

Caracterización fisicoquímica de las aguas industriales generadas por la producción de almidón de yuca mediante el método de vía húmeda

Physical-chemical properties of industrial water generated during cassava starch production using the wet method

Jaramillo Intriago, Vielka C.; López Ponce, Kimberly P.; Guanoluiza Carreño, José; Briones Ponce, Gema E.; Moreira-Mendoza, Carlos A.

 Vielka C. Jaramillo Intriago
vjaramillo3997@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 Kimberly P. López Ponce
klopez6752@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 José Guanoluiza Carreño
jose.guanoluiza@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 Gema E. Briones Ponce
gema.briones@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

 Carlos A. Moreira-Mendoza
carlos.moreira@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

Universidad de Panamá, Panamá
ISSN-e: 2313-7819
Periodicidad: Semestral
vol. 10, núm. 2, 2023
revista.cctn@up.ac.pa

Recepción: 09 Marzo 2023
Aprobación: 13 Junio 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2154400007/>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NonComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Resumen: El objetivo principal de esta investigación fue identificar las características físico-químicas de los efluentes líquidos que se generan durante la extracción de almidón de yuca a fin de conocer las concentraciones en las que se encuentran diversos parámetros indicadores de contaminación tales como DQO, DBO5, SST entre otros. Se realizaron muestreos a las aguas residuales de cuatro rallanderías del sitio "La Balsa" de la parroquia Calderón del cantón Portoviejo, Ecuador durante el primer semestre de 2022. Los resultados obtenidos de un balance de masa realizado permitieron conocer que solo en el procesamiento de 454 kg de almidón se descargan alrededor de 3.06 m3 de

agua residual por día, determinando así que ese volumen de agua residual contiene aproximadamente de 14 a 18 kg/día de carga contaminante, se encontraron concentraciones de cianuro total que oscilaron entre 4 y 8 mg CN-/L.

Palabras clave: Almidón de yuca, extracción, agua residual, escala artesanal, carga contaminante.

Abstract: The purpose of this study was to analyze the physical and chemical attributes of liquid waste produced during the extraction of cassava starch. The study focused on determining the levels of various contamination indicators, such as COD, BOD5, and SST. The wastewater from four rallanderias in the "La Balsa" area of the Calderón parish in the Portoviejo canton of Ecuador was sampled during the first half of 2022. The results from a mass balance calculation showed that only 3.06 m3 of residual water is discharged per day from processing 454 kg of starch. This volume of wastewater contains approximately 14 to 18 kg/day of pollutant load, and total cyanide concentrations ranged between 4 and 8 mg CN-/L.

Keywords: Cassava starch, extraction, wastewater, artisanal scale, pollutant load.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha visto un crecimiento acelerado de las diversas actividades industriales, en mucho de los casos estas son poco reguladas y supervisadas. La mayoría de estas actividades mantienen una relación estrecha con la agricultura, debido a que en la actualidad la industrialización de productos agrícolas le otorga un valor agregado al producto y a su vez genera beneficios económicos y sociales a sus productores. Una de las actividades agroindustriales que ha adquirido una relevante importancia es el procesamiento de la yuca para la obtención de almidón,

pero este, así como cualquier otro proceso, ocasiona impactos sobre el ambiente, debido a los residuos sólidos y líquidos resultantes.

Los diferentes ecosistemas naturales han sido perturbados como consecuencia de la aplicación de modelos productivos insostenibles en diferentes actividades industriales “clásicas” que han hecho parte del desarrollo industrial mundial, en los cuales la generación de residuos era vista como una consecuencia inevitable del proceso productivo (Torres et al., 2013).

El almidón es una materia prima fundamental con múltiples usos dentro de la industria alimentaria, textil, de papel y adhesivos, así como también tiene aplicaciones potenciales de diversos procesos tales como la producción de dextrosa y derivados, o en la obtención de alcohol (Suárez Guerra & Mederos Vega, 2011).

