

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS



TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS QUÍMICAS

**OBTENCIÓN DE GLUCOSA MEDIANTE HIDRÓLISIS
ÁCIDA DE CELULOSA PROVENIENTE DE CARTÓN**

POR: YOSSELIN CASTRO CARLO

TUTOR: PhD. RÓMULO RENÉ GEMIO SIÑANI

LA PAZ – BOLIVIA

Enero 2023

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS



TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS QUÍMICAS

**OBTENCIÓN DE GLUCOSA MEDIANTE HIDRÓLISIS
ÁCIDA DE CELULOSA PROVENIENTE DE CARTÓN**

POR: YOSSELIN CASTRO CARLO

TUTOR:PhD. RÓMULO RENÉ GEMIO SIÑANI

TRIBUNAL: PhD. RIGOBERTO ROGELIO CHOQUE ASPIAZU

LA PAZ – BOLIVIA

Enero 2023

DEDICATORIA

A mi familia.

En honor a Amelie, el amor que un animal ofrece siempre será el más puro e incondicional. QEPD.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Rómulo René Gemio Siñani, por su guía, apoyo y por brindarme el espacio y todos los materiales, equipos y reactivos que se han empleado en la elaboración del presente trabajo,

A mis amigos incondicionales la Lic. Silvia Apaza Arcaya, Vanessa Paco Ticona, Macguiver Pilco, la Lic. Jhenny Fabiola Rojas, licenciada Adelaida Chura, gracias por el apoyo constante.

Un agradecimiento especial a la Lic. Adelaida Chura por ayudar con la elaboración de la curva de calibración para determinar la concentración de glucosa en la muestra.

A la carrera de Ciencias Químicas de la casa superior de estudios UMSA, por brindar el espacio, la instrucción, el conocimiento, y la formación académica por las cuales estoy sumamente agradecida.

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1.INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO III	5
3. JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO IV	7
4. ANTECEDENTES.....	8
CAPÍTULO V	11
5. MARCO TEÓRICO	12
5.1 LA MADERA	12
5.2 CARTÓN	13
5.3 EL PAPEL.....	14
5.3.1 Propiedades físicas del papel.....	15
5.3.2 Propiedades químicas del papel	15
5.4 RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS.....	16
5.5 LA CELULOSA.....	16
5.6 BIOMASA	19
5.7 BIOETANOL	20
5.8 GENERACIÓN DE PAPEL	21
5.9 LA QUÍMICA VERDE.....	22
CAPÍTULO VI.....	24
6.1 MATERIA PRIMA	25
6.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	25
6.3 REACTIVOS	25
CAPÍTULO VII.....	26
7. METODOLOGÍA	27
7.1 PRUEBA DE FEHLING.....	27
7.1.1 Fundamento de la reacción.....	27
7.2 ESPECTROSCOPIA UV- VIS	27
7.2.1 Cuantificación de carbohidratos utilizando fenol y ácido sulfúrico.....	29

7.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	30
7.3.1 Obtención de la celulosa	30
7.3.2 Hidrólisis básica	31
7.3.3 Hidrólisis ácida.....	32
7.3.4 Blanqueo.....	33
7.3.5 Hidrólisis ácida de la celulosa.....	35
7.3.6 Neutralización del pH.....	37
7.4 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA	38
7.4.1 Prueba de Fehling.....	38
7.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ÓPTIMOS	39
7.6 METODOLOGIA	42
CAPÍTULO VIII	45
8. RESULTADOS Y DISCUSIONES	46
8.1 CURVA DE CALIBRACIÓN DE GLUCOSA	46
CAPÍTULO IX	51
9.1 CONCLUSIONES	52
9.2. RECOMENDACIONES	53
ANEXOS.....	54
10. BIBLIOGRAFÍA.....	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Composición química de la Madera	12
Figura 2 Estructura de una pared celular vegetal	13
Figura 3 Estructura de cartón corrugado	13
Figura 4 Modelo estructural de la lignina de madera aserrada.....	14
Figura 5 Estructura de la biomasa lignocelulósica.....	16
Figura 6 Estructura primaria de la celulosa.....	18
Figura 7 Estructura biomasa lignocelulósica	20
Figura 8 Espectro electromagnético	28
Figura 9 Diagrama de niveles de energía en una molécula.....	28
Figura 11 Recolección del cartón.....	30
Figura 12 Lavado del cartón.....	31
Figura 13 Hidrólisis básica del cartón.....	32
Figura 14 Hidrólisis ácida del cartón	33
Figura 15 Blanqueo del cartón	34
Figura 16 Celulosa obtenida.....	34
Figura 17 Celulosa empleada	35
Figura 19 Fin de la hidrólisis.....	36
Figura 20 Filtrado de la solución.....	36
Figura 24 Filtrado de los precipitados.....	38
Figura 25 Pruebas de Fehling.....	39
Figura 26 Resultados positivos	39
Figura 27 Hidrólisis ácida para diferentes: concentraciones de ácido y tiempos.	40
Figura 28 Filtrado de soluciones	40
Figura 29 Prueba de Fehling a las soluciones	41
Figura 30 Resultados a diferentes concentraciones y tiempo	41
Figura 31 Metodología para obtención de celulosa procedente de cartón	43
Figura 32 Metodología para hidrólisis de celulosa y obtención glucosa	43
Figura 33 Metodología para la cuantificación de glucosa.....	44
Figura 34 Curva de calibración	46

Figura 35 Diluciones de la muestra.....	48
Figura 36 Problemática de la basura en la urbe paceña	54
Figura 37 Cartones acumulados en el centro de la ciudad de La Paz	54
Figura 38 Espectrofotómetro UV-VIS CECIL 3041 (REGIMPORT Lab).....	55
Figura 39 Patrones medidos para elaborar la curva de calibración.....	55
Figura 40 Patrones con los que se elaboró la curva de calibración.....	56
Figura 41 Enfriado como requiere el Método Dubois.....	56
Figura 42 Curva de calibración	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción anual de Bioetanol por país en ($m^3 \times 10^6$).....	21
Tabla 2 Materiales y equipos empleados	25
Tabla 3 Reactivos empleados	25
Tabla 4 Datos obtenidos a Temperatura constante de 90°C.....	39
Tabla 5 Datos obtenidos a tiempo constante de 25 min	42
Tabla 6 Condiciones de análisis de la muestra.....	42
Tabla 7 Datos obtenidos para la curva de calibración.....	46
Tabla 8 Diluciones de la muestra problema	47
Tabla 9 Concentración de glucosa obtenida.....	49

RESUMEN

En las últimas décadas el planeta está sufriendo muchos cambios climáticos vividos por nuestra sociedad, lo que me motivó con el desarrollo presente trabajo donde busco dar un valor agregado más a un material como el cartón, destinado a ser residuo sólido, el cual se recolectó de basureros comunes de la urbe paceña. La glucosa es obtenida a partir de la celulosa, proveniente de los cartones.


El cartón tratado para la obtención de celulosa, fue recolectado de la calle Federico Suazo tras el colegio Don Bosco a una cuadra del Prado paceño, se realizó un muestreo aleatorio, obteniendo las porciones más limpias y representativas del cartón cuya masa inicial fue de: 38,7 g. Se inició el tratamiento de este material con un previo lavado solo con agua, para luego ser sometido a una hidrólisis básica, hidrólisis ácida y su blanqueamiento obteniendo una masa de celulosa 32,4g.

