



**UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

PROPUESTA PRÁCTICA DEL EXAMEN COMPLEXIVO

TEMA:

**MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
INÓCULO DE LEVADURA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL**

AUTORES:

MOSQUERA RODRÍGUEZ MARÍA JOSÉ

VERA YUPA JONATHAN DAVID

ACOMPAÑANTE:

Ing. BYRONE ANTONIO ALMEIDA SALAZAR

Milagro, Septiembre 2017

ECUADOR

DERECHOS DE AUTOR

Ingeniero.

Fabricio Guevara Viejó, PhD.

RECTOR

Universidad Estatal de Milagro

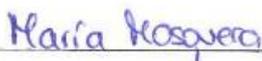
Presente.

Nosotros, MOSQUERA RODRÍGUEZ MARÍA JOSÉ C.I. 0941433567 y VERA YUPA JONATHAN DAVID C.I. 0942113978 en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la propuesta práctica de la alternativa de Titulación - Examen Complexivo, modalidad presencial, mediante el presente documento, libre y voluntariamente procedo a hacer entrega de la Cesión de Derecho del Autor de la propuesta practica realizado como requisito previo para la obtención de mi (nuestro) Título de Grado, como aporte a la Temática “MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL” del Grupo de Investigación CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social De Los Conocimientos, Creatividad E Innovación, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de esta propuesta practica en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Los autores declaran que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, a los 25 días del mes de Septiembre del 2017



Nombre: Mosquera Rodríguez María José

CI: 0941433567



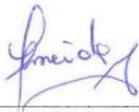
Nombre: Vera Yupa Jonathan David

CI: 0942113978

APROBACIÓN DEL ACOMPAÑANTE DE LA PROPUESTA PRÁCTICA

Yo, ALMEIDA SALAZAR BYRONE ANTONIO en mi calidad de acompañante de la propuesta práctica del Examen Complexivo, modalidad presencial, elaborado por el/la/los estudiantes MOSQUERA RODRÍGUEZ MARÍA JOSÉ C.I. 0941433567 y VERA YUPA JONATHAN DAVID C.I. 0942113978; cuyo tema es: MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL, que aporta a la Línea de Investigación SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL previo a la obtención del Grado de INGENIERO INDUSTRIAL; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Examen Complexivo de la Universidad Estatal de Milagro.

En la ciudad de Milagro, a los 25 días del mes de Septiembre de 2017.



Ing. BYRONE ANTONIO ALMEIDA SALAZAR

CI. 1201858972

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por: Ing. Byrone Antonio Almeida Salazar, Ing. Johny Roddy López Briones, Ing. Jorge Luis Vinueza Martínez.

Luego de realizar la revisión de la propuesta práctica del Examen Complexivo, previo a la obtención del título (o grado académico) de Ingeniero/a Industrial presentado por

Maria José Mosquera Rodríguez ✓

Jonathan David Vera Yupa

Con el título:

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

Otorga al presente la propuesta práctica del Examen Complexivo, las siguientes calificaciones:

MEMORIA CIENTÍFICA	[95]
DEFENSA ORAL	[4,67]
TOTAL	[99,67]
EQUIVALENTE	[49,83]

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado)

Aprobado

Fecha: 25 de Septiembre del 2017.

Para constancia de lo actuado firman:

Nombres y Apellidos		Firma
Presidente	Ing. Byrone Antonio Almeida Salazar	
Vocal 1	Ing. Johny Roddy López Briones	
Vocal 2	Ing. Jorge Luis Vinueza Martínez	

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

El tribunal calificador constituido por: Ing. Byrone Antonio Almeida Salazar, Ing. Johnny Roddy López Briones, Ing. Jorge Luis Vinueza Martínez.

Luego de realizar la revisión de la propuesta práctica del Examen Complexivo, previo a la obtención del título (o grado académico) de Ingeniero/a Industrial presentado por

Maria José Mosquera Rodríguez

Jonathan David Vera Yupa ✓

Con el título:

MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

Otorga al presente la propuesta práctica del Examen Complexivo, las siguientes calificaciones:

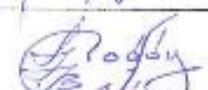
MEMORIA CIENTÍFICA	[95]
DEFENSA ORAL	[5]
TOTAL	[100]
EQUIVALENTE	[50]

Emite el siguiente veredicto: (aprobado/reprobado)

Aprobado

Fecha: 25 de Septiembre del 2017.

Para constancia de lo actuado firman:

	Nombres y Apellidos	Firma
Presidente	Ing. Byrone Antonio Almeida Salazar	
Vocal 1	Ing. Johnny Roddy López Briones	
Vocal 2	Ing. Jorge Luis Vinueza Martínez	

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme brindado salud para lograr mis objetivos.

A mis padres

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan, por haberme apoyado en todo momento, por la motivación constante que me ha permitido ser un hombre de bien, pero más que nada por su amor.

A mis hermanos

De los cuales he aprendido aciertos y de momentos difíciles, por su apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales.

A mi esposa e hijos

Dedico este logro pues la unión de nuestra familia ha sido una razón para no rendirme ante las adversidades y haber llegado a mi meta

Jonathan D. Vera Y.

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi padre a pesar de la distancia, siento que estás conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento es tan especial para él, como lo es para mí.

A mis hermanos y mi prima Bella la cual quiero como una hermana, por compartir momentos significativos conmigo por siempre estar dispuestos a escucharme y apoyarme en cualquier momento.

A mi esposo e hijos por su amor permanente, cariño y comprensión; la unión que destaca a nuestra familia ha sido mi razón de luchar y ser perseverante.

María J. Mosquera R.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres Pedro y Yolanda, por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida; sobre todo por ser un ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida y representar la unión familiar.

A mi familia y amigos por confiar y creer en mí, por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que jamás olvidare.

Jonathan D. Vera Y.

Le agradezco a Dios por haberme permitido vivir y llegar hasta este el más feliz de mis días, por ser mi apoyo y mi luz en mi camino. Por haberme dado la fortaleza de seguir adelante en aquellos momentos de debilidad.

A mis padres Víctor y Georgina por todo el apoyo brindado a lo largo de mi vida, por haberme dado la oportunidad de estudiar esta carrera y haber puesto su confianza en mí.