El almidón es un polisacárido de reserva energética de los vegetales (Witczak et al., 2016) lo definen como la reserva de energía de casi todas las plantas, sin embargo, es muy abundante en las semillas, raíces y tubérculos. Consiste en una cadena de unidades D-glucopironasil y tiene la fórmula general $(C_6H_{10}O_6)_n$. Tiene dos componentes principales: amilosa (fracción insoluble) entre 10-20% y amilopectina (fracción soluble) entre 80-90%.

El almidón de yuca es de constante producción en Ecuador, puesto que los cultivos de yuca se realizan durante casi todas las estaciones del año, sin pausas, en vista de que posee gran aceptación en el mercado y esto promueve el aprovechamiento de los suelos de las regiones de Manabí que sin problema alguno producen yuca en todas las temporadas. El almidón se extrae de las raíces de este tubérculo y se le llama almidón dulce; según su uso final, en algunos casos sufre de un proceso de fermentación natural dando como resultado el almidón agrio (Vargas Aguilar et al., 2012). Este último se obtiene de forma artesanal en establecimientos rurales agroindustriales llamados rallanderías cuyo producto principal es el almidón hidrolizado, conocido como almidón agrio utilizado en la industria panadera (Chiquiza-Montaño et al., 2016). Este proceso se mantiene en constante evolución debido a que en la actualidad se puede visualizar procesos enteramente mecanizados.

La obtención del almidón de yuca se realiza forma tradicional y, según Cobana y Antezana (2007), consiste fundamentalmente en romper las paredes celulares para liberar los gránulos de almidón mediante un rallado, seguido de la adición de agua y filtración, lo que permite la separación de las partículas de almidón suspendidas en el medio líquido de aquellas que son relativamente más grandes, como los componentes de la fibra, posteriormente se elimina el agua y se lava el material sedimentado para eliminar las últimas fracciones diferentes del almidón para finalmente someter al almidón purificado a un secado.

Durante en el proceso productivo del almidón se generan aguas residuales básicamente en tres etapas: (lavado - pelado, colado y sedimentación), el 79.8% de las mismas proviene de la última etapa (Torres et al., 2007). La extracción termina en unos canales en los que el almidón se sedimenta y después de retirar la fase acuosa, se seca y se obtiene el almidón. Sin embargo, la etapa de extracción de almidón puede verse afectada por varios factores artificiales que influyen en el rendimiento del almidón, incluyendo las condiciones de secado de las materias primas (Olomo & Ajibola, 2003), el tiempo de la cosecha y el almacenamiento de la raíz, debido a que éste disminuye el contenido de almidón (Benesi et al., 2008; Benesi et al., 2004). Todos estos factores pueden ser controlados y con una cuidadosa selección de los parámetros, puede maximizarse el rendimiento de la obtención de almidón (Benesi et al., 2008). Las plantas de procesamiento de almidón producen aguas residuales diluidas de acuerdo a Colin et al. (2007), convirtiéndose en una fuente de

contaminación causante de problemas ambientales a las poblaciones cercana, debido a que generan dos tipos de residuos líquidos los cuales generalmente contiene una gran cantidad de material inerte.

En el estudio realizado por Papong et al. (2014) en Tailandia, se determinó que la generación aproximada de aguas residuales y desechos sólidos (pulpa y cáscara de yuca) son de 12 m³ y 1.40 ton (70-80% de contenido de humedad) por tonelada de almidón, de este proceso se generan dos clases de aguas: primer tipo se produce al lavar y pelar las raíces de yuca en el tambor rotatorio y generalmente contiene una gran cantidad de aguas residuales con baja demanda química de oxígeno (DQO) y el segundo se genera al drenar el tanque de sedimentación del almidón, y tiene

una mayor carga contenedora de DQO y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Chavalparit & Ongwandee, 2009).

Estas aguas también manifiestan la presencia de compuestos cianurados de alta toxicidad ya que, al estar disueltos en agua se descomponen liberando ácido cianhídrico, cuando se procesa el almidón obtenido no contiene residuo alguno de ácido cianhídrico porque este se disuelve totalmente en el volumen de agua que requiere el proceso y se separa así del almidón. Por tal razón las aguas residuales provenientes de las etapas de filtrado y sedimentación contienen ácido cianhídrico en solución. Se ha estimado que el proceso de extracción genera una carga contaminante cerca de 180 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por tonelada de raíces (Alarcón M & Dufuor, 1998).

