

**FACTIBILIDAD DE LA OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE LOS
RESIDUOS PROVENIENTES DE LA TRILLA DEL CAFÉ**

NATALIA BOHÓRQUEZ VÁSQUEZ

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

**FACTIBILIDAD DE LA OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE LOS
RESIDUOS PROVENIENTES DE LA TRILLA DEL CAFÉ**

NATALIA BOHÓRQUEZ VÁSQUEZ

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

**Orientador
Oscar Libardo Lombana
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Oscar Libardo Lombana
Presidente de jurado

Ing. Felipe Correa Mahecha
Jurado 1

Ing. Juan Galvis
Jurado 2

Bogotá, D.C. mayo de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario general

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

I.Q. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por darme la fortaleza para continuar cuando estuve a punto de rendirme, y brindarme las herramientas necesarias para finalizar este proyecto de grado.

A mi familia, que desde el comienzo ha estado presente para impulsarme en los momentos difíciles, por brindarme su apoyo incondicional y compartir conmigo todos los momentos por los que he vivido.

A los docentes que en este camino influyeron con sus lecciones y experiencias para formarme como profesional.

A los ingenieros Camilo Eduardo Velásquez Rodríguez y José Ricardo Buitrago Lozano, por su apoyo en el proceso de desarrollo del proyecto.

Al ingeniero Oscar Lombana que con ayuda, apoyo y paciencia de él fue posible desarrollar el proyecto de grado, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa del mismo.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| OBJETIVOS | 19 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 20 |
| 1.1 CASCARILLA DEL CAFÉ | 20 |
| 1.2 HIDRÓLISIS ALCALINA | 21 |
| 1.3 AZÚCAR REDUCTOR | 21 |
| 1.4 MÉTODO DE LAS 5 M'S | 22 |
| 2. METODOLOGÍA | 24 |
| 2.1 CARACTERIZACIÓN | 24 |
| 2.1.1 Cantidad de celulosa | 25 |
| 2.1.2 Densidad aparente | 26 |
| 2.1.3 Densidad real | 26 |
| 2.1.4 Humedad | 26 |
| 2.1.6 Tamizaje | 27 |
| 2.2 OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE LA CASCARILLA DEL CAFÉ | 27 |
| 2.2.1 Método para obtener la celulosa | 28 |
| 2.2.2 Cantidad de celulosa por medio del método descrito por UpDegraff | 28 |
| 2.3 MATERIALES Y MÉTODOS | 29 |
| 2.3.1 Caracterización de la materia prima | 29 |
| 2.3.1.1 Método de Van Soest | 29 |
| 2.3.1.2 Determinación de la densidad aparente | 31 |
| 2.3.1.3 Determinación de la densidad real | 31 |
| 2.3.1.4 Determinación de humedad de la muestra | 32 |
| 2.3.1.5 Procedimiento de molienda | 32 |
| 2.3.1.6 Procedimiento de tamizado | 33 |
| 2.3.2 Obtención de la celulosa | 36 |
| 3. RESULTADOS | 46 |
| 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA | 46 |
| 3.2 OBTENCIÓN DE LA CELULOSA | 48 |
| 4. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 52 |
| 4.1 MATERIA PRIMA | 52 |
| 4.1.1 Método Van Soest | 52 |
| 4.1.2 Densidad aparente | 52 |
| 4.1.3 Densidad real | 53 |

| | |
|-------------------------------|----|
| 4.1.4 Humedad | 53 |
| 4.1.5 Tamizado | 54 |
| 4.2 HIDRÓLISIS BASICA | 55 |
| 4.2.1 UpDegraff | 55 |
| 5. EVALUACIÓN DE COSTOS | 58 |
| 5.1 COSTO DE MATERIA PRIMA | 59 |
| 5.2 COSTO DE REACTIVOS | 59 |
| 5.3 COSTO DE PLANTA Y EQUIPOS | 60 |
| 5.4 COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN | 61 |
| 5.5 ANÁLISIS DE LA DEMANDA | 61 |
| 6. CONCLUSIONES | 63 |
| 7. RECOMENDACIONES | 64 |
| BIBLIOGRAFÍA | 65 |
| ANEXOS | 70 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | pág. |
|---|-------------|
| Ilustración 1. Partes del grano de café. | 21 |
| Ilustración 2. Estructura de un azúcar reductor. | 22 |
| Ilustración 3. Cascarilla de café. | 24 |
| Ilustración 4. Mecanismo general de acción de la hidrólisis alcalina para | 28 |
| Ilustración 5. Método de Van Soest | 30 |
| Ilustración 6. Método de la probeta. | 31 |
| Ilustración 7. Operación unitaria (tamizaje) | 35 |
| Ilustración 8. Tamices utilizados en la caracterización. | 35 |
| Ilustración 9. Montaje de reflujo para la hidrólisis alcalina. | 37 |
| Ilustración 10. Reacción de la lignina con NaOH (ac). | 37 |
| Ilustración 11. Reacciones de la glucosa. | 38 |
| Ilustración 12. Campana de extracción utilizada en el método UpDegraff. | 39 |
| Ilustración 13. Baño María utilizado en el método UpDegraff. | 39 |
| Ilustración 14. Centrifuga utilizada para el método de UpDegraff. | 40 |
| Ilustración 15. Horno utilizado en el método de UpDegraff. | 40 |
| Ilustración 16. Hidrólisis ácida de la celulosa. | 41 |
| Ilustración 17. Muestras con el método fenol-sulfúrico. | 41 |
| Ilustración 18. Espectrofotómetro utilizado en el método UpDegraff. | 42 |
| Ilustración 19. Muestra antes de dilución. | 42 |
| Ilustración 20. Muestras después de estar a 30°C por 14 horas. | 43 |
| Ilustración 21. Muestras segunda experimentación después de la solución | 44 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 22. Muestras antes de dilución con ácido sulfúrico. | 44 |
| Ilustración 23. Reacción método fenol - sulfúrico. | 45 |
| Ilustración 24. Espectrofotómetro segundas muestras. | 45 |
| Ilustración 25. Diagrama de bloques del proceso para la obtención de celulosa. | 58 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1. Componentes Bioquímicos del forraje. | 25 |
| Tabla 2. Equivalencia de tamices hasta abertura de 500 μm . | 33 |
| Tabla 3. Continuación equivalencia de tamices. | 34 |
| Tabla 4. Resultados de la prueba de VAN SOEST | 46 |
| Tabla 5. Propiedades de la materia prima I | 46 |
| Tabla 6. Propiedades de la materia prima II | 47 |
| Tabla 7. Datos después del tamizado: cuarteo I | 47 |
| Tabla 8. Datos después del tamizado: cuarteo II | 48 |
| Tabla 9. Cuantificación de celulosa por método descrito por UpDegraff. | 48 |
| Tabla 10. Cuantificación de celulosa por método descrito por UpDegraff, réplica. | 48 |
| Tabla 11. Cuantificación de celulosa por método descrito por UpDegraff.2 | 49 |
| Tabla 12. Cuantificación de celulosa por método descrito por UpDegraff, réplica. | 49 |
| Tabla 13. Precio unitario por insumo para hidrólisis. | 59 |
| Tabla 14. Precio unitario por reactivo para análisis por UpDegraff. | 59 |
| Tabla 15. Total costos por reactivos. | 60 |
| Tabla 16. Equipos necesarios para la realización de la propuesta. | 60 |
| Tabla 17. Costos de producción. | 61 |
| Tabla 18. Comparación entre los costos y la venta del producto. | 61 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | pág. |
|---|-------------|
| Gráfica 1. Tamizaje previo a la molienda. | 54 |
| Gráfica 2. Tamizaje después de la molienda. | 55 |
| Gráfica 3. Promedio primeros resultados. | 55 |
| Gráfica 4. Promedio segundos resultados. | 56 |
| Gráfica 5. Cantidad demandada. | 62 |

LISTA DE ECUACIONES

| | pág. |
|---|-------------|
| Ecuación 1. Densidad aparente. | 31 |
| Ecuación 2. Diferencia de volúmenes. | 31 |
| Ecuación 3. Porcentaje materia seca. | 32 |
| Ecuación 4. Porcentaje de humedad despejado. | 32 |
| Ecuación 5. Ejemplo de cálculo densidad aparente. | 46 |
| Ecuación 6. Conversión de moléculas a moles. | 50 |
| Ecuación 7. Conversión de moles a gramos. | 50 |
| Ecuación 8. Conversión de g celulosa por g glucosa a g celulosa por mL sln. | 50 |
| Ecuación 9. Obtención de la masa de celulosa en el proceso a 212.5 minutos. | 50 |
| Ecuación 10. Cálculo de rendimiento del proceso. | 51 |
| Ecuación 11. Cálculo de rendimiento para la obtención de celulosa. | 51 |
| Ecuación 12. Calculo de gramos de celulosa a obtener. | 59 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|--|-------------|
| Anexo A. Procedimiento de van soest. | 72 |
| Anexo B. Resultados del análisis de van soest. | 74 |
| Anexo C. Curva de glucosa. | 75 |
| Anexo D. Resultados método fenol-sulfúrico. | 77 |
| Anexo E. Datos de seguridad. | 84 |

ABREVIATURAS

FDN: Fibra detergente neutra

FDA: Fibra detergente ácida

V: Volumen

V_o: Volumen inicial

V_f: Volumen final

mJ: Milijulios

g: Gramos

mL: Mililitros

min: Minutos

cm: Centímetros

% p/p: Porcentaje peso – peso

rpm: Revoluciones por minuto

μL: Microlitros

nm: Nanómetros

ρ_{apa}: Densidad aparente

GLOSARIO

CELULOSA: es un polímero natural, constituido por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos.

COLORIMETRÍA: técnica que utiliza un haz de luz monocromática a través de una muestra líquida para medir la intensidad del haz luminoso emergente.

FIBRA DETERGENTE ÁCIDA (FDA): es el residuo que queda de someter a la fibra detergente neutro a una solución de detergente ácido.

FIBRA DETERGENTE NEUTRA (FDN): medida que incluye la concentración de celulosa, hemicelulosa, lignina, cutina y sílice.

GLUCOSA: es un monosacárido, significa que tiene una estructura simple que no se puede descomponer más.

HIDRÓLISIS: es la reacción de descomposición de una sustancia orgánica por acción del agua.

LIGNINA: es un polímero de naturaleza aromática con alto peso molecular que tiene como base estructural unidades de fenol-propano.

RESUMEN

La cascarilla de café también conocida como endocarpio, es un revestimiento cartilaginoso de color blanco amarillento, aproximadamente de 100 micrómetros de espesor¹, constituido por la piel plateada y el cisco. Es uno de los subproductos de la industria cafetera, con muy buenas propiedades combustibles, dado que 17.90 mJ/Kg². Para caracterizar una muestra de este subproducto se utilizó el análisis de Van Soest, las densidades aparente y real, y dos operaciones unitarias, tamizaje y molienda.

Como siguiente paso se utilizó NaOH para realizarle a la muestra una hidrólisis básica a una concentración de 15% p/p, a una relación 1:9 y a temperatura de aproximadamente 100°C, variable que se controló por medio de la plancha de calentamiento utilizada en este proceso, tomando 10 tiempos desde los 20 minutos hasta los 240 minutos y realizando una réplica por cada tiempo.

Para poder evaluar el procedimiento se cuantificó la celulosa de forma indirecta por el método descrito por UpDegraff en 1969³, donde se utiliza la técnica de espectrofotometría por medio de la solución fenol-sulfúrico para obtener la concentración de glucosa en celulosa por masa seca, en litro de solución. En donde se observa que los mejores tiempos para trabajar la hidrólisis alcalina con esta materia son desde los 45 minutos hasta los 213 minutos y realizando el proceso de cuantificación con dilución en ácido sulfúrico.

PALABRAS CLAVE: Celulosa obtenida de la cascarilla del café, Análisis de Van Soest a la cascarilla de café, Método UpDegraff para hidrólisis alcalina.

¹ ARCILA, Jaime. "Establecimiento del cafetal". Cap. 4. Establecimiento y administración del cafetal. Colombia. Características de la semilla. p. 89.

² FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. "Los subproductos del café: fuente de energía renovable". Avances técnicos 393 CENICAFÉ. Cisco de café. p. 4.

³ GALARZA, Marcelo. "Historia de la celulosa. Ensayo de un material que contiene celulosa". p. 4.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad colombiana existe una fuerte tendencia hacia lo ambientalmente amigable, dando paso a la utilización de algunos residuos obtenidos de procesos como la trilla del café, por ejemplo centrarse en la utilización de la cascarilla como fuente de azúcares, minerales y fibras, asimismo como fuentes alternativas de energía renovable (aceite de biodiesel y bioetanol) y como materiales de electrodo⁴, sin embargo no se ha desarrollado algún método para la utilización eficaz de la materia prima a trabajar. Es por tal motivo que se quiere con este proyecto analizar la factibilidad de la obtención de celulosa a partir de cascarilla de café, dado que la obtención de celulosa no se ha realizado anteriormente con esta materia prima y en la industria papelera se consigue de la madera, proceso que ayuda a la deforestación del país.

El análisis de Van Soest clasifica los alimentos por medio del contenido de fibra vegetal que tienen. Esto para saber si el alimento que se analiza es apto para brindarle todos los componentes nutricionales necesarios para los rumiantes a los que se les da dicho alimento.

La hidrólisis alcalina es la reacción de descomposición de la materia orgánica por acción del agua y una base fuerte, sometida a altas temperaturas, para romper las cadenas carbonadas y en este caso reducir los carbohidratos complejos a monosacáridos cuantificables por el método propuesto.

Este documento registra los resultados a nivel laboratorio de la hidrólisis básica, con hidróxido de sodio, para la degradación de la fibra vegetal para obtener celulosa. Con esta evaluación se propone una alternativa para la utilización de la cascarilla de café diferente a las propuestas presentadas anteriormente.

⁴ El sol de Tulancingo. "Cascarilla de café tiene varios usos". El sol de México. Tulancingo, México. Abril, 2012. [En línea] Disponible en: <<http://www.oem.com.mx/elsoldemexico/notas/n2492180.htm>>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la obtención celulosa a partir de la cascarilla del café mediante hidrólisis básica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ♣ Caracterizar el contenido de fibra vegetal de la cascarilla del café.
- ♣ Evaluar el proceso de obtención de celulosa a partir de hidrólisis básica.
- ♣ Estimar el costo total del proceso de obtención de celulosa en laboratorio.

1. MARCO TEÓRICO

Es importante la utilización de residuos provenientes de la agricultura como acción que contribuya a frenar el deterioro del medio ambiente, por esta razón se han creado nuevos incentivos para que agricultores y empresas de diferentes sectores le den alguna utilidad a los residuos que generan, como la disminución en algunos impuestos, además de ahorrar en costos para poder desechar los residuos. Esto conlleva a la implementación de nuevas tecnologías para fabricar subproductos que generan mayores ganancias y menores desperdicios. Este proyecto evalúa un método que utiliza el residuo de la trilla del café para obtener celulosa.

1.1 CASCARILLA DEL CAFÉ

La cascarilla del café es un residuo de la operación unitaria conocida como trilla, la trilla es un proceso industrial que consiste en someter al grano de café a un procedimiento de descascarado para tener como resultado café verde como se le conoce comúnmente en el mercado. Este proceso se realiza al grano antes de ser tostado o convertido en café molido para consumo humano.

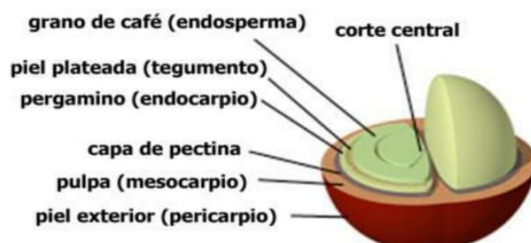
Como resultado de esta operación se obtienen dos subproductos y como se mencionó antes el café verde. Los dos residuos son el cisco o cascarilla e impurezas obtenidas dentro del descascarado inicial.

El endocarpio del fruto, está constituido por la cascarilla también conocida como cisco y la película plateada. El cisco es un subproducto con excelentes propiedades combustibles. Representa en peso el 4.92%⁵ del fruto seco, para este subproducto se reporta una capacidad calorífica de 17.90 mJ/Kg⁶.

⁵ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. "Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio". Avances técnicos 393 CENICAFÉ. Resultados y discusión. 2008. p. 7

⁶ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. "Los subproductos del café: fuente de energía renovable. 3. Avances técnicos 393 CENICAFÉ. Cisco de café. p. 5.

Ilustración 1. Partes del grano de café.



Fuente: Nuestro café. "Significado del café". [En línea] Disponible en:
<http://www.nuestrocafe.com/opcion/conocer_el_cafe_17.php>

1.2 HIDRÓLISIS ALCALINA

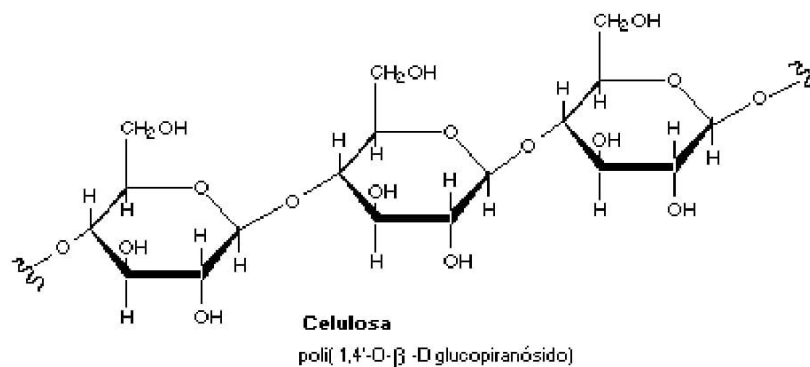
Para aislar la lignina del material lignocelulósico se puede realizar mediante una variedad de métodos que implican diferentes procesos mecánicos y/o químicos. Estos métodos se pueden agrupar en dos vías principales. El primer grupo incluye métodos en los que se libera la celulosa y hemicelulosa mediante solubilización, dejando la lignina como residuo insoluble; mientras que el segundo grupo incluye métodos que implican la disolución de la lignina, dejando como residuos insolubles la celulosa y la hemicelulosa, seguido de la recuperación de lignina a partir de la fase líquida. En la investigación propuesta en este trabajo se realizará el primer grupo por medio del método del hidróxido de sodio (sosa).

1.3 AZÚCAR REDUCTOR

Los reductores se distinguen debido a que sus grupos aldehídos o cetonas libres, poseen la propiedad de reducir fácilmente las soluciones alcalinas de muchas sales metálicas, tales como las de cobre, plata, bismuto, mercurio y hierro.⁷

⁷ ECURED. "Carbohidratos. Clasificación de los azúcares". Marzo de 2017. [En línea] Disponible en:
< <https://www.ecured.cu/Carbohidrato>>

Ilustración 2. Estructura de un azúcar reductor.



Fuente: Laboratorios de Bioquímica. "Azúcares reductores. Hidratos de carbono o carbohidratos".
Enlaces Beta. 2014. [En línea] Disponible en:
<<https://sites.google.com/site/bioqlaboratorios/azucars-reductores>>

1.4 MÉTODO DE LAS 5 M'S

Este método consiste en el análisis de un error basándose en 5 factores que alteran el proceso. El primero de ellos es la máquina, para analizar si el error es producto del equipo o maquina utilizada, se debe observar las entradas y salidas de este, su funcionamiento de principio a fin y sus parámetros de configuración o calibración.

El segundo factor que se debe analizar es el método, al ser un proceso nuevo existen variables como el conocimiento o la tecnología que pueden cambiar a lo largo del tiempo. Puede que un sistema válido anteriormente, en el momento a utilizarse no sea efectivo.

El tercer factor a analizar es la mano de obra, este puede surgir a medida que el proceso se lleva a cabo y al no ser informado el error en el momento que se dio, este afecta todo el proceso. Surge también por la falta de experiencia de la persona que está llevando a cabo el proceso.

El cuarto factor que analiza el método es el medio ambiente, las condiciones ambientales pueden alterar el proceso, estas pueden ser condiciones climáticas como la temperatura o presión, pueden variar los resultados obtenidos.

El quinto y último factor que se debe analizar es la materia prima, un buen manejo de la materia prima a utilizar dentro del proceso, así como una buena trazabilidad

dentro de la cadena productiva, reducirá o ayudará a encontrar el error que se da en el proceso que se está analizando.

2. METODOLOGÍA

Este capítulo muestra algunos métodos para caracterizar la materia prima con datos como la cantidad de celulosa en el residuo, la densidad aparente y real, la humedad y un proceso de tamizaje y molienda con el fin de obtener una dispersión mínima en las características de la materia a utilizar. También se muestra el proceso para obtener celulosa a partir del residuo de la trilla de café, donde se realiza una hidrólisis alcalina y cuantificación del producto siguiendo el método descrito por UpDegraff⁸.