A mis hermanos por brindarme su apoyo y consejos en los momentos difíciles de la vida. A todos ellos por llenar mi vida de grandes e inolvidables momentos que hemos compartido.

A mi familia y amigos por todo su apoyo a lo largo de mi carrera, por su tiempo, paciencia y dedicación, gracias por sus conocimientos transmitidos.

María J. Mosquera R.

INDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTOR	2
APROBACIÓN DEL ACOMPAÑANTE DE LA PROPUESTA PRÁCTICA	3
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL CALIFICADOR	4
DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. MARCO TEÓRICO	12
3. DESARROLLO	21
4. CONCLUSIONES.....	27
5. BIBLIOGRAFÍA.....	29

TEMA: “Modelamiento matemático de un proceso de producción de inóculo de levadura para la producción de etanol”

RESUMEN

Esta investigación se la efectúa debido al interés mundial que existe en cuanto a temas relacionados a la contaminación ambiental que, combinados con la iniciativa de optar por ciertos productos agrícolas para su investigación en usos industriales, poseen un aporte significativo al incremento de producir biocombustibles.

La presente propuesta tiene como objetivo analizar y plantear un modelo matemático que será aplicado para la industrialización en la etapa de reproducción de inóculo de levadura *Saccharomyces Cerevisiae*. Mediante el estudio del proceso y su ejecución a escala industrial, realizamos la identificación de las variables que vamos a instrumentar. Representando cada una de las entidades que intervienen en el proceso de inoculación mediante objetos matemáticos.

A nivel agroindustrial en nuestro país la caña de azúcar es la principal materia prima para la elaboración del etanol, pero mediante estudios realizados en los últimos años se han obtenido resultados en productos denominados de segunda generación que por su alto contenido de carbohidratos son utilizables en los procesos de fermentación enfocados a la fabricación de alcohol. Pese a los estudios realizados en las propiedades de la materia prima, la caña de azúcar sigue siendo la principal y con mayor índice de utilización, sin embargo, existe una desestabilización en cuanto a que su obtención se genera solamente en etapa de molienda.

Considerando que la obtención de etanol mediante un proceso fermentativo es una tecnología limpia, y en relación con otros procesos simple y fácil de desarrollar. La reproducción de levaduras en un biorreactor, pese a que compleja desde el punto de vista bioquímico, no implica tener conocimientos especializados para su realización.

Es importante indicar que en el presente trabajo se plantea la producción de etanol mediante el proceso fermentativo, planteando un modelo matemático del cual se podrá hacer uso para la industrialización del inóculo de levadura generando así una alternativa de producir etanol a escala industrial y de esta manera cubrir la demanda que se prevé.

PALABRAS CLAVE:

Modelamiento matemático, proceso de producción, inóculo de levadura, producción de etanol.

TITLE: “MATHEMATICAL MODELING OF A YEAST INOCULUM PRODUCTION PROCESS FOR THE PRODUCTION OF ETHANOL”

ABSTRACT

This research is carried out due to the worldwide interest that exists on issues related to environmental pollution that combined with the initiative to opt for certain agricultural products for research in industrial uses, have a significant contribution to the increase of biofuels production. The present proposal aims to analyze and propose a mathematical model that will be applied for the industrialization in the breeding stage of yeast inoculum *Saccharomyces cerevisiae*. Through the study of the process and its execution on an industrial scale, we perform the identification of the variables that we are going to implement. Representing each of the entities involved in the process of inoculation using mathematical objects.

At the agro-industrial level in our country, sugarcane is the main raw material for the production of ethanol, but through studies carried out in recent years results have been obtained in so-called second-generation products that, because of their high carbohydrate content, are usable in Fermentation processes focused on the manufacture of alcohol. Despite the studies carried out on the properties of the raw material, sugarcane remains the main and highest utilization rate, however, there is a destabilization in that its production is generated only in the grinding stage.

Considering that the production of ethanol through a fermentation process is a clean technology, and in relation to other processes simple and easy to develop. The reproduction of yeasts in a bioreactor, although complex from the biochemical point of view, does not imply specialized knowledge for its realization.

It is important to indicate that in the present work the production of ethanol through the fermentation process is proposed, proposing a mathematical model that can be used for the industrialization of the inoculum of yeast, thus generating an alternative to produce ethanol on an industrial scale and in this way Cover the expected demand.

KEYWORDS:

Mathematical modeling, production process, yeast inoculum, ethanol production.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación de esta problemática se la realiza debido al interés que existe en asuntos vinculados a la contaminación ambiental que ligados con la iniciativa que están adoptando ciertos productos agrícolas para su exploración en usos industriales, poseen un aporte al incremento de combustibles variables como el biodiesel, el gas natural y el etanol.

En el Ecuador existen destilerías a las cuales se les ha encargado la fabricación de etanol tales como: Codana, en Milagro; Producargo, en La Troncal; y Soderal, en Marcelino Maridueña. El etanol será utilizado para elaborar un combustible ecológico que al ser mezclado con gasolina misma que hoy en día es utilizada, obtendremos Biocombustible que está disponible para los consumidores a través de las gasolineras. Sin duda alguna la caña de azúcar es la fuente más atrayente para la fabricación de etanol. Con referencia que contiene azúcares simples y transformables abiertamente por levaduras; siendo uno de sus mayores inconvenientes el costo excesivo como materia prima.

En la actualidad el etanol está siendo elaborado a base de caña de azúcar, pero se han realizado investigaciones en nuestro país en las cuales se han obtenido resultados del banano y la zanahoria blanca; debido a un alto contenido de carbohidratos utilizables en los tratamientos de fermentación orientados a la fabricación de alcohol. Existen además cultivos como el maíz con propiedades abundantes en almidón, un hidrato de carbono variado que necesita primero ser transformado en azúcares simples; tratamiento también conocido como sacarificación e inserta un paso adicional en la producción, aumentando de forma considerable los costos.

Saccharomyces cerevisiae, es una de las levaduras más conocida y de interés industrial al ser la variedad de levadura empleada por sus magníficas propiedades para conseguir el etanol a nivel industrial esto se debe a que es un ente sencillo de emplear, en cuanto a su cultivo no es exigente ni representa altos costos.

