículas de maíz molido*

<b>ENSAYO</b>	<b>Diámetro medio superficial (mm)</b>
<b>M/D/P 25.06.18</b>	0,604
<b>M/D/P 10.07.18</b>	0,886
<b>M/D/P 13.08.18</b>	0,637
<b>M/D/C 24.04.18</b>	0,696
<b>REFERENCIA Bio4</b>	0,568

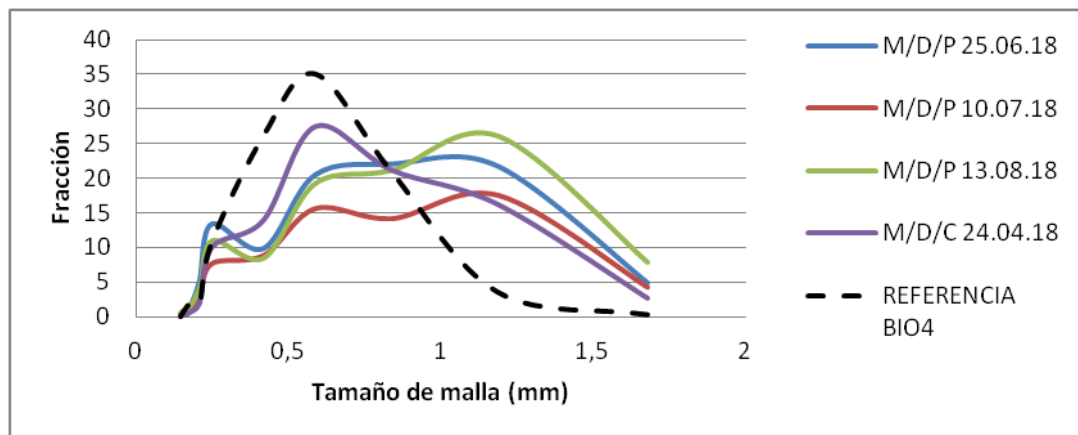


Figura 5. Dispersión de tamaño de partículas del maíz molido

### 3.2.3 Licuefacción

Se registraron las variables operativas más importantes en esta etapa: la temperatura, el pH, el porcentaje de sólidos totales y la dextrosa equivalente en fin de licuefacción. En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se plasman dichos datos.

- Temperatura: durante la licuefacción la temperatura se debe mantener entre 84-85 °C, ya que es el óptimo de trabajo de la enzima alfa-amilasa. Como se puede observar en la Figura 6, en los ensayos desarrollados se logró un buen control de la temperatura a partir de la hora 2 de licuefacción.

En el ensayo M/D/P 10.07.18 se registró una lectura de temperatura inicial elevada. Este dato puede estar afectado debido a que la determinación debió hacerse manualmente con un termómetro, el sensor de temperatura (PT 100) del tanque licuefactor se había averiado.

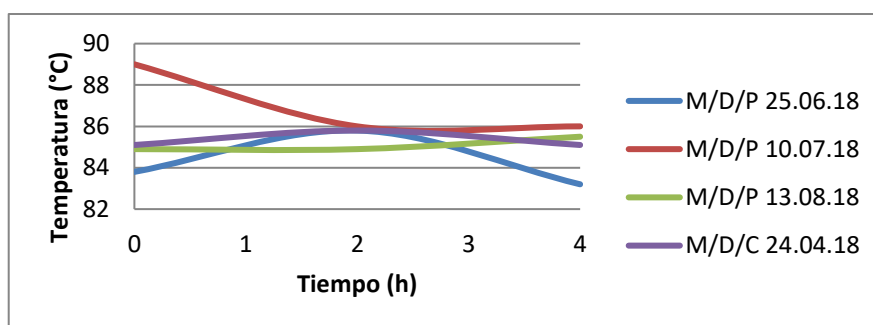


Figura 6. Variación de la temperatura durante la licuefacción

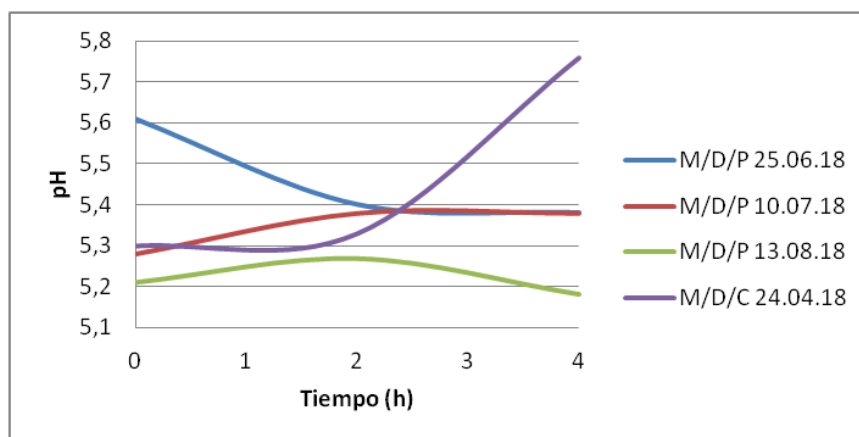
- pH: este parámetro debe encontrarse entre 5,1-5,3 durante la etapa de licuefacción. En la Tabla 4 puede apreciarse que el pH inicial de la mezcla de aguas en los ensayos es elevado. Esto se atribuye a la incorporación de digestato que es ligeramente alcalino. El control del pH se realizó con la adición gradual de ácido sulfúrico concentrado

luego del agregado del maíz molido -el cual acerca el pH a 6- y previo a añadir la enzima. El volumen promedio de ácido empleado en cada experiencia fue de 1150 ml para la corrección del pH en la pre-licuefacción.

