



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**“OPTIMIZACIÓN DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA Y
FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA PARA LA
OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE ALMIDÓN
DE OCA (*Oxalis tuberosa*)”**

Tesis para optar al título profesional de:
INGENIERA AGROINDUSTRIAL

Autor:

Anshela Cynthia Rafael Ayala

Asesor:

Dr. Ricardo David Vejarano Mantilla

<https://orcid.org/0000-0002-7482-1077>

Trujillo - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

| | | |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------|
| Jurado 1 Presidente(a) | Jose Manuel Cedano Romero | 45070233 |
| | Nombre y Apellidos | N.º DNI |

| | | |
|----------|------------------------------------|-----------------|
| Jurado 2 | Cesia Elizabeth Boñon Silva | 40222757 |
| | Nombre y Apellidos | N.º DNI |

| | | |
|----------|--------------------------------------|-----------------|
| Jurado 3 | Jackeline Marilyn Leon Vargas | 18216170 |
| | Nombre y Apellidos | N.º DNI |

INFORME DE SIMILITUD

2024 Tesis Anshela_R21_14_03.2024 .docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 8% | 8% | 1% | 3% |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet | 3% |
| 2 | dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet | 2% |
| 3 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 1% |
| 4 | bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet | 1% |
| 5 | repositorio.ulcb.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet | 1% |

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| JURADO EVALUADOR | 2 |
| INFORME DE SIMILITUD | 3 |
| DEDICATORIA | 4 |
| AGRADECIMIENTO | 5 |
| TABLA DE CONTENIDO | 6 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 8 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 11 |
| RESUMEN | 12 |
| CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA | 13 |
| 1.2. MARCO TEÓRICO | 16 |
| 1.2.1 OCA | 16 |
| 1.2.2 ALMIDÓN | 17 |
| 1.2.3 HIDROLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN | 20 |
| 1.2.3.1 ALFA-AMILASA (A-AMILASA) | 21 |
| 1.2.3.2 GLUCOAMILASA | 22 |
| 1.2.4 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA | 23 |
| 1.2.5 ETANOL | 24 |
| 1.2.5.1 ETANOL COMO BIOCOMBUSTIBLE | 24 |
| 1.2.5.2 BEBIDAS ALCOHÓLICAS DESTILADAS | 26 |
| 1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 28 |
| 1.4. OBJETIVO GENERAL | 28 |
| 1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 28 |
| 1.6. HIPÓTESIS | 29 |
| CAPÍTULO II: METODOLOGÍA | 30 |
| 2.1. MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS | 30 |
| 2.3. EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN | 32 |
| 2.4. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN | 33 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.4.1 | RENDIMIENTO DE ALMIDÓN EN BASE HÚMEDA: | 33 |
| 2.4.2 | CONTENIDO DE SÓLIDOS EN BASE HÚMEDA: | 33 |
| 2.4.3 | RENDIMIENTO DE ALMIDÓN EN BASE SECA: | 33 |
| 2.5. | HIDROLISIS DEL ALMIDÓN | 33 |
| 2.5.1 | LICUEFACCIÓN | 33 |
| 2.5.2 | SACARIFICACIÓN | 37 |
| 2.5.3 | FERMENTACIÓN: | 40 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS | | 42 |
| 3.1 | RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DE LA OCA | 42 |
| 3.2 | HIDROLISIS DE ALMIDÓN | 42 |
| 3.2.1 | LICUEFACCIÓN | 42 |
| 3.2.2 | SACARIFICACIÓN | 46 |
| 3.2.3 | FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA | 50 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | | 52 |
| REFERENCIAS | | 60 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----------|
| TABLA 1 | 16 |
| <i>COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA OCA (OXALIS TUBEROSA)</i> | 16 |
| TABLA 2 | 19 |
| <i>CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA EN EL ALMIDÓN DE OCA REPORTADO POR DIFERENTES AUTORES</i> | 19 |
| TABLA 3 | 21 |
| <i>MICROORGANISMOS PRODUCTORES DE ENZIMAS AMILASAS</i> | 21 |
| TABLA 4 | 25 |
| <i>PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ETANOL (MILES DE GALONES) ENTRE LOS AÑOS 2018 Y 2022</i> | 25 |
| TABLA 5 | 30 |
| <i>MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS</i> | 30 |
| TABLA 6 | 34 |
| <i>PARÁMETROS EVALUADOS PARA EL SCREENING MEDIANTE UN DISEÑO PLACKETT-BURMAN, USANDO EL PROTIMIZA EXPERIMENT DESIGN SOFTWARE</i> | 34 |
| TABLA 7 | 34 |
| <i>PLACKETT-BURMAN – HIDRÓLISIS DE ALMIDÓN CON A-AMILASA (100 ML DE SUSPENSIÓN DE ALMIDÓN EN AGUA)</i> | 34 |
| TABLA 8 | 35 |
| <i>PARÁMETROS USADOS PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE LICUEFACCIÓN DEL ALMIDÓN DE OCA APLICANDO DCCR</i> | 35 |
| TABLA 9 | 36 |
| <i>DISEÑO COMPUESTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR) – HIDRÓLISIS DE ALMIDÓN CON A-AMILASA (100 ML DE SUSPENSIÓN DE ALMIDÓN EN AGUA)</i> | 36 |
| TABLA 10 | 37 |
| <i>PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL PROCESO DE SACARIFICACIÓN CON LA ENZIMA GLUCOAMILASA</i> | 37 |