2.1 CARACTERIZACIÓN

La materia prima es el recurso natural que se utiliza dentro de un proceso para obtener un producto, para esto se debe realizar tratamientos previos al procedimiento de transformación, que pueden ser, físicos o químicos.

Ilustración 3. Cascarilla de café.



⁸ GALARZA. Op. Cit., pág. 4.

2.1.1 Cantidad de celulosa. Para obtener esta característica se realiza un análisis de forrajes de Van Soest, el cual consiste en separar la materia seca en dos por medio de detergentes, que son contenido celular y pared celular. Dado que para el proyecto solo es importante la composición de la pared celular, por lo que se puede evidenciar en la tabla 1.

Tabla 1. Componentes Bioquímicos del forraje.

| Componente | Nivel de utilización | Factores que limitan la utilización por el animal |
|--------------------------|----------------------|---|
| Contenido celular | | |
| ♣ Carbohidratos solubles | 100 | Consumo. |
| ♣ Almidón | 90+ | Velocidad de paso, consumo. |
| ♣ Ácidos orgánicos | 100 | Consumo y toxicidad. |
| ♣ Proteína | 90+ | Fermentación. |
| ♣ Pectina | 98 | Fermentación. |
| Pared celular | | |
| ♣ Celulosa | Variable | Lignificación, cutinización y silificación. |
| ♣ Hemicelulosa | Variable | Lignificación, cutinización y silificación. |
| ♣ Lignina, cutina | Indigestible | Limita el uso de pared celular. |

Fuente: LUCIO, Mateo. "Análisis de la composición celular (método Van Soest)". 2014. [En línea] Disponible en: <https://prezi.com/b-n5mr1_cq2s/análisis-de-la-composición-celular-método-van-soest/>

"El método de análisis de alimentos de Van Soest, se originó con el objetivo de buscar una mejor alternativa para determinar la fracción de fibra cruda en los forrajes utilizados para alimentación de rumiantes, donde la cantidad y la calidad nutricional de la fibra es muy importante." ⁹

Lo primero que se determina es el contenido celular por medio de la digestión en detergente neutro, este método determina la proteína, el almidón, algunos azúcares, ácidos orgánicos y pectina, incluidos en el contenido celular y la FDN donde se encuentra la hemicelulosa, la celulosa y la lignina de la materia seca a trabajar. Lo segundo es la separación de la hemicelulosa por medio de la digestión en detergente ácido donde se obtiene como residuo la celulosa y la lignina, como producto la FDA. Por último se separa la lignina de la celulosa por medio de hidrólisis utilizando ácido sulfúrico, aunque en esta fracción aparece el Sílice y después el porcentaje de celulosa, obtenido por medio de incineración.

⁹ BRAUTIGAN, Ileana. "Nutrición Animal". Costa Rica: EUNED, 2007, p. 18.

2.1.2 Densidad aparente. Este procedimiento se lleva a cabo mediante la determinación de la masa de la materia prima en una cantidad de volumen conocido, con o sin espacios vacíos.

Generalmente los poros se encuentran llenos y dificultan la determinación del volumen y de la masa real a la hora de calcular su densidad.

Esta densidad se determina para conocer algunas propiedades del material a trabajar, como la porosidad, el grado de aireación, la capacidad de infiltración y la compactación.

Según referencias bibliográficas esta propiedad de la cascarilla de café, también conocido como cisco, tiene un promedio de 0.33 g/cm^{310} , lo que puede variar de acuerdo al tipo de café utilizado en la prueba.

2.1.3 Densidad real. Se le conoce como la relación entre la masa de un material y el volumen real de dicho material, es decir, omitiendo el volumen de porosidad interna y externa de éste.

Dado que para determinar la densidad se necesita obtener el volumen, el que se calculará será el volumen aparente, que es el volumen que desplaza el material cuando se sumerge en un líquido, donde se suma el volumen del material y del volumen del poro cerrado por el líquido en el que se sumerge el material.

2.1.4 Humedad. El contenido de humedad de una masa de materia, está formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

Se determina basándose en la pérdida de peso de la muestra por calentamiento, generalmente en una estufa, refiriendo su peso al peso total de la muestra y expresada como porcentaje.

La importancia de la determinación de la humedad de un material representa una de las características que pueden afectar el comportamiento de este, por ejemplo la estabilidad mecánica.

2.1.5 Molienda. La molienda por otro lado consiste en la reducción de tamaño de las partículas sólidas, especialmente granos o frutos, golpeándola con algo o frotándola entre dos piezas duras hasta reducirla a trozos muy pequeños, a polvo o a líquido.

¹⁰ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS. "Generalidades de la cadena agroproductivas del café. Propiedades de la cascarilla del café". 2016. p. 2-3

2.1.6 Tamizaje. El tamizado es una operación unitaria, método por el cual se pueden separar sólidos por la diferencia de tamaño de partículas. Este proceso se da por medio de la utilización de mallas y movimientos vibratorios del equipo utilizado, estas mallas difieren entre sí en el tamaño de las aberturas que tiene cada una.

2.2 OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE LA CASCARILLA DEL CAFÉ

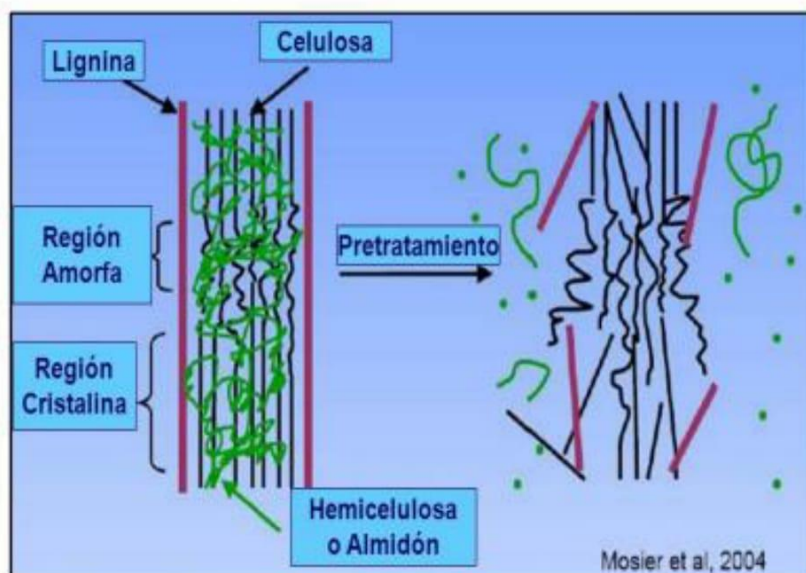
Dado que las soluciones que ya se tienen para utilizar la cascarilla, son procedimientos bastante utilizados, por ejemplo centrarse en la utilización de esta como fuente de azúcares, minerales y fibras¹¹ en los cuales no se utiliza esta de manera eficaz. Se presenta esta idea para la utilización de este residuo de forma diferente a lo que los caficultores con los que se va a trabajar llevan haciendo.

Utilizando para el proceso de obtención hidróxido de sodio para realizar una hidrólisis básica y observar el comportamiento de la materia prima con este método y la cantidad del producto que se quiere obtener.

¹¹ PUERTA-QUINTERO, Gloria Inés; RÍOS-ARIAS, Sara. "Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración". Cenicafé. 2011. p. 23-40.

2.2.1 Método para obtener la celulosa. El método de sosa es un proceso para la obtención de celulosa mediante el tratamiento de cualquier fuente disponible de celulosa, principalmente materiales lignocelulósicos de desecho o de reciclado, pulpas de madera, pulpas no leñosas, pulpas kraft y grado papel, pulpas de grado de disolución química, y mezclas de las mismas, con hidróxido de sodio a una concentración del 15 al 26 % en peso a una temperatura de aproximadamente 50 a 105 °C, por un período de aproximadamente 20 a 240 minutos¹², en donde las propiedades y pureza de los derivados o productos no se afectan adversamente. Como se puede observar en la ilustración 4.

Ilustración 4. Mecanismo general de acción de la hidrólisis alcalina para materiales lignocelulósicos.



Fuente: VÁZQUEZ, Oscar. "Etanol lignocelulósico, a partir de cascarilla de café, por medio de hidrólisis química-enzimática y fermentación". Tesis que para obtener el grado de maestro en Ingeniería Energética. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz. Marzo, 2015. p. 27.

2.2.2 Cantidad de celulosa por medio del método descrito por UpDegruff

El contenido de celulosa obtenido después de la hidrólisis básica se cuantifica por el método descrito por UpDegruff en 1969¹³, donde se disuelve la solución obtenida en el método anterior, en ácido acético y nítrico para remover la lignina, hemicelulosa y xylosanos, y así eliminar los elementos que pueden interferir en la

¹² GENERAN, Flor. "Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*) y papa (*Solanum tuberosum*) variedad diacol capiro (r-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos". Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Duitama. 2013. p. 19-36.

¹³ GALARZA. Op. Cit., pág. 4.

cuantificación del producto. Este método es una técnica indirecta en la cual se representa la celulosa por la discrepancia entre la fibra ácido detergente y lignina ácido detergente.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la caracterización y posteriormente hidrólisis de la materia prima, es necesario seguir la metodología presentada a continuación con las respectivas cantidades de reactivos y equipos a utilizar.

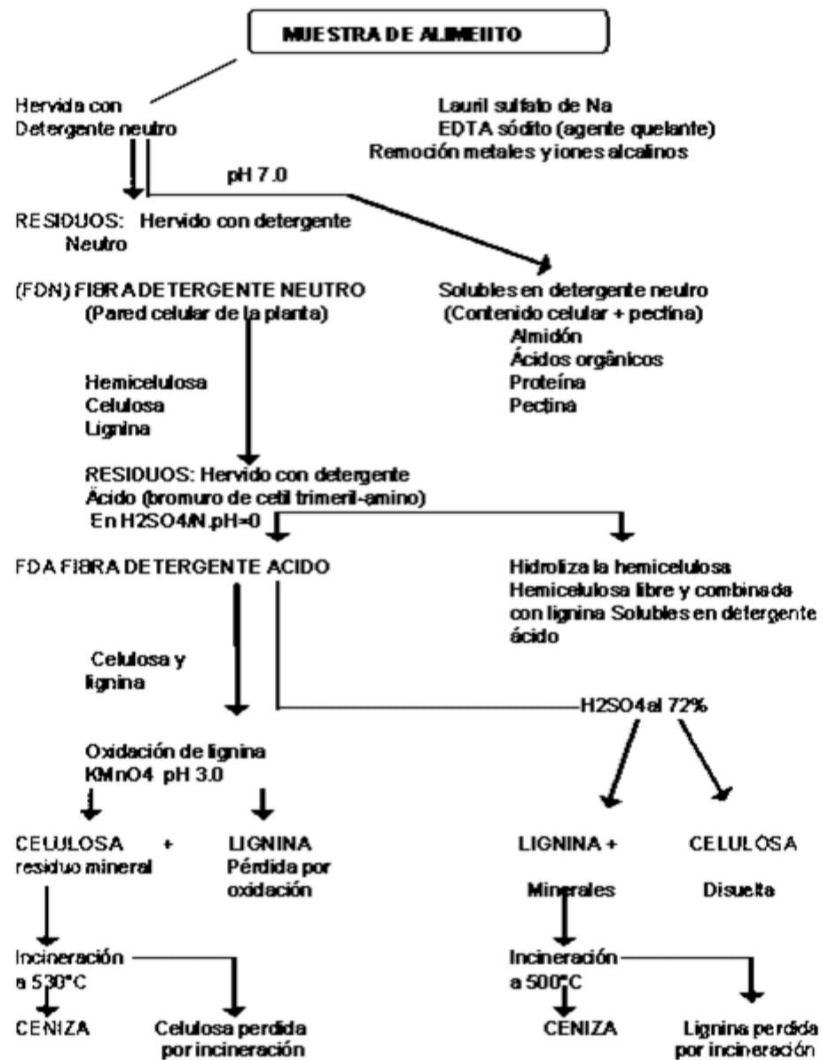
2.3.1 Caracterización de la materia prima. La caracterización de la materia prima se realiza siguiendo una estructura con varios métodos, comenzando con el análisis de Van Soest, continuando con la determinación de la densidad aparente y la densidad real, determinación del grado de humedad, y los procesos de tamizaje y molienda.

El proyecto se lleva acabo siguiendo esta estructura para demostrar la calidad de la materia prima que se utiliza en el trabajo, los procedimientos se describen a continuación.

2.3.1.1 Método de Van Soest. Se debe tener en cuenta que el procedimiento fue realizado por el laboratorio de nutrición animal de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, institución que realiza este proceso como parte de la formación académica de algunos de sus estudiantes, ofreciendo también el servicio a personas externas de la institución, como es el caso de este proyecto, y dado a su experiencia y por motivos económicos, es mejor que la institución realice esta prueba de caracterización.

El método se lleva a cabo siguiendo de forma similar los parámetros que se muestran en la siguiente ilustración.

Ilustración 5. Método de Van Soest



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. "Análisis de forrajes de Van Soest". 2011. [En línea] Disponible en: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201111/EXENUTRIANIMAL/MODULO/van_soest_grafica.JPG>

2.3.1.2 Determinación de la densidad aparente. La determinación de la densidad aparente se calcula pesando el material seco y el volumen ocupado por esta masa seca, el resultado de la relación entre estos dos datos se le denomina densidad aparente ya que incluye el volumen de los espacios entre partículas.

Este procedimiento se realiza siguiendo la ecuación que se muestra a continuación:

Ecuación 1. Densidad aparente

$$\text{Densidad}_{\text{aparente}} = \frac{\text{Masa}_{\text{muestra con espacios}} - \text{Masa}_{\text{vaso vacío}}}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Fuente: FLORES, Hugo; FRABOTTA, Daniela. "Determinación de densidad aparente en aglomerado aislante". Universidad Nacional del Litoral. 2016. [En línea] Disponible en: <http://fich.unl.edu.ar/CISDAV/upload/Ponencias_y_Posters/Eje03/Flores_Frabotta_Retamar_Orue_Belis_Schneider/DETERMINACION%20DE%20DENSIDAD%20APARENTE%20EN%20AGLOMERADO%20AISLANTE.pdf>

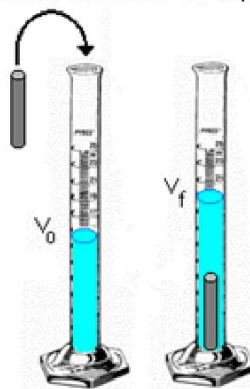
2.3.1.3 Determinación de la densidad real. Método de la probeta consiste en sumergir el sólido con cuidado y completamente en una probeta que contiene un volumen conocido de agua (V_0). Luego de sumergido el material se lee el volumen final (V_f). El volumen del sólido corresponde a la diferencia:

Ecuación 2. Diferencia de volúmenes.

$$V = \Delta V = V_f - V_0$$

Con los datos obtenidos se puede determinar la densidad real

Ilustración 6. Método de la probeta.



Fuente: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. "Determinación de la densidad por el método de la probeta". Densidad de sólidos. 2016. [En línea] Disponible en: <<http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslaboratorio/02practicasypracticas/practica02.htm>>

2.3.1.4 Determinación de humedad de la muestra. Dado que en la determinación del porcentaje inicial de celulosa de la materia prima se obtiene el porcentaje de materia seca y de acuerdo a la siguiente ecuación podemos obtener el porcentaje de humedad.

Ecuación 3. Porcentaje materia seca.

$$\% \text{ materia seca} = 100 \% - \% \text{ humedad}$$

Fuente: RAMÍREZ; Hugo. "¿De qué hablan cuando dicen materia seca?". Producción animal. Nutriólogo. Celaya, Guanajuato, México. 2011. [En línea] Disponible en: < http://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/42-Materia_Seca.pdf >

Por lo tanto:

Ecuación 4. Porcentaje de humedad despejado.

$$\% \text{ humedad} = 100 \% - \% \text{ materia seca}$$

2.3.1.5 Procedimiento de molienda. Lo primero que se debe realizar es revisar el funcionamiento del molino, lo siguiente a realizar es colocar la malla del molino. Después de esto se pone en funcionamiento el molino y se cronometra el tiempo. Posteriormente, se recoge el material y se pesa en la balanza. Por último, se toma una pequeña muestra de 120 gramos del material que salió del molino para realizarle tamizaje por cinco minutos y pesar el contenido de cada tamiz. Se debe tener en cuenta que la materia prima utilizada en el procedimiento está seca y que el molino utilizado fue un molino de bolas con malla 100.

2.3.1.6 Procedimiento de tamizado. Lo primero que se debe realizar es un muestreo para tomar 120 gramos aproximadamente para tamizar, se selecciona la serie y cinco tamices de acuerdo a la inspección visual del material, teniendo en cuenta las tablas 2 y 3 con respecto al diámetro de partícula del material.

Tabla 2. Equivalencia de tamices hasta abertura de 500 μm .

| <i>Internacional 565 (TLB2): 1983</i> | <i>ISO</i> | <i>EE.UU. ASTM E 11-87</i> | <i>TYLER Standard screen 1910</i> | <i>BRITANICO 410: 1985</i> | <i>BS</i> |
|---|---------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|-----------|
| <i>Apertura nominal milímetros/micrones</i> | <i>Equivalente Malla N°</i> | <i>Equivalente Malla N°</i> | <i>Equivalente Malla N°</i> | <i>Equivalente Malla N°</i> | |
| 8.00 | - | - | 2½ | - | |
| 6.70 | - | - | 3 | - | |
| 6.30 | 3 | - | - | - | |
| 5.60 | 3½ | - | 3½ | 3 | |
| 4.75 | 4 | - | 4 | 3½ | |
| 4.00 | 5 | - | 5 | 4 | |
| 3.35 | 6 | - | 6 | 5 | |
| 2.80 | 7 | - | 7 | 6 | |
| 2.36 | 8 | - | 8 | 7 | |
| 2.00 | 10 | - | 9 | 8 | |
| 1.70 | 12 | - | 10 | 10 | |
| 1.40 | 14 | - | 12 | 12 | |
| 1.18 | 16 | - | 14 | 14 | |
| 1.00 | 18 | - | 16 | 16 | |
| 850 μM | 20 | - | 20 | 18 | |
| 710 | 25 | - | 24 | 22 | |
| 600 | 30 | - | 28 | 25 | |
| 500 | 35 | - | 32 | 30 | |

Fuente: RAMIREZ; Iván. "Operaciones unitarias en ingeniería química". Universidad de América. 2014. [En línea] Disponible en: <<https://ucatedraivan.files.wordpress.com/2014/08/equivalencia-de-tamices.pdf>>

Tabla 3. Continuación equivalencia de tamices.

| <i>INTERNACIONAL</i> <i>ISO 565 (TLB2):</i> <i>1983</i> | <i>EE.UU.</i> ASTM E 11-87 | <i>TYLER</i> Standard screen 1910 | <i>BRITANICO</i> <i>BS</i> <i>410: 1985</i> |
|---|---|---|---|
| <i>Apertura nominal</i> <i>milímetros/micrones</i> | <i>Equivalente</i> <i>Malla N°</i> | <i>Equivalente</i> <i>Malla N°</i> | <i>Equivalente</i> <i>Malla N°</i> |
| 425 | 40 | 35 | 36 |
| 355 | 45 | 42 | 44 |
| 300 | 50 | 48 | 52 |
| 250 | 60 | 60 | 60 |
| 212 | 70 | 65 | 72 |
| 180 | 80 | 80 | 85 |
| 150 | 100 | 100 | 100 |
| 125 | 120 | 115 | 120 |
| 106 | 140 | 150 | 150 |
| 90 | 179 | 170 | 170 |
| 75 | 200 | 200 | 200 |
| 63 | 230 | 250 | 240 |
| 53 | 270 | 270 | 300 |
| 45 | 325 | 325 | 350 |
| 38 | 400 | 400 | 400 |
| 32 | 450 | - | 440 |
| 25 | 500 | - | - |
| 20 | 635 | - | - |

Fuente: RAMIREZ; Iván. "Operaciones unitarias en ingeniería química". Universidad de América. 2014. [En línea] Disponible en: <<https://ucatedraivan.files.wordpress.com/2014/08/equivalencia-de-tamices.pdf>>

Se colocan los tamices en el correcto orden incluyendo el fondo, como se muestra en las imágenes 6 y 7, se adiciona la muestra del material al primer tamiz y se coloca la tapa, el tamizado se efectúa durante 5 minutos. Al finalizar se observa que no haya excesiva acumulación en la primera o última malla, si esto ocurre hay que ajustar las mallas de acuerdo a la necesidad del material y volver a tamizar. Por último se pesa el material en cada tamiz. Este procedimiento se llevó a cabo en los laboratorios del Parque Científico de Innovación Social, de la Universidad Minuto de Dios, sede Cundinamarca. Los tamices utilizados en este proyecto son de mallas estandarizadas o también conocidas como Tyler.

Ilustración 7. Operación unitaria (tamizaje)



Ilustración 8. Tamices utilizados en la caracterización.