**Tabla 4.** pH de la mezcla de aguas iniciales pre-licuefacción

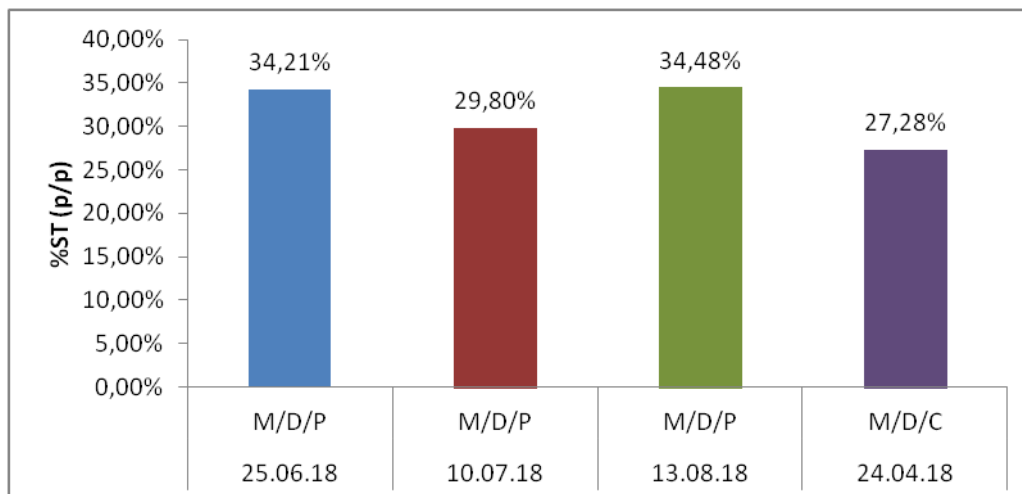
Ensayo	pH inicial
M/D/P 25.06.18	8,08
M/D/P 10.07.18	8,23
M/D/P 13.08.18	8,15
M/D/C 24.04.18	6,97

En general, desde la hora 0 de licuefacción, en los ensayos se trabajó a niveles más altos del pH adecuado, pero con diferencias poco significativas. En la Figura 7 se exponen esas variaciones.



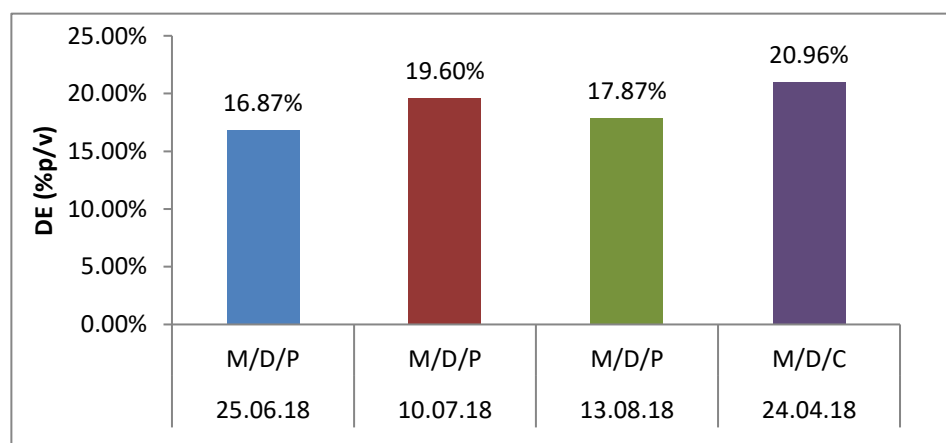
**Figura 7.** Variación del pH durante la licuefacción en los ensayos

- % Sólidos Totales (%ST): la cantidad de sólidos totales presentes al inicio de la licuefacción se determinó por medio de una termobalanza. En la Figura 8 se muestran los resultados obtenidos. Se aprecia que en los ensayos no se pudo lograr el valor de %ST deseado (32-33% p/p), obteniendo valores máximos y mínimos fuera del rango, pero con desviaciones poco significativas.



**Figura 8.** Porcentaje de sólidos totales al inicio de la licuefacción

- Dextrosa equivalente (DE): al final de la licuefacción se determinó la DE para determinar el grado de hidrólisis de la molécula de almidón, utilizando un equipo de infrarrojo cercano (NIR –Near Infrared Spectroscopy-). El valor de este parámetro puede variar entre cero y cien, a mayor DE, menor es la longitud de las cadenas de hidratos de carbono, lo que indica mayor hidrólisis. Como consecuencia disminuye la viscosidad del mosto y se facilita su bombeo. Los valores de DE alcanzados al final de la licuefacción pueden observarse en la Figura 9.



