

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, obtención de bioetanol mediante hidrólisis enzimática del camote (*Ipomoea batatas L.*) a escala laboratorio fue desarrollado en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales, perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Para este proyecto, se utilizó como materia prima: camote (*Ipomoea batatas L.*) que fue adquirido del Mercado Campesino de la Ciudad de Tarija, proveniente del Valle de la Concepción.

En base al análisis fisicoquímico del camote tiene: azúcares reductores 1,17%; cenizas 1,70%; fibra 0,46%; grasa 0,18%; hidratos de carbono 24,39%; humedad 71,27% y proteínas totales 2%.

Las operaciones involucradas en la obtención de bioetanol de camote son: selección del camote, pelado y lavado, cortado, secado, molienda, tamizado, dilución, gelatinización, licuefacción, sacarificación, preparación del mosto, fermentación alcohólica, filtración y destilación.

Se aplicó un diseño factorial 2^3 en el proceso de hidrólisis enzimática, donde los factores independientes fueron: pH (5,5 – 6,0), temperatura (75 – 85) °C y cantidad de enzima α -amilasa (0,4 – 0,6) g; en donde la variable respuesta fue el porcentaje de azúcares reductores obtenido. Estadísticamente, aplicando el software IBM SPSS, se estableció que la variable respuesta (porcentaje de azúcares reductores) no presenta significancia para el factor pH, nivel de significancia mayor a 0,05.

Realizado una comparación entre las muestras experimentales del producto de la hidrólisis enzimática, se determinó que la muestra aceptada fue el experimento A₈, presentando un porcentaje de azúcares reductores igual a 9,75%.

En el presente trabajo de investigación, también se aplicó un diseño factorial 2^2 en la etapa de fermentación alcohólica para el mosto, donde los factores fueron: cantidad de levadura (1,0 – 1,2) g y pH (4,0 – 5,0); como variable respuesta fue el rendimiento de etanol obtenido. Estadísticamente, aplicando el software IBM SPSS, se estableció que

la variable respuesta (rendimiento de etanol obtenido) presenta significancia para los dos factores (nivel de significancia menor a 0,05).

Se determinó que la muestra aceptada para el diseño factorial aplicado en la fermentación alcohólica, fue el experimento R₄ obteniendo mejores resultados en las siguientes condiciones: pH igual a 5 y cantidad de levadura igual a 1,2 g, que mediante una destilación se logra obtener un rendimiento de etanol del 58,81% a 12,3 °GL

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

En la actualidad la generación de alternativas energéticas distintas a las ya convencionales obtenidas principalmente de la explotación del petróleo, ha conllevado al uso de materias primas naturales dando lugar a los llamados biocombustibles dentro de los cuáles destaca el bioetanol. Ello ha surgido a raíz de la necesidad de proteger el medio ambiente, preservar los recursos tanto renovables como no renovables y maximizar el potencial de uso de productos agrícolas y en especial de los subproductos, que estos generan al someterlos a distintos procesos agroindustriales, cuya disposición final es un gran problema ambiental. (Garcia & Garcia, 2010)

El bioetanol es producido a partir de la fermentación de cultivos o materias primas ricas en sacarosa, almidón, o celulosa. Los cultivos ricos en sacarosa más comúnmente utilizados son la caña de azúcar, remolacha y sorgo, aun cuando existen otros materiales ricos en azúcares fermentecibles, tales como la melaza (subproducto de la obtención de azúcar a partir de la caña de azúcar). Por su parte, los cultivos ricos en almidón más utilizados son el maíz, yuca, cebada, papa, y camote; la obtención de bioetanol a partir de almidones requiere pasos previos que permitan separar las unidades de glucosa que conforman al almidón, de tal forma que aquel puede utilizarse en la etapa de fermentación. (Garcia & Garcia, 2010)

Para la obtención de bioetanol a partir de cultivos que contienen almidón, requiere un proceso de hidrólisis del almidón para obtener azúcares fermentecibles. El proceso de hidrólisis del almidón se puede realizar por dos vías: hidrólisis ácida o hidrólisis enzimática. (Rios & Zelada, 2017)

La hidrólisis ácida del almidón para obtener glucosa, es una técnica que tiene muchas desventajas, tales como: formación de productos no deseables y flexibilidad muy pobre (el producto final sólo se puede modificar cambiando el grado de hidrólisis), es necesario que el equipo resista al ácido y a las temperaturas requeridas durante este proceso. (Rios & Zelada, 2017)