2.3.2 Obtención de la celulosa. Este proceso como se mencionó anteriormente se divide en dos procedimientos, el primero es la hidrólisis alcalina en donde se lleva a cabo la obtención de la celulosa y el segundo es la cuantificación de la celulosa para la evaluación del proceso.

2.3.2.1 Hidrólisis básica. La extracción de la celulosa, comprende tratar la materia prima, fuente de alguna cantidad disponible de celulosa y mezclas de las mismas, con hidróxido de sodio a una concentración de 15% en peso, a una temperatura de 100°C¹⁴, a presión atmosférica, con una relación 1:10¹⁵ (cascarilla de café: hidróxido de sodio en solución) y a 20 diferentes tiempos. Realizando un montaje de reflujo para evitar la variabilidad de las condiciones, como la temperatura y el volumen, como se muestra en la ilustración 8. Se debe tener presente que para obtener el hidróxido de sodio a la concentración deseada se realizaron los siguientes cálculos:

$$\% P/P = \frac{\text{masa del soluto (g)}}{\text{masa de solución (g)}} * 100;$$
$$\% P/P = \frac{20.25g}{(20.25g + 114.75g)} * 100 = 15\%$$

Para obtener los tiempos que se utilizan en el proceso se tomaron los tiempos límites, el menor que es 20 minutos y el mayor que es 240 minutos, y se tomó una variable entre tiempos de 27.5 minutos de tal manera que el primero tiempo sería el límite inferior, 20 minutos, el siguiente es ese tiempo más la variación entre tiempos y así sucesivamente.

t₁ = 20 min; t₂ = 47.5 min; t₃ = 75 min; t₄ = 102.5 min; t₅ = 130 min; t₆ = 157.5 min; t₇ = 185 min; t₈ = 185 min; t₉ = 212.5 min; t₁₀ = 240 min.

Los tiempos 7 y 8 son iguales para comparar los dos procedimientos realizados, dado que en el primer procedimiento se realizaron los tiempos 1, 3, 5, 7 y 9, y en el segundo procedimiento se tomaron los tiempos 2, 4, 6, 8 y 10. Por esta razón se midió la concentración de celulosa nuevamente para este tiempo.

¹⁴ MARCANO, Enid; PADILLA, Adriana; CALDERÓN, Daniel. "Obtención de azúcares a partir de celulosa kraft mediante hidrólisis con ácido sulfúrico diluido". Agricultura Andina. vol. 17. Julio - Diciembre 2009. p. 33.

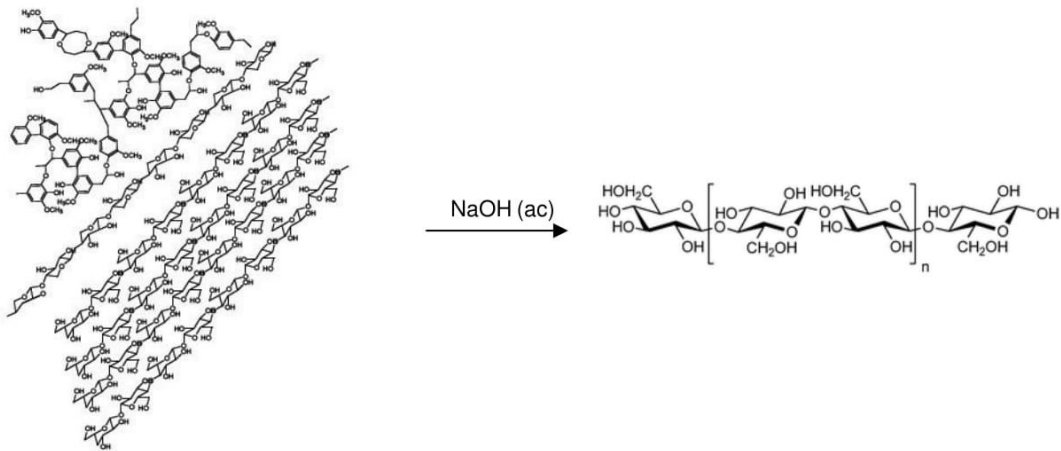
¹⁵ VAZQUEZ, Oscar. Op. Cit., p. 63.

Ilustración 9. Montaje de reflujo para la hidrólisis alcalina.



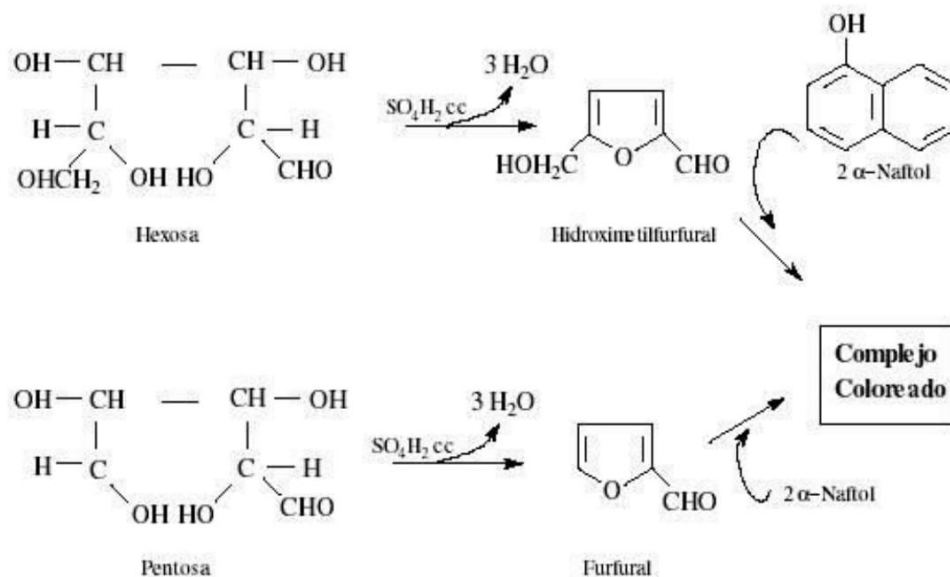
Las reacciones que se dan en este proceso de obtención de celulosa son:

Ilustración 10. Reacción de la lignina con NaOH (ac).



Fuente: MORÁN, Dani. "Modelos de biorrefinería - La biorrefinería lignocelulósica". Modelo de biorrefinería lignocelulósica. Biorefineries Blog. Abril, 2016. [En línea] Disponible en: <<https://biorrefineria.blogspot.com.co/2016/04/modelos-de-biorrefineria-lignocelulosica.html>> Y KOBAYASHI, Hirokazu; OHTA, Hidetoshi; FUKUOKA, Atsushi. "Conversion of lignocellulose into renewable chemicals by heterogeneous catalysis". Catalysis Research Centre, Hokkaido University, Kita 21, Nishi 10 Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, Japan.

Ilustración 11. Reacciones de la glucosa.



Fuente: ALMEZ. "Identificación de azúcares. I. Reacción de Molisch". [En línea] Disponible en: <http://almez.pntic.mec.es/~mbam0000/paginas/LABORATORIOS/azucars.htm>

2.3.2.2 Cuantificación método UpDegraff. Consiste en suspender la muestra, durante 8 minutos aproximadamente, en 500 μL de una solución de ácido acético/ácido nítrico/agua (8/1/2; v/v/v), para retirar la lignina, hemicelulosa y xylosanos que no se logren eliminar o transformar en celulosa. Se debe tener en cuenta que para trabajar con ácidos se debe utilizar una campana de extracción como la que se puede observar en la ilustración 12.

Ilustración 12. Campana de extracción utilizada en el método UpDegraff.



Las muestras fueron sometidas a digestión ácida por 2 horas en un baño maría a una temperatura de aproximadamente 95°C, como se ve en la ilustración 13.

Ilustración 13. Baño María utilizado en el método UpDegraff.



La fracción ácido-insoluble, correspondiente a celulosa en estado cristalino, se recupera por centrifugación a 10.000 rpm por 10 minutos. Como se observa en la ilustración 14.

Ilustración 14. Centrifuga utilizada para el método de UpDegraff.



El precipitado se lava con 1 mL de agua y luego con 1 mL de acetona. Finalmente, las muestras se secan a 30 °C por 14 horas aproximadamente, en un horno como el de la ilustración 15, y resuspendidas en ácido sulfúrico al 67 % (v/v).

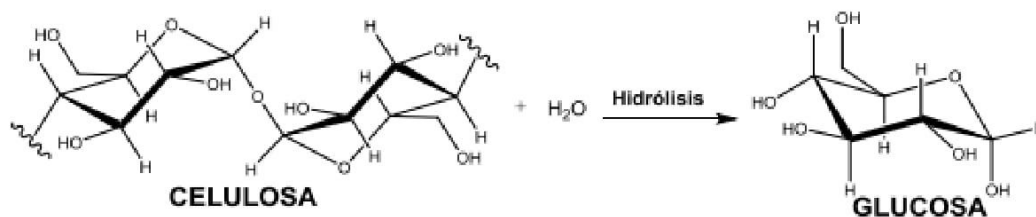
Ilustración 15. Horno utilizado en el método de UpDegraff.



El contenido de celulosa se cuantifica colorimétricamente usando el método de fenol-sulfúrico. Brevemente, se prepara una dilución de la muestra en 400 μL de agua destilada, se adiciona 50 μL de fenol al 5 % (p/v) y finalmente 1 ml de ácido sulfúrico 95 %. Las muestras adquieren un color característico después de este paso como se evidencia en la ilustración 16. Los tubos se agitan vigorosamente y se dejan reposar durante 10 a 15 minutos hasta llegar a la temperatura ambiente. Se cuantifica la absorbancia de las muestras a 490 nm por la técnica de espectrofotometría, como se puede observar en la ilustración 17. El contenido de celulosa se calcula como μg de glucosa contenida en celulosa por mg de peso seco a partir de una curva estándar realizada con una solución de glucosa de concentración conocida.

Esta concentración se obtiene por la siguiente reacción:

Ilustración 16. Hidrólisis ácida de la celulosa.



Fuente: MORALES, Silvia. "Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos". Instituto de Catálisis y Petroleoquímica Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Cap. 3. p. 23. Madrid, 2015.

Ilustración 17. Muestras con el método fenol-sulfúrico.



Ilustración 18. Espectrofotómetro utilizado en el método UpDegraff.



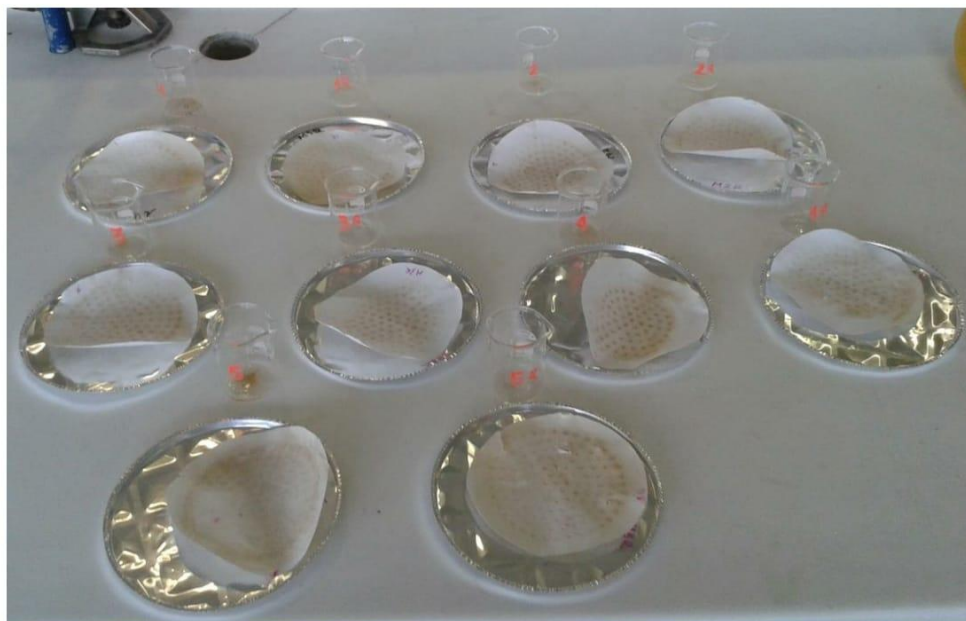
Como las muestras no se leen correctamente por la técnica de espectrofotometría UV, dado que cada muestra presenta interferencia, como se evidencia en la imagen 18, se debe diluir con diferentes factores.

Ilustración 19. Muestra antes de dilución.



Las muestras se sacan del horno en el que se secan durante 14 horas aproximadamente a 30 °C, cada papel filtro se raspa y la materia orgánica obtenida se coloca en un beaker, como se observa en la ilustración 19, para realizarle la correspondiente prueba de cuantificación.

Ilustración 20. Muestras después de estar a 30°C por 14 horas aproximadamente.



En la campana de extracción se agrega el fenol al 5% y el ácido sulfúrico, como se observa en la imagen 21, esto como primer paso para la cuantificación de celulosa. Y para poder realizar la lectura por la técnica de espectrofotometría se debe realizar dilución, en este caso con ácido sulfúrico, como se evidencia en la ilustración 22. La reacción que explica el método fenol sulfúrico es la presentada a continuación en la imagen 23. Y por último se utiliza un espectrofotómetro como se muestra en la imagen 24, para realizar la cuantificación de glucosa en celulosa.

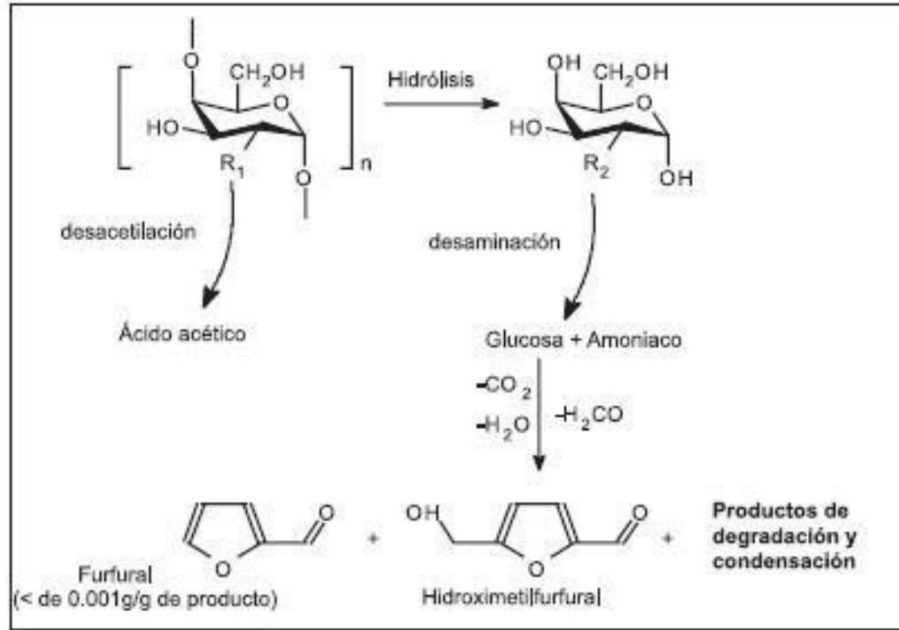
Ilustración 21. Muestras segunda experimentación después de la solución fenol-sulfúrico.



Ilustración 22. Muestras antes de dilución con ácido sulfúrico.



Ilustración 23. Reacción método fenol - sulfúrico.



Fuente: CASTRO VEGA, Alejandro Amadeus; RODRÍGUEZ VARELA, Luis Ignacio y Díaz Velásquez, José de Jesús. "Conversión hidrotérmica subcrítica de residuos orgánicos y biomasa: Mecanismos de reacción". En: INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN. vol. 27, no. 1, p. 41-50

Ilustración 24. Espectrofotómetro segundas muestras.



3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados pertinentes de la experimentación para llevar a cabo los dos primeros objetivos específicos planteados, de acuerdo a la metodología explicada en el capítulo anterior.

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 4 se muestran los resultados de la prueba de Van Soest realizado a 200 gramos de materia prima en base seca.

Tabla 4. Resultados de la prueba de VAN SOEST realizada por la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA

| | |
|---------------------------------|-------|
| % materia seca | 90.17 |
| % fibra detergente ácida | 78.60 |
| % celulosa | 58.83 |
| % lignina | 18.38 |
| % cenizas | 0.70 |
| % materia orgánica | 99.30 |

Ecuación 5. Ejemplo de cálculo densidad aparente.

$$\rho_{apa} = \frac{195_g - 170_g}{100_{mL}} = 0.25g/mL$$

La tabla 5 muestran los resultados de densidad aparente y densidad real de dos muestras. Y en la ecuación 5 se puede observar un ejemplo de cálculo de la densidad aparente.

Tabla 5. Propiedades de la materia prima I

| Propiedades | Muestra 1 | | | Muestra 2 | | |
|--------------------------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|
| | g | mL | g/mL | g | mL | g/mL |
| Densidad aparente | 21 | 100 | 0.21 | 21 | 100 | 0.21 |
| Densidad real | 21 | 50 | 0.42 | 21 | 25 | 0.84 |

La tabla 6 muestran los resultados de densidad aparente y densidad real de dos muestras diferentes a las anteriores.

Tabla 6. Propiedades de la materia prima II

| Propiedades | Muestra 3 | | | Muestra 4 | | |
|-------------------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|
| | g | mL | g/mL | g | mL | g/mL |
| Densidad aparente | 23 | 100 | 0.23 | 25 | 100 | 0.25 |
| Densidad real | 23 | 40 | 0.56 | 25 | 50 | 0.5 |

El porcentaje de humedad se calcula siguiendo la ecuación mencionada en capítulos anteriores y como se muestra a continuación.

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - \% \text{ MASA SECO}$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 100 - 90.17$$

$$\% \text{ HUMEDAD} = 9.83\%$$

En la tabla 7 se muestran los resultados del tamizaje que se realiza previo al proceso de molienda. También se muestran los resultados de las fracciones másicas del tamizaje previo al procedimiento de molienda, los cuales representan la relación entre la cantidad de muestra que se obtiene en un tamiz y la cantidad total de la muestra a la que se le realiza esta operación unitaria.

Tabla 7. Datos después del tamizado: cuarteo I

| Malla | Cantidad (g) | A Efectiva (mm) | DP _I (mm) | X _i |
|-------|--------------|-----------------|----------------------|----------------|
| 8 | 31.68 | 2.36 | 2.18 | 0.2763 |
| 10 | 13.08 | 2.00 | 1.59 | 0.1141 |
| 16 | 39.48 | 1.18 | 0.89 | 0.3443 |
| 30 | 21.19 | 0.60 | 0.425 | 0.1848 |
| 60 | 7.72 | 0.25 | 0.1625 | 0.0673 |
| 200 | 3.42 | 0.075 | 0.069 | 0.0298 |

En la tabla 8 se muestran los resultados del tamizaje que se realiza después del proceso de molienda. También se muestran los resultados de las fracciones másicas del tamizaje después del procedimiento de molienda. Anteriormente se menciona para que se obtienen estos datos.

Tabla 8. Datos después del tamizado: cuarteo II

| Malla | Cantidad (g) | A efectiva (mm) | DP _I (mm) | X _i |
|-------|--------------|-----------------|----------------------|----------------|
| 8 | 5.48 | 2.36 | 2.18 | 0.0458 |
| 10 | 6.88 | 2.00 | 1.59 | 0.0573 |
| 16 | 45.87 | 1.18 | 0.89 | 0.3823 |
| 30 | 31.63 | 0.60 | 0.425 | 0.2637 |
| 60 | 15.92 | 0.25 | 0.1625 | 0.1329 |
| 200 | 8.81 | 0.075 | 0.069 | 0.0736 |

3.2 OBTENCIÓN DE LA CELULOSA

En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos en la primera cuantificación por el método de UpDegraff.

Tabla 9. Cuantificación de celulosa por método descrito por UpDegraff.

| Muestra | Tiempo (min) | [Glucosa] (g/L) | Factor de dilución | de [Glucosa] corregida (g/L) |
|---------|--------------|-----------------|--------------------|------------------------------|
| M1 | 20 | -0,0628 | 25 | -1,57 |
| M2 | 75 | 0,5409 | 33 | 17,8497 |
| M3 | 130 | 0,376 | 33 | 12,408 |
| M4 | 185 | 0,6246 | 33 | 20,6118 |
| M5 | 240 | 0,2574 | 20 | 5,148 |

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos en la cuantificación de celulosa por el método de UpDegraff para las primeras replicas, después del proceso de hidrólisis alcalina de la cascarilla de café.