**Figura 9.** Porcentaje de dextrosa equivalente al final de la licuefacción.

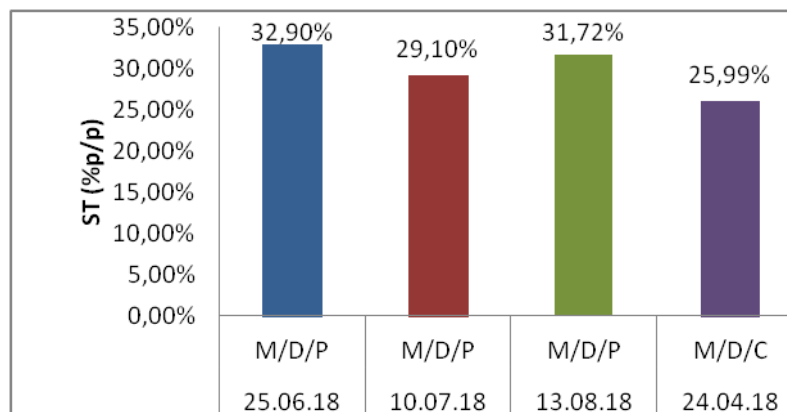
Los ensayos donde se lograron menores valores de DE fueron M/D/P 25.06.18 y el M/D/P 13.08.18. En ambos se presentaron mayores %ST al inicio de la licuefacción, esto generó un menor grado de hidrólisis por parte de la enzima alfa-amilasa. En cuanto al primer ensayo, no se mantuvieron las condiciones de temperatura y pH óptimas requeridos por la

enzima durante la licuefacción, de allí puede surgir el menor %DE. Por otro lado, en los dos ensayos restantes se observa un mayor valor de DE, las condiciones de temperatura y pH no fueron constantes en el rango óptimo, pero el %ST al inicio de la licuefacción fueron los más bajos, lo que ayudó a mejorar la actividad de la enzima.

#### 3.2.4 Fermentación

Se registraron las variables operativas más importantes para esta etapa: los sólidos totales, la temperatura, el grado alcohólico y parámetros determinados con HPLC. A continuación, las Figuras 10, 11 y 12 muestran estos datos.

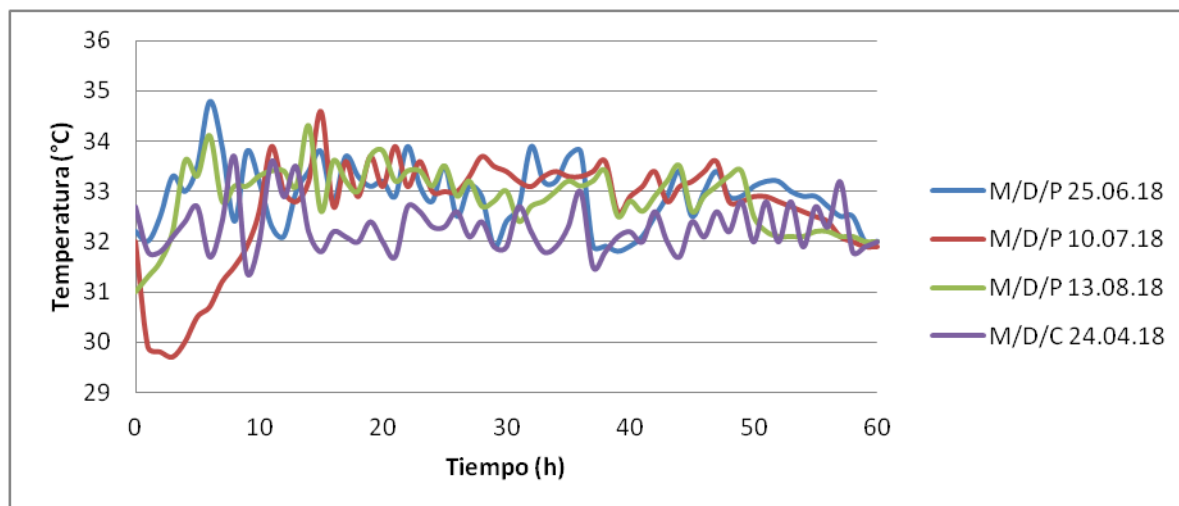
- %ST iniciales: se determinó el %ST al inicio de la fermentación, que indica la cantidad de sólidos fermentables disponibles. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 10:



**Figura 10.** %ST al inicio de la fermentación

Analizando la Figura 10, se determina que el %ST al inicio de la fermentación en todos los ensayos fueron aptos para que las levaduras fermenten sin sufrir estrés por exceso de sólidos.

- Temperatura: el control de la temperatura durante la fermentación es crítico para lograr buenas eficiencias, en especial en las primeras 30 horas de iniciada la misma, momento en el que hay mayor actividad de la levadura y por lo tanto, mayor es la producción de etanol y calor. Durante la fermentación, la temperatura debe mantenerse entre 32-33 °C que es la óptima para el desarrollo de las levaduras. En la Figura 11 se muestra, para cada ensayo, la evolución de la temperatura durante esta etapa.

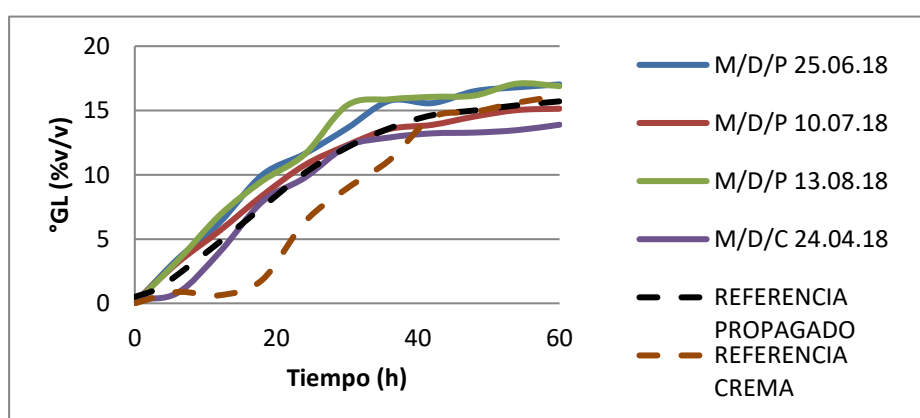


**Figura 11.** Evolución de la temperatura durante la fermentación.

En general, en los ensayos se alcanzó un buen control y estabilidad de la temperatura dentro del intervalo deseado. En el caso de M/D/P 10.07.18 se observó una baja de temperatura inicial debido a la limitación por nitrógeno, en esas condiciones las levaduras no producen alcohol, dióxido de carbono ni calor. Esto se corrigió con el agregado de una dosis extra de urea en la hora 3 de fermentación.