| | |
|--|-----------|
| TABLA 11. | 38 |
| <i>PLACKETT-BURMAN PARA EVALUAR LA HIDRÓLISIS DE LAS DEXTRINAS CON LA ENZIMA GLUCOAMILASA (SUSPENSIÓN DE 24 % DE SÓLIDOS SOLUBLES [°BRIX]).</i> | |
| TABLA 12. | 38 |
| <i>VARIABLES CON MAYOR INFLUENCIA EN EL PROCESO DE SACARIFICACIÓN.</i> | |
| TABLA 13. | 39 |
| <i>DISEÑO COMPUESTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR) PARA EVALUAR LA HIDRÓLISIS DE DEXTRINAS EN AZÚCARES FERMENTABLES CON LA ENZIMA GLUCOAMILASA (SUSPENSIÓN DE 24 % DE SÓLIDOS SOLUBLES [°BRIX]).</i> | |
| TABLA 14. | 41 |
| <i>DOSIFICACIÓN DE DIFERENTES FUENTES NITROGENADAS PARA EVALUAR EL RENDIMIENTO FERMENTATIVO DE LA LEVADURA S. CEREVISIAE.</i> | |
| TABLA 15. | 42 |
| <i>RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE OCA.</i> | |
| TABLA 16. | 43 |
| <i>APLICACIÓN DE DISEÑO PLACKETT-BURMAN PARA EVALUAR EL PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LA ABSORBANCIA A 635 NM (DEGRADACIÓN DE AMILOSA) TRAS LA HIDROLISIS ENZIMÁTICA CON A-AMILASA.</i> | |
| TABLA 17. | 45 |
| <i>APLICACIÓN DEL DISEÑO COMPUESTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR) PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE HIDRÓLISIS DEL ALMIDÓN DE OCA (REDUCCIÓN DE LA ABSORBANCIA A 635 NM) EN DEXTRINAS CON A-AMILASA. ALMIDÓN (30%), TEMPERATURA (85 °C), PH (7,7).</i> | |
| TABLA 18. | 47 |
| <i>APLICACIÓN DE DISEÑO PLACKETT-BURMAN PARA EVALUAR LA PRODUCCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES PRODUCIDOS A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE LAS DEXTRINAS DEL ALMIDÓN DE OCA CON GLUCOAMILASA.</i> | |
| TABLA 19. | 49 |

| | |
|--|-----------|
| <i>APLICACIÓN DEL DISEÑO COMPUESTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR) PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES ÓPTIMAS DE HIDRÓLISIS DE LAS DEXTRINAS DE OCA EN AZÚCARES FERMENTABLES CON LA ENZIMA GLUCOAMILASA. DEXTRINAS (24 °BRIX), TEMPERATURA (55 °C), PH (4.5).</i> | 49 |
| TABLA 20. | 51 |
| <i>EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FERMENTACIÓN CON LA LEVADURA SACCHAROMYCES CEREVISIAE EN MOSTOS A BASE DE AZÚCARES FERMENTABLES (23 °BRIX) OBTENIDOS MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE ALMIDÓN DE OCA USANDO DIFERENTES FUENTES DE NITRÓGENO (N).</i> | 51 |