Tabla 10. Cuantificación de celulosa por método descrito por UpDegraff, réplicas primeras muestras.

| Muestra | Tiempo (min) | [Glucosa] (g/L) | Factor de dilución | de [Glucosa] corregida (g/L) |
|---------|--------------|-----------------|--------------------|------------------------------|
| M1R | 20 | -0,1463 | 20 | -2,926 |
| M2R | 75 | 0,1333 | 33 | 4,3989 |
| M3R | 130 | 0,3764 | 33 | 12,4212 |
| M4R | 185 | 0,2621 | 33 | 8,6493 |
| M5R | 240 | -0,0153 | 20 | -0,306 |

Se puede observar que en las tablas 9 y 10 las concentraciones de glucosa en celulosa por litro de solución en M1, M1R y M5R, son negativas dado que la

concentración es menor al punto de concentración mínima de la curva de calibración.

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos en la segunda cuantificación por el método de UpDegraff.

Tabla 11. Cuantificación de celulosa por método descrito por UpDegraff. Sigüientes tiempos.

| Muestra | Tiempo (min) | [Glucosa] (g/L) | Factor de dilución | de [Glucosa] corregida (g/L) |
|----------------|---------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| M6 | 47,5 | 4,5386 | 10 | 45,3860 |
| M7 | 102,5 | 3,9980 | 10 | 39,9800 |
| M8 | 157,5 | 7,3049 | 5 | 36,5245 |
| M9 | 185 | 4,4758 | 10 | 44,7580 |
| M10 | 212,5 | 7,4439 | 10 | 74,4390 |

En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en la cuantificación de celulosa por el método de UpDegraff para las segundas replicas, después del segundo proceso de hidrólisis alcalina de la materia prima.

Tabla 12. Cuantificación de celulosa por método descrito por UpDegraff, réplicas de los sigüientes tiempos.

| Muestra | Tiempo (min) | [Glucosa] (g/L) | Factor de dilución | de [Glucosa] corregida (g/L) |
|----------------|---------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| M6R | 47,5 | 4,2559 | 5 | 21,2795 |
| M7R | 102,5 | 5,4032 | 5 | 27,0160 |
| M8R | 157,5 | 3,3225 | 5 | 16,6125 |
| M9R | 185 | 2,0714 | 5 | 10,3570 |
| M10R | 212,5 | 2,7487 | 10 | 27,4870 |

El procedimiento se llevó a cabo durante 10 tiempos diferentes, cada uno fue replicado una vez. Además para los cinco últimos tiempos realizados fue necesario efectuar diluciones, como se evidencia en las tablas 11 y 12 con cinco diferentes factores de dilución, dado que al adicionar ácido sulfúrico al material y como difiere en la cantidad de materia orgánica se presentan diferentes grados de interferencia para la lectura en el espectrofotómetro, demostrado en la ilustración 12, 16 y 17.

Para evaluar el proceso de obtención de celulosa a partir de hidrólisis básica, es necesario cuantificar la cantidad de celulosa que se obtiene en el proceso y calcular el rendimiento del mismo. Esto se lleva a cabo sigüiendo las sigüientes ecuaciones:

Se sabe que en cada molécula de celulosa hay 1500 moléculas de glucosa aproximadamente.¹⁶

Ecuación 6. Conversión de moléculas a moles.

$$\frac{1 \text{ molécula celulosa}}{1500 \text{ moléculas glucosa}} * \frac{6.022142 * \frac{10^{23} \text{ moléculas}}{\text{mol}}}{6.022142 * \frac{10^{23} \text{ moléculas}}{\text{mol}}} = \frac{1 \text{ mol celulosa}}{1500 \text{ moles glucosa}}$$

En la ecuación 6 se observa que por medio del número de Avogadro obtenemos la cantidad de moles de glucosa por mol de celulosa.

Ecuación 7. Conversión de moles a gramos.

$$\frac{1 \text{ mol celulosa}}{1500 \text{ moles glucosa}} * \left(\frac{1 \text{ mol}}{180.1559 \text{ g}} \right)_{\text{glucosa}} * \left(\frac{600,000 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right)_{\text{celulosa}} = \frac{2.22 \text{ g celulosa}}{1 \text{ g glucosa}}$$

En la ecuación 7 se puede observar que con el valor de las masas moleculares de cada compuesto, podemos obtener la cantidad de gramos de celulosa¹⁷ por gramo de glucosa.

Ecuación 8. Conversión de g celulosa por g glucosa a g celulosa por mL sln.

$$\frac{2.22 \text{ g celulosa}}{1 \text{ g glucosa}} * \frac{50.9630 \text{ g glucosa}}{1000 \text{ mL sln}} = \frac{0.1132 \text{ g celulosa}}{1 \text{ mL sln}}$$

En la ecuación 8, según el dato experimental obtenido para un tiempo de 212.5 minutos, la concentración de glucosa es 50.9630 gramos de glucosa por litro de solución y dado esto podemos, se obtiene la concentración de celulosa en la muestra tomada a este tiempo.

Ecuación 9. Obtención de la masa de celulosa en el proceso a 212.5 minutos.

$$\frac{0.1132 \text{ g celulosa}}{1 \text{ mL sln}} * 10 \text{ mL sln} = 1.1315 \text{ g Celulosa}$$

¹⁶ UNIVERSIDAD DE SONORA. "Generalidades de la Celulosa". Capítulo 1. Tesis. Celulosa. p. 3. [En línea] Disponible en: <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7206/Capitulo1.pdf>>

¹⁷ PARRY, Robert; DIETZ, Phyllis; STEINER, Luke; TELLEFSEN, Robert. "Química fundamentos experimentales". Guía del profesor. Algunos aspectos de la Bioquímica. Capítulo 22. p. 315. Editorial REVERTE, S.A. Barcelona, España. 1974.

Según estos cálculos y como se puede observar en la ecuación 9, se obtienen 1.1315 gramos de celulosa al final del proceso.

Con este dato podemos calcular el rendimiento del proceso, que correspondería a:

Ecuación 10. Cálculo de rendimiento del proceso.¹⁸

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{masa obtenida experimentalmente}}{\text{masa obtenida por análisis Van Soest}} * 100$$

Ecuación 11. Cálculo de rendimiento para la obtención de celulosa.

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{1.1315 \text{ g celulosa}}{8.8245 \text{ g celulosa}} * 100 = 12.82\%$$

¹⁸ UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. "Reactivo limitante y rendimiento". Estequiometría. Rendimiento. 2017. [En línea] Disponible en: <<http://www.eis.uva.es/~qgintro/esteq/tutorial-04.html>>

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta la recolección de todos los resultados de cada proceso que se llevó a cabo, para comprobar la factibilidad de obtener celulosa por el método propuesto, a partir de los residuos provenientes de la trilla del café y así realizar el análisis e interpretación de estos, lo cual con lleva a las debidas conclusiones.

El análisis y la interpretación, en la mayoría de datos, se realiza de acuerdo a la relación de los datos con los referentes teóricos, y en caso de no presentarse ningún referente teórico, se realizan varios procedimientos para obtener un promedio con menor error e incertidumbre.

4.1 MATERIA PRIMA

4.1.1 Método Van Soest. La gran mayoría de las características evaluadas por el análisis de Van Soest son de composición de una muestra de 300 gramos de cascarilla de café, utilizada en este proyecto como materia prima de la obtención. Tres características importantes que fueron obtenidas gracias a este análisis son el porcentaje de lignina con un resultado del 18.38%, el porcentaje de celulosa con un resultado del 58.83% y el porcentaje de cenizas con un resultado del 0.70%, todos obtenidos en base seca con un porcentaje de materia seca del 90.17%.

Se puede observar que las características de la cascarilla de café hallada de forma experimental difieren de las referencias teóricas, dado que el reporte de las referencias tomadas da un porcentaje de lignina del 41.86%, el porcentaje de celulosa del 58%¹⁹ y el porcentaje de cenizas del 0.95%, en promedio. Estos datos se obtienen del referente teórico titulado "Alternativas tecnológicas de reutilización"²⁰. Esta diferencia se puede dar por la variación de suelo y tipo de semilla de café. Pero para el proyecto es un resultado positivo ya que contiene una cantidad relevante de celulosa y podría afectar positivamente a los siguientes resultados, aunque no toda esa cantidad es recuperable.

4.1.2 Densidad aparente. La densidad aparente es una relación con la cual se puede caracterizar físicamente los materiales sólidos. Para la materia prima utilizada en el proyecto se obtuvo una densidad aparente aireada, es decir, que se tienen en cuenta los espacios que hay entre partículas.

Se evaluaron cuatro muestras de 100 mL cada una, y con una balanza se tomó la medida de la masa, el promedio de la densidad para este tipo de materia es de 0.23 g/mL. Con respecto a la densidad aparente reportada, claramente se obtiene

¹⁹ MOYA, Manuel. "Obtención de derivados celulósicos a partir de desechos de café". *Agronomía Costarricense*: 14(2). 1990. p. 171.

²⁰ Art-pras. "Alternativas tecnológicas de reutilización". México. 2011. p. 1. [En línea] Disponible en: <<http://documents.mx/documents/cascarilla-de-cafe.html>>

diferencia por la incertidumbre del equipo, la referencia teórica reporta un resultado de 0.323 g/mL²¹. Como se presenta diferencia entre los referentes teóricos y el dato experimental obtenido en el proyecto, se puede observar que en el plano experimental existen factores que causan efecto en los resultados. Estos componentes pueden ser explicados por el método de las 5 M's, mencionado en el marco teórico. También se puede observar que no se llevó a cabo un procedimiento de muestro correcto para realizar la respectiva determinación de densidad aparente para la materia prima.

4.1.3 Densidad real. La densidad real es otra relación con la cual se puede caracterizar físicamente los materiales sólidos. Para la materia prima utilizada en el proyecto se obtuvo una densidad real donde no se tienen en cuenta los espacios que hay entre partículas.

Se evaluaron cuatro muestras, en una probeta con un volumen de agua de 100mL y se determinó la diferencia entre el volumen inicial del agua en el recipiente y el volumen final del líquido, el promedio de la densidad para este tipo de materia es de 0.58 g/mL. Con respecto a la densidad real teórica, no se obtiene un reporte de esta, por lo cual no se puede hacer comparación con el referente para saber si el resultado experimental es aproximado.

El procedimiento que se lleva a cabo para la determinación de la densidad real de la cascarilla de café es un procedimiento que no es técnico por esta razón presenta error en el método, este análisis se lleva a cabo mediante el método de las 5 M's, mencionado anteriormente en el marco teórico.

4.1.4 Humedad. El porcentaje de humedad es una característica que influye en el poder calorífico de la materia a trabajar, la calidad de combustión, dado que es la cantidad de agua que un cuerpo es capaz de retener. Para el proyecto se tomó el porcentaje de masa seca reportado por la universidad de ciencias aplicadas y ambientales, UDCA, y como la suma de los dos porcentajes debería dar 100, es decir, que al conocer uno se puede obtener el otro.

Como el reporte del porcentaje de masa seca es de 90.17%, el porcentaje de humedad es de 9.83%. El referente teórico reporta un porcentaje de humedad promedio de 11.45%²² en la muestra seca, con un error del 14%. Esto puede ser ya que no se recalculó el valor y se promedió para evitar la incertidumbre y el error que se da siempre en procesos experimentales.

El procedimiento que se lleva a cabo para la determinación de la humedad de la cascarilla de café es un procedimiento que no es técnico y es teórico, por esta razón

²¹ Ibid, p. 1.

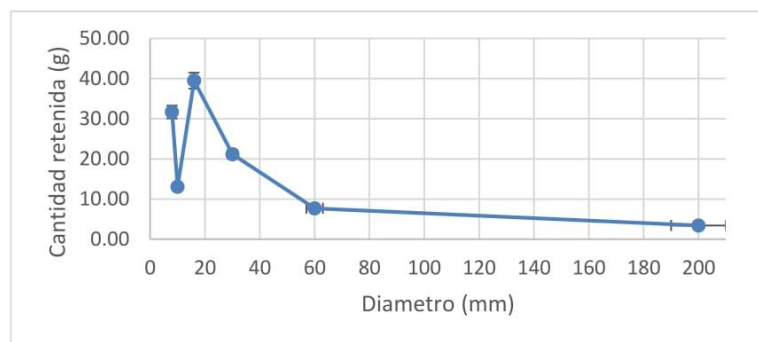
²² Ibid, p. 1.

presenta error en el método, análisis que se lleva a cabo mediante el método de las 5 M's, mencionado anteriormente en el marco teórico.

4.1.5 Tamizado. La operación de tamizaje se realizó para una muestra después de la molienda y para otra muestra antes de la molienda, esto para caracterizar la materia prima, como es recibida y después del pre-tratamiento físico, por el tamaño de partícula obtenido y la uniformidad de todas las partículas analizadas por este procedimiento.

Como primer resultado se obtiene que la materia prima, sin ningún tratamiento previo al proceso de hidrólisis, es heterogénea, es decir, que se presentan partículas muy gruesas y también partículas muy finas. Se puede observar que existe mayor retención de materia en las mallas 8, 10 y 30, mallas para partículas con un diámetro entre 2.18 y 0.45 mm, y que aun así se puede encontrar en el fondo materia muy fina dado que pasa por la malla 200, por ende, tiene un diámetro de partícula menor a 29.8 μm . La distribución de masa por el diámetro de cada tamiz se puede observar en la gráfica 1. Se puede concluir que la cascarilla previa al pre-tratamiento, tiene alta dispersión de tamaño de partícula entre gruesos y finos.

Gráfica 1. Tamizaje previo a la molienda.

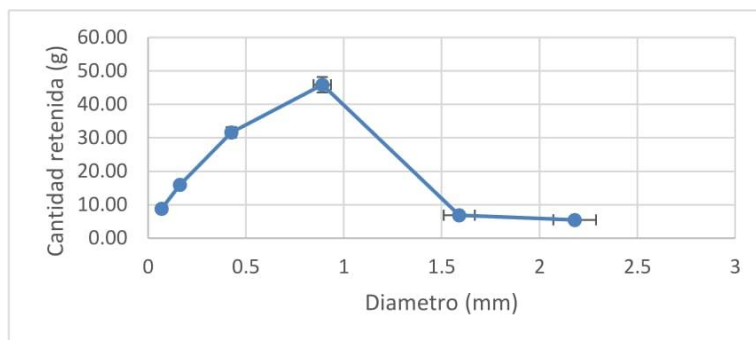


El segundo resultado que se obtiene es que la materia prima después de la molienda, claramente se obtiene una dispersión más reducida del tamaño de partícula. Las mallas con mayor retención de materia son la 16 y la 30, con un diámetro de 0.38 y 0.26 mm respectivamente, lo que indica que las partículas están en un punto intermedio entre el tamaño de gruesos y finos. La distribución de masa por el diámetro de cada tamiz, después de la molienda, se puede observar en la gráfica 2.

Esta determinación cuantitativa de distribución de tamaños de partículas tiene como objetivo la caracterización física de la materia prima y su uniformidad en cuanto al

tamaño de las partículas, esta caracterización por tamizado se realiza mediante la gráfica presentada a continuación.

Gráfica 2. Tamizaje después de la molienda.

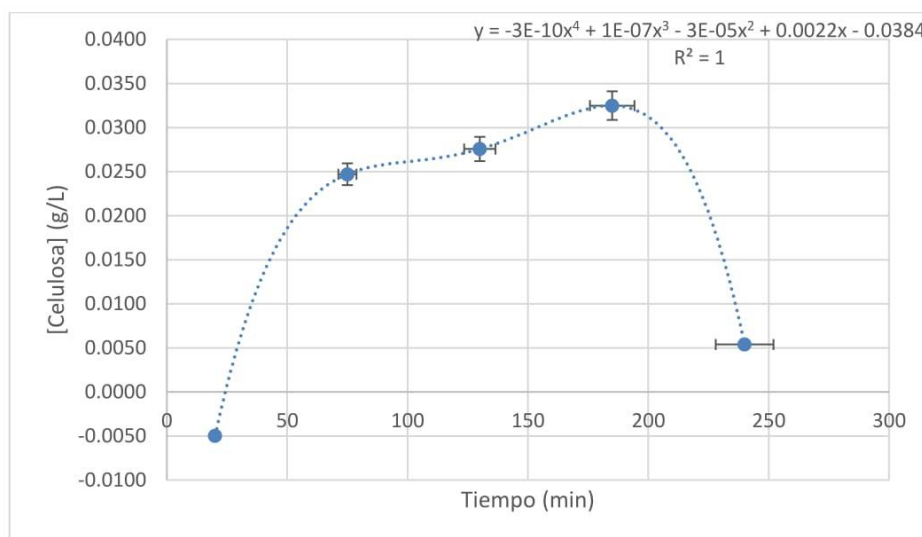


4.2 HIDRÓLISIS BÁSICA

4.2.1 UpDegraff. Como se puede observar la cuantificación de celulosa se hizo en dos partes, cada una de 5 tiempos con sus respectivas replicas. Se debe tener en cuenta que cada muestra tiene diferentes factores de dilución y que todas las muestras hubo que diluirlas dado que no se leían claramente por la técnica de espectrofotometría UV.

Los primeros resultados se pueden observar en la siguiente gráfica, en donde está cada punto promediado con su réplica.

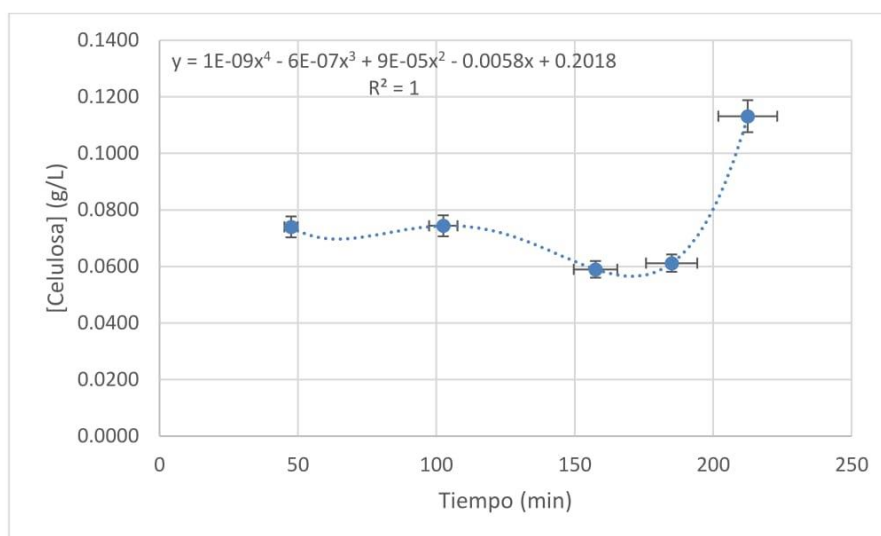
Gráfica 3. Promedio primeros resultados



Esta gráfica tiene una tendencia polinómica de grado 4, en donde se observa que los puntos límites contienen una concentración de celulosa mínima en comparación con los otros puntos. También se puede observar que en el tiempo de 185 minutos para esta cuantificación se obtiene la concentración más alta de con 0.0325 g/L y se puede concluir que a los 240 minutos se comienza con una nueva reacción, pasando de la reacción de hidrólisis alcalina del material lignocelulósico a la reacción del hidróxido de sodio con el azúcar a obtener. Se debe tener en cuenta que para realizar la cuantificación se tuvo que realizar dilución, en este caso con agua, dado que como se observa en la ilustración 12 las muestras son muy oscuras y el color causa interferencia en la lectura por la técnica utilizada.

Los segundos resultados se pueden observar en la gráfica que se muestra a continuación, en donde está cada punto promediado con su réplica.

Gráfica 4. Promedio segundos resultados



Esta gráfica también tiene una tendencia polinómica de grado 4, en donde se observa que los dos primeros puntos contienen una concentración de celulosa similar pero menor a comparación al último punto. También se puede observar que en el tiempo de 212,5 minutos para esta cuantificación se obtiene la concentración más alta de celulosa con 0.1132 g/L. Como se observa en la ilustración 21, en la ilustración 22, en este punto se obtiene mayor cantidad de materia orgánica y por razón al agregar la solución fenol-sulfúrico esta muestra adopta un color más oscuro en comparación con los otros ensayos. Y al realizar la dilución con ácido sulfúrico,

este funciona como catalizador que rompe los enlaces de la lignina²³ y así obtener mayor cantidad de azúcares reductores como la glucosa.

Comparando el tiempo de 185 minutos en las dos diferentes partes de la cuantificación se evidencia un cambio entre la primera y la segunda parte, se puede observar que entre experimentos incremento la concentración (paso de 0.0325 a 0.0612 g/L), posiblemente porque la dilución en la segunda parte se realizó con ácido sulfúrico.

Por lo anterior, teniendo en cuenta que hay diferencias significativas entre diluciones con agua y con H₂SO₄, no se puede realizar un consolidado del promedio de todos los datos obtenidos durante la experimentación. Razón por la cual se presentan las gráficas anteriores por separado y con su respectivo análisis.

Se puede observar que ninguna muestra fue replicable esto se puede dar por un error en la experimentación, como se explica en el marco teórico uno de los factores que se debe analizar para encontrar la causa de un error es la mano de obra y al existir poca experiencia del experimentador realizando este proyecto puede existir algún componente que alterara la muestra y su réplica para que no sean parecidas.