- Grado alcohólico (°GL): se tomaron muestras de mosto en fermentación cada 6 horas para determinar el °GL, utilizando un equipo de infrarrojo cercano

En la Figura 12 se presenta la evolución del °GL de cada ensayo.



**Figura 12.** Evolución del grado alcohólico durante la fermentación

Se comparan los ensayos en los cuales se utilizó levadura propagada y la curva de referencia de Bio4 para levadura seca, llamada “curva de oro”, que surge de un promedio de buenas performances realizadas en la planta principal. Analizando la Figura 12, se puede observar que al inicio la producción de etanol fue mucho mayor, en comparación con la

referencia de Bio4, dando como resultado un proceso más “acelerado”. Este fenómeno puede atribuirse a que en la Planta Experimental a todo el volumen del mosto licuificado se le añade desde el inicio las levaduras, debido a esto tienen disponible una gran cantidad de nutrientes para realizar la fermentación desde la hora cero, en cambio, en la planta industrial el mosto licuificado se añade gradualmente a las levaduras en un lapso de entre 13 a 15 h, lo que hace que la producción de etanol inicialmente sea más lenta. En todos los casos la concentración de etanol llega hasta un valor máximo (entre 16-17 %p/v), ésta es la condición de inhibición por producto.

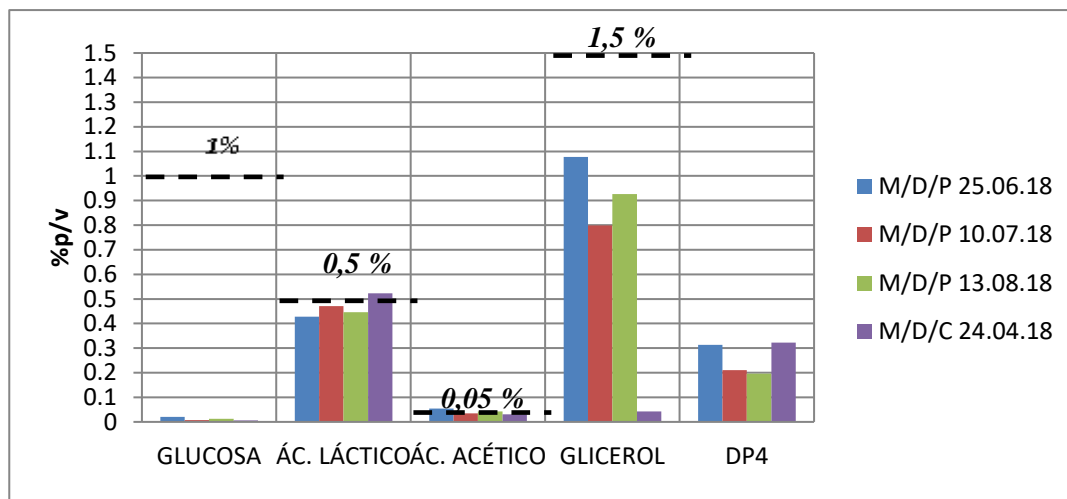
Por otro lado, se compara la curva de evolución del °GL durante la fermentación del ensayo utilizando levadura en crema con la curva de referencia de Bio4, generada con este tipo de levaduras. Puede apreciarse que siguen el mismo comportamiento explicado anteriormente respecto a la diferencia entre la curva de referencia y la creada a escala piloto, donde la fermentación de las levaduras es más acelerada, pero se estabiliza en un grado alcohólico máximo.

En cuanto a la comparación entre las dos formas de levaduras utilizadas, aquí se observa la gran diferencia que existe entre ellas. Si se visualizan las curvas de referencias de Bio4, puede apreciarse que la levadura en crema tiene una fase de latencia mayor que la levadura seca. En ese período, que en la planta principal persiste cerca de 16 horas, la levadura en crema se adapta al medio preparándose para la fermentación, pero sin producir alcohol. Sin embargo, luego de las 60 horas de fermentación, pueden alcanzar el mismo grado alcohólico. Lo mismo ocurre en la Planta Experimental, pero la fase de latencia de la levadura en crema es considerablemente menor.

- Análisis con HPLC en fin de la fermentación: finalizada la fermentación se realizó un análisis con HPLC, los resultados determinados se muestran en la Figura 13. Allí, se encuentran señalados los valores máximos de concentración de ácido acético, ácido láctico, glucosa, glicerol y DP4<sup>3</sup> admitidos por Bio4.

---

<sup>3</sup> DP4: se refiere a aquellos azúcares cuyas cadenas poseen cuatro o más moléculas de glucosa.