La presente propuesta tiene como objetivo analizar un modelo matemático para la industrialización de la etapa de proliferación del inóculo de levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en el proceso de fabricación de etanol. Teniendo en cuenta que es una interpretación, en un lenguaje preciso, de un cuerpo que se encuentra en un universo inexacto. La mayor parte de estudios de cálculo como, por ejemplo, los problemas de máximos y mínimos; involucran modelos matemáticos.

Es decir, en expresión universal, todo modelo matemático se encuentra establecido por 3 etapas: 1) Construcción del modelo, lo cual nos permite realizar el cambio de un cuerpo inexacto en un lenguaje preciso, 2) Análisis del modelo, efectuamos el análisis de un patrón de precisión, 3) Deducción de un estudio matemático, así efectuamos el manejo de los resultados.

De la veracidad con que el patrón de precisión interpreta al objeto inicial depende el logro o fallo del mismo, mas no de la exactitud con la que las ciencias exactas analizan el modelo, también contamos con muchas herramientas para poder emplearlas al examinar los modelos matemáticos sean estos económicos, probabilísticos, demográficos o de ingeniería; dichas herramientas son proporcionadas por el álgebra lineal. La falta de sensores en línea y la conducta difícil y no lineal del procedimiento, imposibilita percibir representaciones completamente técnicas. Sin embargo, pese a esta situación, los tratamientos de transformación en la industria deben ser manipulados e

intervenidos. Debemos considerar variables que proporcionen respaldo a los espacios nutricionales y ambientales apropiados para conseguir los objetivos de la fermentación.

2. MARCO TEÓRICO

Modelamiento matemático

La humanidad está relacionada con la terminología modelo, pero la conceptualizan de diversas formas. Matemáticamente el criterio tiene diferente representación, analizamos los modelos matemáticos para luego emplearlos a distintas situaciones, con la finalidad de pronosticar con exactitud. De modo que un modelo matemático es una ecuación, una teoría, un diagrama o un esquema que representa matemáticamente un escenario.

Se lo describe, en lenguaje matemático, de un objeto que existe en un universo no-matemático. La mayoría de las aplicaciones de cálculo (por ejemplo, problemas de máximos y mínimos) implican modelos matemáticos (e-Math, Alberto Rodríguez Velázquez jrodriguezvel, & Steegmann Pascual csteegmann, n.d.-a) (“Investigaciones de operaciones - Iris Abril Martínez Salazar-FREELIBROS.ORG.pdf,” n.d.) (e-Math, Alberto Rodríguez Velázquez jrodriguezvel, & Steegmann Pascual csteegmann, n.d.-b).

Un modelo matemático busca representar una realidad mediante el uso de relaciones matemáticas, a través de la lógica, con el objetivo de ayudar en el proceso de toma de decisiones. En general, un modelo matemático está compuesto de ecuaciones y/o desigualdades algebraicas. Una ecuación establece que dos términos son iguales. Esta igualdad se representa mediante el signo de igual ($=$) y se interpreta como: término de la izquierda (es igual a) término de la derecha. (Martínez Salazar, n.d.)

Los elementos de una ecuación son los siguientes:

- Variable. - Letra que simboliza un número que desconocemos
- Constante. - Valor que no va acompañado de una variable.
- Coeficiente. – Número que multiplica a la variable que acompaña.

- Operador. – Hace referencia a los signos que representan cada operación.

Investigaciones recientes (Universidad de Guadalajara & Mata, 2017) nos indican que, los modelos matemáticos son utilizados ampliamente para describir fenómenos físicos, químicos, biológicos, económicos o de cualquier otro tipo. Estas tareas contemplan desde usos simples tales como las operaciones básicas para contabilizar objetos, hasta aplicaciones más complejas, como el uso de sistemas de ecuaciones que describen procesos, sistemas, etc. El objetivo principal de las aplicaciones matemáticas complejas es realizar una mejor toma de decisión sobre un problema encontrado en una realidad. Sin embargo, el desarrollo de estos sistemas de ecuaciones es sumamente complejo cuando la realidad modelada requiere un alto nivel de detalle. Además, el modelado matemático es realizado por expertos con un alto conocimiento matemático, por lo que, aunque se tenga la nomenclatura, la complejidad está sujeta a la formación matemática del experto añadiendo más complejidad para su comprensión (Muñoz, Capón-García, Laínez-Aguirre, Espuña, & Puigjaner, 2014).

Proceso de Producción

Definición de proceso

ISO 9001:2008 Define proceso como. – una actividad o conjunto de actividades que utiliza recursos y se gestiona con el fin de permitir que los elementos de entrada se transformen en resultados. De modo que un proceso es un conjunto de actividades que una o varias personas realizan para obtener un producto hacia un destinatario partiendo de los recursos que se emplean (De Loor Veloz, Lema Espinoza, & Espol, 2017).

Elementos de un proceso

En todo proceso se diferencian un grupo de componentes o factores principales que son los siguientes:

- Entradas (input)
- Subprocesos (operaciones o tareas)
- Salidas (resultados o productos)
- Clientes (internos o externos)
- Sistema de monitoreo (control o evaluación)

Definición de producción

La producción es todo tipo de función orientada a la elaboración, u obtención ya sea de bienes o servicios. Por lo consiguiente es un proceso dificultoso, que demanda el análisis de tres factores importantes: ubicación, mano de obra y recursos. Por lo tanto, la producción combina estos componentes para cubrir las necesidades de la población.

Partiendo de estas definiciones se dice que, (Pazmiño Caceres & Espol, 2017); Procesos de producción, Es un conjunto de acciones que se encuentran interrelacionadas de forma dinámica y que se orientan a la transformación de ciertos elementos de entrada que tras un proceso se convierten en elementos de salida (productos).

Producción de etanol

Definición

“El Etanol también conocido como alcohol etílico anhidro o alcohol carburante tiene como base el alcohol, el cual es un líquido incoloro con un olor característico, mismo que contienen los licores y productos químicos” (Garzón Guerrero, 2012).

El etanol o también conocido como Bioetanol, se consigue a partir de maíz, caña de azúcar, remolacha o de algunos cereales como trigo o cebada. Siendo el productor principal Brasil con un 45% de la producción, seguido por los Estados Unidos quien consigue representar el 44%, China produciendo el 6%, la Unión Europea con una producción del 3%, India con el 1% y otros países el 1% restante.

