



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

OBTENCIÓN DE AZUCARES TOTALES A PARTIR DE LA CÁSCARA DE
ARROZ (*ORYZA SATIVA*) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
CORRIENTE ELÉCTRICA ALTERNA

ROMERO ESPINOZA CARLA DANIELA
INGENIERA EN ALIMENTOS

MACHALA
2018



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

OBTENCIÓN DE AZUCARES TOTALES A PARTIR DE LA
CÁSCARA DE ARROZ (ORYZA SATIVA) MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA ALTERNA

ROMERO ESPINOZA CARLA DANIELA
INGENIERA EN ALIMENTOS

MACHALA
2018



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

OBTENCIÓN DE AZUCARES TOTALES A PARTIR DE LA CÁSCARA DE ARROZ
(ORYZA SATIVA) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA
ALTERNA

ROMERO ESPINOZA CARLA DANIELA
INGENIERA EN ALIMENTOS

AYALA ARMIJOS JOSE HUMBERTO

MACHALA, 14 DE SEPTIEMBRE DE 2018

MACHALA
2018

Nota de aceptación:

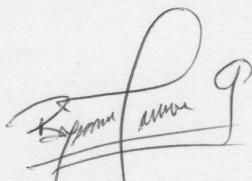
Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado OBTENCIÓN DE AZUCARES TOTALES A PARTIR DE LA CÁSCARA DE ARROZ (ORYZA SATIVA) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA ALTERNA, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.



AYALA ARMIJOS JOSE HUMBERTO

0704018803

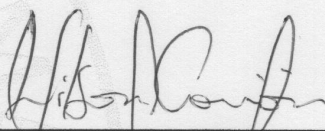
TUTOR - ESPECIALISTA 1



LAPO CALDERON BYRON

0704203439

ESPECIALISTA 2



CARRION ESPINOSA WILSON EMMANUEL

0704725688

ESPECIALISTA 3

Machala, 14 de septiembre de 2018

Urkund Analysis Result

Analysed Document: CORREGIDO TITULACIÓN.docx (D41034849)
Submitted: 8/29/2018 5:47:00 PM
Submitted By: carladaniela_1106@hotmail.com
Significance: 9 %

Sources included in the report:

PROYECTO KAREN ROGEL.docx (D25770923)
KAREN ANDREA ROGEL ALBAN.pdf (D25759646)
biotecnologia casi final.docx (D35751849)
Cajo Guerrero & Vasquez Ramos.docx (D33758824)
[http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/509/1/arc061\(04\)358-369.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/509/1/arc061(04)358-369.pdf)
<http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTECH/article/view/48/40>
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5430274>
<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2016.32.05.10/46678>
<http://www.redalyc.org/service/redalyc/downloadPdf/933/93341009011/6>
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5069938.pdf>

Instances where selected sources appear:

23

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, ROMERO ESPINOZA CARLA DANIELA, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado OBTENCIÓN DE AZUCARES TOTALES A PARTIR DE LA CÁSCARA DE ARROZ (ORYZA SATIVA) MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA ALTERNA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

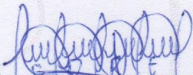
La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 14 de septiembre de 2018



ROMERO ESPINOZA CARLA DANIELA
0706585726



DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con el amor más grande del mundo a Dios y a mis padres, Marcelo Romero y Amalia Espinoza, ya que ellos han sido siempre mi pilar fundamental, mi mayor inspiración y mis ganas de salir siempre adelante, quienes han sabido guiarme por el camino del bien, dándome fuerzas para seguir y no desmayar ante las adversidades que se nos presentan a diario en el transcurso de la vida, enseñándome a solucionar las cosas de la mejor manera posible sin dejar a un lado los valores y principios inculcados, por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional ya que gracias al esfuerzo y dedicación de ellos soy lo que soy. La cosecha de mis padres que sembraron hace años atrás da el mejor fruto realizándose uno de sus más grandes deseos en la vida, les estaré agradecida eternamente por su apoyo absoluto e incondicional y por su sacrificio diario.

AGRADECIMIENTO

Agradezco especialmente a Dios supremo, creador y hacedor de las cosas por permitirme llegar a uno de mis más grandes sueños, quien durante el transcurso de toda mi carrera universitaria ha sido, es y será el mayor motivador de todos mis logros.

A mis padres, que con su amor infinito y apoyo incondicional me dan fuerzas y me motivan siempre para seguir adelante y poder lograr cada una de mis metas propuestas.

A la UTMACH por ser el centro educador que me supo abrir las puertas para formarme profesionalmente y de esta manera en el futuro poder servir a la sociedad y aportar con los conocimientos adquiridos en las aulas de clases.

A mi tutor, Ingeniero Humberto Ayala por su valiosa guía y asesoramiento quien supo guiarme de la mejor manera para la realización de este trabajo con paciencia y profesionalidad, a todos mis profesores de clases que durante toda mi carrera universitaria supieron brindarme sus conocimientos sin egoísmo alguno.

A Don Enrique Prado trabajador de la universidad quien supo brindarme su mano y ayudarme de manera muy gentil y a todos las personas y amigos que aportaron con un granito de arena y de manera amable de cualquier aspecto para la realización de esta tesis.

RESUMEN

La cáscara de arroz que recubre el grano de arroz, representa aproximadamente del 20-33% de la cáscara la cual es desaprovechada y más bien es quemada para ocupar los grandes espacios dentro de la piladoras, es un subproducto que resulta de la industria molinera compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo principalmente una fuente rica en sílice. El objetivo de la presente investigación fue la obtención de azúcares totales presentes en la cáscara de arroz de variedad Iniap-14 (*Oryza sativa L*) mediante aplicación de corriente eléctrica alterna (AC), siendo un alimento que se produce en mayor cantidad en la provincia de El Oro.

Los estudios que se realizaron fueron: conductividad mediante conductimetría, corriente por amperímetro, pH mediante potenciometría y azúcares totales por medio de método de ácido 3,5-dinitrosalisílico (DNS) mediante un equipo llamado espectofotómetro digital UV, la electrólisis se realizó adicionado tres diferentes sales al 1% los cuales fueron: cloruro férrico (FeCl_3), cloruro de potasio (KCl) y citrato de sodio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$), se llevó un control de 4 días a temperatura ambiente, tomando muestra cada 12 horas, se varió electrolito que le otorgue mayor conductividad al medio con un tiempo de 48 horas, donde se aplicó un diseño experimental 2^3 donde los factores a considerar fueron tres sustancias químicas y voltaje.

Los resultados obtenidos en las figuras mostraron que los azúcares totales dio como resultado que entre los tres compuestos químicos (cloruro férrico, cloruro de potasio y citrato de sodio) el que más aumento obtuvo fue el cloruro férrico, que muestra que dicho compuesto genera mejores efectos de adsorción de azúcares en la cáscara de arroz, observando que existe diferencia significativa en azúcares totales con las otras sales, donde empieza a tener un comportamiento tendencial con valores aproximados a 8000mg/L, el mismo que presentó un comportamiento favorable para el paso de electricidad obteniendo mejores valores de conductividad, ayudando a la ruptura de las moléculas presentes en la cáscara de arroz ya que genera una mejor conductividad y una mayor fluidez a la muestra como también mejor extracción de alcalinidad pH, usando valores más bajos de corriente con el paso de las horas.

En conclusión, la aplicación de corriente alterna favorece la hidrólisis de la cáscara de arroz, lo cual se ve evidenciado en la presencia de azúcares reductores en la solución hidrolizada, debido al rompiendo de las moléculas de la cáscara de arroz. La adición de

sales metálicas incrementó la conductividad en la solución y por ende la circulación de corriente, se estableció que la electrólisis a 60 V con la sal de cloruro férrico en comparación de las otras sales obtuvo un porcentaje significativo de conversión de celulosa a azúcares totales, ya que al transcurrir el tiempo de electrólisis con cloruro férrico a las 12 horas se notó un incremento significativo de azúcares, lo cual indica que ocurrió el proceso de hidrólisis en la biomasa lignocelulosa, notándose el incremento de la concentración de los azúcares totales en el hidrolizado, siendo el compuesto cloruro férrico el de mejor resultado ya que presentó un comportamiento favorable.

Palabras claves: cáscara de arroz, *Oryza sativa L*, compuesto químico, azúcares totales, corriente eléctrica alterna.