La hidrólisis enzimática en los últimos 30 años ha desplazado a la hidrólisis ácida, debido a que se dispone de nuevas enzimas. Hoy en día la mayor parte de hidrólisis de almidón se realiza utilizando enzimas. (Rios & Zelada, 2017)

La hidrólisis enzimática ha tenido un desarrollo acelerado, ya que desde 1920 se han realizado numerosos ensayos y técnicas sobre ellas, con las cuales obtuvieron rendimientos excelentes de conversión. Sin embargo, la verdadera historia de la hidrólisis enzimática tiene sus comienzos industriales recién en 1945, año en el cual químicos de Alemania, Estados Unidos, Japón, desarrollaron técnicas industriales novedosas que permitieron la obtención de un producto de gran pureza, a su vez realizaron estudios en base a diferentes enzimas y demostraron que el uso de la maltosa, glucoamilasa, amilasas tienen gran extensión específica y selectiva para la obtención de glucosa. (Soto, 1976)

Según Huayta (2014), en su proyecto de grado: “Obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática del almidón de papa cardenal”, realizado en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Utilizó una metodología de investigación científica diseño factorial de 2^3 , dos niveles y tres variables; masa de enzima alfa-amilasa (2,8 g y 2 g), pH de la solución (6,2 y 5,2) y la temperatura del proceso de hidrólisis de (80 °C y 70 °C), donde concluye que la combinación óptima del proceso de hidrólisis enzimática fue de una masa de enzima alfa-amilasa 2,8 g (+), pH de la solución 5,2 (-) y la temperatura del proceso 80 °C (+) alcanzando una concentración de azúcares totales de 11,06% en un tiempo de dos horas. En el proceso de fermentación alcohólica, se logró alcanzar un grado alcohólico de 6,041 °GL en un tiempo de fermentación del mosto de 24 días a partir del uso de la levadura *Sacharomyces bayanus* PB2870 en las condiciones recomendadas por el fabricante. También Huayta (2014), recomienda completar el estudio con un diseño factorial en el proceso de fermentación alcohólica, con el propósito de mejorar el rendimiento obtenido de alcohol.

Aunque los usos del etanol son innumerables que van desde la preparación de bebidas alcohólicas, perfumería, elaboración de medicamentos, acético anhidro, acetaldehído, etc., hasta la creciente tendencia como sustituto o componente de las gasolinas. Su

principal uso dentro de procesos industriales es de intermediario para producir otros productos químicos. (Autoridad de Fiscalización de Empresas, 2018)

En Bolivia, el etanol es obtenido de las mieles finales (melazas) obtenidas a partir del procesamiento de la caña de azúcar, el uso de este producto es dependiendo de los °GL (grados Gay Lussac) usado para la preparación de disolventes, solventes en la industria, como combustible o carburante, para el consumo humano, elaboración de bebidas alcohólicas, farmacéuticos, perfumería, cosméticos, siendo etanol de 96 °GL el más producido (Autoridad de Fiscalización de Empresas, 2018)

El camote es una hortaliza que se constituye en un importante alimento como fuente de energía, rico en carbohidratos especialmente azúcares, de raíces abundantes y ramificadas, de pulpa excelente, rica en almidón y una fuente potencial de proteínas. Ha sido considerado una buena materia prima para la producción de etanol por fermentación por su alto rendimiento en contenido de almidón por unidad de área cultivada. La producción del camote es tradicional en el trópico boliviano, siendo uno de los cultivos más adaptables a las condiciones ambientales de zonas tropicales y subtropicales, encontrándose en una superficie cultivada relegada en relación a otros rubros de producción de tubérculos por falta de incentivos al mejoramiento de variedades. (Vidal, Zaucedo, & Ramos, 2018)

Según el (Instituto Nacional de Estadística, 2013), la producción de camote es de 3646,1 toneladas. En el año 2017, con una producción de 1706,3 toneladas en una superficie de 106,2 hectáreas cultivadas, el Municipio de Puerto Suárez de la Provincia Cruceña German Busch, se constituye en el principal productor de camote a nivel nacional, seguido de Huacareta, El Torno, El Puente, Toro Toro y Sucre. En una encuesta agropecuaria realizada por el Instituto Nacional de Estadística, Tarija entre los años 2017-2018 tiene una superficie cultivada igual a 75 hectáreas de camote, el rendimiento por hectárea cultivada equivale a 2467 kilogramos.