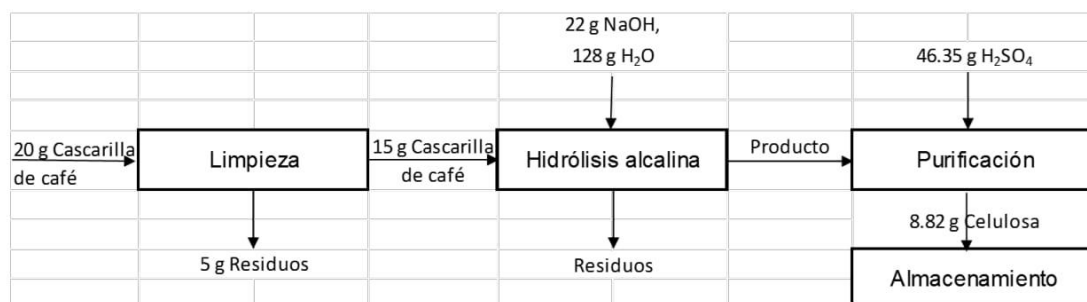
²³ CUERVO, Laura. "Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol.". Centro de Investigación en Biotecnología, UAEM. Instituto de Biotecnología, UNAM. Chamilpa, Cuernavaca, México. 2001. p. 18. [En línea] Disponible en: <http://www.smbb.com.mx/revista/Revista_2009_3/Lignocelulosa.pdf>

5. EVALUACIÓN DE COSTOS

En la evaluación de costos que se desarrolla en el proyecto se determinará los costos y la rentabilidad, que se obtiene como resultado de comparar los efectos obtenidos frente a los objetivos que se deben alcanzar con su realización.

El primer paso para calcular los costos es definir la escala de producción de la celulosa a partir de la cascarilla de café, este proceso se llevara a cabo a nivel laboratorio, con extracción por hidrólisis en medio básico. Para ello a continuación se presentan los pasos a seguir en la producción por medio de un diagrama de bloques y los equipos a utilizar en un diagrama de flujo.

Ilustración 25. Diagrama de bloques del proceso para la obtención de celulosa.



En la ilustración 21 se observa el diagrama de bloques del proceso para la obtención de celulosa a partir de los residuos de la trilla del café. En donde se comienza con la limpieza de la materia prima para evitar que algún material inorgánico, que puede adquirirse en el transporte, sea procesado, en este proceso entran 20 gramos de cascarilla de café y se obtienen 15 gramos de cascarilla limpia y 5 gramos de residuos, donde se pueden encontrar granos de café e impurezas que pueden afectar al proceso. Se continúa con el método de hidrólisis alcalina de la cascarilla, para este procedimiento se tienen dos corriente de entrada, una corriente corresponde a los 15 gramos de cascarilla proveniente del proceso anterior y la segunda corresponde a 22 gramos de hidróxido de sodio y 128 gramos de agua, cuyo funcionamiento es hidrolizar la cascarilla de café para la obtención de celulosa.

El proceso continua con un procedimiento de purificación de la mezcla, procedimiento que se lleva a cabo mediante la adición de 46.35 gramos de ácido sulfúrico al producto obtenido en la hidrólisis anterior, en este procedimiento se

obtiene 8.82 gramos de celulosa. Este dato se obtiene por medio del cálculo presentado en la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Cálculo de gramos de celulosa a obtener.

$$15 g_{\text{cascarilla}} * 58.83\%_{\text{celulosa}} = 8.8245 g_{\text{celulosa}}$$

Según estos cálculos se puede obtener 8.82 gramos de celulosa al final del proceso por cada 20 gramos de cascarilla de café ingresados al proceso. Esta cantidad de producto obtenido se almacena para su posterior utilización.

5.1 COSTO DE MATERIA PRIMA

Los costos de la materia prima se realizan según los reportes de los productores de este residuo. Los cuales indican que se obtienen por cosecha, y se realiza cada tres meses en un año²⁴, aproximadamente 16 bultos de cascarilla de café con un peso cercano a 50 kg cada uno, y que cada bulto de materia se vende en \$150.000,00. Pero al ser utilizado para un proceso alterno dentro de la empresa no tiene ningún costo.

5.2 COSTO DE REACTIVOS

Tabla 13. Precio unitario por insumo para hidrólisis.

| Materia prima | Precio (COP) | Cantidad | Distribuidor |
|--------------------|--------------|----------|-----------------|
| Hidróxido de sodio | \$ 129,50 | 150 mL | CIACOMEQ S.A.S. |

Tabla 14. Precio unitario por reactivo para análisis por UpDegraff.

| Reactivo | Precio (COP) | Cantidad | Distribuidor |
|-----------------|------------------|----------|-----------------|
| Ácido acético | \$ 583,47 | 8 mL | Cimpa S.A.S. |
| Ácido nítrico | \$ 31,02 | 1 mL | Cimpa S.A.S. |
| Fenol | \$ 69,27 | 1 mL | CIACOMEQ S.A.S. |
| Ácido sulfúrico | \$ 20,35 | 15 mL | Merck millipore |
| Acetona | \$ 50,33 | 1 mL | Merck millipore |
| Agua | \$ 232,00 | 2 mL | Merck millipore |
| Total | \$ 986,44 | | |

²⁴ Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. "El cultivo. Cosechando café. Café de Colombia". 2010. [En línea] Disponible en: <http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cultivo/>

Tabla 15. Total costos por reactivos.

| Costos | Precio (COP) |
|--|---------------------|
| Costo por insumos | \$ 129,50 |
| Costo por reactivos de análisis | \$ 986,44 |
| Total | \$1.115,94 |

Para llevar a cabo el objetivo de este proyecto se utilizan los reactivos anteriormente mencionados. En las tablas 13 y 14 se puede observar el precio unitario de cada reactivo, que será utilizado en cada proceso, para un total de \$ 1.115,94, como se muestra en la tabla 15. Se debe tener en cuenta que las cantidades que se utilizan en el método de obtención y de cuantificación son, aproximadas y se obtiene de acuerdo al proceso que se llevó a cabo en el laboratorio. También se debe considerar que después del proceso no se realizará cuantificación y por ende los únicos reactivos a utilizar son el hidróxido de sodio y el ácido sulfúrico, para un costo total de reactivos de \$ 149,85. Adicionalmente se debe tener presente que los almacenes expendedores de químicos no venden cantidades tan reducidas, por lo tanto el costo real total de reactivos sería de \$ 18.818,27 dado que lo mínimo que se puede comprar de hidróxido de sodio es 1 Kg por un valor de \$ 3.500,00 y la cantidad mínima de ácido sulfúrico a la venta es 1 L con un precio de \$ 15.318,27.

5.3 COSTO DE PLANTA Y EQUIPOS

El costo de planta y equipos consta del precio del préstamo del laboratorio y de los equipos estimados que se deben utilizar en la extracción de celulosa. En la siguiente tabla se pueden observar los equipos necesarios para llevar a cabo el procedimiento de extracción y cuantificación de la celulosa.

Tabla 16. Equipos necesarios para la realización de la propuesta.

| Equipo | Existencia en la empresa |
|------------------------------|---------------------------------|
| Molino | Si |
| Tamiz | Si |
| Mufla | No |
| Filtro | No |
| Centrífuga | No |
| Baño maría | No |
| Campana de extracción | No |
| Total | |

Dado que el procedimiento se llevó a cabo en los laboratorios de una institución externa a la empresa, SENA, el costo neto de planta y equipos será el que dicha institución considere pertinente, para la realización del proyecto este costo fue de \$

400.000,00, donde se debe considerar también que ellos asumen dentro de este valor el costo de los reactivos a utilizar.

5.4 COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN

Tabla 17. Costos de producción.

| Concepto por costos | Proyecto |
|----------------------------|----------------------|
| Materia prima | \$ 0,00 |
| Reactivos | \$ 18.818,27 |
| Planta y equipos | \$ 400.000,00 |
| Costo total (COP) | \$ 400.000,00 |

El costo total de producción tiene en cuenta el costo de la cascarilla de café al por mayor, esta materia prima generalmente se vende a \$ 2.400.000,00 por aproximadamente 16 bultos de 50 Kg cada uno, para observar lo que la empresa está perdiendo al desechar la materia prima, pero teniendo en cuenta que esta materia prima se toma como un desecho, la materia prima no tiene ningún costo, por esta razón en la tabla 17 el valor es 0.

También se tiene en cuenta los costos de los reactivos y de la planta y equipos, en donde se debe contemplar que los laboratorios y los equipos necesarios para la extracción a realizar se solicitaron en calidad de préstamo y tiene un costo neto de \$ 400.000,00, y por último se tiene en cuenta el costo de la mano de obra por el tiempo que se utiliza en la parte experimental del proyecto que fue de \$ 4.950.000,00, suponiendo que cada hora de estudiante de ingeniería vale \$10.000,00 aproximadamente. El costo total de producción es de \$ 5.350.000,00, como inversión inicial.

Tabla 18. Comparación entre los costos y la venta del producto.

| | |
|------------------------------|------------------------|
| Costos por producción | \$ 5.350.000,00 |
| Venta producto (Ton) | \$ 2.593.270,33 |

El valor de venta del producto se obtiene de por medio de un promedio entre los valores de venta de septiembre de 2016 a febrero de 2017.²⁵

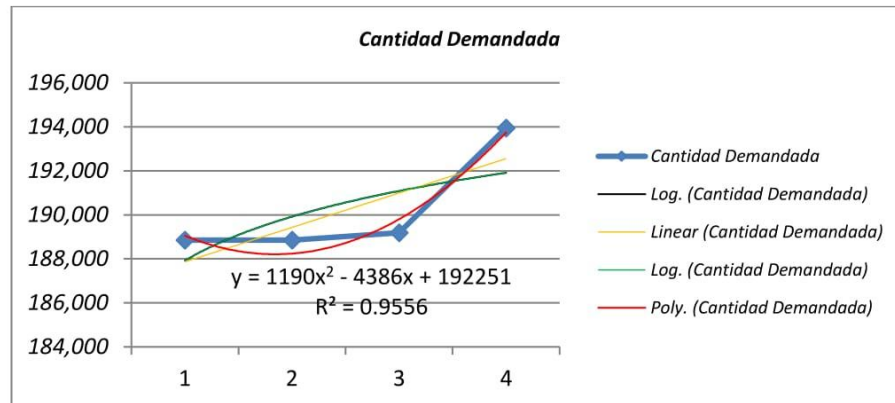
5.5 ANÁLISIS DE LA DEMANDA

Se tuvo en cuenta la demanda de los últimos tres años (2011,2012 y 2013) con los que se graficó una línea de tendencia. El valor de la demanda se obtiene asumiendo que el 80% de la cantidad demandada es tiempo de producción y el 20% restante es tiempo perdido entre ajustes de la máquina y mantenimiento.

²⁵ INDEX MUNDI. "Pulpa de celulosa Precio Mensual - Peso colombiano por Tonelada". 2017. [En línea] Disponible en: <<http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=pulpa-de-celulosa&moneda=cop>>

Los valores de demanda de los últimos años, se proyectan para los próximos cinco años. Los datos se encuentran reportados en la **Grafica 1**.

Gráfica 5. Cantidad demandada



Como se evidencia en la gráfica 5. La ecuación que mejor se adapta es una función polinómica ya que el coeficiente de relación (R2) es el que mejor se ajusta dentro de las proyecciones. Esto indica que el escenario que mejores resultados arroja para este proyecto, es uno optimista. El escenario optimista se refiere a que las variables como cantidad demandada y el tiempo se concretan favorablemente en un largo horizonte, además de la probabilidad de la reducción del valor de la inversión inicial, incremento de la cifra estimada de ingresos, reducción de los gastos operativos.

6. CONCLUSIONES

- ♣ A la materia prima suministrada por Empreverde, utilizada en el proyecto se le realizó un análisis de Van Soest, análisis que efectuó la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (U.D.C.A), en donde se encontró que tiene buenas características para la obtención de celulosa, dado que más de la mitad (58.83%) de la cascarilla de café es celulosa, complementada con un 18.38% de lignina y un 0.70% de cenizas, con un porcentaje de materia seca del 90.17%. Datos que al ser comparados con el trabajo de Manuel Moya²⁶, son similares como el caso de la celulosa con 58%, pero difiere en el porcentaje de lignina con 41.86% y de cenizas con 0.95%. Dado que las referencias no son del mismo cultivo, y con las mismas características de suelo.
- ♣ La hidrólisis básica puede ser un buen método de obtención de celulosa si se acompaña con la purificación del producto para mejorar el proceso, ya que en el proceso se pudo obtener por cada 15 gramos de cascarilla de café, 1.13 gramos de celulosa, con un rendimiento del proceso del 12.82% lo que indica que aunque el proceso es bueno podría ser mejor. En comparación con el trabajo de Manuel Moya y colaboradores²⁷, cuyo rendimiento es del 58%, donde se realizó un tratamiento con hidróxido de sodio diluido. Debido a la falta de experiencia del experimentador con el proceso que se llevó a cabo en este proyecto.
- ♣ Los costos totales fueron \$ 5.350.000,00, en donde se tiene en cuenta el costo de la materia prima, reactivos, planta y equipos, los costos de producción y el costo de mano de obra. En comparación con lo presupuestado que fue \$ 16.045.000, se evidencia que hubo disminución significativa, dado que el laboratorio, los equipos y los reactivos fueron prestados por el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA.

²⁶ MOYA, Op. Cit., p. 171.

²⁷ Ibid., p. 170.

7. RECOMENDACIONES

- ♣ Se recomienda realizar el proceso de obtención utilizando hidróxido de sodio con las mismas características del proyecto y después de la hidrólisis realizar un procedimiento de purificación del proceso.
- ♣ Es recomendable realizar un proceso de elaboración de papel para comparar este producto con otros obtenidos de distintas fuentes.
- ♣ Se recomienda observar el comportamiento de la reacción con otras bases y ácidos, ya que el proyecto quería observar el comportamiento con un rango más amplio de tiempo controlando las otras variables, como la temperatura, la concentración del disolvente y la relación entre soluto y solvente.
- ♣ Se recomienda seguir el método técnico para muestreo dado por la norma ICONTEC.
- ♣ Se recomienda seguir el método técnico para la determinación de densidades y humedad de cascarillas descrito por la norma ICONTEC.
- ♣ Se puede observar que probablemente se obtenga bisulfato de sodio en el proceso por el daño a la fibra vegetal, este puede ser utilizado en la limpieza de metales.
- ♣ Se puede observar que probablemente se obtenga como subproducto sulfato de sodio en el proceso por el daño a la fibra vegetal, este puede ser utilizado en la fabricación de vidrios, papeles y textiles.

BIBLIOGRAFÍA

ALIBABA. "Gota de agua de alimentación moler maíz máquina/cáscara de arroz fresadora/biomasa hammer mill precio". Rotexmaster. Alibaba.com. Noviembre, 2016. Disponible en: <<https://spanish.alibaba.com/product-detail/water-drop-feed-grinding-machine-rice-husk-milling-machine-biomass-hammer-mill-price-60157247596.html>>

ALIBABA. "Mezcla De Vacío Y Tanque De Almacenamiento De La Batería de litio del Ánodo/cátodo Pasta Y Otras Industrias". TOB. Alibaba.com. Noviembre, 2016. Disponible en: <<https://spanish.alibaba.com/product-detail/lithium-battery-slurry-vacuum-mixing-and-storage-tank-for-battery-anode-cathode-paste-and-other-industry-60547019880.html>>

ALIBABA. "Shanghai acero inoxidable azúcar/harina/café/polvo transportador sinfín flexible, alimentador de la malta de ascensor". TOPSPACK. Alibaba.com. Noviembre, 2016. Disponible en: <<https://spanish.alibaba.com/product-detail/shanghai-stainless-steel-sugar-flour-coffee-powder-flexible-screw-conveyor-feeder-for-malt-elevator-60465844830.html>>

ALMEZ. "Identificación de azúcares. I. Reacción de Molisch". [En línea] Disponible en: <<http://almez.pntic.mec.es/~mbam0000/paginas/LABORATORIOS/azucares.htm>>

ANDRADE; Renato. IBARRA; Marco. "Determinación de la densidad aparente por el método del hoyo". Santo Domingo. Escuela Politécnica del Ejército. Ingeniería Agropecuaria. Suelos. Septiembre, 2013.

ARCILA, Jaime. "Establecimiento del cafetal". Cap. 4. Establecimiento y administración del cafetal. Colombia. Características de la semilla.

Art-pras. "Alternativas tecnológicas de reutilización". México. Julio, 2015. [En línea] Disponible en: <<http://documents.mx/documents/cascarilla-de-cafe.html>>

BRAUTIGAN, Ileana. "Nutrición Animal". Costa Rica: EUNED, 2007.

CASTRO VEGA, Alejandro Amadeus; RODRÍGUEZ VARELA, Luis Ignacio y Díaz Velásquez, José de Jesús. "Conversión hidrotérmica subcrítica de residuos orgánicos y biomasa: Mecanismos de reacción". En: INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN. vol. 27, no. 1.

CANCHÉ, G; DE LOS SANTOS, J.M; ANDRADE, S; GÓMEZ, R. "Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano". Mérida Yucatán, México. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Centro de Investigación Científica de Yucatán. ed. 1. vol. 16. 2005.

Celulosa. “Definición”. 2016. Disponible en: <<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pls/celulosa.htm>>

CORZO, Javier; RODRÍGUEZ, Antonio. “Colorimetría: análisis espectrofotométrico de la riboflavina”. Introducción. 2016. Disponible en: <<http://bioquibi.webs.ull.es/practicas/2.pdf>>

CUERVO; Laura. “Lignocelulosa Como Fuente de Azúcares Para la Producción de Etanol”. Resumen. Centro de Investigación en Biotecnología, UAEM. Instituto de Biotecnología, UNAM. Chamilpa, Cuernavaca, México. 2001.

CUNILL, Fidel. “Reactores químicos”. Universidad de Barcelona. 2010. Disponible en: <<http://es.slideshare.net/belenlunanovoa/apunts-de-reactors-qumics>>

DEFINICIONABC. “Definición de Glucosa”. 2007. Disponible en: <<http://www.definicionabc.com/ciencia/glucosa.php>>

DEPARTAMENTO DE PESCA. “Costos de producción. Materia Prima”. DEPOSITO DE DOCUMENTOS DE LA FAO. Ingeniería económica aplicada a la industria pesquera. Julio, 2016.

D’ACUNHA, Brenda. “Estudio de la dinámica de la degradación de hojarasca en bosque tropical amazónico utilizando marcadores químicos de descomposición”. Tesis para optar por el título de Licenciada en Química. Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad De Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú. Julio, 2015.

ECURED. “Carbohidratos. Clasificación de los azúcares”. Marzo de 2017. [En línea] Disponible en: <<https://www.ecured.cu/Carbohidrato>>

El Sol de Tulancingo. “Cascarilla del café tiene varios usos”. El sol de México. Tulancingo, México. Abril, 2012. Disponible en: <<http://www.oem.com.mx/elsoldemexico/notas/n2492180.htm>>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. “El cultivo. Cosechando café. Café de Colombia”. 2010. [En línea] Disponible en: <http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_cultivo/>

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. “Generalidades de la cadena agroproductivas del café. Propiedades de la cascarilla del café”. 2016.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. “Los subproductos del café: fuente de energía renovable”. Avances técnicos 393 CENICAFÉ. Cisco de café.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. "Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio". Avances técnicos 393 GENICAFÉ. Resultados y discusión. 2008.

FONDO NACIONAL DEL CAFÉ. "Los subproductos del café: Fuente de energía renovable". Avances Técnicos Cenic.afé. Marzo, 2010. Disponible en: <<http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0393.pdf>>

FLORES, Hugo; FRABOTTA, Daniela. "Determinación de densidad aparente en aglomerado aislante". Universidad Nacional del Litoral. 2016. [En línea] Disponible en: <http://fich.unl.edu.ar/CISDAV/upload/Ponencias_y_Posters/Eje03/Flores_Frabotta_Retamar_Orue_Belis_Schneider/DETERMINACI%C3%93N%20DE%20DENSIDAD%20APARENTE%20EN%20AGLOMERADO%20AISLANTE.pdf>

GALARZA, Marcelo. "Historia de la celulosa. Ensayo de un material que contiene celulosa".

GENERAN, Flor. "Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de cáscaras de naranja (*citrus sinensis*) y papa (*solanum tuberosum*) variedad diacol capiro (r-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos". Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Duitama. 2013.