Producción del Ecuador

El Ecuador está en un proceso de análisis de la posibilidad de producir biocombustible en grandes cantidades. Las empresas automotrices dicen que se reducirá la contaminación. La Asociación Ecuatoriana de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade) manifestó su apoyo a la producción de biocombustibles en el Ecuador. Según los estudios realizados por economistas en el país “el uso de biocombustibles es favorable ya que son menos contaminantes, permiten ahorro de divisas y generan importantes fuentes de empleo”. Los datos obtenidos afirman que con la producción de biocombustibles se podría lograr un ahorro de alrededor de \$33 millones anuales en la importación de gasolinas de alto octanaje, que actualmente asciende a los 2000 barriles diarios. La producción local de etanol es una alternativa que contribuiría a reducir el volumen de importación de naftas de alto octanaje, lo cual mejoraría la combustión y reduciría la contaminación ambiental (Lopatinsky Prado, 2016).

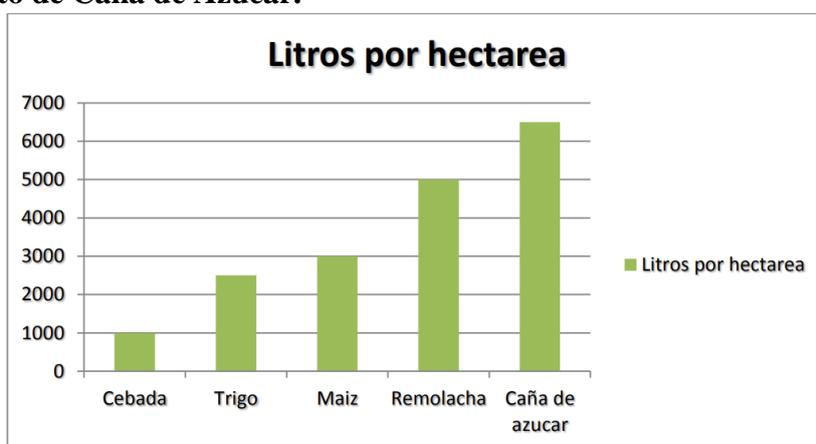
Durante los últimos años se ha promovido a la caña de azúcar como un cultivo energético para la producción de alcohol anhidro o etanol, con el fin de reemplazar a la gasolina, o para utilizarlo en mezclas. El etanol puede producirse a partir de un gran número de plantas, con una variación, según el producto agrícola. Desde inicios del 2010 se lleva a cabo el plan piloto en el Ecuador, se vende en Guayaquil la gasolina

extra mezclada con etanol anhidro obtenida a partir de caña de azúcar. La mezcla se llama Ecopaís (Bravo & Bonilla, 2011).

Rendimiento Por cada tonelada métrica de caña de azúcar

Se obtiene entre 85 y 90 litros de alcohol anhidro. En Ecuador el rendimiento es de 70 litros por tonelada lo cual es equivalente a 5.400 litros por hectárea.

Tabla 1
Rendimiento de Caña de Azúcar.



Existen diversidad de materias primas para producir alcohol, pero no existe mejor proceso más sencillo y menos costoso que transformar jugo de caña en alcohol, ya que se compone de azúcares en forma más simple, lo cual le hace más rentable que otros (Garzón Guerrero, 2012).

Inóculo de Levadura

La *Saccharomyces cerevisiae* es la levadura más conocida y de importancia industrial ya que es la especie de levadura utilizada por excelencia para la obtención de etanol a nivel industrial debido a que es un organismo de fácil manipulación y de recuperación, no es exigente en cuanto a su cultivo, no presenta alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, en la fermentación produce bajas concentraciones de subproductos, es osmotolerante, capaz de utilizar altas concentraciones de azúcares, presenta alta

viabilidad celular para el reciclaje y características de floculación y sedimentación para el procesamiento posterior (Esperanza, Castillo, Constanza, & Forero, n.d.) (Nieto, 2009).

Tabla 2
Clasificación Taxonómica de *Saccharomyces cerevisiae*

Clasificación taxonómica de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	
Reino	Hongo
División	Amastogomycota
Clase	Ascomycetes
Subclase	Hemiascomycetidae
Orden	Endomycetales
Familia	Saccharomycetaceae
Subfamilia	Saccharomycetidae
Genero	Saccharomyces
Especie	Cerevisiae

Fermentación

La fermentación es un tratamiento catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el resultado final un compuesto orgánico. Fue descubierta por Pasteur, quien describió a este proceso como la vida sin el aire. La fermentación convencional es llevada a cabo por las levaduras. Las fermentaciones son de tipos: natural, cuando se cuenta con condiciones ambientales optimas permiten la interacción de los microorganismos y los sustratos orgánicos susceptibles; o artificial, cuando es generada por el hombre propiciando condiciones y el contacto referido.

La fermentación del etanol es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono y unas moléculas de ATP que consumen los propios

microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. El etanol resultante se emplea en la elaboración de algunas bebidas alcohólicas, tales como el vino, la cerveza, la sidra, el cava, etc (Esperanza et al., n.d.).

Aunque en la actualidad se empieza a sintetizar también etanol mediante la fermentación a nivel industrial a gran escala para ser empleado como biocombustible (Lopatinsky Prado, 2016).