**Figura 13.** Glucosa, ac. láctico, ac. acético, glicerol y DP4 determinados por HPLC en fin de fermentación

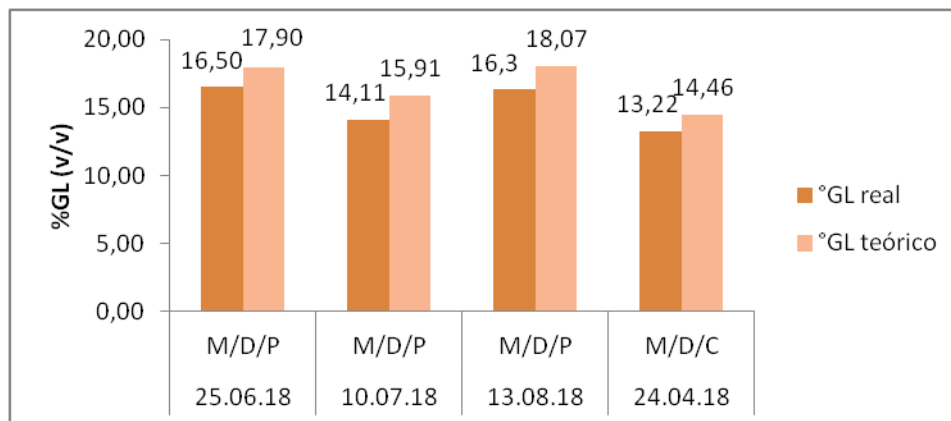
La evaluación de los parámetros es la siguiente:

- *Glucosa* <1% p/v: en los ensayos realizados, la cantidad de glucosa remanente fue mínima. Esto significa que las levaduras aprovecharon gran parte o todo del sustrato disponible para fermentar.
- *Glicerol* <1,5% p/v: se produce cuando las levaduras toman otra ruta fermentativa, consiste en un osmolito cuya concentración es una indicadora del estrés osmótico que puede sufrir la levadura. Debido al bajo valor en los ensayos se puede decir que no se ha sufrido estrés osmótico.
- *Ácido acético* < 0,05% p/v y *Ácido láctico* < 0,5% p/v: éstos puede ser producido por bacterias contaminantes, el hecho de que los valores en los ensayos dieron por debajo del admitido significa que no hubo contaminación en el proceso. Solo en el ensayo de levadura en crema se superó mínimamente el valor de ácido láctico, pero no afectó la producción de etanol.
- *DP4*: los valores medidos de DP4 deberían arrojar un 0% y como se puede observar son bastante más elevados, lo que significa que quedó potencial para fermentar.

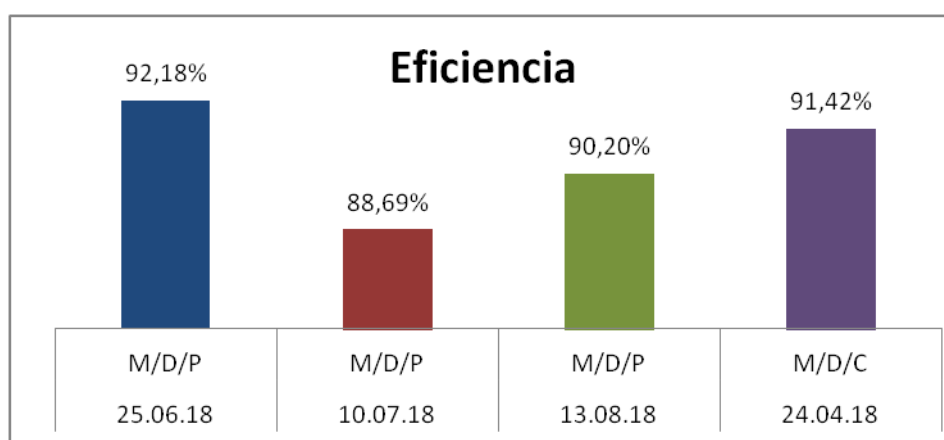
### 3.2.5 Determinación de la eficiencia

La eficiencia se evalúa como la relación entre el °GL real determinado con HPLC al final de la fermentación y el °GL teórico calculado analíticamente. En el Anexo V se muestra el detalle de cálculo. La comparación entre los °GL real y teórico de cada ensayo se muestra en la Figura 14 y las eficiencias respectivas en la Figura 15.





**Figura 14.** Comparativo de °GL teórico y real en los ensayos



**Figura 15.** Comparativo de las eficiencias alcanzadas en los ensayos

Analizando los resultados obtenidos en los ensayos, se puede concluir que en general la eficiencia de los ensayos realizados fueron buenas, si se tiene como referencia que de experiencias anteriores en la Planta Experimental, la mayor eficiencia alcanzada fue del 94 %. En el caso del ensayo realizado con levadura en crema, puede verse que el grado alcohólico real alcanzado es el menor de todos los ensayos, pero se obtiene una elevada eficiencia porque es cercano al esperado de acuerdo a la receta planteada. Esto significa que la materia prima disponible fue aprovechada considerablemente. Por otro lado, la eficiencia obtenida en el ensayo M/D/P 10.07.18 fue la menor, este hecho puede atribuirse a la falta de control en el proceso en las primeras horas de fermentación, generando una disminución de la temperatura como se mencionó anteriormente. Pese a esto, la eficiencia alcanzada se encuentra dentro del rango de ensayos de buena calidad.

A partir de los datos obtenidos en las experiencias, se puede concluir que no hay grandes diferencias respecto a la eficiencia utilizando levadura seca o levadura en crema en el proceso.

## 4 CONCLUSIONES

En referencia al objetivo principal, se logró determinar la eficiencia de los ensayos realizados, empleando dos condiciones iniciales en que se encuentra la levadura: seca y en crema. Actualmente en la planta principal de Bio4 se está empleando levadura seca en el proceso de producción de bioetanol, pero según las tendencias obtenidas, la incorporación de levadura en crema es una buena opción para tener en cuenta. De todas maneras, esta conclusión no se puede aseverar íntegramente, es necesario llevar a cabo más ensayos utilizando este estado de levadura y analizar su incidencia en el proceso. La ventaja de la levadura en crema es que tiene menor costo económico que la anhidra y no requiere de hidratación ni propagación. Aunque presenta una fase de latencia mayor que la empleada por la levadura seca, con esto el proceso se retrasa y disminuye la producción de bioetanol.

