

Obtaining second-generation bioethanol from orange peel using a biorefinery concept

Magali Camila Vivas-Cuellar, MSc. ¹ 

¹ Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, mvivas@uni.edu.pe

Abstract— Currently, orange peel waste (Citrus sinensis) generated in juice shop, restaurants, markets, and other industries is a renewable raw material due to its cellulose content (37%) for the production of second-generation bioethanol. The process to optimize the conversion of orange peel cellulose to bioethanol will involve the following steps: physical pretreatment, enzymatic hydrolysis to obtain glucose containing sugars, fermentation of the syrup with Saccharomyces cerevisiae, distillation, and subsequent dehydration. The variables studied will include temperature, pH, reaction time, and solvent ratio to increase yield and optimize each step.

Optimal conditions for cellulase enzyme dosage levels were obtained for the production of bioethanol from orange peels in hydrolysis. The treatment of 50 grams of orange peel with 400 mL of water and 10 mL of cellulase enzyme at 55 ° C for 1 hour, an increase in sugar content from 3 brix to 5.9 brix. After fermentation with Saccharomyces Cerevisiae from 5.9 brix it was reduced to 4 brix..

Keywords-- Bioethanol, orange peels, enzyme, Saccharomyces Cerevisiae, hydrolysis.

Obtención de Bioetanol de segunda generación de cascara de naranja desde el concepto de Biorrefinería

Magali Camila Vivas-Cuellar, MSc. ¹ 

¹ Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, mvivas@uni.edu.pe

Resumen– Actualmente los desperdicios de cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*) que son generados en juguerías, restaurantes, mercados, entre otras, son materia prima renovable por su contenido de celulosa (37%) para la obtención de bioetanol de segunda generación. El proceso a optimizar la conversión de la celulosa de la cáscara de naranja a bioetanol seguirá las etapas de: pretratamiento físico, hidrólisis enzimática para obtener el glucosado con contenido de azúcares, fermentación del jarabe con *Saccharomyces Cerevisiae*, destilación y la respectiva deshidratación. Donde las variables que se estudiarán serán la temperatura, pH, tiempo de reacción y proporción del solvente para aumentar el rendimiento y optimizar cada una de las etapas.

Se obtuvo las condiciones óptimas de los niveles de dosificación de la enzima celulasa para la producción de bioetanol a base de cáscaras de naranja en la hidrólisis. El tratamiento de 50 gramos de cascara de naranja con 400 mL de agua y 10 mL de enzima celulasa a 55°C por 1 hora, un incremento del contenido de azúcares de 3 brix a 5.9 brix. Luego de la fermentación con *Saccharomyces Cerevisiae* de 5.9 brix se redujo a 4 brix.

Palabras clave-- Bioetanol, cáscaras de naranja, enzima, *Saccharomyces Cerevisiae*, hidrólisis.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de biocombustibles a partir de los desperdicios de cáscara de naranja es una alternativa prometedora ya que por un lado se logrará usar una fuente renovable para la producción de bioetanol y se aprovechará un residuo natural [2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 14, 15, 16]. Desde el concepto de biorrefinería se da un valor agregado al desecho para generar un biocombustible como bioetanol, con el uso de tecnología aplicada al caso real en el Perú.

Los desechos de frutas y verduras representan entre el 20 y el 50% de los desechos domésticos en varios países, mientras que los desechos de cáscaras de cítricos (CPW) constituyen un residuo principal en la categoría específica. La producción mundial de cítricos (naranja, limón, lima, naranja dulce, etc.) constituye más de 121×106 t anuales, mientras que el sector de fabricación de zumos industriales genera alrededor de 25×106 t de CPW. El CPW formado durante el procesamiento de la fruta consiste principalmente en cáscaras y pulpa prensada (semillas y membranas de segmentos), lo que representa el 50% del peso de la fruta. [1, 12]

La cáscara de naranja es un recurso lignocelulósico que se caracteriza por presentar baja composición de lignina (7-9%) y alto contenido de azúcares solubles, así como se muestra en las siguientes tablas [13]:

Tabla 1. Contenido de monosacáridos

Monosacarido	Cascara de naranja (% peso seco)
Ramnosa	0.9
Arabinosa	8.4
Manosa	3.0
Galactosa	6.4
Glucosa	25.8
Xilosa	3.7

Tabla 2. Componentes de la cascara de naranja

Componentes	Cascara de naranja (% peso seco)
Azúcares	9.6
Lípido	4.0
Proteína	9.1
Pectina	23.0
Lignina	7.5
Celulosa	37.1
Hemicelulosa	11.0
Ceniza	2.6

La lignocelulosa está presente como un bloque dentro de la estructura de la pared celular de las plantas y vegetales, esta biomasa es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía y materias primas. El aprovechamiento integral del material lignocelulósico persigue métodos de fraccionamiento de los compuestos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), de dos clases: métodos de hidrólisis y métodos de lignificación. [8, 10].

El propósito del pretratamiento es remover la lignina y la hemicelulosa, reducir la cristalinidad de la celulosa y aumentar la porosidad del material. En una materia prima no tratada, las fibras de celulosa, con una alta cristalinidad, se encuentra dentro de una no muy bien organizada matriz de hemicelulosa y envuelta en una pared de lignina que le da la rigidez al material lignocelulósico.

Virreira Joaquín, Góngora Oscar (2014) realizó una caracterización físico-química de las cáscaras de naranja y pomelo. Además obtuvo bioetanol a base de las cáscaras de ambos cítricos y concluyó que la variable temperatura, interacciona negativamente con las variables concentración de ácido sulfúrico y tiempo de reacción, afectando el rendimiento de azúcares reductores en la hidrólisis ácida de la cascara de naranja

Siti Hajar Mohd Azhar et. al (2017) realizó una revisión de la influencia de las levaduras en las etapas del proceso de producción de bioetanol y concluyó que el método de sacarificación y fermentación simultánea es un proceso efectivo de inmovilización de levaduras y de producción de alta eficiencia de etanol.

Patsalou, María et.al, (2019) en su artículo ha demostrado el potencial de una nueva biorrefinería de residuos cero para la producción de biocombustibles renovables a partir de desperdicios de cáscaras de cítricos a través de tecnologías de bajo impacto ambiental.

Se evaluó el efecto de la concentración de la enzima celulasa y la temperatura en la hidrólisis enzimática [14, 15, 16]. También se hizo un tratamiento térmico para remover la lignina de la cascara de naranja.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron los procedimientos para tener un protocolo estándar y poder comparar los resultados obtenidos. Ver Fig. 1.

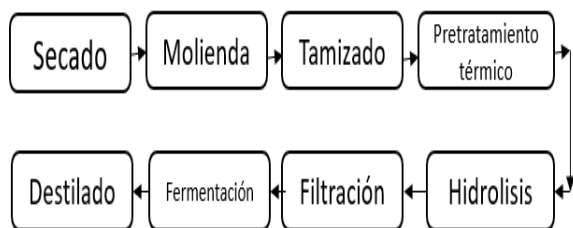


Figura 1. etapas del proceso de obtención de etanol de cascara de naranja.

Cada etapa del proceso de obtención de bioetanol de la cascara de naranja, se estableció de las referencias consultadas y con los materiales y equipos disponibles en el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

A. Preparación de la cascara de naranja

Se usó un secador por convección forzada para secar la cascara de naranja 60°C por 24h. La cascara se distribuye en las rejillas del secador (ver Fig. 2). El tiempo de secado influye en la cantidad de masa de cascara de naranja seca, también la temperatura de secado.



a) Lote 1



b) Lote 2

Figura 2. Diferentes lotes de Cascara de naranja fresca en el secador

Los lotes de cascara de naranja utilizados tenían diferente humedad, en algunos lotes a las mismas condiciones de secado de 60°C por 24 horas, y se observaron zonas oscuras que indicaban que se estaban carbonizando.