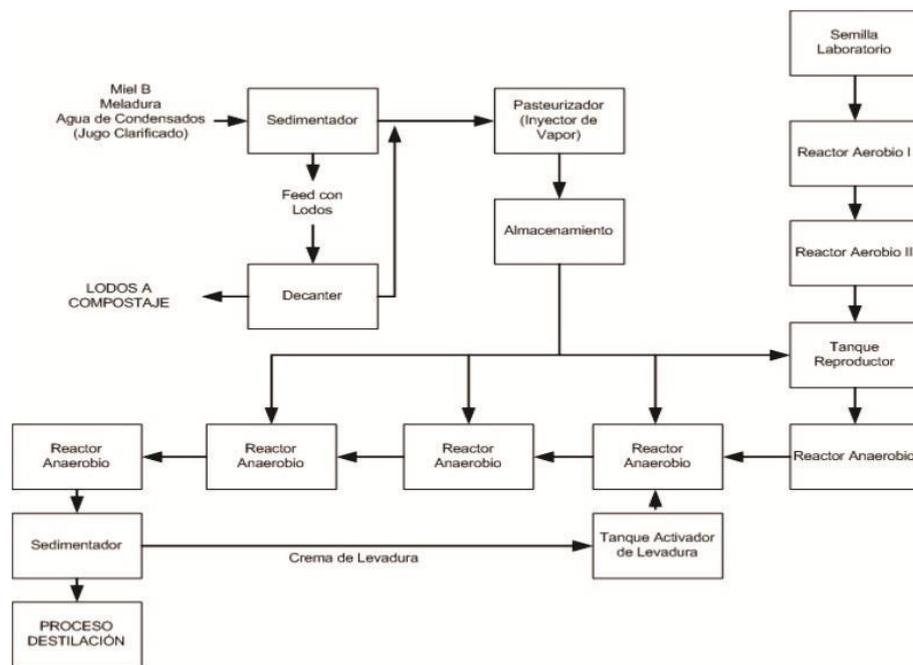


Figura 1. Esquema general del proceso de fermentación a escala industrial (Ordóñez Ortega, Rivera Mariño, & Franco Mejía, 2013a).

Factores que intervienen en la fermentación

La efectividad con que se lleva a cabo el proceso fermentativo, es realizar un correcto control de los factores fisicoquímicos que intervienen. Con la finalidad de mantener un adecuado rendimiento se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Concentración de Azúcares:** La melaza comercial contiene una alta concentración de azúcares que impiden que los microorganismos puedan fermentarlas

en la fase inicial lo que podría ver afectada la respiración de la levadura, debido a la presión osmótica que generan sobre sus paredes celulares; incluso su alta viscosidad hace que su manipulación sea dificultosa por lo cual es indispensable una dilución que facilite el proceso de fermentación, para ello se debe buscar una concentración de melaza menor a 25° Brix.

- pH: Tiene importancia en el control de la contaminación bacteriana y el efecto en el crecimiento de las levaduras, la velocidad de fermentación y formación del alcohol. La levadura toma el nitrógeno de los aminoácidos orgánicos, perdiendo su carácter anfótero y pasando a ácidos, entre más bajo el pH mayor riesgo de contaminación y la fermentación se vuelve lenta, inhibiendo el desarrollo de la levadura
- Temperatura Es el parámetro más importante durante todo el proceso de fermentación, debido a que el crecimiento de los microorganismos depende directamente de la temperatura , influye en el tiempo de fermentación y se debe mantener durante el proceso fermentativo de 25°C a 30°C, las temperaturas más elevadas favorecen el desarrollo bacteriano e inhiben el crecimiento de la levadura y promueven la evaporación del alcohol, si la temperatura es menor el sustrato no logra una correcta activación, inhibiendo la producción de alcohol.
- Agitación: Factor que ayuda a disminuir la sedimentación de células, además que proporciona el contacto eficiente con el sustrato y suspensión de las células. Resulta ser importante la agitación durante el proceso de transferencia de calor, para mantener el mosto en el rango de temperatura anteriormente descrito.
- Oxígeno: La fermentación alcohólica de la melaza, se lleva a cabo en dos fases, una primera fase aerobia en la cual el microorganismo utiliza el oxígeno para realizar la síntesis o asimilación de nutrientes y producir nueva masa microbiana y una segunda

fase anaerobia, en la cual desaparece el metabolismo respiratorio de los microorganismos, siendo sustituido por compuestos inorgánicos oxidados.

- **Concentración de nutrientes:** La adición de nutrientes resulta ser necesaria en ciertos casos para mejorar el proceso de fermentación. Generalmente las cantidades de nitrógeno y fósforo suelen ser bajas en las melazas, para ello se puede agregar Urea y fosfato trisódico en proporciones adecuadas, favoreciendo el metabolismo de los microorganismos en el proceso de transformación de azúcares en alcohol (González Gómez & Neira Beltrán, 2017).

Tabla 2
Concentración de nutrientes por cada 100 kg de melaza.

Nutriente	Cantidad para 100kg de melaza
Levadura	165g
Fosfato trisódico	101.2g
Urea	212.2g
Cloruro férrico	1.1g
Sulfato de magnesio	1.1g

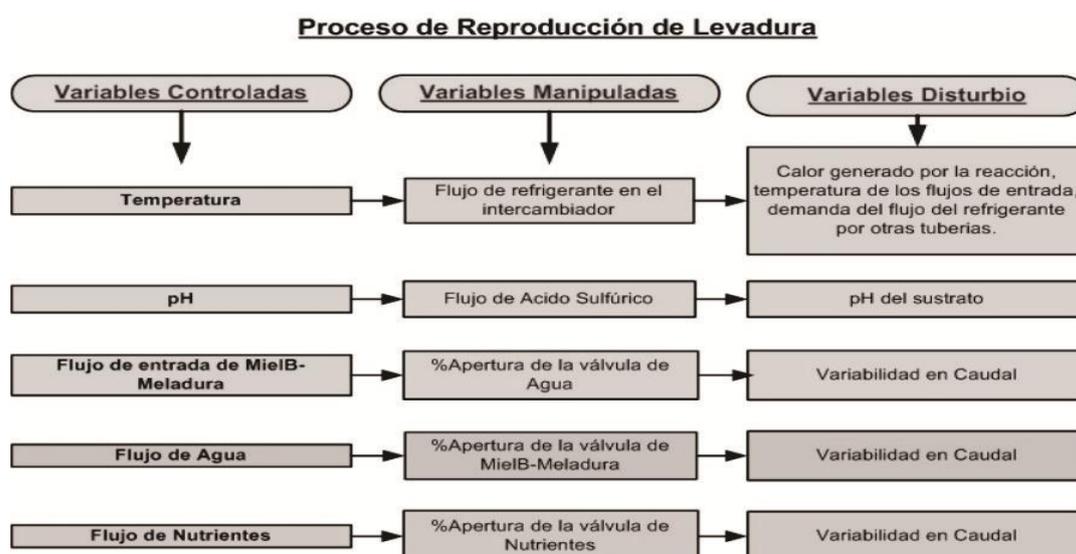


Figura 3. Identificación de las variables del proceso de reproducción de levadura

(Ordóñez Ortega et al., 2013a).