La hidrólisis ácida es el método usado para la obtención de la celulosa obtenida y previamente tratada, proporciona azúcares fermentables que pueden ser empleadas para la obtención de biocombustibles.

Durante el proceso de hidrólisis se llegó a la conclusión de que existen factores determinantes para la obtención de glucosa y las mejores condiciones fisicoquímicas para la hidrólisis de la celulosa que obtuve en diferentes pruebas son: temperatura 90 °C, tiempo de hidrólisis de 25 min, concentración de ácido sulfúrico 70 %, cada determinación fue controlada por la prueba de Fehling.

La glucosa obtenida por la hidrólisis ácida fue cuantificada, mediante la técnica de espectroscopía UV-VIS (método de ácido sulfúrico – Fenol) se realizó una curva de calibración con glucosa p.a., obteniéndose una concentración de: $9,22 \pm 0,589 \frac{g}{L}$ con un rendimiento de la celulosa del 83,9% y un rendimiento de glucosa del 8,90 %.

PALABRAS CLAVE: *Hidrólisis, 5-hidroximetilfurfural HMF, material lignoceluloso, biomasa, bioetanol, azúcares fermentables, celulosa, lignina, glucosa*



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el problema de la contaminación en la ciudad de La Paz es un tema muy delicado y reciclaje en su gran mayoría se traduce a reutilización, pero no se ve y se maneja como una potencial materia prima y el presente trabajo pretende establecer un valor agregado más a el cartón a veces destinado a ser un desecho más en nuestros basureros municipales y calles urbanas.

En el presente proyecto de grado se evaluó y estudio las condiciones óptimas para la hidrólisis de la celulosa proveniente del cartón, y posterior obtención de glucosa que podría ser empleada en un posterior tratamiento para la obtención del bioetanol por fermentación.

En este proyecto se efectuó la hidrólisis ácida de la celulosa proveniente de cartón para obtener el monómero de la celulosa, la glucosa; para optimizar este proceso se analizarán diferentes factores determinantes como son, temperatura, tiempo y concentración del ácido.

La celulosa componente de la materia prima del papel, tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos carboxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, originando fibras compactas que constituyen una pared celular de las células vegetales.

Se realizó pruebas de Fehling para evidenciarla obtención de glucosa. Se realizó una curva de calibración para la cuantificación de azúcares por el método de ácido sulfúrico-fenol.

Los resultados de este trabajo servirán como un punto de partida para la síntesis de biocombustibles.

The logo of the Universidad Mayor Pacensis Diócesis de Ica is an oval emblem. It features a sun with rays at the top, a mountain range in the middle, and a green banner at the bottom with a white cross and a blue star. The text "UNIVERSIDAD MAJOR PACENSIS DIÓCESIS DE ICA" is written around the perimeter of the oval.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

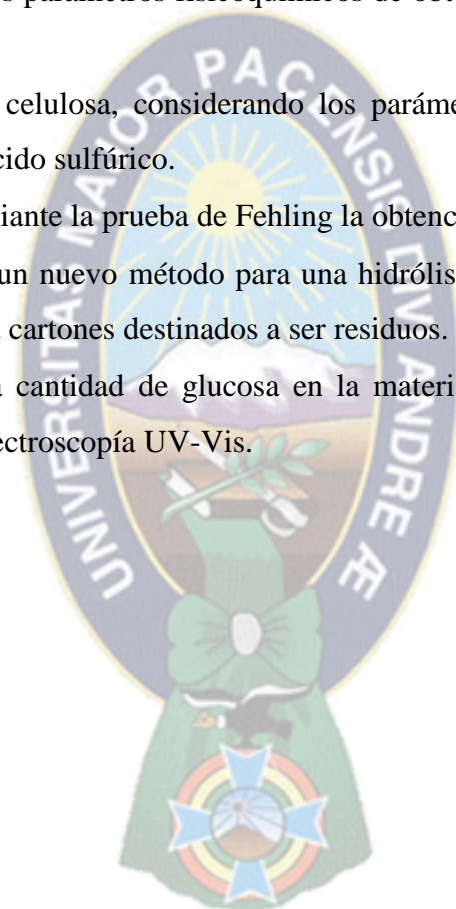
2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Obtener glucosa mediante hidrólisis ácida de la celulosa obtenida a partir de cartón.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos de obtención de la celulosa a partir de cartón.
- Hidrolizar la celulosa, considerando los parámetros de temperatura, tiempo y cantidad de ácido sulfúrico.
- Verificar mediante la prueba de Fehling la obtención de azúcares.
- Implementar un nuevo método para una hidrólisis de celulosa empleando como materia prima cartones destinados a ser residuos.
- Cuantificar la cantidad de glucosa en la materia prima y en el producto final mediante espectroscopía UV-Vis.





CAPÍTULO III

JUSTIFICACIÓN

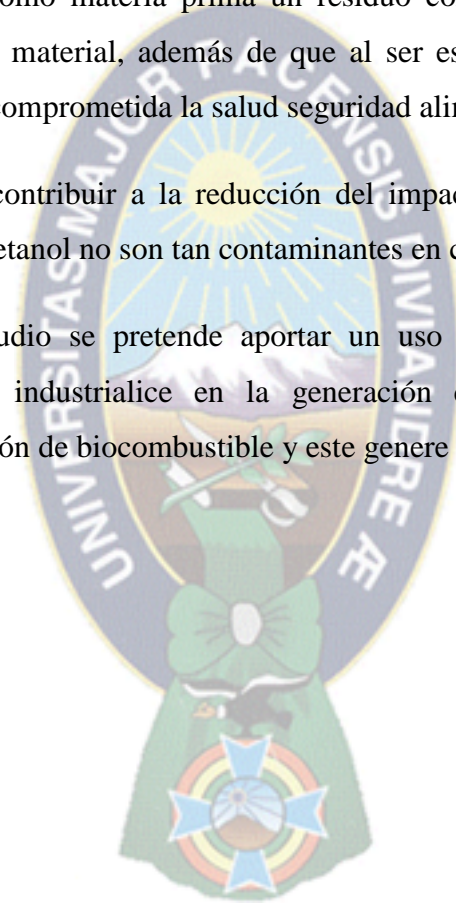
3. JUSTIFICACIÓN.