Por otro lado, se pudo participar activamente de los ensayos realizados en la Planta Experimental, aplicando los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera y desarrollando las competencias necesarias para el correcto desempeño del rol del Ingeniero en la industria. A modo de comentario, hubo un inconveniente en uno de los ensayos, se atascó una bomba centrífuga que debieron desarmar para reparar. Episodios como estos son frecuentes en la industria, es importante conocer cuánto los procesos se pueden desviar de la idealidad. Por ello, tener la habilidad para actuar frente a las dificultades que se presenten es el desafío del Ingeniero.

En cuanto a lo personal, durante todo el transcurso de la práctica profesional se logró tener contacto con personal de la planta que brindaron su ayuda y transmitieron sus conocimientos. Otro aspecto a destacar es que se estableció buena comunicación con el tutor de la planta y el resto de los practicantes, lo que fue fundamental para lograr un buen trabajo en equipo, permitiendo el intercambio de ideas y opiniones. Esta experiencia fue muy enriquecedora tanto en los aspectos académicos y laborales, como personales.

## **5 BIBLIOGRAFÍA**

- Bioetanol Río Cuarto S.A. (acceso: octubre de 2018). Río Cuarto. <http://www.bio4.com.ar/>
- K.A. Jacques, T.P. Lyons, D.R. Kelsall. (2003). The Alcohol Textbook 4th Edition: A reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries. Nottingham, Reino Unido: University Press.
- Manuales Operativos e Instructivos Operativos de Bioetanol Río Cuarto S.A. vigentes en la fecha de realización de la práctica.
- Material de cátedra de OUI (2016). UNRC.

# ANEXOS

Anexo I: Ilustración de proceso productivo de bioetanol en Bio4.

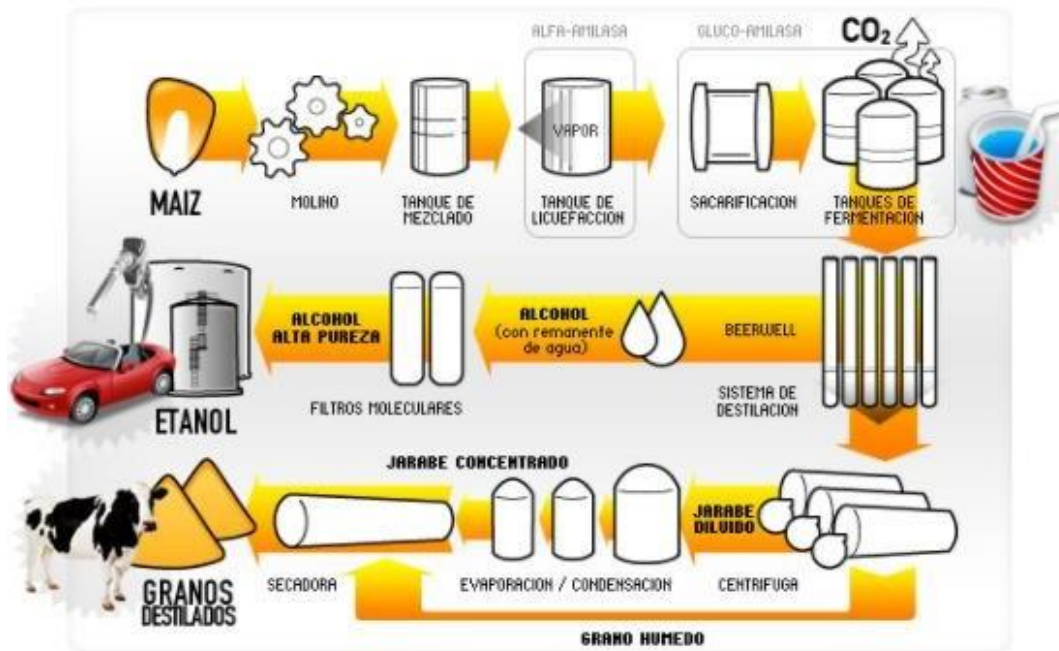


Figura AI. Proceso productivo de etanol y subproductos en Bio4.