GONZALEZ; Mónica. "Lignina – La química de la madera". La guía. Julio, 2011. Disponible en: <<http://quimica.laguia2000.com/elementos-quimicos/lignina-la-quimica-de-la-madera>>

HUERTA, Cristian. "Simbología de equipo de proceso". Diciembre, 1999. Disponible en: <<http://es.slideshare.net/cristianalejandrohuertahernandez1/p2040101simbologiadequipodeproceso>>

INDEX MUNDI. "Pulpa de celulosa Precio Mensual - Peso colombiano por Tonelada". 2017. [En línea] Disponible en: <<http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=pulpa-de-celulosa&moneda=cop>>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. "Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. NTC 1486 Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación". Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC. 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. "Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613". Bogotá: ICONTEC. 23 de Julio, 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. "Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490". Bogotá: ICONTEC. 28 de Octubre, 1998.

JIMENEZ, Jorge. "Simbología para planos de proceso". vol. 15. Octubre, 2009. Disponible en: <<http://es.slideshare.net/ricce/manual-de-ingenieriadediseo>>

KOBAYASHI, Hirokazu; OHTA, Hidetoshi; FUKUOKA, Atsushi. "Conversion of lignocellulose into renewable chemicals by heterogeneous catalysis". Catalysis Research Centre, Hokkaido University, Kita 21, Nishi 10 Kita-ku, Sapporo, Hokkaido, Japan.

Laboratorios de Bioquímica. "Azúcares reductores. Hidratos de carbono o carbohidratos". Enlaces Beta. 2014. [En línea] Disponible en: <<https://sites.google.com/site/bioqlaboratorios/azucars-reductores>>

LUCIO; Mateo. Análisis de la composición celular (método Van Soest). 2014. [En línea] Disponible en: <https://prezi.com/b-n5mr1_cq2s/análisis-de-la-composición-celular-método-van-soest/>

MALDONADO. "Determinación de humedad". Julio, 2016. Disponible en: <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/laec/maldonado_z_r/apendiceQ.pdf>

MARCANO, Enid; PADILLA, Adriana y CALDERÓN, Daniel. "Obtención de azúcares a partir de celulosa kraft mediante hidrólisis con ácido sulfúrico diluido". Agricultura Andina. vol. 17. Julio - Diciembre 2009.

MINERALURGIA. "Determinación del tamaño". Tamizado. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. 2005. Disponible en: <<http://ingenieria.udea.edu.co/cim2005/mineralurgia/introduccion.pdf>>

MORALES, Silvia. "Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos". Instituto de Catálisis y Petroleoquímica Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Cap. 3. Madrid, 2015.

MORALES, Yolanda. "Diseño conceptual y comparacion tecnica de los procesos de hidrolisis acida y enzimatica para la produccion de glucosa a partir de almidon de yuca". Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 2004.

MORÁN, Dani. "Modelos de biorrefinería - La biorrefinería lignocelulósica". Modelo de biorrefinería lignocelulósica. Biorefineries Blog. Abril, 2016. [En línea] Disponible en: <<https://biorrefineria.blogspot.com.co/2016/04/modelos-de-biorrefineria-lignocelulosica.html>>

MOYA, Manuel. "Obtención de derivados celulósicos a partir de desechos de café". *Agronomía Costarricense*: 14(2). 1990.

NUESTRO CAFÉ. "Significado del café". [En línea] Disponible en: <http://www.nuestrocafe.com/opcion/conocer_el_cafe_17.php>

ODAR; Renato. "Tamizado". Abril, 2009. Disponible en: <<http://industrias-alimentarias.blogspot.com.co/2009/04/operaciones-unitarias-el-tamizado.html>>

PARRY, Robert; DIETZ, Phyllis; STEINER, Luke; TELLEFSEN, Robert. "Química fundamentos experimentales". Guía del profesor. Algunos aspectos de la Bioquímica. Capítulo 22. Editorial REVERTE, S.A. Barcelona, España. 1974.

PROCESAMIENTO DE MINERALES. "Molienda, etapas y tipos". 2012. Disponible en: <<http://procesaminerales.blogspot.com.co/2012/09/molienda-etapas-y-tipos.html>>

PUCSOSA; Andrés. "Determinación de Azúcares Totales Por El Método Fenol-sulfúrico". PROCEDIMIENTO. Práctica de laboratorio, biotecnología. Noviembre, 2015. Disponible en: <<http://myslide.es/documents/determinacion-de-azucares-totales-por-el-metodo-fenol-sulfurico.html>>

PUERTA-QUINTERO, Gloria Inés; RÍOS-ARIAS, Sara. "Composición química del mucílago de café, según el tiempo de fermentación y refrigeración". *Cenicafé*. 2011.

QUIMICA. Química Inorgánica. "Densidad". Abril, 2011. Disponible en: <<http://www.fullquimica.com/2011/04/densidad.html>>

QUIMICA. Química Inorgánica. "Tamizado". Agosto, 2011. Disponible en: <<http://www.fullquimica.com/2011/08/tamizado.html>>

QUIMICAYFARMACIA. "Determinación de azúcares totales-Método fenol sulfúrico". México. Julio, 2011. Disponible en: <<https://quimicayfarmacia.wordpress.com/2011/07/03/determinacion-de-azucares-totales-metodo-fenol-sulfurico/>>

QUIÑONES; Antíoco. "Taller básico de mecánica de suelos. Análisis Granulométrico por Tamizado". Universidad Nacional De Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Laboratorio de Mecánica de Suelos. Lima, Perú. Febrero, 2006.

RAMÍREZ; Hugo. "¿De qué hablan cuando dicen materia seca?". Producción animal. Nutriólogo. Celaya, Guanajuato, México. 2011. [En línea] Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/42-Materia_Seca.pdf>

RAMIREZ; Iván. "Operaciones unitarias en ingeniería química". Universidad de América. 2014. [En línea] Disponible en: <<https://ucatedraivan.files.wordpress.com/2014/08/equivalencia-de-tamices.pdf>>

RODRIGUEZ; Rafael. "Acción degradativa de hongos basidiomycetes sobre residuos agroindustriales de cultivos de café y plátano". Tesis de Grado para optar al título de: Magister en Microbiología Agroindustrial. Manizales, Colombia. 2015.

TPM EQUIPOS, "Tamices o Malla 4 a 400 Acero Inoxidable". México. 2007. Disponible en: <https://www.google.com.co/search?q=diametro+de+mallas+tamices&espv=2&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiL_fnHzcjNAhVQAx4KHVX_DtUQ_AUIBigB#imgrc=v0RpppKr8wi2QM%3A>

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. "Determinación de la densidad por el método de la probeta". Densidad de sólidos. 2016. [En línea] Disponible en: <<http://docencia.udea.edu.co/cen/tecnicaslabquimico/02practicass/practica02.htm>>

UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA. "Identificación y cuantificación de azúcares. Reacción de Molisch". Practicas. Disponible en: <<http://acasti.webs.ull.es/docencia/practicass/5.pdf>>

UNIVERSIDAD DE SONORA. "Generalidades de la Celulosa". Capítulo 1. Tesis. Celulosa. [En línea] Disponible en: <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7206/Capitulo1.pdf>>

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. "Reactivo limitante y rendimiento". Estequiometria. Rendimiento. 2017. [En línea] Disponible en: <<http://www.eis.uva.es/~qgintro/esteq/tutorial-04.html>>

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. "Análisis de forrajes de Van Soest". Bogotá. 2011. Disponible en: <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201111/EXE%20NUTRIANIMAL%20MODULO/62_analisis_de_forrajes_de_van_soest.html>

VALDIVIA; Sergio. "DETERMINACION DE HUMEDAD Y MATERIA SECA". 2016. Disponible en: <<https://es.scribd.com/doc/110924600/Informe-1-Determinacion-de-humedad-y-materia-seca>>

VÁZQUEZ, Oscar. "Etanol lignocelulósico, a partir de cascarilla de café, por medio de hidrólisis química-enzimática y fermentación". Tesis que para obtener el grado de maestro en Ingeniería Energética. Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz. Marzo, 2015.

ANEXOS

ANEXO A. PROCEDIMIENTO DE VAN SOEST

Como lo menciona la Universidad de Córdoba en la lección 3, titulada como “Análisis químico de los alimentos. Toma de muestras. Sistema Weende. Los carbohidratos ante el análisis químico-nutricional. Sistema Van Soest. Estudio crítico de ambos sistemas. El análisis de los lípidos y las proteínas de los alimentos”. EL procedimiento a seguir para determinar la diferencia entre los valores de pared celular (PC) y Fibra Detergente Ácido (FDA) da una estimación de la hemicelulosa que también incluye una fracción de proteína adherida a las paredes celulares. Este método FDA es un paso preliminar en la determinación de Lignina. La muestra tratada con detergente ácido se filtra en un crisol, se lava, se seca y pesa.

Calcular:

- Porcentaje de FDA en Base PS y TCO

$$\frac{(\text{Peso . del Crisol} + \text{Fibra} - \text{Peso Crisol Tratado}) \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

Ajustar a Base Seca

Después se realiza la determinación de Lignina por el Método Ácido Detergente, este método usa en primer paso, la técnica para determinar fibra. El detergente extrae la proteína y otros materiales que interfieren con el análisis de la Lignina. El residuo de FDA que consiste principalmente de Lignocelulosa, por medio de solución de ácido sulfúrico al 72% separa la celulosa quedando la lignina y la ceniza no soluble en Acido. La cutina se toma como si fuera parte de la lignina.

Cálculos: % de Lignina TCO o PS

$$\frac{(\text{Peso Crisol v Lignina} - \text{Peso Crisol v Cenizas}) \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

Ajustar a base seca.

Por último se realiza el método de permanganato, es un método indirecto para determinar la lignina, la celulosa y las cenizas insolubles (sílice) que reducen la digestibilidad de los forrajes. Este método es una alternativa del método con ácido sulfúrico al 72%, pero además de otras ventajas determina el verdadero valor de la lignina.

Una muestra tratada con Detergente Ácido y con Permanganato de Potasio en un crisol es sometida a los siguientes procesos:

- a) Para obtener el contenido de lignina: secar los crisoles y pesar. El contenido de lignina se calcula en base a pérdida de peso original de la fibra obtenida por el método de Detergente Ácido.
- b) Para obtener el contenido de celulosa: incinerar la muestra de la determinación de la lignina a 500 °C y pesar. La pérdida de peso equivale al contenido de celulosa.
- c) Para obtener el contenido de Sílice: Se percola el residuo de cenizas anterior en los crisoles con ácido Hidrobrómico, incinerado a 500°C se seca y se pesa.

Cálculos:

- Porcentaje de lignina en Base a PS y TCO:

$$\frac{(\text{Peso FDA} - \text{Peso residuo de Fibra por Permanganato}) \times 100}{\text{Peso muestra antes de determinar FDA}}$$

- Porcentaje de Celulosa en Base a PS y TCO:

$$\frac{(\text{Peso Crisol} - \text{Residuo fibra al permanganato} - \text{Peso Crisol } v \text{ Ceniza}) \times 100}{\text{Peso muestra antes de determinar FDA}}$$

- Porcentaje de Sílice en Base a PS y TCO:

$$\frac{(\text{Peso Ceniza después lavado con Hidrobromuro}) \times 100}{\text{Peso de muestra antes de determinar FDA}}$$

Ajustar a base seca, para Lignina, celulosa o Sílice:

% Analizando en muestra TCO x 100%

MS muestra TCO

**ANEXO B.
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VAN SOEST**



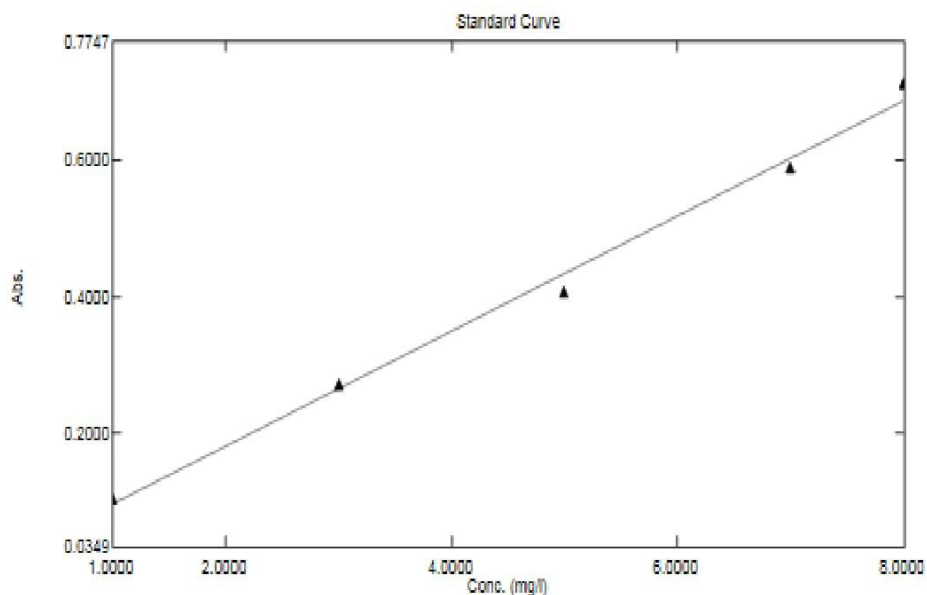
UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES U.D.C.A
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS
PROGRAMA DE ZOOTECNIA
LABORATORIO DE NUTRICION

FECHA DE RECIBO: Agosto 11 de 2016
MATERIAL: Cascarilla de Café
PROCEDENCIA: Trilladora Cundinamarca

PROYECTO: Calidad Nutricional
ENVIADO POR: Natalia Bohorquez

| Muestra | No. Lab. | BASE SECA | | | | | | | | |
|---|---|-----------|-------|-------|-------|------|------|--|--|--|
| | | %MS* | %FDA | %CEL | %LIG | %C | %MO | | | |
| Cascarilla de café | | 90.17 | 78.60 | 58.83 | 18.38 | 0.70 | 99.3 | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| MS=MATERIA SECA TAL COMO RECIBIDA | | | | | | | | | | |
| FDA=FIBRA DETERGENTE ACIDA EN BASE SECA | | | | | | | | | | |
| CEL= CELULOSA EN BASE SECA | | | | | | | | | | |
| C= CENIZA EN BASE SECA | | | | | | | | | | |
| MO = MATERIA ORGANICA EN BASE SECA | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Observaciones: | Aurora Cueva Directora Lab. Nutrición Animal | | | | | | | | | |

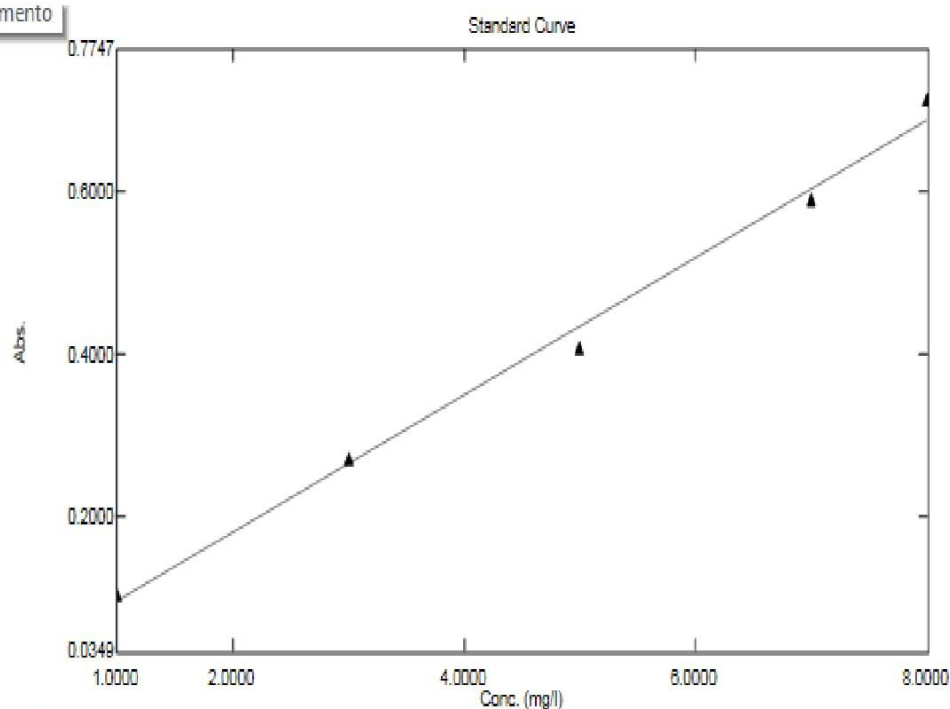
ANEXO C. CURVA DE GLUCOSA



$y = 0.08442x + 0.01214$
 Correlation Coefficient $r^2 = 0.99258$
 Residual Standard Deviation = 0.02090

Standard Table

| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL450.0 | Wgt.Factor | Comments |
|----|-----------|------------|----|--------|---------|------------|----------------------------|
| 1 | STD1 | Std-Repeat | | 1.0000 | 0.1052 | 1.0000 | |
| 2 | STD1-2 | Std-Repeat | | 1.0000 | 0.1052 | 1.0000 | |
| 3 | STD1-3 | Std-Repeat | | 1.0000 | 0.1051 | 1.0000 | |
| 4 | STD1-Avg | Average | | 1.0000 | 0.1052 | 1.0000 | Avg of preceding 3 Samples |
| 5 | STD2 | Std-Repeat | | 2.0000 | 0.2583 | 1.0000 | |
| 6 | STD2-2 | Std-Repeat | | 2.0000 | 0.2583 | 1.0000 | |
| 7 | STD2-3 | Std-Repeat | | 2.0000 | 0.2583 | 1.0000 | |
| 8 | STD2-Avg | Average | ✓ | 2.0000 | 0.2583 | 1.0000 | Avg of preceding 3 Samples |
| 9 | STD3 | Std-Repeat | | 3.0000 | 0.2728 | 1.0000 | |
| 10 | STD3-2 | Std-Repeat | | 3.0000 | 0.2729 | 1.0000 | |
| 11 | STD3-3 | Std-Repeat | | 3.0000 | 0.2728 | 1.0000 | |
| 12 | STD3-Avg | Average | | 3.0000 | 0.2728 | 1.0000 | Avg of preceding 3 Samples |
| 13 | STD4 | Std-Repeat | | 4.0000 | 0.4042 | 1.0000 | |
| 14 | STD4-2 | Std-Repeat | | 4.0000 | 0.4043 | 1.0000 | |
| 15 | STD4-3 | Std-Repeat | | 4.0000 | 0.4043 | 1.0000 | |
| 16 | STD4-Avg | Average | ✓ | 4.0000 | 0.4042 | 1.0000 | Avg of preceding 3 Samples |
| 17 | STD5 | Std-Repeat | | 5.0000 | 0.4063 | 1.0000 | |
| 18 | STD5-2 | Std-Repeat | | 5.0000 | 0.4064 | 1.0000 | |