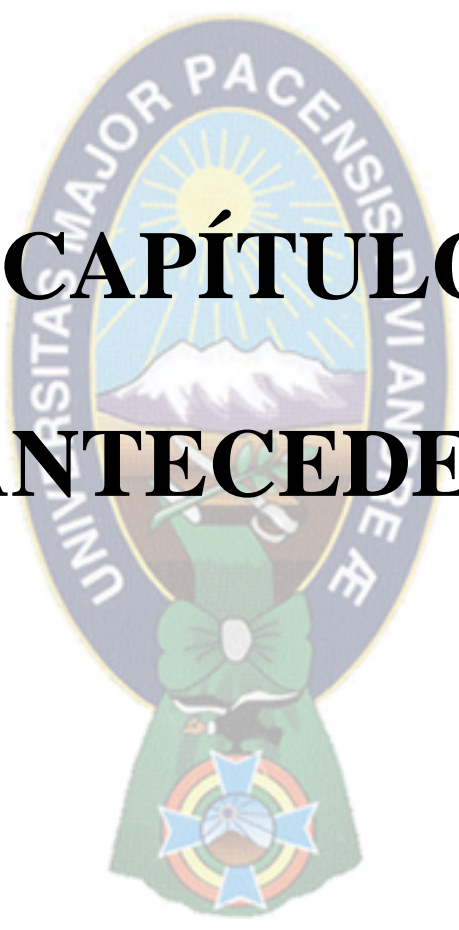
El proyecto denominado: Obtención de glucosa mediante hidrolisis acida de celulosa proveniente del cartón, surge de la necesidad de formar conciencia y demostrar que se le puede dar un uso más a este residuo, dado el constante incremento en la población se generan más residuos tanto agroindustriales como domésticos cuyo impacto medioambiental es negativo para nuestra población.

Al emplear como materia prima un residuo como el cartón se dará un valor agregado más a este material, además de que al ser este un material no destinado al consumo no se verá comprometida la salud seguridad alimentaria.

Se pretende contribuir a la reducción del impacto medioambiental ya que los subproductos del bioetanol no son tan contaminantes en comparación con el del diésel.

Con este estudio se pretende aportar un uso más al cartón para un futuro emprendimiento, se industrialice en la generación de glucosa para su posterior tratamiento y obtención de biocombustible y este genere empleos directos e indirectos.





CAPÍTULO IV

ANTECEDENTES

4. ANTECEDENTES

En el proceso de reutilización de la materia prima cartón tomado en este proyecto, se encontró poca información bien fundamentada en su sub uso, debido a que el cartón, lo reutilizan como material de embalaje y pequeños emprendimientos como en cartón para huevos, en tapas de cuadernos y otros. En la investigación de empresas que trabajen con el reciclaje no se encontró fábricas que hagan este proceso de transformación en la ciudad de La Paz, solo existen centros de recolección en diferentes lugares para luego ser transportadas al interior Cochabamba y Santa Cruz y en algunos casos al exterior como es el país vecino Perú donde están las fábricas.

En 2018 se realizó una caracterización de Residuos Sólidos (RS) domésticos generados en el municipio de Cochabamba, estudio que es el más reciente que se encontró a nivel del país donde se caracterizan los mismos. En el municipio de Cochabamba que asciende a 298,2 toneladas por día. Se determinó la composición de los residuos domésticos un 71% el cual hasta 2006 bajó a un 55,3% debido a actividades de reciclaje y otras como el compost.(Toledo Medrano, 2008).

También se realizó investigación de países vecinos que hayan realizado mediante hidrolisis acida y enzimática glucosa con diferentes materias prima no lo encontré, pero tomé ejemplos parecidos.La disminución de reservas de combustibles fósiles y la generación de gases que aporten al efecto invernadero a causa de su combustión, provocan la búsqueda de combustibles alternativos y amigables con el medio ambiente como el etanol.

Para producir etanol se buscan materias primas de bajo costo o materias destinadas a ser residuos dándoles así, un valor agregado; los residuos lignocelulósicos son una gran alternativa, en un trabajo revisado se usa como materia prima el sorgo y el maíz.Debido a que el etanol es bastante competitivo con la gasolina como combustible es un producto muy comercial, siendo los mayores productores EEUU y Brasil obtenidas a partir de maíz a nivel mundial, esto a su vez pone en riesgo la seguridad alimentaria de

la población, motivo por el cual se busca otras alternativas como fuente de materia prima.(Alonso-Gómez, 2018)

Se busca alternativas a bajos costos que no afecten la disponibilidad alimentaria para la obtención del biocombustible más utilizado, siendo la paja *Stipa ichu* una buena opción de un material lignocelulósico ya que es abundante en el país y dado que no se emplea como alimento. Se analizó las condiciones óptimas para obtener bioetanol. (Albarracín, 2015)

Mediante hidrólisis ácida de papel se obtienen azúcares reductores que por fermentación pueden llegar a convertirse en biocombustibles, se llegó a la conclusión de que la hidrólisis ácida es más eficiente que la básica. (Domínguez–Domínguez, 2012).

Los ácidos concentrados son agentes que hidrolizan la celulosa, debido a que son tóxicos, corrosivos y peligrosos se debe controlar la hidrólisis para evitar una corrosión desmesurada. La hidrólisis realizada con enzimas es mucho más costosa por lo que este método además es más accesible, pero requiere neutralización del pH para una posterior fermentación. (JIMÉNEZ ISLAS, 2012).

Se obtuvieron azúcares a partir de celulosa, proveniente de aserrín y papel reciclado, primeramente, se debe realizar una hidrólisis ácida, con ácido sulfúrico y luego se debe analizar parámetros, para que el procedimiento sea óptimo, se debe controlar la presencia de glucosa con la prueba de Fehling. Se determinó por espectroscopia (FITIR) que existía más concentración de celulosa en papel que en aserrín. (Narvárez Jara, Cuantificación de la transformación de la celulosa mediante hidrólisis ácida y enzimática, 2021).

En Bolivia el interés por la elaboración de bioetanol ha aumentado por la baja de la producción de petróleo, y como una alternativa de respaldo al consumo de los hidrocarburos, el etanol que hoy en día se produce por medio de caña de azúcar. (IBAÑEZ, 2020).

En el país se obtuvieron azúcares fermentables a partir de residuos orgánicos procedentes de tallos de quinua, este proceso requiere el empleo de enzimas y un análisis adecuado en el proceso de hidrólisis debido a que cada materia prima debe tener un adecuado tratamiento previo. (Fernandez Coss, 2015).



The logo of Universidad Mayor Pacensis is an oval emblem. It features a sun with rays at the top, a mountain range in the middle, and a green banner at the bottom with a white cross and a blue star. The text "UNIVERSITAS MAJOR PACENSIS" is written along the top inner edge of the oval, and "VI ANNO" is written along the bottom inner edge.

CAPÍTULO V

MARCO TEÓRICO

5. MARCO TEÓRICO

5.1 LA MADERA

La madera está formada por polímeros como se observa en la figura 1, que contienen grupos hidroxilos y otros grupos funcionales con oxígeno que atraen a la humedad a través de puentes de hidrógeno. Los cambios dimensionales de la madera se realizan cuando las paredes celulares de la madera empiezan a perder el agua presente en ellas.