La cascara de naranja seca se retiró del secador y se pesó, para conocer cuánto se obtiene de cascara de naranja seca (ver Fig. 3). En la tabla 3 se muestran algunos datos de los lotes de cascara de naranja secos.



Figura 3. Cascara de naranja seca

Tabla 3. Resultado del porcentaje de pérdida de peso de la semilla de naranja después del secado.

Cascara de Naranja fresca (g)	Cascara de Naranja seca (g)	Peso perdido (%)
2000.0 ^a	985.0	50.7
447.0 ^b	141.7	68.5
2000.0 ^b	788.8	60.6

^a secado a 65°C ^b secado a 60°C

La cascara de naranja seca se trituro mediante un molino de tornillo manual (ver Fig. 4 y Fig. 5). Luego se pasó por un tamiz malla ASTM10. Luego se guardó en un desecador para su uso en la hidrólisis enzimática.



Figura 4. Molino de tornillo manual



Figura 5. Cascara de naranja seca molida

B. Hidrólisis enzimática.

La hidrólisis enzimática requiere enzimas para hidrolizar las materias primas en azúcares fermentables. Existen tres tipos de enzimas que se utilizan comúnmente para la degradación de la celulosa, como endo- β -1,4-glucanasas, celobiohidrolasas y β -glucosidasas. La actividad de la enzima

celulasa está influenciada por la concentración y la fuente de la enzima. La celulosa se degradará en azúcares reductores en condiciones de reacción suaves (pH: 4,8–5,0, temperatura: 45–50°C). La eficiencia de la hidrólisis enzimática está influenciada por condiciones optimizadas como temperatura, tiempo, pH, carga de enzimas y concentración de sustrato.

Se realizo mezclas de 50 gramos de cascara de Naranja seca con 400 mL de agua osmotica en un vaso de 600 mL. El pH medido es de 4.5. Se ajusto el agitador a 350 rpm y se controla la temperatura (ver Fig. 6 y Fig. 7) por 1 hora. Se cambia la dosificación de enzima celulosa.



Figura 6. Mezcla de cascara de naranja con agua.

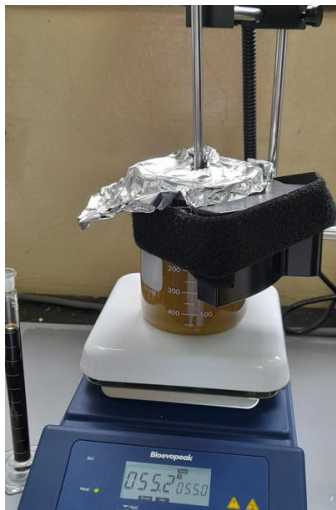


Figura 7. Control de temperatura y dosificación de enzima celulosa

Se obtienen los datos que se muestran en la tabla 4.

Table 4. Hidrolisis enzimatica con celulasa		
T (°C) - V (mL)	Brix inicio	Brix fin
60 - 10	3.0	6.0
60 - 15	3.0	6.1
55 - 10	3.0	5.9
55 - 15	4.0	6.0

Se realiza un pretratamiento térmico a la cascara de naranja seca antes de iniciar la hidrólisis, cambiando la temperatura en 90°C, 80°C, 70°C y 60°C. Ver tabla 5.

Tabla 5. Pretratamiento termico antes de la hidrolisis enzimatica

T (°C)	Brix inicio	Brix fin
90	5.0	6.5
80	3.0	6.0
70	3.0	5.0
60	4.0	5.0

Luego se enfria hasta 55°C y se agrega 10 mL de enzima celulasa para continuar con la hidrólisis enzimatica. Ver tabla 6.