Índice de figuras

| | |
|---|-----------|
| FIGURA 1 | 17 |
| <i>PRODUCCIÓN ANUAL DE OCA EN EL PERÚ ENTRE LOS AÑOS 2005 Y 2022.</i> | 17 |
| FIGURA 2 | 19 |
| <i>ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA AMILOSA Y AMILOPECTINA CONSTITUYENTES DEL ALMIDÓN.</i> | 19 |
| FIGURA 3 | 24 |
| <i>SÍNTESIS DE ETANOL A PARTIR DE GLUCOSA MEDIANTE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA REALIZADA POR LA LEVADURA SACCHAROMYCES CEREVISIAE.</i> | 24 |
| FIGURA 4 | 44 |
| <i>DIAGRAMA DE PARETO DEL DISEÑO PLACKET–BURMAN PARA DETERMINAR EL EFECTO DE LAS VARIABLES EVALUADAS DURANTE LA HIDROLISIS DE ALMIDÓN DE OCA CON LA ENZIMA A-AMILASA.</i> | 44 |
| FIGURA 5 | 46 |
| <i>EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE ENZIMA A-AMILASA (E, %) SOBRE LA REDUCCIÓN DE LA ABSORBANCIA A 635 NM (DEGRADACIÓN DE AMILOSA) TRAS LA HIDROLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN DE OCA, UTILIZANDO EL DISEÑO SUPERFICIE RESPUESTA.</i> | 46 |
| FIGURA 6 | 48 |
| <i>DIAGRAMA DE PARETO DEL DISEÑO PLACKET–BURMAN PARA DETERMINAR EL EFECTO DE LAS VARIABLES EVALUADAS DURANTE LA HIDROLISIS DE LAS DEXTRINAS DE OCA CON LA ENZIMA GLUCOAMILASA.</i> | 48 |
| FIGURA 7 | 50 |
| <i>EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE ENZIMA GLUCOAMILASA [E] (X_1, %) Y TIEMPO DE HIDRÓLISIS (X_2, H) SOBRE LA PRODUCCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES A PARTIR DE LA HIDROLISIS ENZIMÁTICA DE LAS DEXTRINAS DE OCA, UTILIZANDO EL DISEÑO SUPERFICIE RESPUESTA.</i> | 50 |

RESUMEN

Los cultivos autóctonos que aún subsisten en los territorios andinos, gracias al cuidado con que han sido guardados por las comunidades residentes, vuelven a retomar la importancia como fuente de nutrientes y sustratos para la elaboración de diversos productos derivados, siendo un grupo importante los tubérculos. Si bien los cultivos más conocidos y comercializados en los principales mercados de las grandes ciudades incluyen la papa, el camote o la yuca, existen otros cultivos menos comercializados a gran escala como la oca, mashua, arracacha, achira, entre otros, consumidos principalmente por las poblaciones de las zonas aledañas donde se producen, sin ser aprovechados a gran escala en aplicaciones que permitirían darles un mayor valor agregado. Estos cultivos se caracterizan por su contenido de sustancias que pueden ser aprovechadas con fines industriales, por ejemplo, su contenido de almidón. En ese sentido el objetivo de la investigación fue evaluar el potencial aprovechamiento del almidón de oca (*Oxalis tuberosa*), para la producción de etanol, estudiando las condiciones óptimas de hidrólisis enzimática del almidón para la obtención de azúcares fermentables y posterior fermentación alcohólica, logrando, entre los principales resultados, una conversión de hasta 93% en la hidrólisis del almidón a dextrinas (licuefacción) a una concentración óptima de enzima α -amilasa del 0.41%, así como la posterior hidrólisis de esas dextrinas en azúcares fermentables (sacarificación) a tasas superiores al 93% a una concentración óptima de enzima glucoamilasa del 0.75%. En la etapa de fermentación alcohólica se obtuvo una Eficiencia de conversión de los azúcares fermentables en etanol del 89% utilizando extracto de levadura como fuente N para la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. En base a los resultados obtenidos, por cada 1000 kg de oca se podría producir hasta 30 L de etanol, el cual puede ser utilizado posteriormente con diferentes fines, por ejemplo, para la elaboración de bebidas alcohólicas, biocombustible, uso medicinal, entre otras aplicaciones.