El objetivo de esta investigación fue caracterizar las aguas industriales generadas en la producción de almidón de yuca mediante el método de vía húmeda para determinar el grado de contaminación producido por estos efluentes residuales mediante la comparación de parámetros establecidos en la norma ecuatoriana de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

METODOLOGÍA

El efluente residual generado del proceso de elaboración de almidón se obtuvo de cuatro distintas rallanderías ubicadas en el sector “La Balsa”, durante el primer semestre del año 2022, periodo en el cual se midieron los caudales en los días de producción. Las muestras recolectadas fueron las provenientes del proceso de sedimentación, agregando una muestra adicional correspondiente al agua residual de la fase de lavado de la yuca procedente de la cuarta rallandería. Las muestras se almacenaron en botellas de polietileno de 4 litros de volumen y se conservaron de acuerdo como lo establece la norma (NTE INEN 2169, 2013), lo que permitió garantizar que el efluente líquido de muestra cumpla con los estándares óptimos para poder ser analizados. Para los análisis Microbiológicos se tomó un volumen de muestra de 500 a 1000 ml, y se almacenaron en frascos ámbar evitar posible contaminación.

Evaluación fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales generadas por la producción de almidón

Los análisis de Temperatura, pH y Oxígeno Disuelto se realizaron in situ a las muestras recolectadas. Los análisis temperatura, pH se realizaron con un equipo Multifunción EC/pH/TEMP, el oxígeno disuelto se la realizo con un medidor de Oxígeno Disuelto marca NAHITA modelo 912/8, los análisis Fisicoquímicos y Microbiológico se realizaron siguiendo las técnicas detalladas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

Para conocer el volumen de agua generada durante cada etapa del proceso, se realizó un balance de masa con el valor promedio de los flujos obtenidos en las rallanderías, y la carga orgánica contaminante se la obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$CC = \left(\frac{2DBO + DQO}{3} + Ss \right) * Q \quad (1)$$

RESULTADOS

Caracterización de las aguas residuales

En la Tabla 1, se registra los resultados obtenidos con los establecidos en la norma de calidad ambiental y descargas de efluentes instaurada en el Libro IV, anexo 1 del TULSMA, lo cual permitió determinar los niveles en los que se encontraban estos parámetros, tal es el caso del pH, el cual en las cuatros muestras tomadas de las distintas rallanderías en la etapa de sedimento y en la etapa de lavado de la cuarta rallandería, arrojó valores por debajo de la norma indicando que esta clase de residuo posee características acidificantes, esto se le puede atribuir a que según la literatura estas aguas poseen las altas concentraciones de ácido láctico, el cuál es producto del proceso natural de acidificación que sufre este tipo de desecho, convirtiéndose así, en una variable de vital importancia para el tratamiento de estos residuos líquidos.

TABLA 1
Análisis Físicoquímicos de aguas residuales generadas en la producción de almidón

Parámetros	Unidades	Productor 1	Productor 2	Productor 3	Productor 4	Límites permisibles
Temperatura	°C	24	23	24.6	25.4	< 35
pH		4.32	4.14	4.38	4.07	5-9
Oxígeno disuelto	mg/L	2.6	2.59	2.15	3.25	
Sólidos totales	mg/L	8128	8100	8045	8556	1600
Sólidos totales disueltos	mg/L	6980	6960	6875	7324	
Sólidos suspendidos totales	mg/L	1148	1140	1170	1232	100
Sólidos sedimentables	ml/L	0	0	0	0	1
DQO	mg O ₂ /L	4168.35	5482.55	4179.53	7109.85	250
DBO	Mg O ₂ /L	2974	3117	3417	3422	100
Nitrógeno total	mg N/L	22.20	20.64	20.11	28.10	10
Fosforo Total	mg P/L	3.905	4.06	4.61	2.32	10
Cianuro total	mg CN ⁻ /L	4.677	6.354	6.370	8.293	0.1
Cloruros	Mg Cl ⁻ /L	800.88	450.495	450.495	300.33	1000
Alcalinidad	mg/L	3300	2400	1500	4500	
Aceites y grasas	mg/L	0.8	1.2	1.4	2.8	0.3
Coliformes totales	NMP/100	≥2400	≥2400	≥2400	460	
Coliformes Fecales	NMP/100	39	93	93	43	Remoción > al 99,9 %