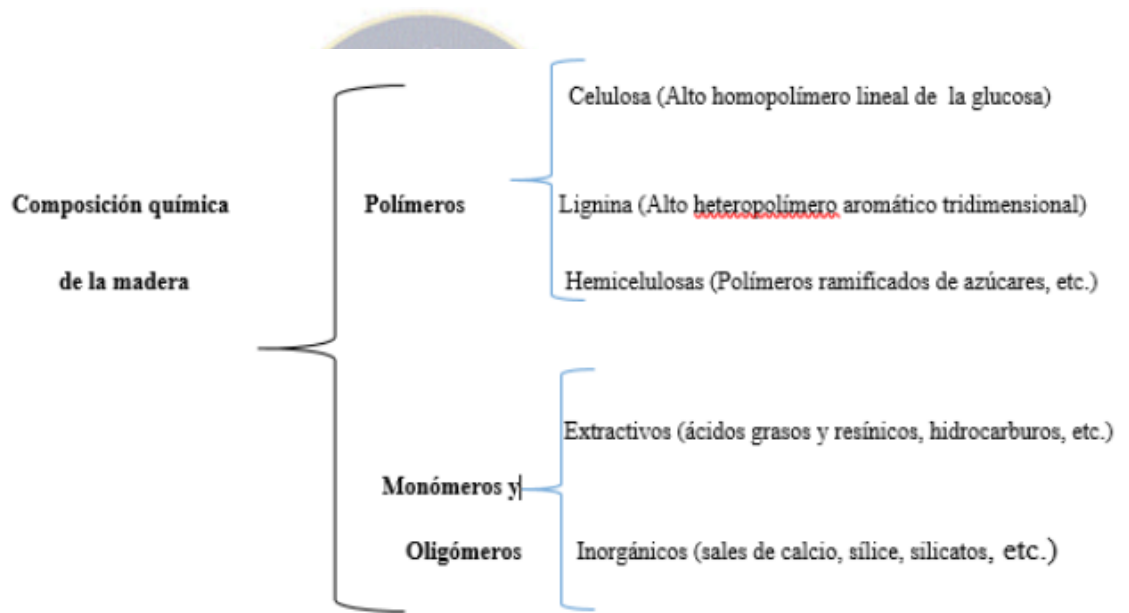


Figura 1 Composición química de la Madera
Fuente: (Núñez, 2008)

La estructura de la madera puede ser influenciada por los siguientes factores: la densidad básica (relativa) de las diferentes especies, la orientación de las microfibrillas en la pared celular cuya estructura se observa en la figura 2, presencia y dimensiones de los anillos de crecimiento, contenido de lignina, cantidad y grado de cristalinidad de la celulosa y porcentaje de radios presente basándose en los diferentes porcentajes de contracción entre la madera temprana y la madera tardía así como en la diferencia de contenido de lignina presente en las paredes radiales y tangenciales de las células. Un grupo más de teorías se basa en la disposición de las capas de las paredes celulares,

dándole importancia a la lámina media que es la capa con mayor contenido de lignina de las capas que forman las paredes celulares de la madera (Pazos, 1999). En la Figura 1

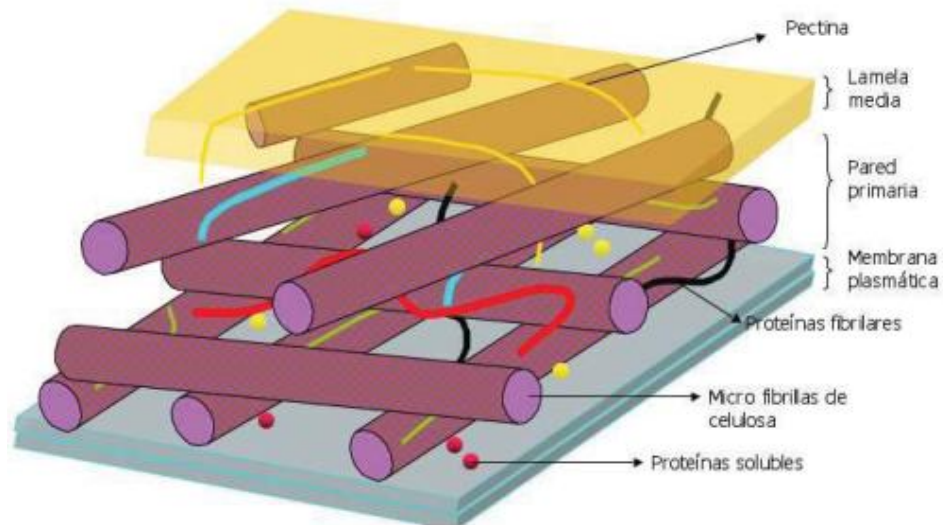


Figura 2 Estructura de una pared celular vegetal
Fuente: (Sanluis Fariña, 2021)

5.2 CARTÓN

Material de características muy similares al papel, está elaborado a base de superposición de capas de papeles como se observa en la figura 3, se distingue del papel por ser superior en grosor y en gramaje, es un material elaborado a partir de madera.

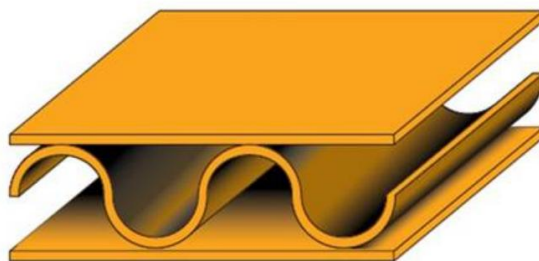


Figura 3 Estructura de cartón corrugado
Fuente: (ASFI.gob.bo, 2015)

En la madera, las fibras se encuentran unidas entre sí por la lignina, cuya estructura se observa en la figura 3, compuesto que le otorga rigidez. Este material

puede estar elaborado a base de fibra virgen o de papel reciclado. El cartón es más duro y resistente que el papel, motivo por el cual se lo emplea como material de embalaje y cajas (envases). (Banamex, 2022)

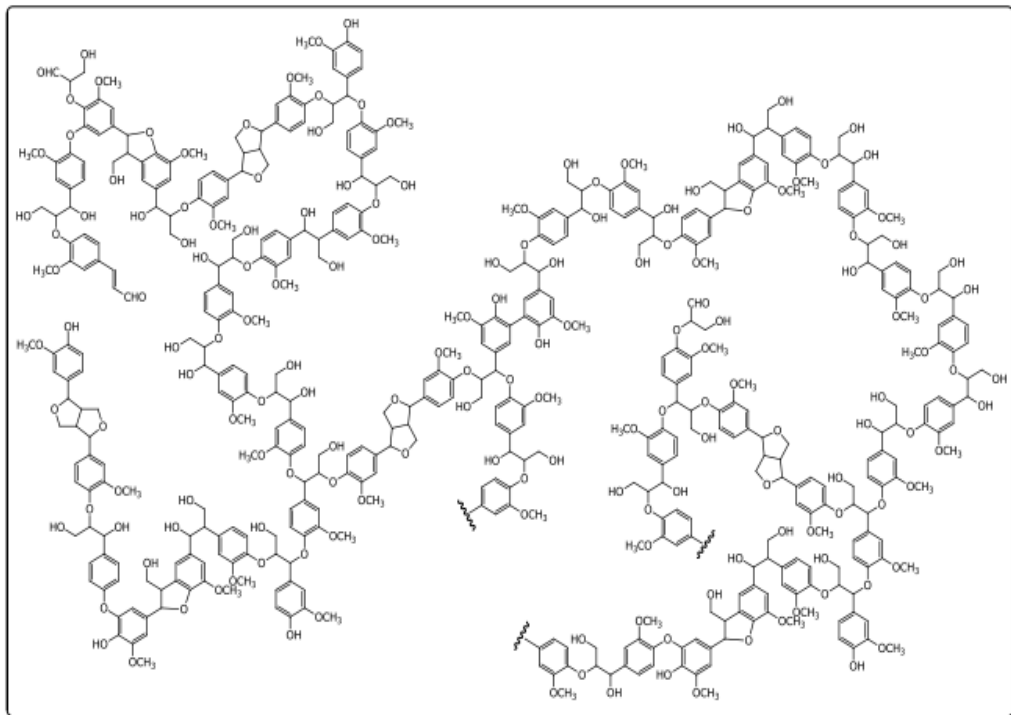


Figura 4 Modelo estructural de la lignina de madera aserrada
Fuente: (Chávez-Sifontes, 2013)