Tabla 6. Hidrolisis enzimatica luego del tratamiento termico

T (°C)	Brix inicio	Brix fin
55	6.5	7.8
55	6.0	7.5
55	5.0	6.5
55	5.0	6.5

C. Fermentación

Para la fermentación se filtra la solución fría (ver Fig. 8) y se inoculó con 5 gramos de levadura activa seca comercial (*Saccharomyces cerevisiae*) disuelta en un poco del jarabe. La fermentación lo realizó con un volumen efectivo de trabajo de aproximadamente 230 ml en un recipiente plastico a 25°C por tres dias. Se midio los grados brix al finalizar la fermentación. Se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la tabla 7.:

Tabla 7. Fermentación de tres dias

T (°C)	Brix inicio	Brix fin
25	7.8	4.0
25	7.5	5.0
25	6.5	5.0
25	6.5	5.0

Luego se filtra para separar el liquido fermentado y enviarlo a la destilación. (ver Fig. 8)



Figura 8. solución filtrada para fermentar y residuo solido

III. RESULTADOS

La dosificación de la enzima celulasa en la hidrólisis enzimática para convertir la celulosa en azúcares fermentables influye en la obtención de los azúcares. Además el tratamiento térmico ayuda a incrementar el contenido de azúcares.

A. Dosificación de enzima celulasa.

Tabla 4 muestra que la dosificación de la enzima celulosa de 10mL a 15 mL incrementa una pequeña cantidad la concentración de azúcares.

B. Efecto de la temperatura en la hidrólisis enzimática

La enzima celulasa comercial usada tenía un rango de temperatura recomendado entre 55°C y 60°C.

En la tabla 4 la temperatura de 55°C a 60°C en la hidrólisis enzimática incrementa en 1 grados brix la concentración de azúcares.

C. Efecto del tratamiento térmico

El calentamiento de la cascara de naranja por una hora a diferentes temperaturas (ver Fig. 9 y Fig. 10) indica que hay una mayor cantidad de azúcares para la hidrólisis cuando la temperatura aumenta.

En la tabla 5 la temperatura de 90°C por una hora permite un aumento de los grados brix de 5.0 a 6.5 en la mezcla de 50 gramos de cascara de Naranja con 400 mL de agua osmótica.

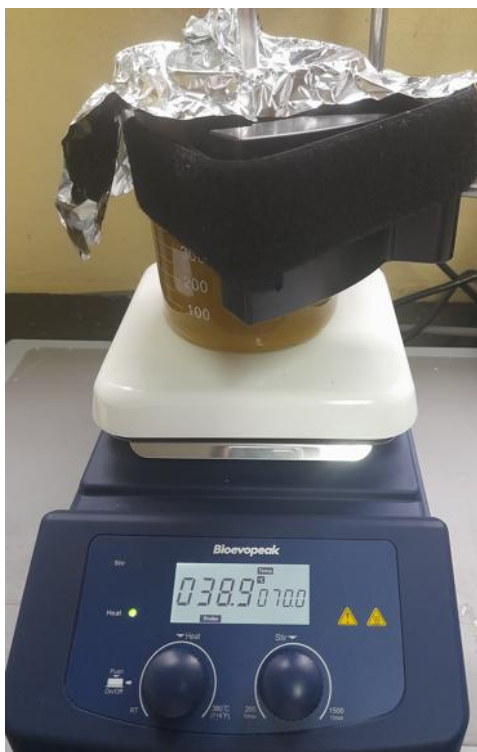


Figura 9. Pretratamiento térmico realizado a 70°C



Figura 10. Pretratamiento térmico realizado a 60°C

IV. CONCLUSIONES

Se obtuvo de 50 gramos de cascara de naranja con 400 mL de agua y 10 mL de enzima celulasa a 55°C por 1 hora, un incremento del contenido de azúcares de 3 brix a 5.9 brix.

Con cascara de naranja con pretratamiento térmico a 90°C por 1 hora, se obtuvo un incremento de grados brix de 5 a 6.5. Luego del tratamiento enzimático con celulosa se logró 7.8 brix. Finalmente, en la fermentación con levadura *Saccharomyces Cerevisiae* se logra una reducción de los grados brix de 7.8 a 4.0.