ABSTRACT

The rice husk that covers the grain of rice, represents approximately 20-33% of the husk which is wasted and is rather burned to occupy the large spaces inside the piladoras, it is a by-product that results from the composite milling industry by cellulose, hemicellulose and lignin, being mainly a source rich in silica. The objective of the present investigation was the obtaining of total sugars present in the rice husk variety Iniap-14 (*Oryza sativa L*) by applying alternating electric current (AC), being a food that is produced in greater quantity in the province of El Oro.

The studies that were carried out were: conductivity by conductimetry, current by ammeter, pH by potentiometry and total sugars by means of the 3,5-dinitrosalisilic acid (DNS) method by means of a device called UV digital spectrophotometer, the electrolysis was done adding three different 1% salts which were: ferric chloride (FeCl_3), potassium chloride (KCl) and sodium citrate ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$), a control of 4 days was taken at room temperature, taking sample every 12 hours, the type of chemical compound that gives greater conductivity to the medium with a time of 48 hours, where an experimental design was applied 2^3 where the factors considered were chemical compounds and voltage.

The results obtained in figure 10 showed that the total sugars gave as a result that among the three chemical compounds (ferric chloride, potassium chloride and sodium citrate) the highest gain was ferric chloride, which shows that said compound generates better

effects of adsorption of sugars in the rice husk, observing that there is a significant difference in total sugars with the other salts, where it begins to have a trend behavior with values close to 8000mg / L, the same one that presented a favorable behavior for the passage of electricity obtaining better values of conductivity, helping to break the molecules present in the rice husk since it generates a better conductivity and a greater fluidity to the sample as well as better extraction of alkalinity pH, using lower values of current with the step Of the hours.

In conclusion, the application of alternating current favors the hydrolysis of the rice husk, which is evidenced in the presence of reducing sugars in the hydrolyzed solution, due to the breakdown of the rice husk molecules. The addition of metal salts increased the conductivity in the solution and therefore the circulation of current, it was established that the electrolysis at 60 V with the ferric chloride salt compared to the other salts obtained a significant percentage of conversion of cellulose to total sugars , since at the end of the electrolysis time with ferric chloride at 12 o'clock a significant increase in sugars was noted, which indicates that the hydrolysis process is occurring in the lignocellulose biomass, noting the increase in the concentration of total sugars in the hydrolyzate, being the ferric chloride compound the best result since it presented a favorable behavior.

Keywords: rice husk, *Oryza sativa L*, chemical compound, total sugars, alternating electric current.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
JUSTIFICACIÓN	11
OBJETIVOS	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos.....	12
HIPÓTESIS	12
Hipótesis Alternativa.....	12
Hipótesis Nula	12
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	13
1.1 La Biomasa lignocelulosa	13
1.2 Cáscara de arroz	14
1.3 Glucosa.....	16
1.4 Transformación de celulosa a glucosa	17
1.5 Electrólisis.....	17
2. METODOLOGÍA.....	19
2.1 Ubicación De Investigación	19
2.2 Obtención de materia prima	19
2.3 Análisis de caracterización de la cáscara de arroz	20
2.4 Proceso de electrólisis de la cáscara de arroz variedad Iniap-14.....	21
2.5 Diagrama de flujo de la obtención de azúcares totales	22
2.6 Diseño Experimental	23
2.7 VARIABLES	23
2.7.1 <i>Variables Independientes</i>	23
2.7.2 <i>Variables Dependientes</i>	23
2.8 Materiales de laboratorio.....	24
2.8.1 <i>Equipos</i>	24
2.8.2 <i>Reactivos</i>	24
2.8.3 <i>Protección Personal</i>	25
3. RESULTADOS	26
3.1 Efecto de las sales metálicas en la conductividad	26
3.2 Comportamiento del amperaje en la electrólisis de la cáscara de arroz.....	27
3.3 Comportamiento del pH en la electrólisis de la cáscara de arroz	28

3.4 Comportamiento de azúcares totales (mg/L) en la electrólisis de la cáscara de arroz.....	29
4. CONCLUSIONES.....	29
5. BIBLIOGRAFÍA.....	31
ANEXOS	36

TABLA DE ILUSTRACIONES

FIGURAS:

Figura 1. Estructura de la lignocelulosa	14
Figura 2. Estructura de cáscara de arroz. El 72% representa el endospermo, el 20% cascarilla y el 8% sobrante es el salvado de arroz	15
Figura 3. Superficie exterior de la cascarilla vista al microscopio (X 50).....	15
Figura 4. Superficie interior de la cascarilla vista al microscopio (X 500).	16
Figura 5. Esquema de proceso de extracción del polvo de cáscara de arroz	19
Figura 6. Diseño del electrólisis	21
Figura 7. Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) de los tres tratamientos estudiados	26
Figura 8. Corriente (A) de los tres tratamientos estudiados	27
Figura 9. pH de los tres tratamientos estudiados	28
Figura 10. Azúcares totales (mg/L) de los tres tratamientos estudiados	29

TABLAS:

Tabla 1. Diseño del experimento	23
--	----

ANEXOS:

Anexo 1	37
Anexo 2	37
Anexo 3	38
Anexo 4	38
Anexo 5	39
Anexo 6	39

INTRODUCCIÓN

El arroz es la segunda gramínea más producida en el mundo, es un cultivo abundante de muchos países y su cáscara representa aproximadamente el 20-33%, dependiendo de la variedad. La cáscara de arroz es un abundante residuo lignocelulósico que contiene aproximadamente 51.5% de celulosa, 21% de hemicelulosa, 10.9% de lignina y 16,6% de cenizas (Paulo et al., 2017); es un residuo abundante y de bajo valor agregado por su baja digestibilidad es muy poco aprovechado en la alimentación animal (Vadiveloo, Nurfariza, & Fadel, 2009).

En la actualidad el Ecuador está entre los países de mayor producción agrícola por contener una gran diversidad de productos que se originan de la tierra, siendo el arroz de mayor consumo nacional e internacional, gramínea que el Ecuador produce y exporta.

En la industria arrocera el principal desecho que se genera es la cascara que recubre el grano de arroz. Este producto está constituido principalmente por fibras, celulosa, hemicelulosa, lignina y sales minerales, tiene una utilización restringida en el campo de la elaboración de alimentos concentrados para animales, debido a su alto contenido de sílice (SiO₂) elemento que disminuye notablemente su digestibilidad. Debido a su constitución físico-química, la cascarilla es además un desecho de muy difícil biodegradación, esto sumado al hecho de que en las plantas procesadoras de arroz la cantidad de cascarilla generada oscila en cifras cercanas al 20% en peso de la producción total. En la actualidad han surgido nuevas alternativas para poder aprovechar los residuos lignocelulósicos, como el uso de corriente alterna (AC). Al aplicar voltaje eléctrico a una biomasa lignocelulósica, ayuda al incremento significativo el contenido de azúcares fermentables (Wu et al., 2017). La corriente eléctrica alterna (AC) aplicada en un biorreactor que contenga un sustrato lignocelulósico, hidroliza parcialmente a la lignina y de esta forma ayuda a disminuir la cristalinidad de la celulosa (Bharati, Raju, Lippold, & Kalamdhad, 2017). Este tipo de corriente también crea algunos cambios en el sustrato, incluidos el aumento de la actividad enzimática, cambios en las características morfológicas y bioquímicas (Hoseinzadeh, Rezaee, & Farzadkia, 2017).

Por este motivo el objetivo de la presente investigación fue aplicar corriente alterna (AC) para hidrolizar la cascara de arroz y producir azúcares reductores.

PROBLEMA

El sector arrocero mundial necesita desarrollar nuevas tecnologías que le permitan proteger el medio ambiente y aprovechar los residuos orgánicos provenientes de esta actividad, por lo que el uso de la biomasa lignocelulósica para la generación de energía es de vital importancia ya que no interfiere con la producción de alimentos y no afecta la soberanía alimentaria del Ecuador.

La provincia de El Oro produce aproximadamente 21.818,18 t/año de arroz, de lo cual un 30% representa a la cáscara es decir 6.545,45 t/año (SIGAGRO – MAGAP, 2010), la cual no es aprovechada y más bien es quemada para evitar la ocupación de grandes espacios dentro de las piladoras, además la quema indiscriminada de la cáscara de arroz genera grandes cantidades de gases de efecto invernadero que contaminan el ambiente y otros tipos de cultivos como lo son los de ciclo corto (maíz, sandía, pimiento, melón, etc.). En los últimos años ha surgido como potencial recursos renovables la cáscara de arroz debido a sus componentes que posee: celulosa, hemicelulosa, lignina y cenizas, los cuales mediante procesos biotecnológicos es posible su aprovechamiento, sin embargo el principal problema técnico que se enfrentan los investigadores es la complejidad y dureza de este material (Ezeonu, Onwurah, Ubani, Ejikeme, & Ogodu, 2016).