PALABRAS CLAVES: Oca, almidón, hidrólisis enzimática, fermentación alcohólica, etanol.

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto**, por determinación de los propios autores amparados en el Texto Integrado del Reglamento RENATI, artículo 12.

Referencias

- Aguilar-Galvez, A., García-Ríos, D., Ramírez-Guzmán, D., Lindo, J., Chirinos, R., Pedreschi, R., & Campos, D. (2023). In vitro and in vivo biotransformation of glucosinolates from mashua (*Tropaeolum tuberosum*) by lactic acid bacteria. *Food Chemistry*, 404(A), 134631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134631>
- Alarcón, H., Arroyo, E. (2016). Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(3), 315-323. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n3/a07v82n3.pdf>
- Álvarez, C. (2009). Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional. *Economía Informa*, 359, 63-89. <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/04carlosalvarez.pdf>
- Apaza, Y., Ramirez, G. (2021) Optimización de la hidrólisis enzimática en cascarilla de arroz (*Oryza sativa*) para la obtención de bioetanol. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12235>
- Arosemena, R., Castillo, A., Castillo, M., Castillo, V., Chen, R., Fuentes, A., & Jaramillo, B. (2015). Obtención de etanol a base de la savia de la palma de corozo *Attalea butyracea*. *Journal of Undergraduate Research*, 1(2), 66-72. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/download/451/447>
- Arteaga, P. (2016). Aplicaciones del alcohol etílico. *Con-Ciencia*, 3(5), 7. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n5/m7.html>
- Bhattacharyya, N., Goodell, A., Rogers, S., & Demond, A. (2019). Environmental impacts of wheat-based vodka production using life cycle assessment. *Journal of cleaner production*, 231, 642-648. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.226>
- Benavides, I., Pozo, M. (2018). *Elaboración de una bebida alcohólica destilada (vodka) a partir de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) utilizando dos tipos de enzimas*. [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/327>
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Stryer, L., & Gatto Jr, G. J. (2002). Glycogen Metabolism. *Biochemistry*, 5th Edition. WH Freeman, New York.
- Burin, V. M., Gomes, T. M., Caliar, V., Rosier, J. P., & Bordignon Luiz, M. T. (2015). Establishment of influence the nitrogen content in musts and volatile profile of white wines associated to chemometric tools. *Microchemical Journal*, 122, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.03.011>

- Cacho, J., Moncayo, L., Palma, J. C., Ferreira, V., & Culleré, L. (2013). The influence of different production processes on the aromatic composition of Peruvian piscos. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 3(6), 1000245. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000245>
- Castro-Martínez, C., Beltrán-Arredondo, L., & Ortiz-Ojeda, J. (2012). Producción de biodiesel y bioetanol: ¿Una alternativa sustentable a la crisis energética? *Ra Ximhai*, 8(3b), 93-100. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46125177010>
- Castaño, H., Cardona, M., Mejía C., Acosta A. (2011). Producción de etanol a partir de harina de yuca en un sistema de hidrólisis enzimática y fermentación simultánea. *Dyna*, 78(169), 158-166. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532011000500018&script=sci_arttext
- Carrión, L. (2018). *Obtención de almidón y glucosa a partir de la oca (Oxalis tuberosa) por hidrólisis ácida y su cinética de extracción*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno]. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3276900>
- Castillo, F. (2005). *Biología Ambiental: Tecnología Enzimática*. Primera edición, Editorial Tébar Flores. Madrid, España. <https://www.tebarflores.com/ciencias-ambientales/1-biologia-ambiental-9788473603959.html>
- Cobos, Y. (2019). *Estudio comparativo para la producción de bioetanol a través de la fermentación en batch usando Saccharomyces cerevisiae entre (Mangifera indica) y (Vitis vinifera)*. [Proyecto de Investigación, Fundación Universitaria Los Libertadores, Colombia]. https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1786/cobos_yennifer_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Corrales, L., Antolinez, D., Bohorquez, J., & Corredor, A. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 13(23), 55-81. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-24702015000200007&script=sci_abstract&tlng=es
- Cripwell, R. A., Favaro, L., Viljoen-Bloom, M., & van Zyl, W. H. (2020). Consolidated bioprocessing of raw starch to ethanol by *Saccharomyces cerevisiae*: Achievements and challenges. *Biotechnology Advances*, 42, 107579. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107579>
- Cruz, K. (2012). *Modelado del proceso de hidrólisis enzimática de almidones gelatinizados del fruto de la planta de banano*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10313>
- Cruz-Tirado, J. P., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D. R., Barraza-Jáuregui, G., & Siche, R. (2019). Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species.