5.3EL PAPEL

El papel es un producto de primera necesidad, fabricado desde el siglo II de nuestra era. Desde el siglo XIX se elabora a partir de madera, ya que con anterioridad se producía a partir de residuos textiles que contenían fibras celulósicas. Durante la década de 1990 la preocupación por el ambiente ha impulsado al reciclado de este material en las empresas. Debido a esto se incrementó la demanda de fibra secundaria (nombre con el que se conoce al papel reciclado), la fibra secundaria es la segunda fuente importante para la elaboración de papel y cartón. (Rivera, 2004)

Las fibras secundarias no se pueden usar más de 4 o 6 ciclos, un gran reto es encontrar en las fibras secundarias propiedades de fibras vírgenes. Se han logrado avances para el reciclado, pero procesos como el destinado, deslignificación, blanqueo, separación de contaminantes, separación de fibras largas y cortas, mejoramiento de propiedades, impacto ambiental son factores a tomar en cuenta. (Rivera, 2004) En la Figura 3 se presenta la estructura de la lignina

5.3.1 Propiedades físicas del papel

Las propiedades físicas del papel que normalmente se evalúan son: el volumen, el tamaño del papel, densidad real y densidad aparente, humedad, capacidad de absorción de agua y la resistencia del mismo. (González Velandia, 2016)

Según Arqhys(Arqhys, 2012) un papel producido con un alto contenido de fibra larga será mucho más rígido que uno con mayor fibra corta, por otro lado va a ser más rígido un papel con pulpa mecánica que uno con pulpa química, esto por la ruptura de enlaces.

5.3.2 Propiedades químicas del papel

Gonzales y Velandia (González Velandia, 2016)mencionan que, las propiedades químicas son las que definen la calidad de las fibras, entre estas están: la flexibilidad,LL estabilidad, adhesión, color, absorción de aditivos.

La hemicelulosa es el componente fundamental que normalmente rodea los filamentos de la celulosa y a su vez son una ayuda a que las microfibrillas se formen.

La holocelulosa cuya función representa una parte total de polisacáridos esta es igual a la suma de la celulosa más hemilulosa. La lignina que es una sustancia natural en este caso para facilitar la adhesión de fibras se debe eliminar, estas son propiedades que se evalúan en la pulpa de papel.(González Velandia, 2016).

5.4 RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS

Estos están formados por tres tipos diferentes de polímeros, celulosa, hemicelulosa y lignina que se observan en la figura 5. La celulosa está constituida por unidades de D-celulosa conectadas entre sí por enlaces glicosídicos β 1-4. En las plantas está compuesta por fragmentos con una estructura cristalina. Estas capas se unen por puentes de hidrógeno formando así fibrillas de celulosa o haces de celulosa (Narváez Jara, 2021).

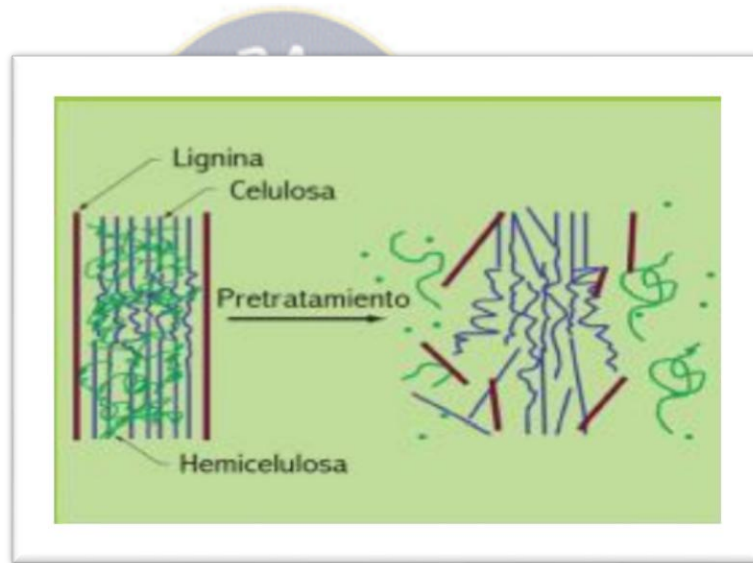


Figura 5 Estructura de la biomasa lignocelulósica
Fuente: (Narváez Jara, 2021)

5.5 LA CELULOSA

Fue identificada por primera vez por el químico francés Anselme Payen en 1838 que aisló la celulosa de varias plantas y determinó su fórmula molecular ($C_6H_{10}O_5$).

En 1922, Staudinger, ganó el premio Nobel en 1953 por sus aportes en la química de la celulosa y macromoléculas, luego de dar a conocer la estructura de la celulosa.

La celulosa es el polímero orgánico más abundante en el mundo. Se estima que representa alrededor del $1,5 \times 10^{12}$ toneladas de la producción total anual de biomasa y

por lo cual se lo considera una fuente casi inagotable de materia prima para la demanda creciente de productos sostenibles con el medio ambiente.(de la Rosa, 2015)

De la Rosa afirma que es un polisacárido lineal de elevado peso molecular y un grado alto de polimerización (GP), además de ser el componente principal en las paredes celulares de los vegetales. El grado de polimerización de la celulosa se define como el número a repetir de unidades de anhidro glucosa (β -D-glucopiranosas) unidas entre sí mediante un enlace glicosídico entre el carbono 1 y 4 en la cadena polimérica. (de la Rosa, 2015)

La celulosa constituye la materia prima del papel. La biomasa lignocelulósica presenta una estructura compleja compuesta por tres fracciones que deben ser procesadas por separado para asegurar una conversión eficiente de este tipo de materiales a etanol.

La celulosa está compuesta de cadenas largas de moléculas de D-glucosa unidas por enlaces β (1,4), que a su vez, se agrupan en estructuras superiores de gran cristalinidad, lo que dificulta la hidrólisis, y conversión a azúcares fermentables. El enlace glicosídico (figura 2) se forma por la reacción del grupo -OH hemiacetálico del carbono anomérico (carbono 1) de la β -D-glucopiranosas con el grupo -OH del carbono 4 de otra β -D-glucopiranosas. Por ello, las unidades de glucosa en los extremos de la cadena celulósica no son iguales. Uno de los extremos de la cadena de celulosa presenta un carbono anomérico que no está implicado en el enlace glicosídico, en este carbono 1 un grupo aldehído de carácter reductor y en el otro lado al final de la cadena el carbono anomérico está protegido por el enlace glicosídico, no mostrando propiedades reductoras.