3. DESARROLLO

Descripción del proceso

Las etapas de fermentación, destilación, deshidratación, y compostaje son parte del proceso de elaboración de alcohol a partir de mieles y meladuras. Fermentación es un tratamiento en que los sustratos que componen un medio de cultivo son transformados por acción microbiana en metabolitos y biomasa. El microorganismo va aumentando en su concentración en el transcurso del proceso, al mismo tiempo que el medio se va modificando y se forman productos nuevos como consecuencia de las actividades catabólicas y anabólicas. Las destilerías cuentan con una tecnología gobernada por la operación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* en un proceso continuo, con recirculación de levadura y de vinaza. La cepa empleada tiene unas características especiales, entre las cuales están: flocular por sí misma y operar en ambientes con presencia de vinaza y etanol. Por lo anterior, en el tanque reproductor de levadura se ajustan las condiciones del proceso para que se genere alcohol, aparte del proceso fermentativo aerobio (reproducción de células de levadura) recurriendo al “efecto Crabtree”, el cual es definido como la ocurrencia de la fermentación alcohólica en condiciones aeróbicas (siendo la fermentación alcohólica un proceso que se desarrolla en un ambiente anaerobio, permite que ocurra en condiciones aerobias bajo condiciones controladas). El proceso de reproducción de levadura, está compuesto por un tanque de terminaciones cónicas, el cual cuenta con un sistema de inyección de oxígeno conformado por un sistema de filtración del aire, un sistema de flautas y dos ventiladores (blowers). Del mismo modo tiene acoplado un intercambiador de placas paralelas, que permite hacer el control de temperatura (ver Figura 2) (“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE

n.d.-a).

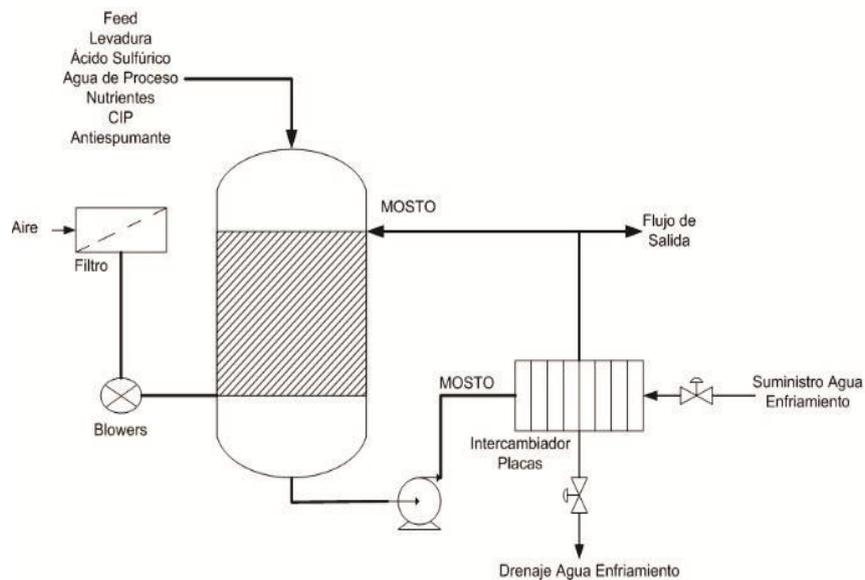


Figura 2. Descripción física del proceso de reproducción de levadura (Ordóñez Ortega et al., 2013a).

Análisis de control de biomasa

La concentración de biomasa es la variable central del proceso de reproducción de levaduras. Es una variable que se ve afectada por diversos parámetros entre ellos tenemos: Temperatura, pH, concentración de sustrato, concentración de oxígeno, presencia de otros microorganismos, entre otros (Escuela Nacional de Minas (Colombia), Universidad Nacional de Colombia. Sede de Medellín. Facultad Nacional de Minas., & OLIVAR TOST, 2009). Lo cual contribuye a que sea un proceso altamente variable en el tiempo y posea una dinámica no lineal, gobernada por el metabolismo celular. La presencia nociva de otros microorganismos perturba significativamente cualquier proceso de estimación o monitoreo de la biomasa. Además, la ausencia de un modelo certero que permita perfilar el comportamiento de los fenómenos que se presentan en el proceso, obstaculiza aún más la tarea del control.

Estimar estrategias de control para esta variable, en tratamientos de reproducción de levadura que se desarrollen en destilerías del sector, se considera difícil aún. Para comprender un bosquejo de control del proceso de reproducción de levadura, lo primero que podemos hacer es ajustar un modelo dinámico apropiado que permita precisar los comportamientos y fenómenos que acontecen en el proceso continuo. La literatura reporta diversos modelos para procesos de fermentación. Se propone el modelo basado en el análisis del proceso del objeto de estudio (Ordóñez Ortega et al., 2013a) (“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA A ESCALA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL - PDF,” n.d.-a).

La cinética de crecimiento se modela en la ecuación 1, denominado cinética de Ollson's:

$$\mu = \mu_{MAX} \left[\frac{S}{K_s + S} \right] \left[\frac{C}{k_c + C} \right]$$

Donde:

S = concentración de sustrato

Ks = parámetro de saturación

C = concentración de oxígeno disuelto

μ max = rata máxima de crecimiento específico de la levadura

Kc = parámetro de saturación

Balance de biomasa

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{F}{V}X + \mu X$$

Donde:

F= flujo total de salida

V=volumen del medio

X=concentración de biomasa

Balance de Sustrato

$$\frac{dS}{dt} = \frac{F_i}{V} S_i - \frac{F}{V} S - \frac{Y_E / s}{Y_X / s} \mu X$$

Donde:

E=concentración de etanol

Y E/s= coeficiente de desempeño que relaciona el sustrato y el etanol. Mide qué tanto sustrato se desvió para producir etanol

Balance de Concentración de Oxígeno

$$\frac{dC}{dt} = (Q1 - Q2) - k_3 \mu X - DC$$

Donde:

C = Concentración de oxígeno disuelto en el tanque

D = Rata de dilución

k3 = coeficiente de desempeño

Q1 = rata de flujo de oxígeno de entrada (por unidad de volumen)

Q2 = rata de flujo de oxígeno de salida (por unidad de volumen)

El modelo presenta fuertes no linealidades y parámetros que pueden variar con el tiempo, lo cual dificulta el diseño de un sistema de control.