El valor de oxígeno disuelto en las cuatro muestras tomadas se presenta por debajo de los 4.6 mg O₂/L, indicando un bajo nivel de difusión de O₂, este descenso se puede asignar a la cantidad de materia orgánica presente, el incremento de la concentración de parámetros como DQO y DBO₅ incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua. Cabe mencionar que también se evidencian concentraciones elevadas de sólidos totales, disueltos y en suspensión que se los asocia a las sales que se encuentran en el agua de pozo utilizada en el proceso, la cual muestra elevados niveles de iones carbonatos o compuestos alcalinos, influyendo en la turbidez de esta clase de agua de desecho, lo que podría afectar en la capacidad de absorción de luz incrementado los requerimientos de O₂.

La concentración de materia orgánica en el agua se determina directamente con la medida del carbono orgánico total (COT) e, indirectamente, midiendo la capacidad reductora del carbono existente con la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Sin embargo, no es posible obtener un resultado exacto del tipo de compuestos que se encuentra en ella (Fuentes

Rivas et al., 2015). Los resultados reportados mostraron valores significativos en el parámetro de DQO arrojando concentraciones excesivas en la mayoría de ellos, tal es el caso del DQO del agua del sedimento del productor cuatro el cual fue de 7109.85 mg/L, valores de similares a los reportados por (Pérez Vidal et al., 2009; Araujo et al., 2018), con respecto a los otros tres productores. De acuerdo con el valor en el parámetro DBO5 y con la concentración de DQO que se mencionó, se obtuvo una relación de biodegradabilidad de 2.07 lo que indica una alta capacidad de biodegradación.

Con respecto a las concentraciones de DQO Y DBO5 de las tres primeras muestras y del agua residual de lavado de la yuca del productor cuatro, se puede expresar que presentan patrones similares, arrojando así relaciones de biodegradabilidad que están dentro del rango 1.14 a 1.75 lo que indica un vertido con características orgánicas y altamente susceptibles a que sean degradadas por microorganismos, posibilitando así, la viabilidad del tratamiento al que sea sometida.

Las concentraciones de nitrógeno total se evaluaron en forma de nitritos y nitratos, manifestándose en niveles considerables, su presencia puede promover un agotamiento del O₂ en

los cuerpos de agua, lo que puede dar origen al desencadenamiento de un proceso de eutrofización en el cuerpo en donde sea descargada, y a su vez incrementar la demanda de oxígeno.

El nivel de cloruros en las muestras es bajo con respecto a la norma, lo que no sucede con el parámetro de aceites y grasas la cual sobrepasa los límites, arrojando valores que destacan entre 0.8 y 2.8 mg/L, esto podría provocar posibles afecciones en el tratamiento de estas aguas.

La alcalinidad, aunque no se encuentre en la norma es otro factor importante en esta clase de aguas residuales, los valores obtenidos varían en el rango de 1500 a 4500 mg CaCO₃/L, estos valores pueden fluctuarse debido a que el agua con la que es realizado el proceso proviene de fuentes subterráneas y posee como ya se mencionó con anterioridad una dureza objetable.

El resultado del análisis microbiológico muestra una alta carga de Coliformes Totales y Coliformes Fecales, los mismos que se encuentran presentes en los intestinos y excrementos de humanos y animales, lo que indica que deben tomarse medidas para la disminución de estas bacterias en esta clase de efluentes, ya que actúan como fuentes de contaminación. Otro de los factores que induce al desarrollo de estos microorganismos es la gran cantidad de materia contaminante, lo que les facilita su proliferación y desarrollo, añadiéndose las malas prácticas de manufactura que se tienen durante el proceso de producción de almidón.