*Anexo II: Listado de equipos en la Planta Experimental.*

**Tabla AII. 1. Equipos presentes en la Planta Experimental.**

Equipo	Nomenclatura	Características
<b>Tornillo sinfín</b>	RT 1701	Paso de espira: 245 mm. Dimensiones de tolva: 440 x 355 mm.
<b>Tolva de almacenamiento</b>	TA 1701	Boca inferior con clapeta. Escalera lateral de acceso.
<b>Tornillo sinfín</b>	RT 1702	Paso de la espira de 75 mm. Dimensiones de tolva: 450 x 250 mm
<b>Tanque pre-mezcla y licuefacción</b>	TQ 1701	Volumen útil: 1800 l. Dimensiones del volumen: Diámetro: 1,2 m; altura: 1,5 m; altura de cono de fondo: 0,38 m; Sin camisa; con sistema de agitación incluido; Dosificador de enzimas de 12 l con válvula de aguja.
<b>Tanque fermentador</b>	TQ 1702	Volumen útil: 1800 Litros. Dimensiones del volumen: Diámetro: 1,2 m; altura: 1,5 m; altura de cono de fondo: 0,38 m; con camisa para enfriamiento con agua; Con sistema de agitación incluido; Dosificador de enzimas de 12 l con válvula de aguja.
<b>Agitadores de tanques licuefactor y fermentador</b>	AG 1701/02	Conformado por dos hélices con palas inclinadas a 45°; diámetro del eje: 35 mm. Reductor STM Modelo: AM 50/2; Motor eléctrico IP 55 WEG; manchón del reductor marca Tupac modelo 3MA
<b>Bombas de tanqu licuefactor y fermentador</b>	BO 1701/02	Bomba centrífuga. Motor eléctrico WE trifásico 3HP IP 55 2900 RPM; Sello mecánico, monoresorte normalizado DIN 24960, de acero inoxidable con caras de cerámica/carbón; elastómeros de VITON; O'ring de EPDM; Totalmente realizada en acero inoxidable mediante mecano-soldadura Construcción horizontal, Back Pull Out con impulsor abierto; Base de montaje construida totalmente en acero inoxidable en calidad AISI 304; Asp de 1" e Impulsor de 3/4"
<b>Intercambiador de calor</b>	IC 1701	Tipo: Intercambiador en espiral; área de transferencia: 4,2 m <sup>2</sup> .
<b>Calentador eléctrico</b>	CL 1701	Intercambio térmico: cabezales de bronce, con resistencias blindadas en acero inoxidable, 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 <sup>2</sup> . Presión de prueba 5 kg/cm <sup>2</sup> . Sensores Incorporados, Termostato operativo 0 °C a 120 °C. Termostato de seguridad 0 °C a 120 °C. Termómetro. Válvula de seguridad. Válvula de purga. Hidrómetro. Presostato inversor (corte por falta de agua).


<b>Torre de enfriamiento</b>	TE 1701	Modelo EWK 144/09. TR (máx.) 60. Motor eléctrico trifásico de 2 HP, 920 rpm. Ventilador de 6 palas Noryl, con centro de aluminio Multi Wing mod 1W diámetro 912 mm.
<b>Destilador</b>	TD 1701	Camisa: Alto 1,195 m; diámetro exterior: 0,725 m; diámetro interior: 0,475 m; volumen.: 28 l.
<b>Bomba para carga de digestato y propagado</b>	BO 1705	-

*Tabla AII. 2. Equipos de laboratorio utilizados.*

Equipo	Determinación	Características
<b>Conjunto de tamices vibratorios</b>	Granulometría	*Tamiz para Laboratorio con malla con micrones Normas Mundiales ISO 3310-1 ASTM E-11 Rey y Ronzoni S.R.L. N° 12, 16, 20, 30, 40, 60, 70, 80 y 100. *Bolitas plásticas (entre 3 y 4 por tamiz). *Balanza OHAUS PA 3102 con precisión de dos decimales. *Equipo vibrador digital LR 2006. Vibrador standard "Zonytest" EJR 200-210-220. Rey y Ronzoni S.R.L.
<b>Termobalanza</b>	Porcentaje de sólidos totales	*Balanza de Humedad OHAUS. *Platillo de aluminio para muestra.
<b>pHímetro</b>	pH	*pH-metro. HI 9126. Hanna instruments. *Soporte del pH-metro y solución de limpieza HI70300S *Electrodo pH Hi 1230. *Electrodo temperatura Hi 1131B.
<b>NIR Perten DA7200</b>	En mosto: Concentración de glucosa, etanol, y porcentaje de sólidos totales.	*Requisitos de alimentación: 115/230 V, 50/60 Hz, 115 W. *Dimensiones (HxDxW): 556x375x370 mm. *Peso neto: 21 kg. *Productos: granos, pellets, líquidos, pastas, polvos, etc.
<b>Infratec™ (FOSS)</b>	En grano de maíz entero: porcentajes de humedad, proteína, grasas y almidón.	*Dimensiones (HxDxW): 255x390x295 mm. *Peso: 9 kg. *Modo de medición: transmitancia. *Rango de longitud de onda: 850-1050 nm. *Tiempo de análisis: Aproximadamente 3 minutos para 10 submuestras.

Anexo III: Fragmentos de documentos de la planta experimental.

Ejemplo de Instructivo Operativo:

	<b>Arranque y Parada MLF</b>	Página 1 de 28
		IO PE 01. Rev. 0
		Fecha Elab: 13/01/17

	ELABORA/MODIFICA	CONTROLA	APRUEBA
Nº Revisión	Función	Función	Función

**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.

**2. ALCANCE:**

Etapa 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.

**4. DOCUMENTACION DE REFERENCIA:**

**5. DESARROLLO:**

**5.1 Responsabilidades:**

Personal de Planta Experimental.

**5.2 Aspectos de seguridad:**

El operario deberá contar con EPP básicos.

**5.3 Instrucciones de trabajo:**

La forma de trabajo que se sigue es manual, en donde se deben encender o apagar cada uno de los equipos siguiendo una secuencia lógica.

Se prevee trabajar con dos modalidades:

- Opción A: Con adición de levaduras hidratadas sin propagación en el tanque de premezcla y licuefacción.
- Opción B: Con adición de levaduras hidratadas con propagación en el tanque de premezcla y licuefacción.

**Arranque y parada: Opción A**

**Etapa de molienda**

- 1) Encender la balanza y esperar hasta que la misma muestre un valor numérico, posteriormente tararla.
- 2) Transportar hasta 3 bolsas de cereal con carro plataforma para pesar en balanza.