Por lo tanto, basados en la investigación y su contenido se ha obtenido el rendimiento de producir etanol mediante el proceso de fermentación; transformación en la cual las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, son las principales responsables y a su vez la especie usada con más frecuencia.

A pesar de parecer, a nivel estequiométrico, una transformación simple, la secuencia de transformaciones para degradar la glucosa hasta dos moléculas de alcohol y dos moléculas de bióxido de carbono es un proceso muy complejo, pues al mismo tiempo la levadura utiliza la glucosa y nutrientes adicionales para reproducirse. Para evaluar esta transformación, se usa el rendimiento biomasa/producto y el rendimiento producto/substrato (Muñoz et al., 2014).

– Rendimiento biomasa/substrato ($Y_{x/s}$): es la cantidad de levadura producida por cantidad de substrato consumido.

– Rendimiento substrato/producto ($Y_{p/s}$): es la cantidad de producto sintetizado por cantidad de substrato consumido.

El rendimiento teórico estequiométrico para la transformación de glucosa en etanol es de 0.511 g de etanol y 0.489 g de CO_2 por 1 g de glucosa. En la realidad es difícil lograr este rendimiento, porque como se señaló anteriormente, la levadura utiliza la glucosa para la producción de otros metabolitos. El rendimiento experimental varía entre 90% y 95% del teórico, es decir, de 0.469 a 0.485 g/g. Los rendimientos en la industria varían entre 87 y 93% del rendimiento teórico. Otro parámetro importante es la productividad (g/h/l), la cual se define como la cantidad de etanol producido por unidad de tiempo y de volumen (Muñoz et al., 2014) (Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. & Dacosta, 2007).

Instrumentación usada en procesos de fermentación

Los sensores más empleados en biotecnología a escala industrial, son para cuantificar el ambiente físico-químico de los bioprocesos. Variables como pH, temperatura, presión, nivel del líquido, espuma, potencia de entrada y velocidad del impeler son monitoreadas en la mayoría de bioprocesos. Variables frecuentemente importantes, pero monitoreadas en menor cantidad, son: la viscosidad, la velocidad del fluido y las cantidades de gases. Variables como las concentraciones de sustrato, metabolitos y biomasa son poco monitoreadas por su variabilidad y complejidad. Aunque estas últimas variables pueden ser medidas mediante instrumentos que incluyen electrodos, sensores ópticos (absorbancia y fluorescencia), cromatógrafos y biosensores. Cabe resaltar que este tipo de tecnologías tienen restricciones que no les permite operar en

todos los bioprocesos, además demandan grandes costos de adquisición y mantenimiento (Ordóñez Ortega, Rivera Mariño, & Franco Mejía, 2013b) (“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA A ESCALA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL - PDF,” n.d.-b).

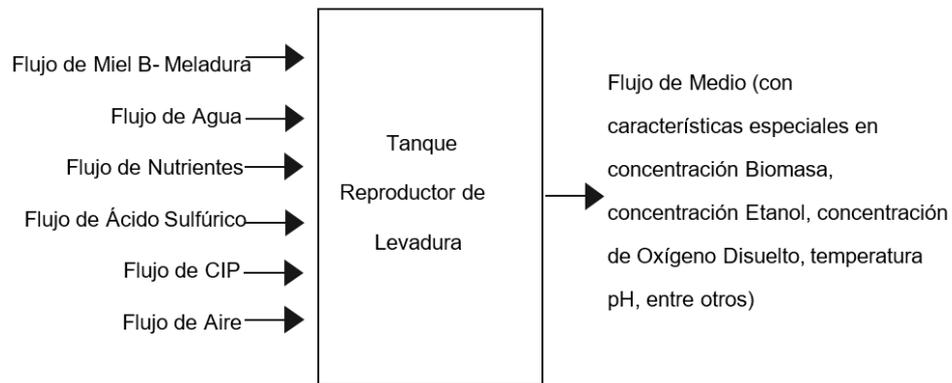


Figura 4. Identificación de entradas y salidas físicas del tanque de reproducción de levadura (“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA A ESCALA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL - PDF,” n.d.-b).

4. CONCLUSIONES

Como resultado de la presente investigación, y en base a datos que han sido obtenidos podemos concluir que la necesidad de proponer prudentemente estrategias para la producción de combustibles alternativos que proporcionen a nuestro país seguir desarrollándose y manteniendo la autonomía e independencia con grandes alcances tanto económicos como sociales. Teniendo en cuenta que la disponibilidad del petróleo, de acuerdo a las reservas y al consumo actual, se prevé que se vea agotada en aproximadamente 35 años, dicho de este modo estas estrategias deben poseer un alto potencial para sustituir la debilitación del petróleo sin que esto genere daños para la nación.

Teniendo como opción analizar las diferentes opciones para que, dentro de un periodo de 20 años, se posea una tecnología sostenible, competitiva y beneficiosa. Mientras que en la industria azucarera el uso energético de la biomasa cañera tiene una larga tradición; sin embargo, se considera aun poco eficiente, asociándola al hecho de que exclusivamente se pueda disponer de energía durante la etapa de molienda constituye significantes limitaciones para el proceso de producción de etanol.

La razón de seleccionar melazas, bagazo de caña y el guarapo como materias primas, se da debido a que son fuente de azúcares fermentables teniendo en cuenta que su recolección y almacenamiento se da tradicionalmente en los ingenios. Aun siendo algunos de estos productores de etanol, este no es anhídrido y el volumen actual de producción no abastece la demanda que se prevé.

Para el proceso de reproducción de levaduras, es aun difícil elaborar un control completamente automático, pues el proceso presenta no linealidades y es altamente variante en el tiempo; no se dispone de patrones precisos y la deficiencia de instrumentos para medir variables críticas es considerable. Basándonos en la argumentación de las actividades y ejecución de dicho tratamiento a escala industrial, se reconocen las variables a instrumentarse, así como la demanda

de instrumentación y se plantea un esquema de control para el proceso. Considerando que el modelo matemático es utilizado para revelar fenómenos o realizar tareas que consideren los más simples usos como inventariar elementos, hasta los estudios más complicados, como la utilización de sistemas de ecuaciones que son capaces de representar procesos, métodos y una variedad de sistemas de producción.