Sin embargo, existen métodos de pretratamiento de biomasa lignocelulósica que emplean altas presiones, temperaturas o ambientes químicos agresivos que contribuyen a la formación de subproductos indeseables, lo cual se convierte en el principal problema, la inhibición podría estar relacionado con la alta salinidad de la cáscara de arroz que en sus cenizas posee hidróxido de sodio, el cual tiene la capacidad para inactivar las enzimas hidrolíticas mediante la interferencia con los polipéptidos plegables de las enzimas (Xu et al., 2016).

Actualmente debido al incremento de producción se ha observado que los agricultores de la provincia de El Oro, desechan la cáscara de arroz en gran cantidad desaprovechando este subproducto de las agroindustrias arroceras, originando el desperdicio de materia prima, entre los factores o causas que dan origen al desperdicio de la cáscara tenemos: La falta de conocimientos tecnológicos para su reutilización y el desconocimiento de sus propiedades nutricionales (Arteaga, 2017).

JUSTIFICACIÓN

Existen proceso de despolimerización que se utilizan para aprovechar los residuos lignocelulósicos. La presente investigación pretende aprovechar la cáscara de arroz que es desperdiciado al extraer del apilado los granos de arroz, para darle así un valor agregado a este sustrato considerado adecuado para la producción de azúcares dada su disponibilidad y su relativo bajo costo.

Además, se busca utilizar este subproducto para evitar los factores o causas que origina este desperdicio, dando a conocer sus distintos usos y conocimientos que tiene como tal.

Por lo tanto, el propósito principal del presente trabajo es la obtención de azúcares totales a partir de la cáscara de arroz mediante la aplicación de corriente eléctrica alterna, donde mediante la electricidad se va a poder observar cómo se desnaturalizan o rompen las moléculas de la cáscara de arroz.

OBJETIVOS

Objetivo General

Electrolizar la celulosa y hemicelulosa presente en la cáscara de arroz INIAP-14 (*Oryza sativa L.*) mediante aplicación de corriente eléctrica alterna.

Objetivos Específicos

- Aplicar sales metálicas (FeCl_3 , KCl y $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) para incrementar la conductividad del medio y favorecer la electrolisis de los compuestos presentes en la cáscara de arroz
- Establecer los parámetros que intervienen en la electrolisis (Conductividad, pH y resistencia).
- Cuantificar los azúcares reductores producidos en la electrolisis (60V).

HIPÓTESIS

Hipótesis Alternativa

Mediante aplicación de corriente eléctrica alterna es posible electrolizar la (celulosa y hemicelulosa) cáscara de arroz INIAP-14 a azúcares fermentables (glucosa, fructosa y celobiosa)

Hipótesis Nula

Mediante voltaje eléctrico inducido no es posible hidrolizar la (celulosa) cáscara de arroz INIAP-14 a azúcares fermentables (glucosa).

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 La Biomasa lignocelulosa

La lignocelulosa es un polímero que se encuentra en grandes cantidades dentro de muchas zonas del globo terráqueo, y está representado por alrededor del 50% de la biomasa total, ya sea en actividades agrícolas, industriales y forestales, debido a que es el componente de mayor importancia de las flora (Vázquez, 2015), simbolizando el principal material orgánico renovable de las plantas generado a través de las actividades agrícolas (López, Lopretti, Tomasso, & Duarte, 2009); a su vez, la lignocelulosa está compuesto de tres importantes materiales, lignina, celulosa y hemicelulosa (Almenares & Serrat, 2008) (García & Garza, 2016).

- **Lignina**, del latino lignum, que se traduce a madera, por tanto, es un compuesto encontrado en mayor abundancia en las planta leñosas dentro del planeta, después de las celulosa, hace presencia en los tejidos vasculares, y su función principal es la formación de lamela, que funciona como adherente natural entre las fibras y transportador de líquido hacia la parte superior de las plantas (Gómez, Velásquez, & Quintana, 2013). Además, es considerado como desecho de producción, el cual es usado en productos químicos y de papel (Delgado, Ysambert, Chávez, & Márquez, 2015).
- **Celulosa**, polisacárido sintetizado de las plantas, algas y bacterias, que está ubicado en las paredes celulares, en donde hacen presencia de manera sub-microscópica en forma alargada denominadas micelas, las que al organizarse forma una estructura cristalina en donde se fijan discreta y ordenadamente los átomos (Gutiérrez, Moreno, & Montoya, 2014).
- **Hemicelulosa**, es una compleja estructura de carbohidratos, ubicada en la pared secundaria de las plantas junto a la lignina, con la diferencia que se encuentra en menor proporción (Romerom, Ayala, & Lapo, 2015); está compuesta de una variedad de polímeros ya sean de tipo pentosas, hexosas y ácidos úricos, que le otorgan características propias para clasificarse, ya sea en manano, xilano, arabinano o galactano (Cooper, 2015).

La lignina, celulosa y hemicelulosa, son polímeros que se encuentran estrechamente relacionados en términos químicos por entrecruzamiento covalentes y fuerzas de carácter no covalentes (Rodríguez, y otros, 2017), que al ser unidos forman un sello físico (Van de Waals) en las membranas plasmáticas celulares de los vegetales (Piña, Nieto, &

Robles, 2016). Por lo general, según (Bakker, 2013) estos tres compuestos se encuentran dentro de las células vegetales en los siguientes porcentajes: celulosa entre 35 a 55%, hemicelulosa entre 25 a 45% y lignina entre 20 a 30%. En la figura 1, se aprecia cómo se encuentran ubicados cada uno de los componentes de la lignocelulosa.

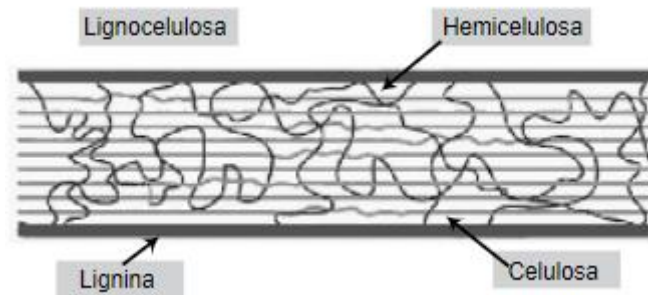


Figura 1. Estructura de la lignocelulosa

Fuente: (Bakker, 2013)

La celulosa, hemicelulosa y lignina, son los tres componentes más comunes encontrados en todas las plantas vasculares, formadas por la reacción que genera la fotosíntesis, lo que ha hecho que se convierta en uno de los recursos naturales de potencial renovable (Chávez & Domine, 2013).

6.2 Cáscara de arroz

La cáscara de arroz o cascarilla de arroz, es una armazón o estructura que cubre y protege al arroz, manteniéndolo en condiciones óptimas de impermeabilidad, evitando el contacto con el aire, el cual puede provocar la biodegradación de los componentes que yacen en su interior. Este puede ser utilizado gracias a su alto contenido energético, como materia prima para generar energía. Por otra parte, (Vargas, Alvarado, Vega, & Porras, 2013) menciona que la cascarilla de arroz es un subproducto que se lo obtiene mediante el procesado de arroz a través de las moliendas, hallada en la parte externa del grano en condiciones maduras y que está formada por dos glumas denominadas lemma y palea, cohesionados por el endospermo y pericarpio, siendo este último parte de lo que se conoce

como el salvado de arroz, junto al tegumento y capas de aleurona, tal cual se observa la estructura de cáscara de arroz en la figura 2.

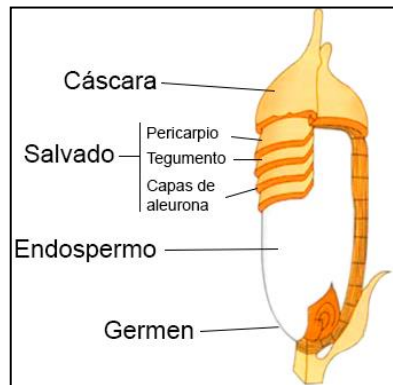


Figura 2. El 72% representa el endospermo, el 20% cascarilla y el 8% sobrante es el salvado de arroz

Uno de los inconvenientes principales que posee la cascarilla de arroz es la débil capacidad de retener y de distribuir la humedad (Peña, Casierra, & Monsalve, 2013); sin embargo, dicha cascarilla, es una excelente fuente de energía para diferentes especies, gracias a su elevado contenido de grasa, proteínas, aminoácidos, fósforo y almidón, como también, un bajo grado de fracción fibrosa y lignificación.