La caracterización de los efluentes residuales procedentes de las rallanderías artesanales para la producción de almidón, aporta resultados indispensables en posibles tratamientos a las mismas, lo que contribuye a la disminución del impacto ambiental que estas clases de aguas originan. Estos residuos líquidos poseen dentro de su composición concentraciones elevadas de distintos parámetros fisicoquímicos y biológicos que deben ser removidos o reducidos en mayor cantidad a fin de que cumplan con los valores óptimos para su descarga ya sea en redes de drenaje, fuentes naturales de aguas u otra fuente receptora.

Balance de masa

En la Figura 1, se representa el balance de masa realizado con los flujos promedios que se obtuvieron en cada una de las rallanderías, en el cual se establece que por cada 2260 kg de yuca (materia prima) se descargan alrededor de 3141.5 litros de agua de desecho por día, y debido a la similitud de la cantidad de materia prima empleada, se utilizó ese caudal en los demás productores y se procedió a realizar los cálculos de la carga contaminante.

Del total de agua que ingresa al proceso, el mayor porcentaje se transforma en residuos líquidos generados en las etapas de lavado-pelado, colado y sedimentación, siendo esta última etapa la que genera más del 80 % de aguas residuales, cuyo efluente se caracteriza por el elevado grado de contaminación orgánica y carbohidratos fácilmente hidrolizables que favorecen su rápida fermentación y por ende obtener un efluente ácido.

En cuanto a los residuos sólidos (RS), el material sedimentable generado en la etapa de lavado de las raíces puede ser separado del agua utilizando unidades convencionales de sedimentación. El afrecho obtenido de la etapa de colado y tamizado es el residuo semilíquido que se genera en mayor cantidad (550 kg) con un porcentaje de humedad (48.7 %) que indica la necesidad de una deshidratación previa para su aprovechamiento. En la sedimentación se generan alrededor de 57.26 kg de (RS), que no son aprovechados en el proceso.