Destacando que el proceso de producción de etanol mediante fermentación es una técnica limpia, parcialmente simple y sencilla de perfeccionar. La reproducción de levaduras en biorreactor, no precisa de conocimientos técnicos para su ejecución, a pesar de verse complicado desde un punto de vista bioquímico. Aunque contar con cepas de levadura apropiadas es lo realmente importante, una buena alternativa sería las cepas floculantes por su resistencia a bacterias y a altas concentraciones de etanol.

Para culminar el presente trabajo, es primordial detallar que se plantea la elaboración de etanol mediante el proceso fermentativo, presentando un modelo matemático mismo que será de gran utilidad para la industrialización del inóculo de levadura generando así una alternativa de producción de etanol con la finalidad de cubrir las demandas que se tienen previstas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bravo, E., & Bonilla, N. (2011). Agrocombustibles: energía que extingue a la Pacha Mama. *Quito, EC. Sep.* Retrieved from <http://www.biodiversidadla.org/content/download/85379/495720/version/1/file/Agrocombustibles,+energía+que+extingue+a+la+Pachamama.pdf>
- De Loor Veloz, K. L., Lema Espinoza, P. F., & Espol. (2017). Diseño de un sistema de control de procesos de producción y comercialización para una empresa productora de banano ubicada en la provincia de Los Ríos. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/38826?show=full>
- e-Math, P., Alberto Rodríguez Velázquez jrodriguezvel, J., & Steegmann Pascual csteegmann, C. (n.d.-a). Modelos matemáticos MODELOS MATEMÁTICOS. Retrieved from http://recursos.salonesvirtuales.com/wp-content/uploads/bloques/2012/08/Modelos_matematicos.pdf
- e-Math, P., Alberto Rodríguez Velázquez jrodriguezvel, J., & Steegmann Pascual csteegmann, C. (n.d.-b). Modelos matemáticos MODELOS MATEMÁTICOS. Retrieved from https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Modelos_matematicos.pdf
- Escuela Nacional de Minas (Colombia), A., Universidad Nacional de Colombia. Sede de Medellín. Facultad Nacional de Minas., F., & OLIVAR TOST, G. (2009). *Dyna. DYNA* (Vol. 76). Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0012-73532009000100012
- Esperanza, E., Castillo, F., Constanza, S., & Forero, S. (n.d.). EVALUACIÓN DE MELAZA DE CAÑA COMO SUSTRATO PARA LA PRODUCCIÓN DE *Saccharomyces cerevisiae*. Retrieved from <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis26.pdf>
- Garzón Guerrero, I. S. (2012). Biocombustibles conversión de sistema de alimentación de un motor de gasolina a Etanol. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/2007>
- González Gómez, A. E., & Neira Beltrán, L. E. (2017). Implementación del procedimiento para llevar a cabo la práctica de fermentación y destilación en la planta de biocombustibles del laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de La Salle. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/20494>
- Investigaciones de operaciones - Iris Abril Martínez Salazar-FREELIBROS.ORG.pdf. (n.d.). Retrieved August 29, 2017, from <https://es.scribd.com/document/342840686/Investigaciones-de-operaciones-Iris-Abril-Martinez-Salazar-FREELIBROS-ORG-pdf>
- Lopatinsky Prado, M. M. (2016). Obtención de bio-combustible orgánico a partir de Zea Mays con aplicación de alfa-amilasa. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/31975>
- Martínez Salazar, I. A. (n.d.). *Investigaciones de operaciones*. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=md3hBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=tipos de modelos matematicos&ots=ydv4-znii3&sig=-Os30c11MTvTboEaqJkrWZ-NWAY#v=onepage&q&f=true>
- Muñoz, E., Capón-García, E., Laínez-Aguirre, J. M., Espuña, A., & Puigjaner, L. (2014). Using mathematical knowledge management to support integrated decision-making in the

enterprise. *Computers & Chemical Engineering*, 66, 139–150.
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2014.02.026>

Nieto, H. (2009). Evaluación de las condiciones de la fermentación alcohólica utilizando *Saccharomyces cerevisiae* y jugo de caña de azúcar como sustrato para obtener. *Universidad de Las Fuerzas Armadas-ESPE*.

Ordóñez Ortega, I. V., Rivera Mariño, I., & Franco Mejía, E. (2013a). Propuesta de automatización de un proceso de producción de inóculo de levadura a escala industrial para producción de etanol. *Ingeniería Investigación Y Desarrollo*, 13(1), 40.
<https://doi.org/10.19053/1900771X.3415>

Ordóñez Ortega, I. V., Rivera Mariño, I., & Franco Mejía, E. (2013b). Propuesta de automatización de un proceso de producción de inóculo de levadura a escala industrial para producción de etanol. *Ingeniería Investigación Y Desarrollo*, 13(1), 40.
<https://doi.org/10.19053/1900771X.3415>

Pazmiño Caceres, S. O., & Espol. (2017). Diseño de un plan de mejora continua de producción de chocolate y caramelos para una empresa de alimentos. Retrieved from <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/37746>

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA A ESCALA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL - PDF. (n.d.-a). Retrieved September 5, 2017, from <http://docplayer.es/31600233-Propuesta-de-automatizacion-de-un-proceso-de-produccion-de-inoculo-de-levadura-a-escala-industrial-para-la-produccion-de-etanol.html>

PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE INÓCULO DE LEVADURA A ESCALA INDUSTRIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL - PDF. (n.d.-b). Retrieved September 4, 2017, from <http://docplayer.es/31600233-Propuesta-de-automatizacion-de-un-proceso-de-produccion-de-inoculo-de-levadura-a-escala-industrial-para-la-produccion-de-etanol.html>

Universidad de Guadalajara, V. R., & Mata, E. M. (2017). *ReCIBE. ReCIBE* (Vol. 4). Retrieved from <http://recibe.cucei.udg.mx/Recibe/index.php/Recibe/article/view/40>

Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería., H. ., & Dacosta, O. (2007). *Ingeniería, investigación y tecnología. Ingeniería, investigación y tecnología* (Vol. 8). Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432007000400004&script=sci_arttext&tlng=pt