La piranosa, presenta a los grupos $-\text{CH}_2\text{OH}$, $-\text{OH}$ en posición silla donde los enlaces glicosídicos están en posición ecuatorial y los hidrógenos en posición axial. Que los grupos $-\text{OH}$ se encuentren en posición ecuatorial, permite a la celulosa formar uniones por puentes de hidrógeno intra e intermoleculares dando lugar a fibrillas elementales como se observa en la figura 6, lo que hace que sea insoluble en agua

originando fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales.(Morales-de la Rosa, 2015)

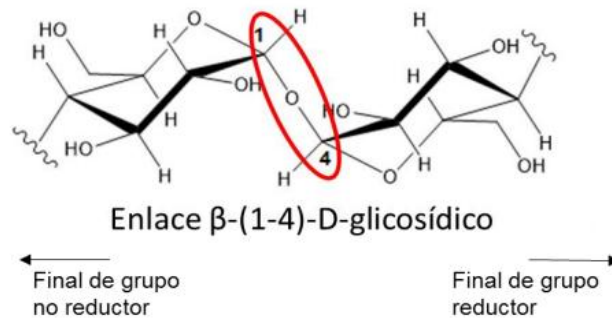


Figura 6 Estructura primaria de la celulosa

Fuente:(Morales-de la Rosa, 2015)

CELULOSA → GLUCOSA → PRODUCTOS DE DEGRADACIÓN

HEMICELULOSA → AZÚCARES → PRODUCTOS DE DEGRADACIÓN

Existen variaciones de uniones y de tamaño de las cadenas como se pueden observar en la figura 7 un esquema de subproductos que se pueden obtener a partir de diferentes fracciones de la biomasa lignocelulósica, desde derivados de celulosa, glucosa, xilosa y otros. En este trabajo es de principal interés la obtención de glucosa ya que mediante un posterior tratamiento de oxidación se puede obtener el biocombustible etanol.

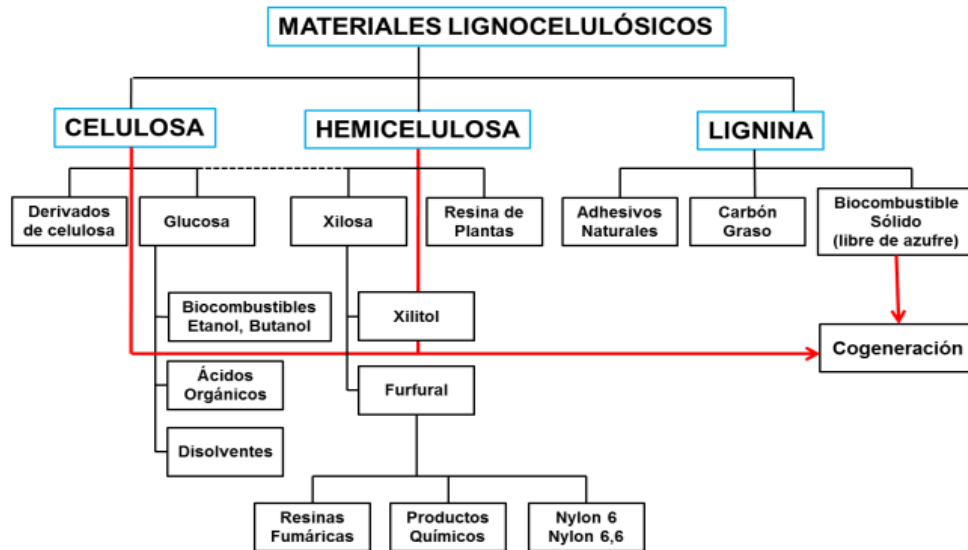


Figura 7 Productos que se pueden obtener a partir de la biomasa lignocelulósica (Morales-de la Rosa, 2015)

Sin embargo, una vez que se producen los azúcares simples, pueden fermentarse sin dificultad ((Narváez Jara, 2021).

5.6 BIOMASA

La biomasa es todo material biológico derivado de los organismos vivos. Se utiliza a menudo material a base de plantas. La biomasa de origen vegetal puede provenir de la biomasa natural, producida por ecosistemas naturales, de la biomasa residual, generada como residuo en los procesos productivos de los sectores agrícola, forestal e industrial y de la biomasa producida a partir de cultivos energéticos que son aquellos dedicados a la producción de biomasa para su utilización energética con fines no alimentarios. Estos últimos son de los que provienen los biocombustibles de primera generación. (Abril, 2012).

La biomasa lignocelulósica de origen vegetal, está constituida por tejidos de los vegetales cuyas células presentan una pared celular constituida a su vez por un entramado de microfibrillas de celulosa formando capas recubiertas de hemicelulosa y sobre las que se deposita la lignina como se observa en la figura 8. La pared celular permite crear y sostener la estructura de las plantas para captar la radiación solar,

dándoles una mayor resistencia mecánica a posibles patógenos. Es por esto por lo que es tan difícil su aprovechamiento para la obtención de compuestos derivados de la biomasa. Se necesitan métodos de tratamiento para poder acceder a ello, pero ninguno de ellos es capaz de aislar completamente cada componente sin modificarlo o degradarlo en al menos una parte. (Morales-de la Rosa, 2015).

Los componentes principales de las paredes celulares, se pueden dividir en tres fracciones orgánicas con las siguientes composiciones representativas en peso seco: 20% -50% de celulosa, 15% -35% de hemicelulosa y 10% -30% de lignina. Además, también contiene cantidades más pequeñas de otros componentes minoritarios; proteínas (3-10%), lípidos (1.5%), azúcares solubles, denominados extractivos y minerales (10.5%), que en los análisis químicos se estiman como cenizas. (Morales-de la Rosa, 2015)

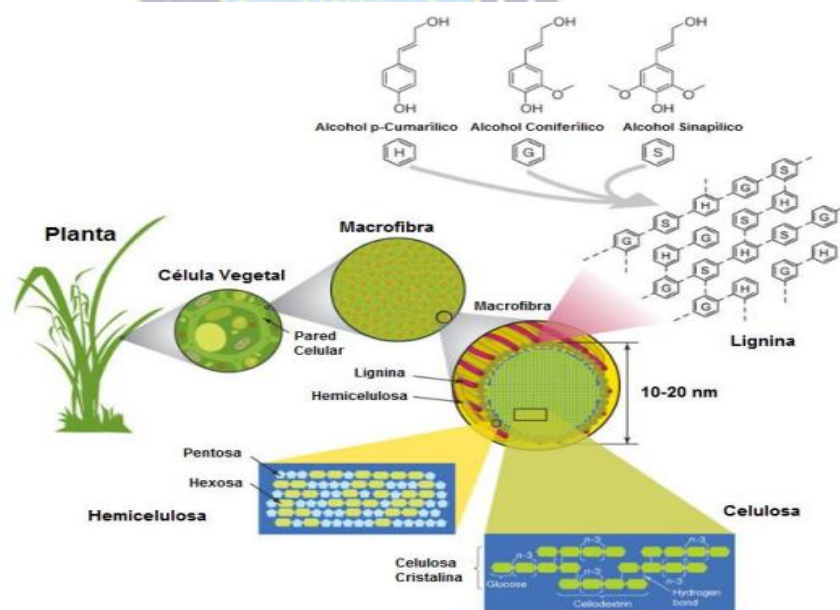


Figura 8 Estructura biomasa lignocelulósica (Morales-de la Rosa, 2015)

5.7BIOETANOL

Existen varias alternativas para la sustitución progresiva de los combustibles fósiles, como el empleo de la energía hidráulica, la eólica, nuclear, solar (directa y fotovoltaica), la obtención de combustibles a partir de la biomasa y otras en desarrollo como la de las mareas y otras.