International Journal of Biological Macromolecules, 125, 800–807.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.111>

- De Koker, S. (2015). *Nitrogen utilisation of selected non-Saccharomyces yeasts and the impact on volatile compound production* [Master Thesis, Stellenbosch University, Cape Town, South Africa]. <https://scholar.sun.ac.za/handle/10019.1/98050>
- Duarte, W., Amorim, J., & Schwan, R. (2013). The effects of co-culturing non-*Saccharomyces* yeasts with *S. cerevisiae* on the sugar cane spirit (cachaça) fermentation process. *Antonie van Leeuwenhoek*, 103(1), 175–194. <https://doi.org/10.1007/s10482-012-9798-8>
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2004). Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP-Ecuador) & Centro Internacional de la Papa (CIP-Perú). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3264/1/iniapscCD55p91.pdf>
- García-Almeida, J.M., Casado Fdez, G.M., & García Alemán, J. (2013). Una visión global y actual de los edulcorantes: aspectos de regulación. *Nutrición hospitalaria*, 28, 17-31. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112013001000003
- García, M. (2017). Influencia del tiempo de licuefacción y concentración de alfa amilasa y glucoamilasa sobre el porcentaje de glucosa obtenido del maíz amarillo malteado variedad alazán. *Ciencia Tecnología y Humanidades*, 8(2), 87-102. <http://revistas.unprg.edu.pe/openjournal/index.php/revistacientifica/article/view/203>
- Gobert, A., Tourdot-Maréchal, R., Morge, C., Sparrow, C., Liu, Y., Quintanilla-Casas, B., Vichi, S., & Alexandre, H. (2017). Non-*Saccharomyces* yeasts nitrogen source preferences: Impact on sequential fermentation and wine volatile compounds profile. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2175. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02175>
- González, J., & Molina, M.E. (2006). Estudio de los factores que afectan la hidrólisis enzimática y el proceso fermentativo para la producción de alcohol a partir de papa (*Solanum tuberosum*). *Ingeniería: Revista de la Universidad de Costa Rica*, 16(1), 27-37. <https://doi.org/10.15517/ring.v16i1.642>
- Gutiérrez, A., Chiva, R., Sancho, M., Beltran, G., Arroyo-López, F. N., & Guillamon, J. M. (2012). Nitrogen requirements of commercial wine yeast strains during fermentation of a synthetic grape must. *Food Microbiology*, 31(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.02.012>
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>