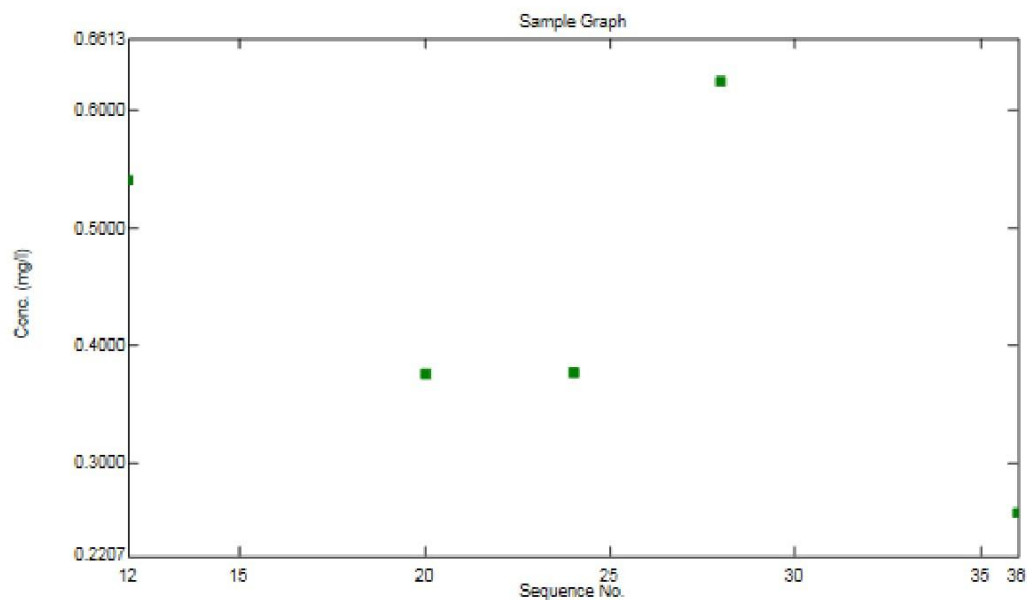


Standard Table

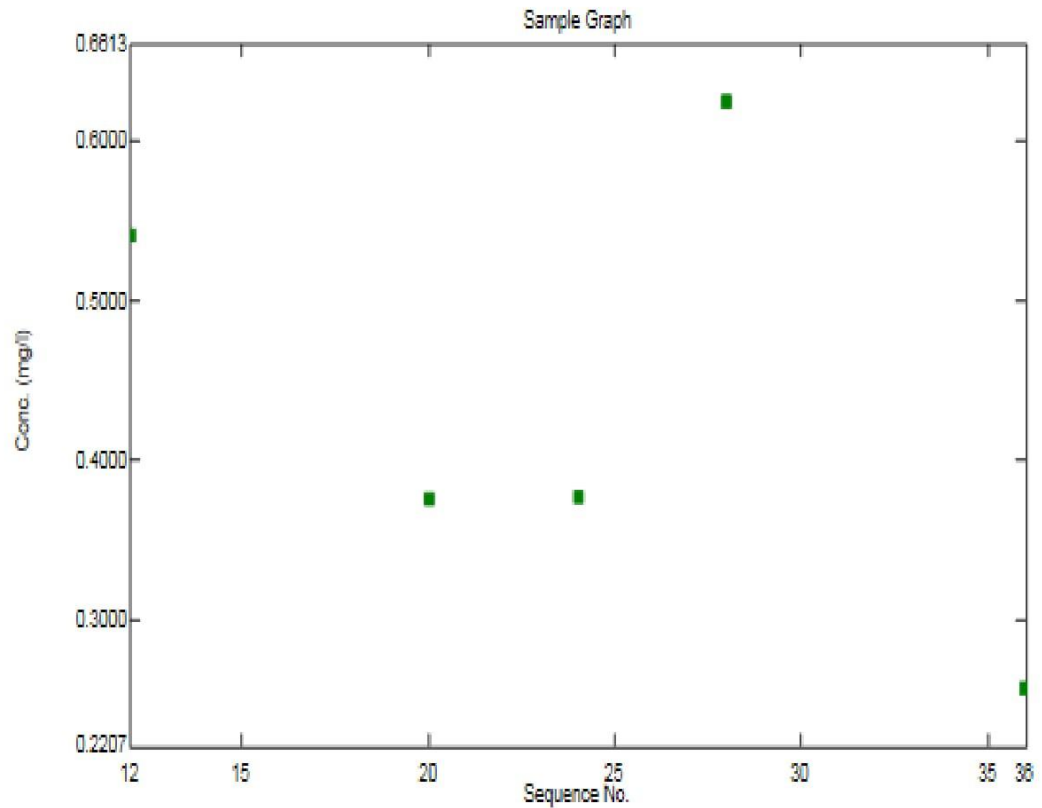
| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL490.0 | Wgt.Factor | Comments |
|----|-----------|------------|----|--------|---------|------------|----------------------------|
| 19 | STD5-3 | Std-Repeat | | 5.0000 | 0.4063 | 1.0000 | |
| 20 | STD5-Avg | Average | | 5.0000 | 0.4063 | 1.0000 | Avg of preceding 3 Samples |
| 21 | STD6 | Std-Repeat | | 6.0000 | 0.4542 | 1.0000 | |
| 22 | STD6-2 | Std-Repeat | | 6.0000 | 0.4542 | 1.0000 | |
| 23 | STD6-3 | Std-Repeat | | 6.0000 | 0.4542 | 1.0000 | |
| 24 | STD6-Avg | Average | ✓ | 6.0000 | 0.4542 | 1.0000 | Avg of preceding 3 Samples |
| 25 | STD7 | Std-Repeat | | 7.0000 | 0.5894 | 1.0000 | |
| 26 | STD7-2 | Std-Repeat | | 7.0000 | 0.5895 | 1.0000 | |
| 27 | STD7-3 | Std-Repeat | | 7.0000 | 0.5894 | 1.0000 | |
| 28 | STD7-Avg | Average | | 7.0000 | 0.5894 | 1.0000 | Avg of preceding 3 Samples |
| 29 | STD | Std-Repeat | | 8.0000 | 0.7131 | 1.0000 | |
| 30 | STD-2 | Std-Repeat | | 8.0000 | 0.7131 | 1.0000 | |
| 31 | STD-3 | Std-Repeat | | 8.0000 | 0.7130 | 1.0000 | |
| 32 | STD-Avg | Average | | 8.0000 | 0.7131 | 1.0000 | Avg of preceding 3 Samples |
| 33 | | | | | | | |

ANEXO D.

RESULTADOS MÉTODO FENOL-SULFÚRICO

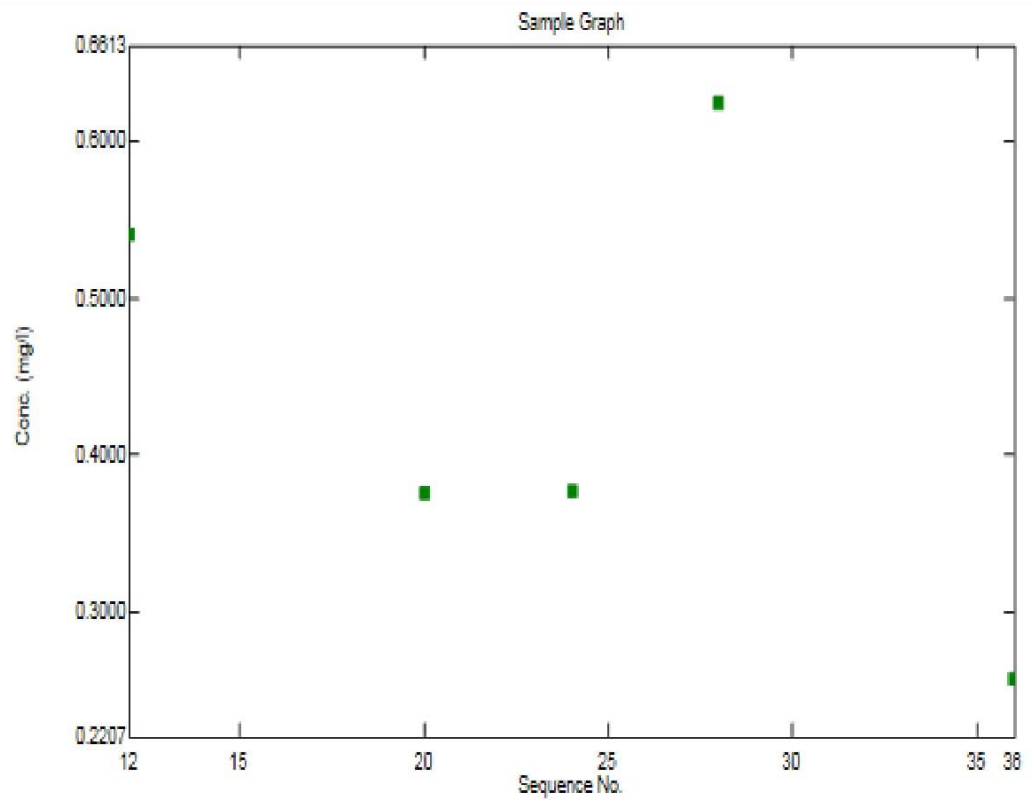


| Sample Table | | | | | | |
|--------------|----------------|------------|----|---------|---------|----------------------------|
| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL490.0 | Comments |
| 1 | M1 | Unk-Repeat | | | 0.0089 | |
| 2 | M1-2 | Unk-Repeat | | | 0.0089 | |
| 3 | M1-3 | Unk-Repeat | | | 0.0088 | |
| 4 | M1-Avg | Average | ✓ | -0.0628 | 0.0088 | Avg of preceding 3 Samples |
| 5 | M1 REPLICA | Unk-Repeat | | | -0.0002 | |
| 6 | M1 REPLICA-2 | Unk-Repeat | | | -0.0002 | |
| 7 | M1 REPLICA-3 | Unk-Repeat | | | -0.0002 | |
| 8 | M1 REPLICA-Avg | Average | ✓ | -0.1483 | -0.0002 | Avg of preceding 3 Samples |
| 9 | M2 | Unk-Repeat | | | 0.0577 | |
| 10 | M2-2 | Unk-Repeat | | | 0.0578 | |
| 11 | M2-3 | Unk-Repeat | | | 0.0579 | |
| 12 | M2-Avg | Average | | 0.5409 | 0.0578 | Avg of preceding 3 Samples |
| 13 | M2 REPLICA | Unk-Repeat | | | 0.0234 | |
| 14 | M2 REPLICA-2 | Unk-Repeat | | | 0.0234 | |
| 15 | M2 REPLICA-3 | Unk-Repeat | | | 0.0234 | |
| 16 | M2 REPLICA-Avg | Average | ✓ | 0.1333 | 0.0234 | Avg of preceding 3 Samples |
| 17 | M3 | Unk-Repeat | | | 0.0439 | |
| 18 | M3-2 | Unk-Repeat | | | 0.0439 | |



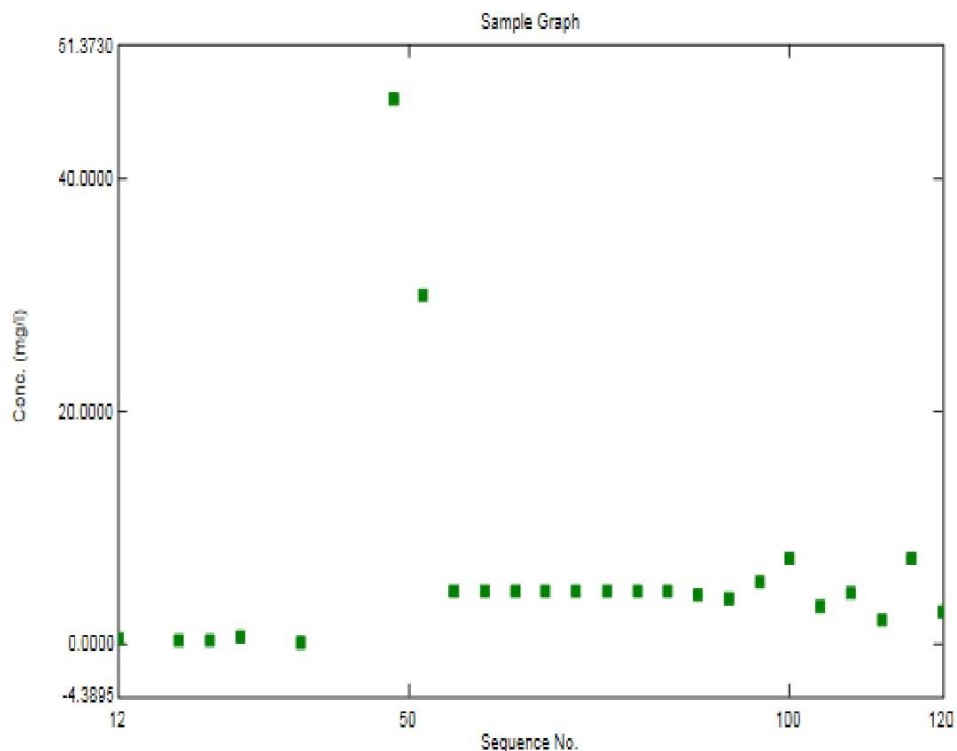
Sample Table

| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL490.0 | Comments |
|----|-----------------|------------|----|--------|---------|----------------------------|
| 19 | M3-3 | Unk-Repeat | | | 0.0439 | |
| 20 | M3-Avg | Average | | 0.3760 | 0.0439 | Avg of preceding 3 Samples |
| 21 | M3 REPLIC A | Unk-Repeat | | | 0.0439 | |
| 22 | M3 REPLIC A-2 | Unk-Repeat | | | 0.0439 | |
| 23 | M3 REPLIC A-3 | Unk-Repeat | | | 0.0439 | |
| 24 | M3 REPLIC A-Avg | Average | | 0.3764 | 0.0439 | Avg of preceding 3 Samples |
| 25 | M4 | Unk-Repeat | | | 0.0648 | |
| 26 | M4-2 | Unk-Repeat | | | 0.0648 | |
| 27 | M4-3 | Unk-Repeat | | | 0.0649 | |
| 28 | M4-Avg | Average | | 0.6246 | 0.0649 | Avg of preceding 3 Samples |
| 29 | M4 REPLIC A | Unk-Repeat | | | 0.0343 | |
| 30 | M4 REPLIC A-2 | Unk-Repeat | | | 0.0343 | |
| 31 | M4 REPLIC A-3 | Unk-Repeat | | | 0.0343 | |
| 32 | M4 REPLIC A-Avg | Average | ✓ | 0.2621 | 0.0343 | Avg of preceding 3 Samples |
| 33 | M5 | Unk-Repeat | | | 0.0338 | |
| 34 | M5-2 | Unk-Repeat | | | 0.0339 | |
| 35 | M5-3 | Unk-Repeat | | | 0.0340 | |
| 36 | M5-Avg | Average | | 0.2574 | 0.0339 | Avg of preceding 3 Samples |



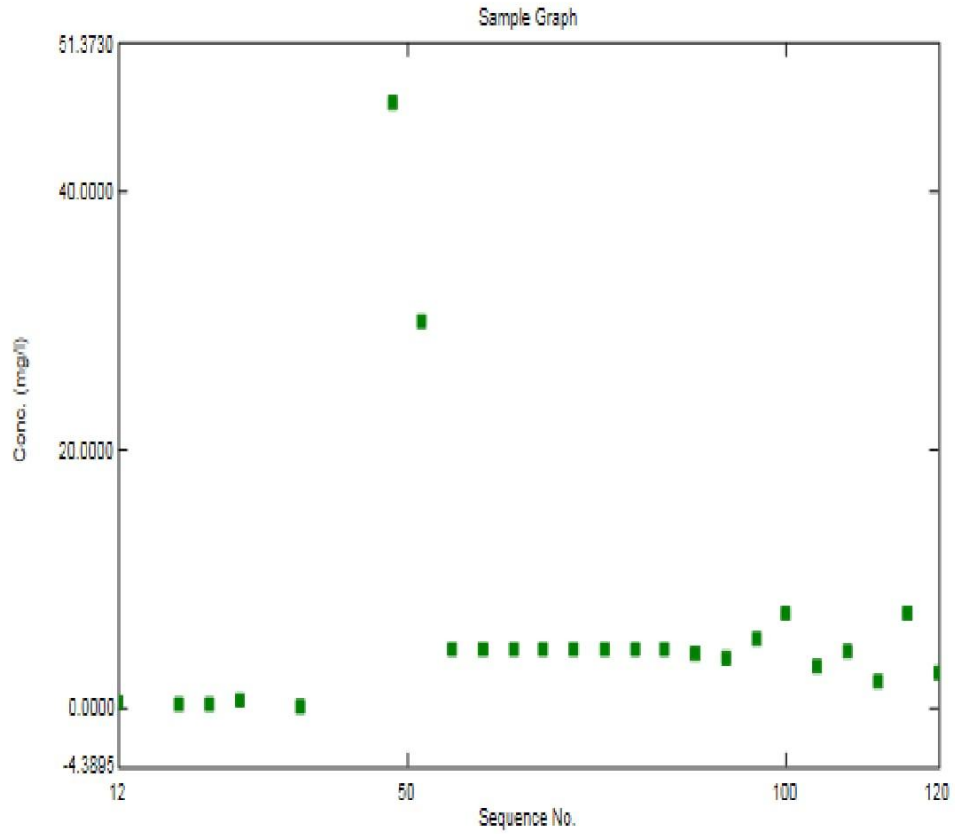
Sample Table

| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL490.0 | Comments |
|----|----------------|------------|----|---------|---------|----------------------------|
| 37 | M5 REPLICA | Unk-Repeat | | | 0.0108 | |
| 38 | M5 REPLICA-2 | Unk-Repeat | | | 0.0108 | |
| 39 | M5 REPLICA-3 | Unk-Repeat | | | 0.0109 | |
| 40 | M5 REPLICA-Avg | Average | ✓ | -0.0153 | 0.0108 | Avg of preceding 3 Samples |
| 41 | | | | | | |



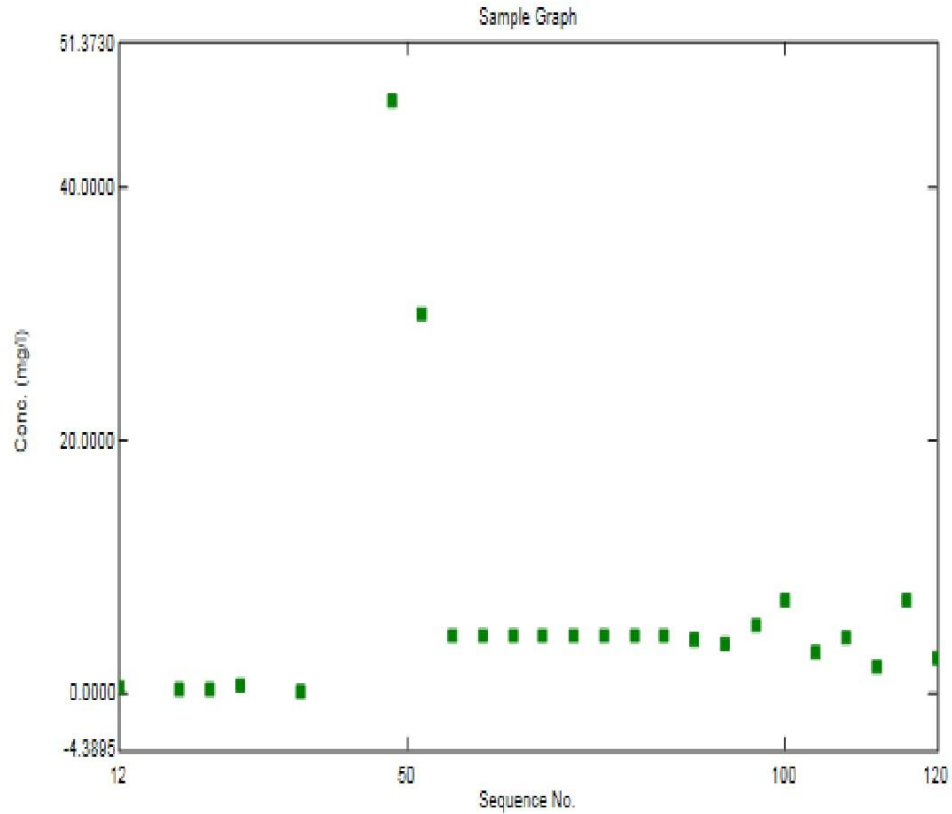
Sample Table

| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL490.0 | Comments |
|----|---------------------|------------|----|------|---------|----------|
| 59 | M3 2 NOV-3 | Unk-Repeat | | | 0.3951 | |
| 61 | M3 REPLICAS 2 NOV | Unk-Repeat | | | 0.3957 | |
| 62 | M3 REPLICAS 2 NOV-2 | Unk-Repeat | | | 0.3958 | |
| 63 | M3 REPLICAS 2 NOV-3 | Unk-Repeat | | | 0.3958 | |
| 65 | M4 2 NOV | Unk-Repeat | | | 0.3957 | |
| 66 | M4 2 NOV-2 | Unk-Repeat | | | 0.3956 | |
| 67 | M4 2 NOV-3 | Unk-Repeat | | | 0.3957 | |
| 69 | M4 REPLICAS 2 NOV | Unk-Repeat | | | 0.3956 | |
| 70 | M4 REPLICAS 2 NOV-2 | Unk-Repeat | | | 0.3955 | |
| 71 | M4 REPLICAS 2 NOV-3 | Unk-Repeat | | | 0.3955 | |
| 73 | M5 2 NOV | Unk-Repeat | | | 0.3954 | |
| 74 | M5 2 NOV-2 | Unk-Repeat | | | 0.3954 | |
| 75 | M5 2 NOV-3 | Unk-Repeat | | | 0.3954 | |
| 77 | M5 REPLICAS 2 NOV | Unk-Repeat | | | 0.3953 | |
| 78 | M5 REPLICAS 2 NOV-2 | Unk-Repeat | | | 0.3953 | |
| 79 | M5 REPLICAS 2 NOV-3 | Unk-Repeat | | | 0.3954 | |
| 81 | M1 SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.3953 | |
| 82 | M1 SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.3953 | |