Objetivos

Objetivo general

Obtener bioetanol mediante hidrólisis enzimática del camote (*Ipomoea batatas L.*) a escala laboratorio, empleando procesos tecnológicos experimentales con el fin de contribuir en la investigación de nuevas materias primas para la producción de bioetanol en el Departamento de Tarija.

Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima (*Ipomoea batatas L.*), con el fin de conocer sus propiedades físicas y químicas.
- Analizar y seleccionar el proceso tecnológico experimental para obtención de bioetanol a partir del camote.
- Ejecutar la fase experimental del proceso tecnológico, con la finalidad de conocer las mejores condiciones donde se pueda llevar a cabo la obtención de bioetanol de camote.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del bioetanol obtenido, para determinar la calidad del producto.
- Realizar el balance de materia y energía para obtener bioetanol mediante hidrólisis enzimática del camote.
- Determinar el rendimiento porcentual y/o eficiencia del proceso de Obtención de bioetanol mediante hidrólisis enzimática del camote (*Ipomoea batatas L.*) a escala laboratorio.

Justificación

En los últimos años, los combustibles derivados de cultivos agrícolas están adquiriendo mayor importancia como sustitutos de aquellos tradicionales derivados del petróleo, además de los innumerables usos que este tiene. La demanda de bioetanol ha motivado el estudio de materias primas alternativas no tradicionales. El camote (*Ipomea batatas L.*) ha sido considerado una buena materia prima para la producción de etanol por fermentación por su alto rendimiento en contenido de almidón por unidad de área cultivada, siendo un cultivo que puede desarrollarse con una cantidad mínima de

insumos y tierras marginales donde generalmente no se desarrollan otras especies. Contiene además azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa, cantidades menores de fibras y proteínas.

El origen de la idea surge, debido a que en Bolivia la producción de bioetanol es a partir de la caña de azúcar, dejando de lado a otros cultivos que también son producidos, como es el caso del camote. Es así que se pretende obtener bioetanol con la finalidad de aumentar la producción de camote, transformación y comercialización.

Es por ello que se plantea estudiar un proceso para la obtención de bioetanol mediante hidrólisis enzimática a partir del camote, como una alternativa de solución.

❖ **Justificación económica**

Es importante resaltar que la producción de bioetanol a partir del camote, es un producto que podría potenciar un mercado importante como ser la industria alimenticia, farmacéutica y así también los biocombustibles, representa una solución alternativa a sus crecientes problemas de consumo y contaminación. Además de generar ingresos a los productores y poder aumentar la producción cultivada de camote.

❖ **Justificación tecnológica**

Con el presente trabajo de investigación se pretende dar importancia al procesamiento del camote para la obtención de bioetanol. En la actualidad en Bolivia no se produce bioetanol de a partir de tubérculos. Este subproducto proveniente del camote, con importantes cantidades de almidón y azúcares, demuestra que es necesario desarrollar nuevas tecnologías que permitan llevar a cabo el proceso de obtención de bioetanol en condiciones determinadas para su posterior aplicación, como un producto destinado a la elaboración de bebidas alcohólicas, industria farmacéutica, cosmética, o posible uso como biocombustibles, etc.

❖ **Justificación social**

Este trabajo de investigación contribuirá al mejoramiento del sector industrial, permitiendo tomar en cuenta otros métodos para la obtención de bioetanol y generando nuevas fuentes de trabajo.

Los resultados de la investigación servirán como aporte técnico y científico para futuras investigaciones o proyectos productivos, como ser la obtención alcohol anhídrido.

❖ **Justificación ambiental**

El método seleccionado para la obtención de bioetanol resulta ser más amigable con el medio ambiente a diferencia de la hidrólisis ácida, donde la concentración de ácido en los desechos es alta. Con la industrialización del camote para obtener bioetanol se convierte en una fuente renovable de energía, a diferencia de otros recursos naturales como el petróleo, además que no incrementan los niveles de CO₂ en la atmósfera, con lo que se reduce el peligro del efecto invernadero.