Se obtiene un proceso que dentro del concepto de Biorrefinería se da valor agregado al residuo cascara de naranja, donde no se requiere el uso de insumos químicos para el pretratamiento de la cascara de naranja antes de la hidrólisis enzimática con enzima celulasa comercial.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Grupo de Investigación de Biorrefinería (GI-BIOR) de la Facultad de Ingeniería Química y Textil de la Universidad Nacional de Ingeniería

REFERENCES

- [1] Ayala, J. R., Montero, G., Coronado, M. A., García, C., Curiel-Alvarez, M. A., León, J. A., Sagaste, C. A., Montes, D. G., & Marrocchi, A. (2021). Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars. *Molecules*, 26(5), 1348. <https://doi.org/10.3390/molecules26051348>

- [2] Baruah J., B. K. (2018). Recent Trends in the Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Value-Added Products. *Frontiers in Energy Research*.
- [3] Benítez, L. T., Tovar, C. T., Ortiz, Á. V., Dunoyer, A. T., Alvear, M., Castillo, C., Henao, D., Marimón, W., & Madariaga, N. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(10), Art. 10. <https://doi.org/10.26507/rei.v5n10.104>
- [4] Carota, E., Petruccioli, M., D'Annibale, A., Gallo, A. M., & Crognale, S. (2020). Orange peel waste-based liquid medium for biodiesel production by oleaginous yeasts. *Applied Microbiology & Biotechnology*, 104(10), 4617–4628. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10579-y>
- [5] De la Torre, I., Martín-Domínguez, V., Acedos, M. G., Esteban, J., Santos, V. E., & Ladero, M. (2019). Utilisation/upgrading of orange peel waste from a biological biorefinery perspective. *Applied Microbiology & Biotechnology*, 103(15), 5975–5991. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09929-2>
- [6] Ferrari, M. D., Guigou, M., & Lareo, C. (2013). Energy consumption evaluation of fuel bioethanol production from sweet potato. Montevideo-Uruguay: SciVerse ScienceDirect.
- [7] Herrera, T., & Natalia, L. (2022). Estudio teórico del proceso de hidrólisis enzimática en jarabes glucosados obtenidos de residuos de cáscara de naranja (género citrus) para la producción de bioetanol. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/44943>
- [8] Lareo, C. F.-G. (2013). Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation. Springer Plus.
- [9] Litrán Rodríguez, G., Maceiras Castro (advisor), R., & Alfonsín Pérez (advisor), V. (2017). Obtención de bioetanol de segunda generación a partir de cáscara de naranja. <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/178>
- [10] Malagón Micán, M. L., Garay Hernández, C. A., & Peña Peña, N. (2017). Obtención de bioetanol a partir de residuos lignocelulósicos. <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6439>
- [11] Patsalou M, C. G. (2019). A Citrus Peel Waste Biorefinery for Ethanol and Methane Production. *Molecules*.
- [12] Olorunshola, S. O., & Fasogbon, S. K. (2023). Conversion of orange peel to biodiesel and its investigation as an alternative fuel in compression ignition engines. *European Journal of Sustainable Development Research*, 7(3), 1–8. <https://doi.org/10.29333/ejosdr/13351>
- [13] Virreira J., Óscar Góngora (2014) Caracterización fisicoquímica de las cáscaras de naranja (citrus sinensis l.) y pomelo (citrus grandis), para obtener bioetanol – Iquitos.
- [14] Vivas-Cuellar Magali C. (2025). Ipomoea batata biorefinery: obtaining second-generation bioethanol. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*.
- [15] Vivas-Cuellar Magali C. (2025). Persea americana seed biorefinery: obtaining second-generation bioethanol. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*
- [16] Vivas-Cuellar Magali C. (2023). Oxalis tuberosa carbohydrate for obtain second generation bioethanol. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*
- [17] Zegada Franco, V. Y. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 65-76.