Ejemplo de Lección en un Punto:

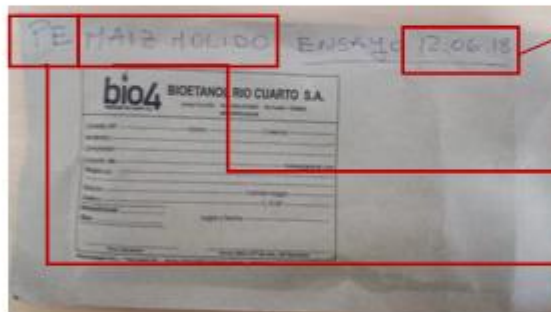
	<b>LECCION DE UN PUNTO - LUP</b>			LUP XX-N° 1
	Tema: Rotulación de envases para muestreo en Ensayos de PE			
Preparó: Responsable de PE				
Clasificación de objeto:	Conocimientos básicos	Mejora de calidad	Ej. De problemas	
	Mejora de proceso	Mejora de seguridad	Otros	

**ROTULACION DE ENVASES PARA MUESTREOS DE ENSAYOS EN PE**

**1. Toma de muestra de: MAIZ ENTERO (GRANO) Y MAIZ MOLIDO**

Envase a utilizar: sobre de madera

Rótulo:



Fecha de inicio  
del Ensayo

Tipo de maíz

Identificación  
por Planta  
Experimental

**2. Toma de muestras para recuento de aerobios totales = RAT**

Envase a utilizar: recipiente esterilizado de 100 ml. ¡NO SACAR DEL ENVOLTORIO!

Rótulo:

**ENSAYO PE DIA/MES/AÑO** (colocar fecha de inicio del ensayo)  
**ETAPA DEL PROCESO** (x.ej. colocar: Liquefacción HS 4, Fin de Fermo. etc)  
**(Entre paréntesis colocar RAT)**



*Anexo IV: Cálculo del diámetro promedio superficial*

Para calcular el diámetro medio superficial de partícula correspondiente a cada ensayo se utilizó Ec. AIV.1:

$$d_s = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{d_i}} \quad (\text{Ec. AIV.1})$$

Donde:

$d_i$  =Diámetro medio superficial.

$d_i$  =Diámetro medio que se toma representativo de cada fracción, se calcula como la media aritmética de los tamaños de la mayor y la menor partícula del intervalo (en la práctica, la media indicada se supone igual a la abertura media de la malla de los dos tamices entre los que se recoge cada fracción).

$x_i$  =Fracción de la masa total a la que se le ha asignado el diámetro medio.

En la Tabla AIV.1, se presentan los datos y el diámetro medio superficial correspondiente a cada ensayo.

*Tabla AIV.1. Datos y diámetro medio superficial de los diferentes ensayos.*

DIÁMETROS		FRACCIÓN ( $x_i$ )				
Dmalla (mm)	Dmedio (mm)	M/D/P 25.06.18	M/D/P 10.07.18	M/D/P 13.08.18	M/D/C 24.04.18	REFERENCIA BIO4
<b>1,68</b>	1,68	0,0489	0,0423	0,0788	0,0272	0,0036
<b>1,19</b>	1,435	0,2171	0,1752	0,2611	0,1619	0,0356
<b>0,84</b>	1,015	0,2204	0,1415	0,2118	0,2115	0,2092
<b>0,59</b>	0,715	0,2051	0,1561	0,1931	0,274	0,35
<b>0,42</b>	0,505	0,0986	0,0885	0,0852	0,1394	0,2612
<b>0,25</b>	0,335	0,1338	0,0767	0,1099	0,1002	0,1076
<b>0,21</b>	0,23	0,0521	0,03095	0,0438	0,02	0,0184
<b>0,177</b>	0,1935	0,0136	0,0073	0,0151	0,0064	0,0188
<b>0,149</b>	0,163	0,004	0,0039	0,0072	0,0016	0,002
<b>0,148</b>	0,074	0,004	0,0017	0,004	0,0008	0,0008
	<b>Ds (mm)</b>	<b>0,604</b>	<b>0,886</b>	<b>0,637</b>	<b>0,696</b>	<b>0,568</b>

*Anexo V: Cálculo de la eficiencia*

La eficiencia se calcula como la relación entre °GL real y °GL teórico, a partir de la Ec.

AV.1:

$$Eficiencia = \frac{°GL_{real}}{°GL_{teórico}} \quad (Ec. AV.1)$$

Donde:

°GL real, se mide por destilación de una muestra de mosto al final de la fermentación.

°GL teórico, se calcula considerando que todo el almidón disponible es convertido en etanol y CO<sub>2</sub>, utilizando la Ec. AV.2:

$$°GL_{teórico} = \frac{V_{ferm} \cdot \frac{\%ST}{100} \cdot \frac{\%AlmidónBS}{100} \cdot Hid_{alm \rightarrow glu} \cdot X_{glu \rightarrow et} \cdot \frac{\rho_{mosto}}{\rho_{et}}}{V_{ferm} \cdot X_{CO_2}} \quad (Ec. AV.2)$$

Donde:

$V_{ferm}$  = Volumen del fermentador en hora cero.

%ST=Porcentaje de sólidos totales en hora cero.

$\rho_{mosto}$  =Densidad del mosto (1050000000 g/m<sup>3</sup>)

$\rho_{et}$  =Densidad del etanol (789300000 g/m<sup>3</sup>)

$Hid_{alm \rightarrow glu}$  =Hidrólisis del almidón a glucosa (1,11 g glucosa/g almidón)

$X_{glu \rightarrow et}$  =Conversión de glucosa a etanol (0,51 g etanol/g glucosa)

$X_{CO_2}$  =Conversión dióxido de carbono (0,975)