- Jativa, H. (2012). *Caracterización física, química y nutricional de la oca (Oxalis tuberosa) cultivada en diferentes suelos edafológicos del Ecuador*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador]. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/4958>
- Krivorotova, T., & Sereikaite, J. (2014). Determination of fructan exohydrolase activity in the crude extracts of plants. *Electronic Journal of Biotechnology*, 17(6), 329-333. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2014.09.005>
- Martínez-Moreno, R., Morales, P., Gonzalez, R., Mas, A., & Beltran, G. (2012). Biomass production and alcoholic fermentation performance of *Saccharomyces cerevisiae* as a function of nitrogen source. *FEMS Yeast Research*, 12(4), 477-485. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2012.00802.x>
- Mendes-Ferreira, A., Barbosa, C., Lage, P., & Mendes-Faia, A. (2011). The impact of nitrogen on yeast fermentation and wine quality. *Ciencia e Tecnica Vitivinicola*, 26(1), 17-32. <https://scielo.pt/pdf/ctv/v26n1/v26n1a03.pdf>
- MIDAGRI. (2024). Producción Agrícola. Boletines Anuales Del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego de Perú. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-anuales/4-agricola>
- Miranda, B., & Molina, M. (2015). Evaluación de factores que pueden influir en el proceso de sacarificación-fermentación simultáneas para la producción de etanol a partir de materiales amiláceos. *Ingeniería*, 25(1), 47-61. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/14665>
- Morata, A. (2004). *Influencia de la maduración antociánica de la uva y de la biotecnología fermentativa en color, aroma y estructura de los vinos tintos*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.28>
- Morrison, W. R., & Laignelet, B. (1983). An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other starches. *Journal of Cereal Science*, 1(1), 9-20. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(83\)80004-6](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(83)80004-6)
- Novelo-Cen, L., & Betancur-Ancona, D. (2005). Chemical and functional properties of *Phaseolus lunatus* and *Manihot esculenta* starch blends. *Starch - Stärke*, 57(9), 431-441. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.200500398>
- Nuriana, W., & Wuryantoro. (2015). Ethanol synthesis from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) stone waste as renewable energy source. *Energy Procedia*, 65, 372-377. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.066>
- OIV. (2023). Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis. Volume I. International Organization of Vine and Wine (OIV). https://www.oiv.int/sites/default/files/publication/2023-05/Compendium%20MA%20complet_EN.pdf

- Ordóñez Girón, L. D. (2022). *Desarrollo de una bebida alcohólica destilada tipo (vodka) a partir de dos variedades de tubérculos, papa china (Colacasia esculenta) y oca (Oxalis tuberosa)*. [Tesis de Grado, Universidad del Azuay, Ecuador].
<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11671>
- Pandey, A., & Teixeira, J. A. C. (2016). Current developments in biotechnology and bioengineering: Foundations of biotechnology and bioengineering. Elsevier, Amsterdam.
<https://www.sciencedirect.com/book/9780444636683/current-developments-in-biotechnology-and-bioengineering#book-info>
- Paucar-Menacho, L. M., Peñas, E., Hernandez-Ledesma, B., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2020). A comparative study on the phenolic bioaccessibility, antioxidant and inhibitory effects on carbohydrate-digesting enzymes of maca and mashua powders. *LWT - Food Science and Technology*, 131, 109798. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109798>
- Prentice, C., & Handsjuk, N. (2016). Insights into Vodka consumer attitude and purchasing behaviors. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 32, 7-14.
<https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.05.009>
- Prior, K. J., Bauer, F. F., & Divol, B. (2019). The utilisation of nitrogenous compounds by commercial non-*Saccharomyces* yeasts associated with wine. *Food Microbiology*, 79, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.12.002>
- Quitiguiña, C., & Santacruz, S. (2012). Obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática de almidón de banano, *Musa cavendish*. *Revista Boliviana de Química*, 29(1).
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602012000100005
- Raposo, S., Constantino, A., Rodrigues, F., Rodrigues, B., & Lima-Costa, M. E. (2017). Nitrogen sources screening for ethanol production using carob industrial wastes. *Applied biochemistry and biotechnology*, 181, 827-843. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2252-z>
- Reyna, L., Robles, R., Reyes, M., Mendoza, Y., & Romero, J. (2004). Hidrólisis enzimática del almidón. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 7(1), 40-44.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/download/4685/3758/15769>
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2006). Nitrogen compounds. In *Handbook of Enology the Chemistry of Wine Stabilization and Treatments* (2nd ed., pp. 109–140). JohnWiley and Sons Ltd.
- Rocha, T. S., Demiate, I. M., & Franco, C. M. L. (2008). Structural and physicochemical characteristics of Peruvian carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) starch. *Food Science and Technology*, 28(3), 620-628. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300018>
- Rojas, L., Caicedo L., Aguilar, J. & Martínez L. (2008). Evaluación de la sacarificación de yuca mediante el proceso convencional y el proceso low-energy, para su posterior determinación