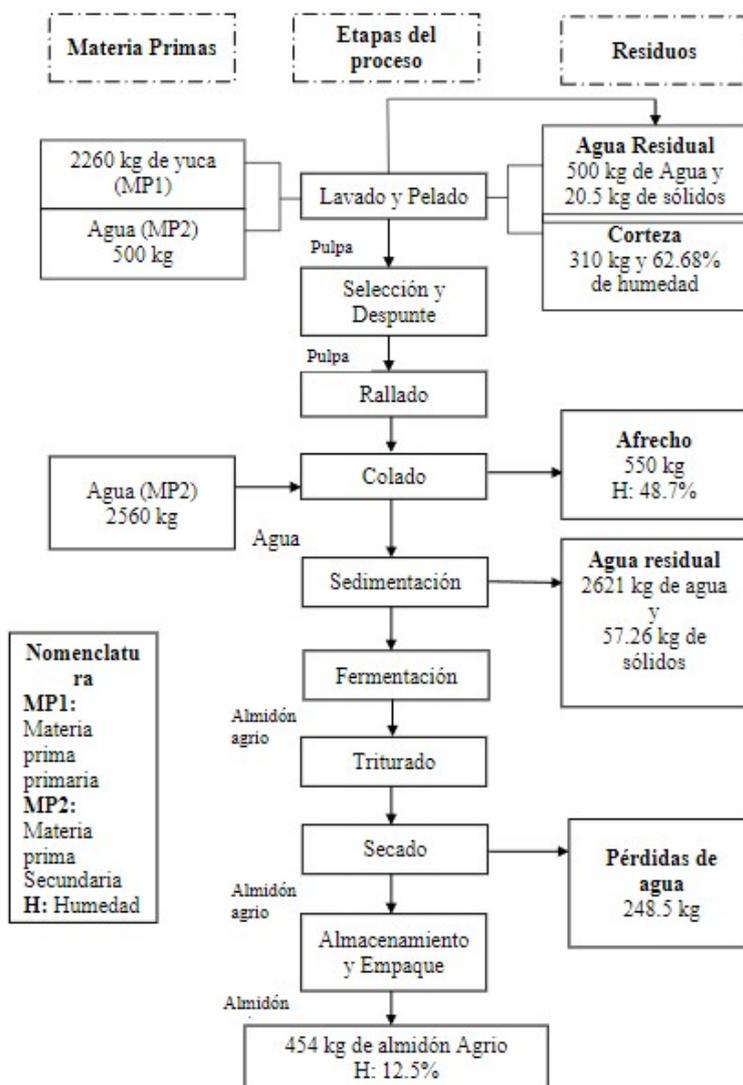


FIGURA 1 Balance de masa del proceso de elaboración de extracción de almidón agrio de yuca

Determinación de la carga orgánica contaminante

El cálculo de la carga contaminante permitió cuantificar la cantidad de masa contaminante que se puede insertar en el ambiente, de acuerdo con los resultados arrojados se determinó que sólo en un proceso de extracción a escala artesanal, se expulsa al ambiente alrededor de 18 kg/día de material contaminante y estos valores pueden variar de acuerdo con el nivel de producción.

Productor 1.

$$CC = \left(\frac{2(0.002974 \text{ kg/L}) + 0.004168 \text{ kg/L}}{3} + 0.001148 \text{ kg/L} \right) * 3141.5 \text{ L/día}$$

$$CC = 14.20 \text{ kg/día}$$

Productor 2.

$$CC = \left(\frac{2(0.003117 \text{ kg/L}) + 0.005482 \text{ kg/L}}{3} + 0.001140 \text{ kg/L} \right) * 3141.5 \text{ L/día}$$

$$CC = 15.85 \text{ kg/día}$$

Productor 3.

$$CC = \left(\frac{2(0.003417 \text{ kg/L}) + 0.004179 \text{ kg/L}}{3} + 0.001170 \text{ kg/L} \right) * 3141.5 \text{ L/día}$$

$$CC = 15.21 \text{ kg/día}$$

Productor 4.

$$CC = \left(\frac{2(0.003422 \text{ kg/L}) + 0.007109 \text{ kg/L}}{3} + 0.001232 \text{ kg/L} \right) * 3141.5 \text{ L/día}$$

$$CC = 18.48 \text{ kg/día}$$

En el proceso productivo se generan residuos sólidos y líquidos cuyo inadecuado aprovechamiento o vertimiento trae impactos ambientales y económicos. Aunque no hay reportadas experiencias de implementación de políticas de PML en este sector, es importante resaltar que Colin et al. (2007) y Torres et al. (2007) realizaron estudios orientados a la evaluación y optimización de algunas etapas del proceso y del tratamiento de los residuos líquidos a escala piloto y de laboratorio.

CONCLUSIONES

La caracterización del agua residual proveniente del proceso de extracción de almidón, permitió determinar las concentraciones en las que se encuentran diversos contaminantes, estas variaban en dependencia de la cantidad de materia prima procesada y la etapa del proceso, de acuerdo, al balance de materia realizado se pudo evidenciar que los mayores requerimientos de agua y expulsión de la misma se dan en la etapa de sedimentación, utilizando en un proceso de extracción a escala artesanal alrededor de 2560 kg de agua por día.

Los resultados obtenidos de las cuatro muestras analizadas perteneciente a la etapa de sedimentación muestran que los niveles de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5), nitratos, cianuros, aceites y grasas, coliformes y sólidos en general, manifiestan valores fuera de los rangos permisibles establecidos en la norma, generando así posibles puntos críticos a la hora de establecer un posible tratamiento; pese a esto, ésta clase de agua posee un alto índice de biodegradabilidad, lo que podría facilitar su tratamiento.

Las variables DQO, DBO5 Y SST utilizadas para el cálculo de la carga contaminante encontrada en agua de desecho, arrojaron cantidades apreciables en los análisis, con ello se estima que se introduce en

el ambiente alrededor de 18 kg/día de carga contaminante, esto permite calificar junto con los demás parámetros analizados al efluente como fuertemente contaminante.