En el caso del aprovechamiento de la biomasa, el combustible líquido que más se ha desarrollado y ha recibido más atención como posible sustituto de la gasolina es el etanol, teniendo en cuenta la gran experiencia acumulada en su obtención, posibilidades de mezclarse con la gasolina en diferentes proporciones, sin la necesidad de realizar grandes cambios en los motores y la posibilidad de utilizar la infraestructura existente para la distribución de la gasolina.(Fernández González L. , 2006)

Los mayores productores de este biocombustible son EE. UU y Brasil ya que es un producto renovable a diferencia de los combustibles fósiles como se observa en la tabla 1.(Scharlemann Jörn P.W, 2008)

Tabla 1 Producción anual de Bioetanol por país en ($m^3 \times 10^6$)

País	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
EUA	24.7	35.2	41.4	50.3	52.7	50.3	50.3	54.1	56.0	59.6
Brasil	18.9	24.5	24.9	26.2	21.1	21.1	23.7	23.4	26.8	28.2
Europa	2.1	2.7	3.9	4.5	4.4	4.4	5.2	5.5	5.2	5.3
China	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.1	2.6	2.4	3.1	3.2
Canadá	0.8	0.8	1.1	1.3	1.7	1.7	1.9	1.9	1.6	1.7
Resto del mundo	1.2	1.5	3.5	3.7	2.6	2.8	2.7	5.6	4.3	5.0
MUNDO	49.6	66.7	76.8	88.2	84.8	82.5	86.6	93.0	97.0	103.1

Adaptada de: [U.S. Energy Information Administration \(2017\)](#).

Fuente: (Alonso-Gómez, 2018)

5.8 GENERACIÓN DE PAPEL

De acuerdo a las estadísticas proporcionadas por el Instituto Nacional de Ecología en el año 2011, México corta medio millón de árboles diariamente para obtener la pulpa virgen. Al mismo tiempo, se tiran 10 millones de periódicos a la basura al finalizar el día. Anualmente, se tiran 22 millones de toneladas de papel en México. Si se recicla el papel y el cartón, salvaríamos 33% de la energía que necesita para producirlos. Además, por cada tonelada, ahorraríamos 28.000.000 litros de agua y 17 árboles. El papel periódico, el cartón y el papel estraza son los mayores residuos sólidos, por esta razón se les consideró como una buena materia prima para la producción de bioetanol. Objetos de papel reciclables pueden ser: envolturas de papel, hojas, cuadernos, maples de huevo, cartones de papel higiénico, cuadernos, cajas de cartón, papel encerado,

etiquetas de papel, cartón, tetra pack y otros(VARGAS RAMOS, BRIONES RAMÍREZ, & MANCHA SÁNCHEZ, 2013).

En la ciudad de la Paz la principal industria de papel es La Papelera S.A., quienes elaboran material de cartón corrugado, sacos y bolsas de papel; también hacen reciclaje de papel, para la elaboración de cartón. Fundada en 1930 se dedicaba solo a la elaboración de cartón. En 1982, después de la muerte de su fundador, la empresa decide expandirse construyendo otra planta de producción, transformándose en el principal competidor de la industria de papel en Bolivia.

Desde su fundación, LA PAPELERA cuya plata se encuentra en la ciudad de El Alto, se dedicó a la producción artesanal de cuadernos y material de oficina en 1935, la producción de cuadernos y material escolar en 1974, el desarrollo del cartón corrugado y los sacos de cemento en 1976 y también está constituido también por la empresa MADEPA (Manufactura de Papeles S.A) ubicada en el departamento de Santa Cruz.(ASFI.gob.bo, 2015)

5.9 LA QUÍMICA VERDE

La química verde es una es una nueva manera de enfoque de esta ciencia que aporta una incuestionable contribución a la mejora de la calidad de vida y el bienestar del hombre, ideando soluciones en campos diferentes como la salud, higiene o la preparación de nuevos materiales cuyo objetivo es más amigable con el medio ambiente y la salud. Desde su concepción y definitivo impulso, en torno a 1991, la química verde ha crecido a nivel internacional como un enfoque especial en la Química. Se han creado organismos, redes, instituciones, revistas y programas educativos relacionados con la Química Verde es lógica desde el punto de vista científico, más segura que los procesos convencionales, de menor costo con un desarrollo sostenible(Colonna, 2010).

Los principios de la química verde que están relacionados con la producción de bioetanol a partir de papel periódico, de papel estraza y cartón de papel higiénico son los siguientes:

La materia prima ha de ser preferiblemente renovable, siempre que sea técnica y económicamente viable. Analizando este principio, el cartón cumple con este requisito ya que mucho está destinado a ser parte de los desechos sólidos, por lo tanto, son económicamente viables, y renovables, porque al emplear cartón reduciríamos la tala de árboles y daríamos un valor agregado a la materia prima. El producto es biodegradable y menos tóxico.

Se emplean catalizadores (lo más selectivos posibles), reutilizables en lo posible, en lugar de reactivos estequiométricos. Cumple con este principio porque para la fermentación se necesitan enzimas como catalizadores y se usan pequeñas cantidades de residuos, hay reducción en costos energéticos, son selectivos, y actúan sobre su sustrato específicamente provocando mayor eficacia en el producto esperado. (Mifsud Grau, 2008)

Los productos químicos se diseñarán de tal manera que al finalizar su función no persistan en el medio ambiente sin que se transformen en productos de degradación inocuos. El dióxido de carbono desprendido de la combustión de bioetanol es el mismo que absorbe inicialmente la materia prima por medio de la fotosíntesis, habrá un equilibrio porque esa cantidad liberada será nuevamente utilizada por las materias primas. (Pájaro Castro, 2011)



CAPÍTULO VI

PARTE EXPERIMENTAL

6.1 MATERIA PRIMA

Cartón obtenido en la urbe paceña, previamente tratado para obtener celulosa.

6.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Tabla 2 Materiales y equipos empleados

Equipos	Materiales
Estufa	Micropipeta de 1000µL
Hornilla eléctrica	Pipeta de 10mL, 5mL, 2mL.
Bomba de vacío	Embudo buchner 12cm
Campana de gases	Tubos de ensayo 10mL
Espectrofotómetro UV-VIS CECIL 3041	Vasos de precipitados de 100mL, 250mL, 1000mL.
	Propipeta
	Embudo de vidrio
	Piseta
	Termómetro
	Varilla de vidrio
	Kitasato de 500mL
	Matraz de 250mL
	Matraces aforados de 10 mL y 1 de 100 mL

Fuente: Elaboración propia (2022)

6.3 REACTIVOS

Tabla 3 Reactivos empleados

Reactivos para obtención de celulosa e hidrólisis	Reactivos para la cuantificación de glucosa y la curva de calibración
<i>NaOH</i> (Hidróxido de sodio)	Tartrato mixto de sodio y potasio
<i>H₂SO₄</i> (Ácido sulfúrico)	$\text{NaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \times 4\text{H}_2\text{O}$
<i>NaClO</i> (Hipoclorito de sodio)	<i>CuSO₄</i> (Sulfato cúprico)
<i>Ca(OH)₂</i> Cal apagada	Azul de metilo
	<i>H₂SO₄</i> (P.A.) 96%
	<i>NaOH</i> (Sosa caustica)
	<i>H₂SO₄</i> (P.A.) 96%
	Glucosa (P.A.)
	Fenol (5%)
	Indicador azul de metileno

Fuente: Elaboración propia (2022)

The logo of the Universidad Mayor de San Andrés is centered in the background. It features a circular emblem with a sunburst at the top, a mountain range in the middle, and a green ribbon at the bottom. The text "UNIVERSITAS MAIOR PACENSIS DIVI ANDREAE" is written around the perimeter of the circle. Below the circle is a shield with a blue cross and a central emblem.