En cuanto a las características físicas de la cáscara de arroz, las dimensiones del grano de tipo cariósipide posee las siguientes medidas: una longitud que oscila entre 4 a 14 milímetros, un ancho que puede estar entre 2 a 4 milímetros, y un promedio de espesor de 50 micrómetros (Acero & Rodríguez, 2011), en cuanto al peso, los valores pueden ir de 2,94 a 3,56 mg. En la figura 3 y 4, se observa la superficie exterior e interior, respectivamente, de la cascarilla de arroz, vista desde un microscopio, en donde se aprecia para la parte exterior una superficie rugosa, a diferencia de la parte interior que es lisa.

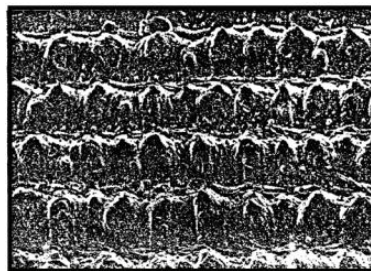


Figura 3. Superficie exterior de la cascarilla vista al microscopio (X 50)

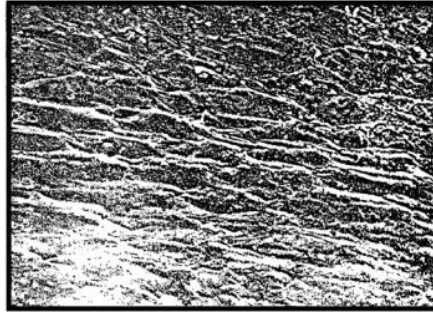


Figura 4. Superficie interior de la cascarilla vista al microscopio (X 500).

Fuente: Xaxier Díaz, Proyecto de Grado, Modelo predictivo de combustión de la cascarilla de arroz, ESPOL, 1991

Adicionalmente, cabe mencionar que la cascarilla de arroz puede ser usada para diferentes fines según el porcentaje extraído, entre los que destacan: la utilización como combustible para máquinas de vapor o semifijas, para gasificación débil o mixta, como generadora de energía (Jiménez, López, González, & Curbelo, 2017), como abono por su contenido de fertilizante natural (Ávila, Sadeghian, Sánchez, & Catro, 2010), entre otras.

6.3 Glucosa

Carbohidrato conocido también como dextrosa, considerado el monosacárido de mayor relevancia en el metabolismo humano, debido a que le proporciona energía para llevar a cabo cada una de sus funciones (Millán, 2015), el que además, al llegar al punto de oxidación, en la etapa del metabolismo, genera otros compuestos como el agua y el nitrógeno (Galeana & Flores, 2017). Este monosacárido coadyuva al rendimiento de los EPS (exopolisacáridos) en comparación a otros azúcares (López, Arboleda, & Segura, 2015).

La glucosa es el compuesto de naturaleza orgánica que proviene de la familia de carbohidratos, que está formado principalmente por hidrógeno, carbono y oxígeno, que se halla en las frutas naturales, almidón y cereales, tales como la cáscara de arroz. La glucosa al ser combinada con otros compuestos como la fructosa, sacarosa, amilosa, pentosas o hexosas, pueden generar carbohidratos como los disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos (Puerta, 2010).

6.4 Transformación de celulosa a glucosa

La celulosa al ser un polímero de la glucosa, que construye estructuras cristalinas enlazando de forma inter molecular e intra molecular al hidrógeno con enlaces β -1,4-glicosídicos, tiene como propiedad y capacidad un alto nivel de insolubilidad, degradándola en diminutas moléculas para transformarla en glucosa (Adsuar, 2017). La celulosa al estar formado por unidades de Beta-D-Glucopyranosa y al ser sometido a hidrólisis o electrólisis dará como resultados una solución de azúcares con contenido de moléculas de glucosa (Zumalacárregui, Pérez, Rodríguez, Zumalacárregu, & Lombardi, 2015).

6.5 Electrólisis

Desde la aparición de la electrólisis, esta técnica se ha convertido en una de las tecnologías electrolíticas más importantes en todo el mundo, caracterizado por poseer dos electrodos sumergidos en un líquido electrolito alcalino, que consiste en la aplicación de energía eléctrica para la producción de cambios químicos de determinados compuestos (Carmo, Fritz, Mergel, & Stolten, 2013).

El proceso de electrólisis, para obtener mejores resultados en el cambio químico de algún elemento, como el de la cáscara de arroz, es necesario que se aplique un carga contante de 60 voltios durante un período de 12 horas (Pei, Yi, Jaroniec, & Zhang, 2016). La electrólisis de la cascarilla de arroz, por medio de la electricidad se produce cuando las moléculas se rompen en dicho sustrato.

Para el caso de esta investigación, en lo referente a la obtención de azúcares totales de las cáscara de arroz, se lo puede hacer mediante el uso de varios compuestos químicos, entre los que resalta el cloruro de potasio, el citrato de sodio, y en especial el cloruro férrico, que con la combinación de dosificación adsorbente, el pH y la temperatura, posee mejores efectos adsorbentes (Liu, Zhang, Lin, Lu, & Wang, 2016).

Adicionalmente, en el proceso de electrólisis, la cáscara de arroz es uno de los materiales que posee una alta capacidad para generar partículas de azúcares, debido a que está compuesta de celulosa, lignina y hemicelulosa, mediante el proceso de adsorción utilizando pequeñas descargas eléctricas (Dezhampanah, Mousazadeh, & Mousazadeh, 2014). Es pertinente mencionar, que pese a que los catalizadores injieren en los compuestos químicos de la hidrólisis y electrólisis para una mejor adsorción de glucosa

(azúcares), posee una variedad de problemas, entre los que destacan, el alto índice de corrosión de los equipos reactores, el tratamiento de residuos y los altos costo (Hu, Lin, Wu, Zhou, & Liu, 2015).

2. METODOLOGÍA

2.1 Ubicación De Investigación

Esta investigación se realizó en los meses de mayo, junio y julio de 2018 en los laboratorios de investigación de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Machala.

2.2 Obtención de materia prima

La cáscara de arroz de variedad Iniap-14 fue obtenida del sector arrocero La Cuca ubicado en una parroquia del cantón Arenillas provincia de El Oro, una vez obtenida la cáscara de arroz se pasó por un molino eléctrico el mismo que permite la molienda con facilidad y ayuda a la disminución de residuos de dicha materia prima para que en lo posible quede polvo, luego de la molienda se realizó un tamizado con la ayuda de un Tamiz Estándar número 250 μ m quien éste a su vez ayudó a separar sólidos en la materia prima y a disminuir el tamaño de partículas.