- de la cinética de reacción. *Revista Tecnológicas*, 21, 81-98.
<https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/253/259>
- Salazar, L., & Muñoz, G. (2019). Seguridad alimentaria en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0001784>
- Sakandar, H. A., Hussain, R., Farid Khan, Q., & Zhang, H. (2020). Functional microbiota in Chinese traditional Baijiu and Mijiu Qu (starters): A review. *Food Research International*, 138(B), 109830. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109830>
- Sauer, J., Sigurskjold, B. W., Christensen, U., Frandsen, T. P., Mirgorodskaya, E., Harrison, M., Roepstorff, P., Svensson, B. (2000). Glucoamylase: Structure/function relationships, and protein engineering. *Biochimica et Biophysica Acta – Protein Structure and Molecular Enzymology*, 1543(2), 275-293. [https://doi.org/10.1016/S0167-4838\(00\)00232-6](https://doi.org/10.1016/S0167-4838(00)00232-6)
- Sturgeon, J. Q., Bohlscheid, J. C., & Edwards, C. G. (2013). The effect of nitrogen source on yeast metabolism and H₂S formation. *Journal of Wine Research*, 24(3), 182–194.
<https://doi.org/10.1080/09571264.2013.793175>
- Surco, F. (2004). *Caracterización de almidones aislados de tubérculos andinos: mashua (Tropaeolum tuberosum), oca (Oxalis tuberosa), olluco (Ullucus tuberosus) para su aplicación tecnológica*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/2588>
- Suquilanda, M. (2009). Producción orgánica de cultivos andinos. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca de Ecuador & Unión de Organizaciones Campesinas del Norte de Cotopaxi (Unocanc).
https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/1_produccion_organica_de_cultivos_andinos.pdf
- Tejeda, L. (2011). *Bases conceptuales para la estimación de las propiedades de los biocombustibles y sus mezclas*. [Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia]. <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062301.pdf>
- Torres, A. (2017). Cultivos generadores de bioetanol: Alternativa para el Perú. 6ta Jornada Científica de estudiantes-FIA, Universidad Peruana Unión, Perú.
http://eventoscientificos.upeu.edu.pe/index.php/6jornada/6jornada_fia/paper/view/174
- Vázquez, H. & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 8(4), 249-259. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432007000400004
- Velásquez-Barreto, F., & Velezmoro, C. (2018). Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189-197.
<http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>

- Villadiego-del Villar, A., Sarmiento-Zea, N., León-Pulido, J., & Rojas-Pérez, L. (2021). Producción de bioetanol a partir de ñame (*Dioscorea rotundata*) empleando un proceso de sacarificación y fermentación simultánea. *TecnoLógicas*, 24(50), e1724. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992021000100116&lang=es
- Wang, S., Zhang, P., Li, Y., Li, J., Li, X., Yang, J., Ji, M., Li, F., & Zhang, C. (2023). Recent advances and future challenges of the starch-based bio-composites for engineering applications. *Carbohydrate Polymers*, 307, 120627. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120627>
- Witasari, L., Heryadi, A., Yani, A., Nisrina, S., Purwitasari, L., & Pranoto, Y. (2024). Characterization of porous starch produced from edible canna (*Canna edulis* Kerr.) via enzymatic hydrolysis using thermostable α -amylase and glucoamylase. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 55, 102990. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102990>
- Zamora-Hernández, T., Prado-Fuentes, A., Capataz-Tafur, J., Barrera-Figueroa, E., & Peña-Castro, J. (2014). Demostraciones prácticas de los retos y oportunidades de la producción de bioetanol de primera y segunda generación a partir de cultivos tropicales. *Educacion Quimica*, 25(2), 122-127. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70534-8](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70534-8)
- Zhu, F., & Cui, R. (2020). Comparison of physicochemical properties of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 148, 601-607. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.028>