REFERENCIAS

- Alarcón M, F., & Dufuor, D. (1998). Increased responsiveness to 5-methoxy-N, N- dimethyltryptamine in mice on a high tryptophan diet. In *Neuropharmacology* (Vol. 18, Issue 6). [https://doi.org/10.1016/0028-3908\(79\)90103-5](https://doi.org/10.1016/0028-3908(79)90103-5)
- Araujo, I. R. C., Gomes, S. D., Tonello, T. U., Dal, S., Lucas, M., Mari, A. G., & Vargas, R. J. De. (2018). Methane production from cassava starch wastewater in packed-bed reactor and continuous flow. *Engenharia Agrícola*, 38(2), 270–276. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-EngAgric.v38n2p270-276/2018>
- Benesi, I. R. M., Labuschagne, M. T., Herselman, L., Mahungu, N. M., & Saka, J. K. (2008). The effect of genotype, location and season on cassava starch extraction. *Euphytica*, 160(1), 59– 74. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9589-x>
- Chavalparit, O., & Ongwandee, M. (2009). Clean technology for the tapioca starch industry in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.03.001>
- Chiquiza-Montaño, L. N., Montoya, O. I., Restrepo, C., & Orozco-Sánchez, F. (2016). Estudio de la microbiota del proceso de producción de almidón agrio de yuca. *Informacion Tecnologica*, 27(5), 3–14. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000500002>
- Cobana, M., & Antezana, R. (2007). Proceso de extracción de almidón de yuca por vía seca. *Revista Boliviana de Química*, 24(1), 77–83. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339669014>
- Colin, X., Farinet, J.-L., Rojas, O., & D, A. (2007). Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. *Bioresource Technology*, 98(8), 1602–1607. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.020>
- Fuentes Rivas, R. M., Ramos Leal, J. alfredo, Jiménez Moleón, M. del C., & Esparza Soto, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del valle de toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3d. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253–264. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992015000300005
- Olomo, V., & Ajibola, O. (2003). Processing factors affecting the yield and physicochemical properties of starch from cassava chips and flour. *Starch/Staerke*, 55(10), 476–481. <https://doi.org/10.1002/star.200300201>
- Papong, S., Rotwiroon, P., Chatchupong, T., & Malakul, P. (2014). Life cycle energy and environmental assessment of bio-CNG utilization from cassava starch wastewater treatment plants in Thailand. *Renewable Energy*, 65, 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.07.012>
- Pérez Vidal, A., Torres Lozada, P., & Silva Leal, J. (2009). Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater. Optimization of environmental and operational variables. *DYNA*, 76(160), 139–148. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532009000400013&script=sci_abstract
- Suárez Guerra, L., & Mederos Vega, V. R. (2011). Revisión bibliográfica: Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 27– 35. <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/35/pdf>
- Torres, P., Pérez, A., Cajigas, A., Jurado, C., & Ortiz, N. (2007). Selección de inóculos para el tratamiento anaerobio de aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Ingeniería de Recursos Naturales y Del Ambiente*, 6(7), 105-111. <https://www.redalyc.org/pdf/2311/231120826010.pdf>
- Torres, P., Pérez, A., Marmolejo, L. F., Ordóñez, J. A., & García, R. E. (2013). Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca, desde la estandarización de procesos. *Revista ELA*, 7(14), 23. <https://doi.org/10.24050/reia.v7i14.416>
- Vargas Aguilar, P., Araya Quesada, Y., López Marín, R., & Leiva Bonilla, A. R. (2012). Características de calidad y digestibilidad in vitro del almidón agrio de yuca (*Manihot esculenta*) producido en Costa Rica. *Revista*

Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 3(1), 1–13. <https://oaji.net/articles/2017/4924-1495373370.pdf>

Witczak, M., Ziobro, R., Juszcak, L., & Korus, J. (2016). Starch and starch derivatives in gluten-free systems - A review. *Journal of Cereal Science*, 67, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.007>