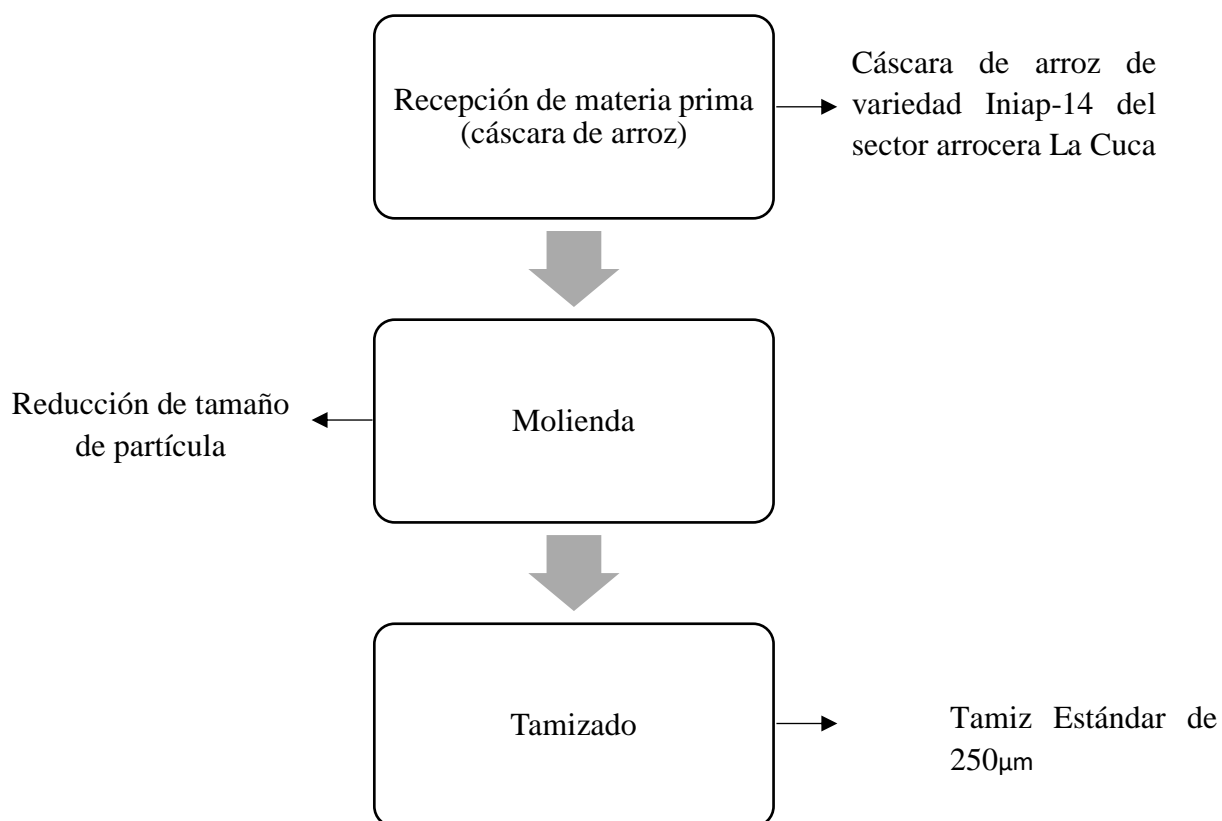


Figura 5. Esquema de proceso de extracción del polvo de cáscara de arroz

2.3 Análisis de caracterización de la cáscara de arroz

Los análisis que se realizaron para la caracterización de cáscara de arroz de variedad INIAP-14 fueron los siguientes:

pH

Corriente

Conductividad

Azúcares reductores

2.3.1 Determinación de pH

Método de potenciometría mediante el cual se utiliza un pH-metro, se coloca en un vaso de precipitación muestra suficiente hasta que el electrodo quede sumergido en la muestra analizar, luego de eso se procede a realizar la lectura del pH. (Arithmetic, 2012)

2.3.2 Determinación de conductividad

Encender el aparato y esperar 10 minutos para su calentamiento. Llenar en vaso de precipitado con la solución de cloruro de potasio 0.1 N con una conductividad conocida (0.01288 omhs por centímetro a temperatura ambiente). Asegurar que la solución cubra hasta la marca de la celda, y de que la temperatura de la solución sea a temperatura ambiente. Registrar la lectura de conductividad que marca el aparato después de que se estabilice. Lavar la celda perfectamente, de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Llenar un vaso de precipitado con la muestra, introducir el electrodo, asegurarse que quede cubierto hasta la marca. Registrar la lectura que marca el conductímetro. (Zhang & Su, 2018)

2.3.3 Determinación de corriente

Para la determinación de corriente en la electrólisis usamos un aparato llamado amperímetro, conectamos un extremo de cable de cobre a cada terminal (para esto es conveniente usar las pinzas cocodrilo) y los otros extremos al multímetro y de esta manera el aparato da la lectura de corriente. (Ming, Chang, & Chang, 2015)

2.3.4 Determinación de azúcares reductores

Para la determinación de azúcares reductores se usó el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico. En tubos de cristal de 10 ml se adicionan 0.5 ml de muestra y 0.5 ml del reactivo de DNS. Los tubos se colocan en baño de agua a 100 °C por 5 min. Se enfrían hasta temperatura ambiente y se le añade 5 ml de agua destilada. Se agita y se realiza la lectura a 540nm en el espectrofotómetro digital (Wu et al., 2017).

Una vez obtenidos los datos de la absorbancia que arroja el espectrofotómetro reemplazamos la siguiente fórmula: $y=0,0005x-0,0028$; dónde: y =absorbancia (nm); x =concentración del sustrato (g/L). Llevando finalmente los datos de ppm a porcentaje.

2.4 Proceso de electrólisis de la cáscara de arroz variedad Iniap-14

La electrólisis de la cáscara de arroz variedad Iniap-14 se llevó a cabo en un envase transparente a una concentración residuo de 5%, al cual se lo disolvió con diferentes sales metálicas (FeCl_3 , KCl y $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$). Posteriormente se aplicó corriente alterna (AC) a un voltaje de 60V. El hidrolizado se recogió cada 12 horas de reacción por 4 días, se centrifugó, filtró y se cuantificó los azúcares totales por medio del equipo HPLC, este procedimiento se lo realizó por triplicado.

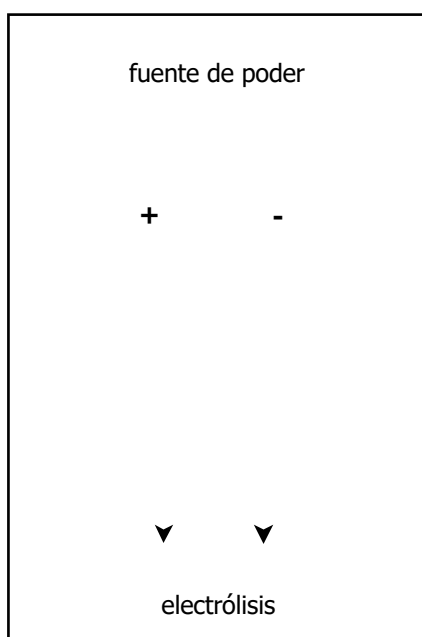
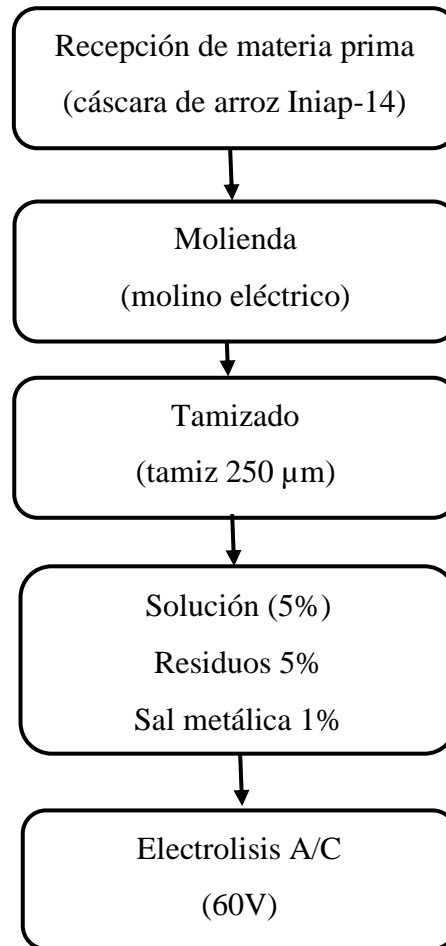


Figura 6. Diseño del electrólisis

2.5 Diagrama de flujo de la obtención de azúcares totales



2.5.1 Descripción del diagrama de flujo de la obtención de azúcares totales

- Recepción de materia prima.- La cáscara de arroz de variedad Iniap-14 fue obtenida del sector arrocero La Cuca ubicado en una parroquia del cantón Arenillas provincia de El Oro, cogiendo cáscara de arroz del arrojamiento de las piladoras.
- Molienda.- Se procedió a pasar la materia prima por un molino eléctrico, el mismo que permite la molienda con facilidad para obtener productos con mejor calidad a menor tiempo y para que ayude a la disminución de residuos de dicha materia prima.
- Tamizado.- Se realizó un tamizado con la ayuda de un tamiz estándar con número de 250 μm quien éste ayudó a separar diferentes sustancias en la materia prima y a disminuir el tamaño de las partículas.

- Solución.- Con el objetivo de aumentar la conductividad en la solución y favorecer la hidrólisis de los polisacáridos presentes en la cáscara de arroz, se adicionaron tres sales diferentes al 1%.
- Electrolisis A/C.- Se realizó mediante corriente eléctrica alterna a un voltaje de 60 para observar la desnaturalización de moléculas de la cáscara de arroz.

2.6 Diseño Experimental

Se varió el tipo de sustancia que le otorgue mayor conductividad al medio con un tiempo de 48 horas donde el sustrato a utilizar fue la cáscara de arroz Iniap-14, se aplicó un diseño experimental donde los factores a considerar fueron: los compuestos químicos y voltaje, cada tratamiento se lo realizó por triplicado. (Tabla 1).