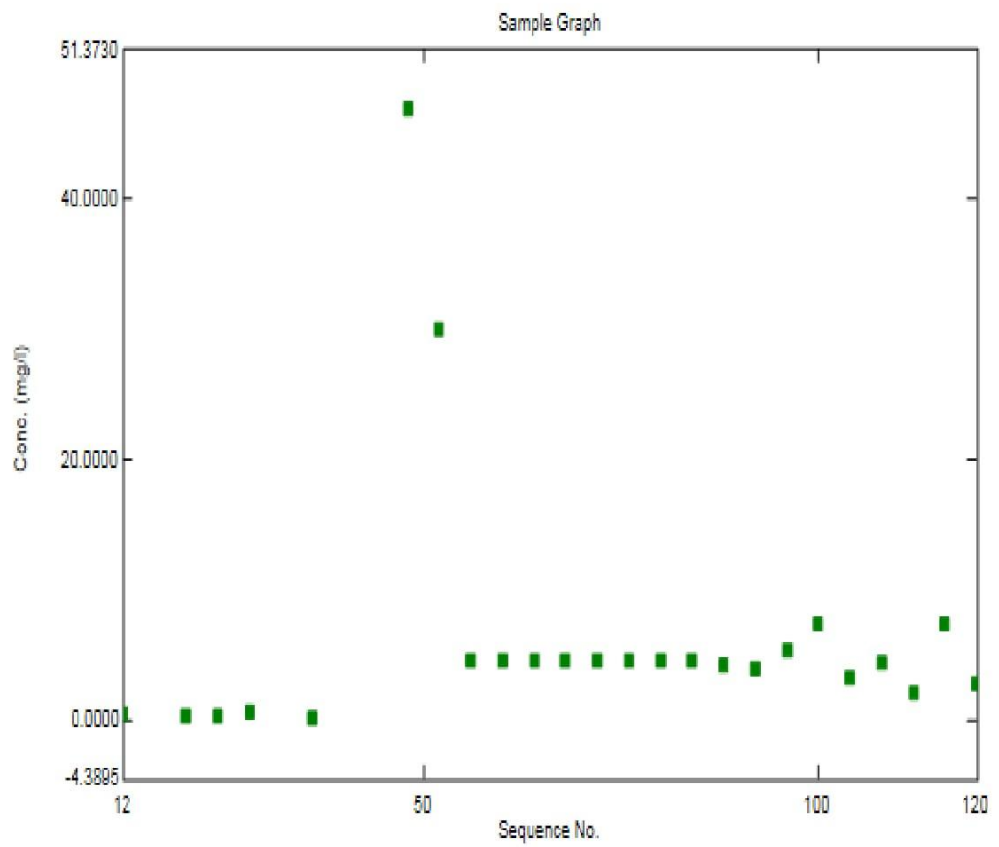
Sample Table

| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL490.0 | Comments |
|-----|--------------------------|------------|----|--------|---------|----------------------------|
| 83 | M1 SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.3853 | |
| 84 | M1 SULFURICO-Avg | Average | | 4.5388 | 0.3853 | Avg of preceding 3 Samples |
| 85 | M1 REPLICASULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.3715 | |
| 86 | M1 REPLICASULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.3714 | |
| 87 | M1 REPLICASULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.3714 | |
| 88 | M1 REPLICASULFURICO-Avg | Average | | 4.2558 | 0.3714 | Avg of preceding 3 Samples |
| 89 | M2 SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.3497 | |
| 90 | M2 SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.3497 | |
| 91 | M2 SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.3497 | |
| 92 | M2 SULFURICO-Avg | Average | | 3.9980 | 0.3497 | Avg of preceding 3 Samples |
| 93 | M2 REPLICA SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.4684 | |
| 94 | M2 REPLICA SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.4682 | |
| 95 | M2 REPLICA SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.4683 | |
| 96 | M2 REPLICA SULFURICO-Avg | Average | | 5.4032 | 0.4683 | Avg of preceding 3 Samples |
| 97 | M3 SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.6288 | |
| 98 | M3 SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.6288 | |
| 99 | M3 SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.6289 | |
| 100 | M3 SULFURICO-Avg | Average | | 7.3049 | 0.6288 | Avg of preceding 3 Samples |



Sample Table

| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL490.0 | Comments |
|-----|---------------------------|------------|----|--------|---------|----------------------------|
| 101 | M3 REPLICAS SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.2927 | |
| 102 | M3 REPLICAS SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.2928 | |
| 103 | M3 REPLICAS SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.2928 | |
| 104 | M3 REPLICAS SULFURICO-Avg | Average | | 3.3225 | 0.2928 | Avg of preceding 3 Samples |
| 105 | M4 SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.3899 | |
| 106 | M4 SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.3900 | |
| 107 | M4 SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.3901 | |
| 108 | M4 SULFURICO-Avg | Average | | 4.4758 | 0.3900 | Avg of preceding 3 Samples |
| 109 | M4 REPLICAS SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.1870 | |
| 110 | M4 REPLICAS SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.1870 | |
| 111 | M4 REPLICAS SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.1870 | |
| 112 | M4 REPLICAS SULFURICO-Avg | Average | | 2.0714 | 0.1870 | Avg of preceding 3 Samples |
| 113 | M5 SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.6405 | |
| 114 | M5 SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.6405 | |
| 115 | M5 SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.6408 | |
| 116 | M5 SULFURICO-Avg | Average | | 7.4439 | 0.6408 | Avg of preceding 3 Samples |
| 117 | M5 REPLICAS SULFURICO | Unk-Repeat | | | 0.2441 | |
| 118 | M5 REPLICAS SULFURICO-2 | Unk-Repeat | | | 0.2442 | |



Sample Table

| | Sample ID | Type | Ex | Conc | WL490.0 | Comments |
|-----|---------------------------|------------|----|--------|---------|----------------------------|
| 119 | M5 REPLICAS SULFURICO-3 | Unk-Repeat | | | 0.2443 | |
| 120 | M5 REPLICAS SULFURICO-Avg | Average | | 2.7487 | 0.2442 | Avg of preceding 3 Samples |
| 121 | | | | | | |

**ANEXO E.
DATOS DE SEGURIDAD**

**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD
HIDROXIDO DE SODIO**



Fecha Revisión: 21/03/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto: HIDROXIDO DE SODIO
Sinónimos: Soda cáustica (anhidra), Soda cáustica en escamas, Cáustico blanco, Lejía, Hidrato de sodio.
Fórmula: NaOH
Número interno:
Número UN: 1823 Sólido
Clase UN: 8
Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad: Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.

Teléfonos de Emergencia:

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES

| Componente | CAS | TWA | STEL | % |
|--------------------|-----------|-------------------|------------------------|--------|
| Hidróxido de sodio | 1310-73-2 | N.R. (ACGIH 2004) | C 2 mg/m3 (ACGIH 2004) | 99-100 |

Uso: Neutralización de ácidos, refinación del petróleo, producción de papel, celulosa, textiles, plásticos, explosivos, removedor de pinturas, limpiador de metales, electroplateado, limpiadores comerciales y domésticos, pelado de frutas y verduras en la industria de alimentos.

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Peligro. Corrosivo. Higroscópico. Reacciona con agua ácidos y otros materiales. Causa quemaduras a piel y ojos. Puede ocasionar irritación severa de tracto respiratorio y digestivo con posibles quemaduras. En casos crónicos puede producir cáncer en el esófago y dermatitis por contacto prolongado con la piel.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Irritante severo. Los efectos por la inhalación del polvo o neblina varían desde una irritación moderada hasta serios daños del tracto respiratorio superior, dependiendo de la severidad de la exposición. Los síntomas pueden ser estornudos, dolor de garganta o goteo de la nariz. Puede ocurrir neumonía severa.

Ingestión: Corrosivo. La ingestión puede causar quemaduras severas de la boca, garganta y estómago. Pueden ocurrir severas lesiones tisulares y muerte. Los síntomas pueden ser sangrado, vómitos, diarrea, caída de la presión sanguínea. Los daños pueden aparecer algunos días después de la exposición.

Piel: Corrosivo. El contacto con la piel puede causar irritación o severas quemaduras y cicatrización en las exposiciones mayores.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ACIDO ACETICO

Rótulo NFPA



Rótulos UN



Fecha Revisión: 19/12/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Nombre del Producto: ACIDO ACETICO
Sinónimos: Acido acético glacial, Acido etanóico, Acido del Vinagre, Acido metanocarboxílico, Ácido etílico.
Fórmula: CH₃COOH
Número interno:
Número UN: 2789
Clase UN: 8
Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad: Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884367. Bogotá, D.C. - Colombia.

Teléfonos de Emergencia:

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES

| Componente | CAS | TWA | STEL | % |
|----------------|---------|---------------------|---------------------|------|
| Acido Acético. | 64-19-7 | 10 ppm (ACGIH 2004) | 15 ppm (ACGIH 2004) | 99.8 |

Uso: Se emplea en la industria química como agente acidulante y neutralizante así como en la producción de anhídrido acético, ésteres de acetato, acetato de celulosa, monómero de vinilacetato, y ácido cloroacético, producción de plásticos, farmacéuticos e insecticidas, químicos fotográficos, aditivos para comida, coagulantes. Impresión en textiles, aditivo de los alimentos (en forma de vinagre), coagulante del látex natural, acidificador de pozos de petróleo, obtención de nylon y fibras acrílicas.

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS




VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Líquido incoloro. ¡Peligro! Líquido y vapor inflamable. Corrosivo. Puede ser nocivo si se absorbe a través de la piel. Causa severa irritación y quemaduras de piel, ojos, tracto respiratorio y digestivo. Altas concentraciones pueden causar bronconeumonía o edema pulmonar.
 Órganos blanco: dientes, ojos, piel, membranas mucosas.

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Irritación severa de la nariz y la garganta, náuseas, resfriado, dolor en el pecho y dificultad respiratoria. Altas concentraciones puede causar inflamación en las vías respiratorias (bronconeumonía) y acumulación de fluidos en los pulmones (edema). Nunca el olor o grado de irritación son indicativos de la concentración de los vapores.

Ingestión: Quemaduras e inflamación de la boca, el abdomen y la garganta, vómito y deposición con sangre. Irritación tracto gastrointestinal (esófago y estómago), espasmos estomacales, también puede resultar vómito con sangre, daños en los riñones. En grandes cantidades puede ser fatal. Las soluciones diluidas como el vinagre, no causan daño. El producto concentrado puede

| SECCIÓN I.- DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA QUÍMICA | | | |
|--|---|--|---|
| 1.- NOMBRE DE QUIEN ELABORA LA HDS: <i>Química Pima, S.A de C.V.</i> | | | |
| 2.- DOMICILIO COMPLETO: <i>Calle del Cobre No. 20, Parque Industrial, Hermosillo, Sonora, México. C.P. 83297</i> | | | |
| 3.- TELÉFONOS DE EMERGENCIA: <i>(662) 251-00-10, 251-03-16, 251-04-28 y 251-07-66 SETIQ: 01-800-002-1400</i> | | | |
| SECCIÓN II.- DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA | | | |
| 1.- NOMBRE COMERCIAL: <i>Ácido nítrico 55%</i> | | 2.- NOMBRE QUÍMICO: <i>Ácido nítrico 54% - 56% en peso</i> | |
| 3.- PESO MOLECULAR: <i>63.01 g/mol</i> | | 4.- FAMILIA QUÍMICA: <i>Ácidos inorgánicos</i> | |
| 5.- SINÓNIMOS: <i>Agua fuerte, ácido azótico, nitrato de hidrógeno</i> | | 6.- FÓRMULA QUÍMICA: <i>HNO₃</i> | |
| SECCIÓN III.- COMPONENTES RIESGOSOS | | | |
| 1.- % Y NOMBRE DE LOS COMPONENTES: <i>Ácido nítrico: > 55%</i> <i>Agua: < 45%</i> | 2.- N° CAS: <i>7697-37-2</i> <i>7732-18-5</i> | 3.- N° DE LA O.N.U.: <i>UN-2031</i> | 4.- INMEDIATAMENTE PELIGROSO PARA LA VIDA Y LA SALUD: <i>IPVS (IDLH): N.D.</i> |
| 5.- LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE DE CONCENTRACIÓN: <i>5 mg/m³</i> | 6.- GRADO DE RIESGO | | |
| | SALUD <i>3 - ALTO</i> | INFLAMABILIDAD <i>0 - MÍNIMO</i> | REACTIVIDAD <i>0 - MÍNIMO</i> |
| | | | ESPECIAL <i>OXIDANTE</i> |
|  |  | |  |
| TRANSPORTE | ENVASE | | ALMACENAMIENTO |
| SECCIÓN IV.- PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS | | | |
| 1.- TEMPERATURA DE FUSIÓN: <i>-42 °C</i> | | 2.- PUNTO DE EBULLICIÓN: <i>86°C</i> | |
| 3.- PRESIÓN DE VAPOR: <i>48 mmHg a 20°C</i> | | 4.- DENSIDAD RELATIVA: <i>1.33 a 20 °C</i> | |
| 5.- DENSIDAD RELATIVA DE VAPOR: <i>N.D.</i> | | 6.- SOLUBILIDAD EN AGUA: <i>Completamente soluble</i> | |
| 7.- REACTIVIDAD EN AGUA: <i>N.D.</i> | | 8.- ESTADO FÍSICO, COLOR Y OLOR: <i>Líquido incoloro o ligeramente amarillo con color sofocante.</i> | |
| 9.- VELOCIDAD DE EVAPORACIÓN (BUTIL ACETATO = 1): <i>N.D.</i> | | 10.- PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C): <i>N.A.</i> | |
| 11.- TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN (°C): <i>N.A.</i> | | 12.- PORCIENTO DE VOLATILIDAD: <i>100</i> | |
| 13.- LÍMITES DE INFLAMABILIDAD (%V/V): <i>N.A.</i> | | | |

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD ACIDO SULFURICO



Fecha Revisión: 27/12/2005

SECCIÓN 1: PRODUCTO QUÍMICO E IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

| | |
|--|--|
| Nombre del Producto: | ACIDO SULFURICO |
| Sinónimos: | Aceite de vitriolo, Acido para baterías, Sulfato de hidrógeno, Acido de decapado, Espiritus de Azufre, Acido electrolito, Sulfato de dihidrógeno |
| Fórmula: | H2SO4 |
| Número interno: | |
| Número UN: | 1830 al 1832 |
| Clase UN: | 8 |
| Compañía que desarrolló la Hoja de Seguridad: | Esta hoja de datos de seguridad es el producto de la recopilación de información de diferentes bases de datos desarrolladas por entidades internacionales relacionadas con el tema. La alimentación de la información fue realizada por el Consejo Colombiano de Seguridad, Carrera 20 No. 39 - 62. Teléfono (571) 2886355. Fax: (571) 2884387. Bogotá, D.C. - Colombia. |
| Teléfonos de Emergencia: | |

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

| COMPONENTES | | | | |
|-----------------|---|--|-------------------|--------|
| Componente | CAS | TWA | STEL | % |
| Acido Sulfurico | 7664-93-9 | 0,2 mg/m3 como peso de la partícula toraxica. (ACGIH 2004) | N.R. (ACGIH 2004) | 50-100 |
| Uso: | En la manufactura de fosfato y sulfato de amonio. Otros usos importantes incluye la producción de rayón y fibras textiles, pigmentos inorgánicos, explosivos, alcoholes, plásticos, tintas, drogas, detergentes sintéticos, caucho sintético y natural, pulpa, papel, celulosa y catalizadores. Es usado en la refinación del petróleo, acero y otros metales. En electroplateado y como reactivo de laboratorio. | | | |

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

VISIÓN GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS:

Apariencia: Líquido aceitoso incoloro. Peligro. Corrosivo. Higróscopico. Reacciona con el agua. Puede ocasionar daños en riñones y pulmones, en ocasiones ocasionando la muerte. Causa efectos fetales de acuerdo a estudios con animales de laboratorio. Peligro de cancer. Puede ser fatal si se inhala. Ocasiona severas irritaciones en ojos, piel, tracto respiratorio y tracto digestivo con posibles quemaduras..

EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

| | |
|--------------------|--|
| Inhalación: | Iritación, quemaduras, dificultad respiratoria, tos y sofocación. Altas concentraciones del vapor pueden producir ulceración de nariz y garganta, edema pulmonar, espasmos y hasta la muerte. |
| Ingestión: | Corrosivo. Quemaduras severas de boca y garganta, perforación del estómago y esófago, dificultad para comer, náuseas, sed, vómito con sangre y diarrea. En casos severos colapso y muerte. Durante la ingestión o el vómito se pueden broncoaspirar pequeñas cantidades de ácido que afecta los pulmones y ocasiona la muerte. |
| Piel: | Quemaduras severas, profundas y dolorosas. Si son extensas pueden llevar a la muerte (shock circulatorio). Los daños dependen de la concentración de la solución de ácido sulfúrico y la |

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD
de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Artículo número 109001
Denominación Reactivo del fenol según Folin-Ciocalteu

Ninguno conocido.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

Naturaleza química Solución acuosa con componentes inorgánicos.

3.1 Sustancia
no aplicable

3.2 Mezcla

Componentes peligrosos (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008)

Nombre químico (Concentración)

No. CAS Número de registro Clasificación

litio sulfato ($\geq 10\%$ - $< 20\%$)

10377-48-7 *)

Toxicidad aguda, Categoría 4, H302

Sodio wolframiato ($\geq 1\%$ - $< 10\%$)

13472-45-2 *)

Toxicidad aguda, Categoría 4, H302

Acido fosfórico ($\geq 5\%$ - $< 10\%$)

7664-38-2 *)

Corrosión cutáneas, Categoría 1B, H314

Corrosivos para los metales, Categoría 1, H290

Acido clorhídrico ($\geq 1\%$ - $< 5\%$)

7647-01-0 *)

Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única, Categoría 3, H335

Corrosión cutáneas, Categoría 1B, H314

Corrosivos para los metales, Categoría 1, H290

*) No hay disponible un número de registro para esta sustancia, ya que la sustancia o su uso están exentos del registro; según el artículo 2 del Reglamento REACH (CE) núm. 1097/2006, el tonelaje anual no requiere registro o dicho registro está previsto para una fecha posterior.

Para el texto íntegro de las Declaraciones-H mencionadas en esta sección, véase la Sección 16.

Componentes peligrosos (1999/45/CE)

Nombre químico (Concentración)

No. CAS Clasificación

litio sulfato ($\geq 10\%$ - $< 20\%$)

10377-48-7 Xn, Nocivo; R22

Sodio wolframiato ($\geq 1\%$ - $< 10\%$)

13472-45-2 Xn, Nocivo; R22

Acido fosfórico ($\geq 5\%$ - $< 10\%$)

7664-38-2 C, Corrosivo; R34

Acido clorhídrico ($\geq 1\%$ - $< 5\%$)

7647-01-0 C, Corrosivo; R34

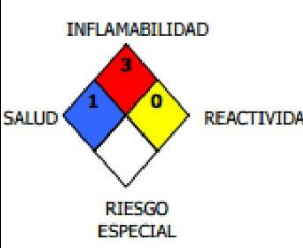
Xi, Irritante; R37


El texto completo de las frases R mencionadas en esta sección, se indica en la Sección 16.

I. SUSTANCIA QUIMICA/IDENTIFICACION DE LA COMPAÑIA

| | | | |
|--|---|---|--|
| Nombre Comercial: Acetona | | Empresa: CHEMICAL OIL, S.A. DE C. V. | |
| Sinónimos: DMK, Dimetilcetona, B-cetopropano, 2- propanona | | Dirección: Blvd. de las Fuentes No. 250, Piso 1 Desp. 202 Fuentes del Valle, Tultitlán Edo. de México 54910 | |
| Nombre Químico: 2-PROPANONA | Formula: CH ₃ COCH ₃ | Teléfono de Emergencia Química (derrame, fugas, incendio, explosión o accidente): SETIQ 01 800 00 214 00 y en el D. F 5559 1588 | |
| Familia Química: Cetonas | | Teléfono de Información: 01(55) 5890 6359 | |

II. COMPOSICION, INFORMACION SOBRE INGREDIENTES

| Nombre de los componentes | % | Numero CAS | Límites de exposición | | | | Clasificación del grado de riesgo 0=INSIGNIFICANTE 1= LIGERO 2= MODERADO 3= ALTO 4= EXTREMO |
|---------------------------|----|------------|-----------------------|---------------|------------------|-----------------|---|
| | | | IPVS (IDLH) ppm | LMPE mg/m3 | LMPE-CT mg/m3 | LMPE-P mg/m3 | |
| 2- Propanona | 99 | 67-64-1 | 2500 | 2400 | 3000 | ND | <p>Símbolo de Peligrosidad</p>  |

| | | |
|--|--|--------------|
|  Fundación Universidad de América | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA | Código: |
| | PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA | Versión 0 |
| | Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres | Julio - 2016 |


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **Natalia Bohórquez Vásquez** en calidad de titular de la obra **FACTIBILIDAD DE LA OBTENCIÓN DE CELULOSA A PARTIR DE LOS RESIDUOS PROVENIENTES DE LA TRILLA DEL CAFÉ**, elaborada en el año 2016, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

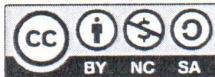
| | | |
|--|--|--------------|
|  Fundación Universidad de América | FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA | Código: |
| | PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA | Versión 0 |
| | Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres | Julio - 2016 |



Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.



Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.



Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:


| AUTORIZO | SI | NO |
|---|----|----|
| La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso | X | |
| La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación | X | |

| Información Confidencial: | SI | NO |
|---|----|----|
| este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso. | | X |

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 2 días del mes de Mayo del año 2017.

EL AUTOR:

Autor 1

| | |
|---------------------------------------|---|
| Nombres | Apellidos |
| Natalia | Bohórquez Vásquez |
| Documento de identificación No | Firma |
| 1015441682 |  |

Nota: Incluya un apartado (copie y pegue el cuadro anterior), para los datos y la firma de cada uno de los autores de la obra.