Tabla 1. Diseño del experimento

Tratamiento	Compuestos químicos (g)	Voltaje
1	Cloruro férrico	60
2	Cloruro de potasio	60
3	Citrato de sodio	60

2.7 VARIABLES

2.7.1 Variables Independientes

- Tipo de sal (FeCl_3 , KCl y $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$)

2.7.2 Variables Dependientes

- Intensidad de corriente
- Concentración de azúcar
- pH

2.8 Materiales de laboratorio

- Vasos de precipitación. 250, 500ml
- Probeta de 50ml
- Bureta con soporte
- Pinzas de acero inoxidable
- Cápsulas de porcelana
- Crisoles de porcelana
- Vasos de precipitación de 50, 250 y 600 ml
- Embudo de vidrio con soporte
- Erlenmeyers de 1000, 500 y 250 ml
- Cubetas plásticas
- Envases de vidrio ámbar
- Pipeta de 10ml
- Micropipetas de 10 y 1000 μ l
- Balones volumétricos de 25ml
- Envases plásticos de 500 ml
- Espátula
- Desecador

2.8.1 Equipos

- Molino eléctrico
- Balanza Analítica Uni Bloc®
- pHmetro Bante901®
- Termoagitador de calentamiento UMCO®
- Centrifuga DYNAC®
- Espectrofotómetro digital

2.8.2 Reactivos

- DNS (Dinitrosalicílico)
- Cloruro férrico
- Cloruro de potasio
- Citrato de sodio

2.8.3 Protección Personal

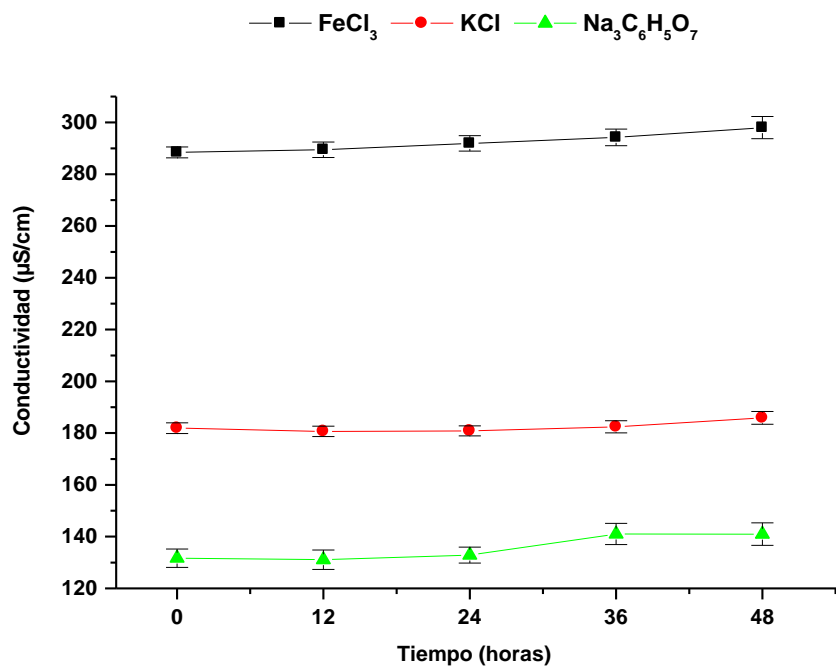
- Mandil
- Cofia
- Mascarilla
- Guantes

3. RESULTADOS

3.1 Efecto de las sales metálicas en la conductividad

La capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica aumenta cuando se añade iones metálicos. A continuación, en la figura 8 se muestran los valores de la conductividad en los tres tratamientos estudiados.

Figura 7. Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los tres tratamientos estudiados



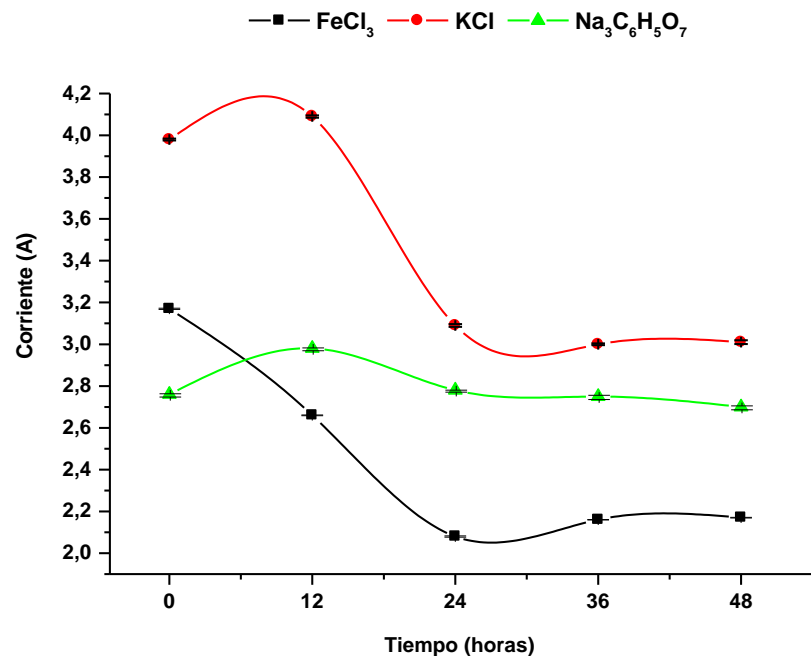
La figura 7, muestra la conductividad versus el tiempo, de los tres elementos utilizados en la electrólisis a una concentración del 1%, donde el cloruro férrico a comparación de las otras sales está muy por encima en valores de conductividad en los diferentes tiempos, iniciando en el tiempo cero con una conductividad de 28,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por lo que se puede decir que la adición de cloruro férrico a comparación con las otras sales incrementó significativa hasta 30,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las 48 horas, ya que dicha sal (cloruro férrico) ayuda para la conductividad y a dar mayor fluidez a la muestra.

Estudios realizados de (Kumar, Malyan, & Bishnoi, 2017) afirman que con cuatro sales probados con cloruro férrico se incrementó desde una inicial de 25,4 a 79,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ apoyando así la disminución de la resistencia.

3.2 Comportamiento del amperaje en la electrólisis de la cáscara de arroz

En esta investigación se elaboró 3 tratamientos de los cuales se pueden observar los resultados en los siguientes gráficos:

Figura 8. Corriente (A) de los tres tratamientos estudiados



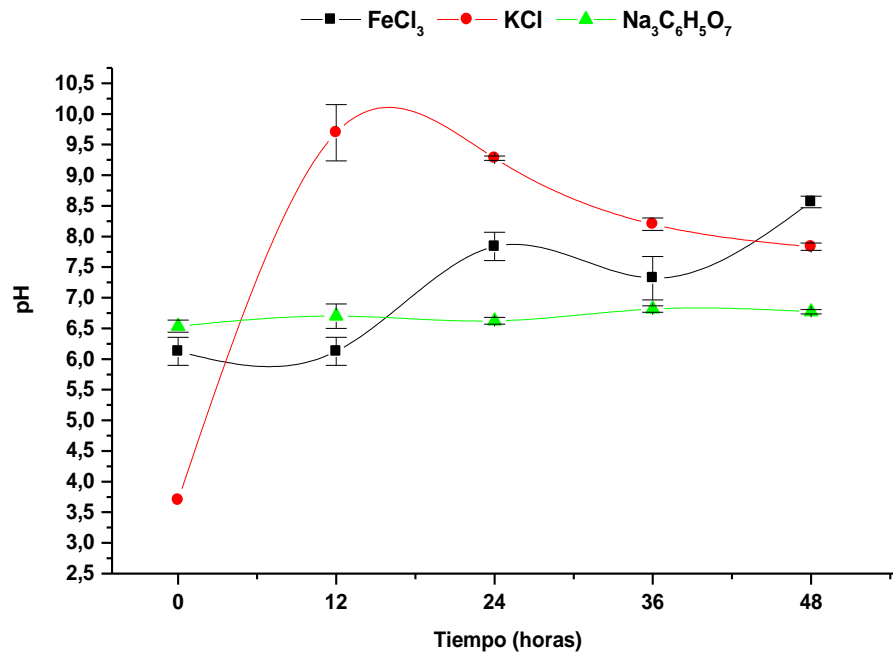
Al aplicar la electrólisis a la cáscara de arroz, en cuanto a la corriente utilizada por cada uno de los compuestos químicos (figura 8), aplicando 60 voltios a cada uno, con intervalos de tiempo de 12 horas, se obtuvo como resultados, que el cloruro de potasio es el compuesto que usó mayor corriente para la extracción de los azúcares totales, ya que el movimiento de las partículas cargadas (iones) en dicho compuesto permite mejor paso de la corriente eléctrica; por otro lado, en segundo lugar, el citrato de sodio con una corriente inicial de 2,72A y al final a las 48 horas tiene un descenso de 2,7 A; en cambio, el cloruro férrico fue el compuesto que usó menos corriente pero en el tiempo cero inicio por encima del citrato de sodio con una corriente inicial de 3,2A y al transcurrir el tiempo hasta las 24 horas tuvo un descenso de 2,1A hasta llegar a las 48 horas, en donde tuvo un incremento de 2,2A.

Estudios realizados por (Kumar, Malyan, & Bishnoi, 2017) dice que la facilidad de transferencia del electrón era casi igual para el ferricianuro de potasio, es por eso que el KCl sobresale de las otras sales.

3.3 Comportamiento del pH en la electrólisis de la cáscara de arroz

En esta investigación se elaboró 3 tratamientos de los cuales se pueden observar los resultados en los siguientes gráficos:

Figura 9. pH de los tres tratamientos estudiados

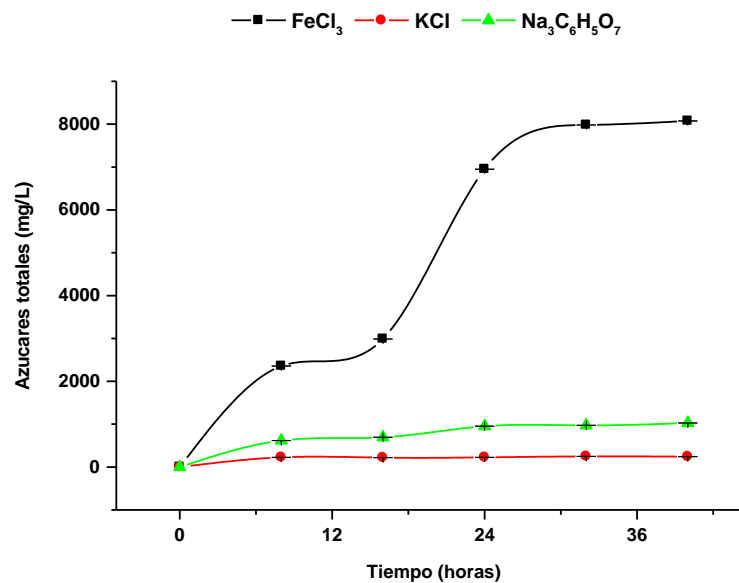


La figura 9 muestra la variación del pH durante el proceso de electrólisis de la cáscara de arroz, mostrándose los diferentes comportamientos con las diferentes sales. En los primeros intervalos de tiempo, el cloruro de potasio tuvo mejores resultados de alcalinidad en el tiempo cero dando como resultado 3,6 de pH quien a partir de las cero horas hasta las 12 horas tuvo un incremento, en comparación al citrato de sodio en el tiempo cero inicia con un pH de 6,6 y el cloruro férrico en el tiempo cero inicia con un pH de 6,0; no obstante, con el paso de los intervalos de tiempo, este último mejoró sus resultado de pH en la extracción de azúcares, en cambio el cloruro de potasio con cada intervalo fue decayendo en sus valores, y el citrato de sodio se mantuvo constante en los tiempos efectuados de la electrólisis.

3.4 Comportamiento de azúcares totales (mg/L) en la electrólisis de la cáscara de arroz

En esta investigación se elaboró 3 tratamientos de los cuales se pueden observar los resultados en los siguientes gráficos:

Figura 10. Azúcares totales (mg/L) de los tres tratamientos estudiados



La figura 10 se puede observar el incremento de concentración de azúcares totales durante el proceso de electrólisis de la cáscara de arroz, mostrándose los diferentes comportamientos con las diferentes sales, la electrólisis provoca la ruptura de los polímeros de celulosa y hemicelulosa. El cloruro férrico se postuló muy por encima que los compuestos de cloruro de potasio y citrato de sodio, generando mayores valores de azúcares (mg/L) con el paso de los intervalos de horas tomadas para efectos del estudio. Cabe mencionar, que el cloruro férrico, a partir de las 30 horas de electrólisis empieza a tener un comportamiento tendencial constante con valores aproximados a 8000 mg/L. De los tres compuestos químicos (cloruro férrico, cloruro de potasio y citrato de sodio) usados para la obtención de azúcares totales de la cáscara de arroz, por medio de las electrólisis, el compuesto que mejores resultados y mayor conversión a azúcares fue el cloruro férrico, el mismo que presentó un comportamiento favorable para el paso de electricidad por medio de mejores valores de conductividad, como también mejor extracción de alcalinidad pH, usando valores más bajos de corriente con el paso de las horas. Dichos resultados no se muestran disímiles en favor al cloruro férrico, debido a que existen investigaciones como las de (Liu, Zhang, Lin, Lu, & Wang, 2016) (Pei, Yi,

Jaroniec, & Zhang, 2016) que muestran que dicho compuesto genera mejores efectos de conversión de azúcares en la cáscara de arroz.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de corriente alterna favorece la hidrólisis de la cascara de arroz, debido a la presencia de azúcares reductores en la solución hidrolizada, debido al rompiendo de las moléculas. La adición de sales metálicas incrementó la conductividad en la solución y por ende la circulación de corriente.

Se ha establecido que la electrólisis a 60 V con la sal metálica de cloruro férrico (FeCl_3) a comparación de las otras sales obtiene un porcentaje significativo de conversión de celulosa a azúcares totales, donde se pudo llegar al objetivo de la presente investigación.

Al transcurrir el tiempo de electrólisis con cloruro férrico a las 12 horas se nota un incremento significativo de azúcares, lo cual indica que está ocurriendo el proceso de hidrólisis en la biomasa lignocelulosa, notándose el incremento de la concentración de los azúcares totales en el hidrolizado, siendo el compuesto cloruro férrico el de mejor resultado ya que presentó un comportamiento favorable.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Acero, H., & Rodríguez, J. (2011). Repositorio de Espol. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20037/1/informe%20de%20materia%20de%20graduacion.pdf>
2. Adsuar, M. D. (2017). Catalizadores bifuncionales para la hidrogenación hidrolítica de la celulosa. Obtenido de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=136211>
3. Almenares, J., & Serrat, M. (2008). Aspecto tecnológicos generales para la conversión a etanol de la biomasa lignocelulósica. *Tecnología Química*, 63-68. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/4455/445543757008/>
4. Ávila, W., Sadeghian, S., Sánchez, P., & Catro, H. (2010). Respuesta del café al fósforo y abonos orgánicos en la etapa de almácigo. *Cenicafé*, 358-369. Obtenido de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/509/1/arc061%2804%29358-369.pdf>
5. Arithmetic, C. (2012). Determinaciones de acidez total titulable, acidez volátil, acidez fija y pH. Preparación de soluciones amortiguadoras. *Universidad central de Venezuela*, 71-76.
6. Arteaga, Y. (2017). Estudio Del Desperdicio Del Mucilago De Cacao En El Cantón Naranjal (Provincia Del Guayas). *ECA sinergia*, 4, 49-59.
7. Bakker, R. (2013). Estado e implicaciones de los residuos de la biomasa de palma de aceite. *Palmas*, 111-119. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10706/10692>
8. Bharati, V., Raju, V. W., Lippold, S., & Kalamdhad, A. S. (2017). Bioresource Technology Electrohydrolysis pretreatment of water hyacinth for enhanced hydrolysis, 238, 733-737.
9. Carmo, M., Fritz, D., Mergel, J., & Stolten, D. (2013). Una revisión exhaustiva sobre la electrólisis del agua PEM. *Revista Internacional de Energía de Hidrógeno*, 4901-4934. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319913002607>
10. Chávez, M., & Domine, M. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial.

Avances en Ciencias e Ingeniería, 15-46. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/3236/323629266003/>

11. Cooper, B. (2015). Enzimas xilanolíticas bacterianas y sus aplicaciones industriales. vertientes Revista Especializada en Ciencias de la Salud, 2016. Obtenido de <http://www.medigraphic.com/pdfs/vertientes/vre-2013/vre131e.pdf>
12. Delgado, N., Ysambert, F., Chávez, G., & Márquez, N. (2015). Esterificación asistida por microondas de lignina de pino con anhídrido salicilico. Revista Iberoamericana de Polímeros, 29-42. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Nacarid_Delgado/publication/318505951_Esterificacion_asistida_por_microondas_de_lignina_de_pino_con_anhidrido_salicilico/links/596e46994585152dd4ab6414/esterificacion-asistida-por-microondas-de-lignina-de-pino-co
13. Dezhmpanah, H., Mousazadeh, A., & Mousazadeh, I. (2014). Eliminación de un tinte aniónico de las aguas residuales por adsorción en la cáscara de arroz modificada y el bagazo de caña de azúcar. International Journal of Hybrid Information Technology, 309-320. Obtenido de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.589.4747&rep=rep1&type=pdf>
14. Ezeonu, C. S., Onwurah, I. N. E., Ubani, C. S., Ejikeme, C. M., & Ogo, A. C. (2016). Trichophyton Soudanense and Trichophyton Mentagrophyte-treated Rice Husk Biomass Components and Effect of Yeast on the Bioethanol Yield. Achievements in the Life Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.als.2016.05.007>
15. Galeana, C., & Flores, E. (2017). Niveles de glucosa en jóvenes de verano de investigación 2017. Tlamati Sabiduría, 1-9.
16. García, P., & Garza, Y. (2016). Sacarificación y fermentación simultánea de olote pretratado. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias, 1-15. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5590218>
17. Gómez, V., Velásquez, J., & Quintana, G. (2013). Lignina como adsorbente de metales pesados. Revista Investigaciones Aplicadas, 74-85. Obtenido de <https://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas/article/view/1756/196>

18. Gutiérrez, I., Moreno, N., & Montoya, D. (2014). Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 1-12. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1130140614000138>
19. Hoseinzadeh, E., Rezaee, A., & Farzadkia, M. (2017).
20. Hu, L., Lin, L., Wu, Z., Zhou, S., & Liu, S. (2015). La hidrólisis quimio-catalítica de celulosa en glucosa sobre catalizadores ácidos sólidos. *Catálisis Aplicada B: Ambiental*, 225-243. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926337315001174>
21. Jiménez, R., López, E., González, F., & Curbelo, J. (2017). Metodología para la estimación del potencial de biomasa en cienfuegos con fines energéticos. *Revista de Investigación*, 63-75. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Reinier_Jimenez_Borges/publication/319988277_Metodologia_para_la_estimacion_del_potencial_de_biomasa_en_Cienfuegos_con_fines_energeticos/links/5a1968a60f7e9be37f9788c7/Metodologia-para-la-estimacion-del-potencial-de-bi
22. Liu, D., Zhang, W., Lin, H., Lu, H., & Wang, Y. (2016). Una tecnología verde para la preparación de carbón activado de alta capacitancia basado en cáscara de arroz. *Journal of Cleaner Production*, 1190-1198. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615008859>
23. López, A., Lopretti, M., Tomasso, M., & Duarte, G. (2009). Evaluación de residuos de la industria forestal por un sistema de FSS de presacarificación con fines a la producción de alcohol. *Revista de laboratorio tecnológico de Uruguay*, 5-9. Obtenido de <http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/article/view/48/40>
24. López, X., Arboleda, C., & Segura, F. (2015). Producción de polisacáridos a partir de *Ganoderma sp.*, aislado en la región andina. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 44-54. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5430274>
25. Millán, C. (2015). Repositorio de la Universidad de Zaragoza. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/37006/files/TAZ-TFG-2015-3972.pdf>

26. Ming, J., Chang, C. K., & Chang, Y. T. (2015). High-output current density of the triboelectric nanogenerator made from recycling rice husks. *Nano Energy*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2015.11.014>
27. Paulo, J., Oliveira, D., Pinheiro, G., Oliveira, K., Lisie, S., El, M., ... Zavareze, R. (2017). Cellulose fibers extracted from rice and oat husks and their application in hydrogel, 221, 153-160.
28. Pei, Y., Yi, T., Jaroniec, M., & Zhang, S. (2016). Síntesis de autotemplación de matrices de microtubo Co₃O₄ huecas para electrólisis de agua altamente eficiente. *Angewandte international edition*, 1-6. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/anie.201610413>
29. Peña, M., Casierra, F., & Monsalve, O. (2013). Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 217-227. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Fanor_Casierra-Posada2/publication/262753749_Soilless_tomato_production_Solanum_lycopersicum_L_in_rice_hulls_mixed_with_mineral_and_organic_materials/links/53eb37fe0cf28f342f451ef6/Soilless-tomato-production-Solanum-ly
30. Piña, A., Nieto, D., & Robles, F. (2016). Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.). *Revista internaional de contaminación ambiental*, 141-151. Obtenido de <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2016.32.05.10/46678>
31. Puerta, G. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Cenicafé*, 1-12. Obtenido de <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/345/1/avt0402.pdf>
32. Rodríguez, M., Castrillo, M., Velázquez, J., Kramer, G., Sedler, C., Zapata, P., & Villalba, L. (2017). Obtención de azúcares fermentables a partir de aserrín de pino pretado secuencialmente con ácido-base. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 317-324. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v33n2/0188-4999-rica-33-02-00317.pdf>
33. Romerom, H., Ayala, H., & Lapo, B. (2015). Efecto de tres pre-tratamientos de cáscara de banano para la obtención de jarabe glucosado mediante hidrólisis

enzimática. Avances en Química, 79-82. Obtenido de <http://www.redalyc.org/service/redalyc/downloadPdf/933/93341009011/6>

34. Vadiveloo, J., Nurfariza, B., & Fadel, J. G. (2009). Animal Feed Science and Technology Nutritional improvement of rice husks, 151, 299-305. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.03.002>
35. Vargas, J., Alvarado, P., Vega, J., & Porras, M. (2013). Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. Revista científica, 87-102. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5069938.pdf>
36. Vázquez, O. (2015). Repositorio institucional Universidad Veracruzana. Obtenido de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/41986/VazquezMoralesOscar.pdf;jsessionid=CE22D95474217E38FA051E7367A00B34?sequence=1>
37. Vosmanska, V., Rimpelova, S., & Kola, K. (2013). Effect of plasma treatment on cellulose fiber, 953-961. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-9863-0>
38. Wu, F., Jin, Y., Li, D., Zhou, Y., Guo, L., Zhang, M., ... Yang, N. (2017). Accepted Manuscript.
39. Xu, J., Wang, X., Liu, X., Xia, J., Zhang, T., & Xiong, P. (2016). Biomass and Bioenergy Enzymatic in situ saccharification of lignocellulosic biomass in ionic liquids using an ionic liquid-tolerant cellulases, 93, 180-186.
40. Zumalacárregui, L., Pérez, O., Rodríguez, P., Zumalacárregu, B., & Lombardi, G. (2015). Potencialidades del bagazo para la obtención de etanol frente a la generación de electricidad. Ingeniería, Investigación y Tecnología, 407-418. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1405774315000190>

ANEXOS

Anexo 1



Foto: Cáscara de arroz Iniap-14

Anexo 2



Foto: Molienda mediante un molino eléctrico

Anexo 3



Foto: Tamizado con tamiz de 250 μ m para disminuir el tamaño de partículas

Anexo 4

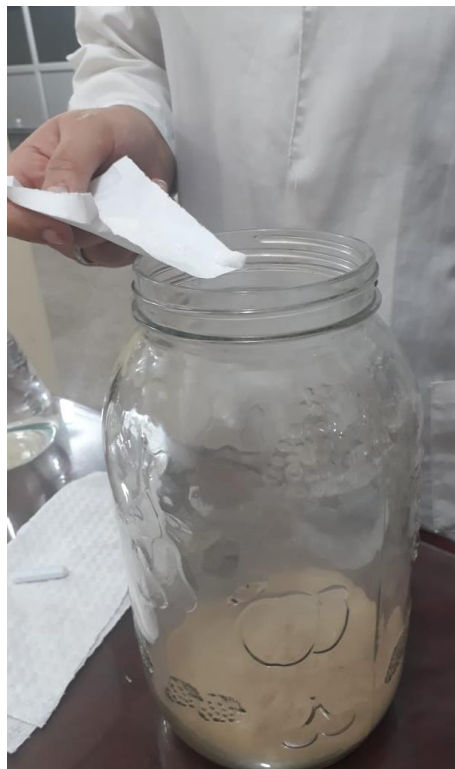


Foto: Adición de las diferentes sales metálicas

Anexo 5



Foto: Aplicación de corriente eléctrica alterna (AC)

Anexo 6



Foto: Lectura de las diferentes muestras en el espectrofotómetro digital