CAPÍTULO VII

PROCEDIMIENTO

7. METODOLOGÍA

7.1 PRUEBA DE FEHLING

Es una disolución descubierta por el químico alemán Hermann Von Fehling que se utiliza como reactivo; se basa en determinar si el azúcar posee poder reductor ya que los azúcares reductores tienen una coloración rojiza debido a la formación de óxido cuproso que se forma por oxidación del azúcar por medio del catión Cu^{+2} . El reactivo de Fehling consta de la preparación de dos soluciones:

Fehling A: Que es 3,5g de $CuSO_4 \times 7H_2O$ disuelto en 50 ml H_2O . que concentración.

Fehling B: 5 g de NaOH y 17,3 g de tartrato mixto de sodio y potasio $NaC_4H_4O_6 \times 4H_2O$ disueltos en 50 mL de H_2O

7.1.1 Fundamento de la reacción

En medio alcalino, el cobre procedente de $CuSO_4$ se encuentra en forma de Hidróxido cúprico $Cu(OH)_2$, y se forma la correspondiente sal $CuSO_4$. Cuando el $Cu(OH)_2$ (de color azul) se calienta en presencia de un compuesto reductor se forma ácido cuproso (de color rojo ladrillo).

Si hay un compuesto reductor, el Cu^{++} cambia su estado de oxidación, lo que se evidencia por el cambio de color Cu^+ .

Esta reacción se produce en medio alcalino fuerte, por lo que algunos compuestos no reductores como la fructosa que contiene un grupo cetona puede enolizarse a la forma aldehído dando lugar a un falso positivo. (Benítez, 2010)

7.2 ESPECTROSCOPIA UV- VIS

Método basado en el proceso de absorción de la radiación electromagnética, en la figura 8 se observa el espectro electromagnético, dentro del rango ultravioleta-visible UV-Vis (radiación con longitud de onda entre los 160 y 780 nm) por una molécula.

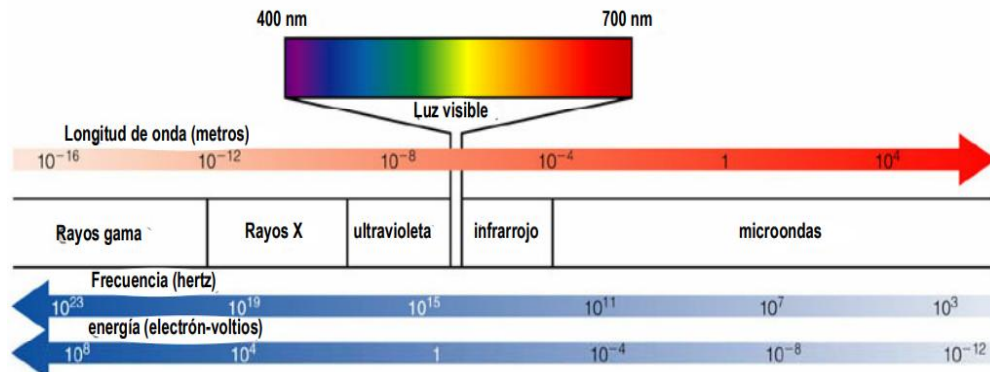


Figura 9 Espectro electromagnético
(Díaz, 2010)

En la figura 9 se observa un diagrama de energías debido a la absorción de energía la cual causa el salto de un electrón de un estado energético basal o fundamental E_1 a un estado excitado E_2 . Posteriormente la molécula relaja su energía mediante distintos mecanismos (vibración, rotación, otras)(Díaz, 2010).

Los electrones que se excitan son electrones de enlace, por lo que los picos de absorción se pueden ordenar con los distintos tipos de enlace presentes en el compuesto. Debido a ello, se emplea la espectroscopía UV-Vis para identificación de grupos funcionales de una molécula. Las bandas que aparecen en un espectro UV-Vis son anchas debido a la superposición de transiciones vibracionales electrónicas. (Alicante, 2022)

$$E_2 - E_1 = h\nu$$

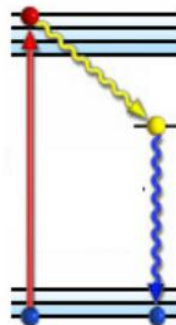


Figura 10 Diagrama de niveles de energía en una molécula
(Díaz, 2010)

La cantidad de energía luminosa absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para realizar este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, donde se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma. Sólo se absorberá la energía que permita el salto al estado excitado. Cada molécula tiene una serie de estados excitados (o bandas) que la distingue del resto de moléculas. Como consecuencia, la absorción que a distintas longitudes de onda presenta una molécula esto es, su espectro de absorción y constituye una señal de identidad de la misma. Por último, la molécula en forma excitada libera la energía absorbida hasta el estado energético fundamental. (Díaz, 2010)

7.2.1 Cuantificación de carbohidratos utilizando fenol y ácido sulfúrico

Los carbohidratos pueden ser determinados tanto oligosacáridos como polisacáridos, ya que mediante hidrólisis ácida producen monosacáridos. El mecanismo de reacción de algunos ácidos fuertes; como ácido sulfúrico, ácido fosfórico y ácido clorhídrico, deshidrata el carbohidrato con la eliminación de agua. Con esta reacción se forman derivados del furfural, y el 5-hidroximetilfurfural (HMF), siendo este compuesto de mucha importancia como precursor de otras biomoléculas de mucha importancia alimentaria e industrial. En caso de pentosas, se produce la deshidratación a furfural y en las hexosas a HMF. En presencia de fenol el HMF formará complejos coloreados en solución facilitando la cuantificación de los carbohidratos por espectrofotometría. (López-Legarda, 2017)

El método Dubois demostró ser simple, estable y reproducible logrando acortar el tiempo necesario para la determinación de carbohidratos comparados con otros métodos colorimétricos. (Dubois M. K., 1950)

7.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

7.3.1 Obtención de la celulosa

Para la extracción de la celulosa se emplea un método modificado de García Alcocer, el mismo que se divide en tres etapas; hidrólisis básica, hidrólisis ácida y blanqueo modificado (García-Alcocer, 2019)

La materia prima cuyo peso inicial es de 38,7g se recolecta en la urbe paceña, en cercanías de un contenedor de basura como se observa en la figura 11, posterior a la recolección se lo lava con agua caliente que se utiliza para el lavado con agua como se observa en la figura 12:

Se realizó un muestreo por la urbe paceña, en la zona central en la calle Federico Suazo, detrás del colegio Don Bosco, se realizó un muestreo al azar obteniendo las porciones representativas las cuales se trataron.

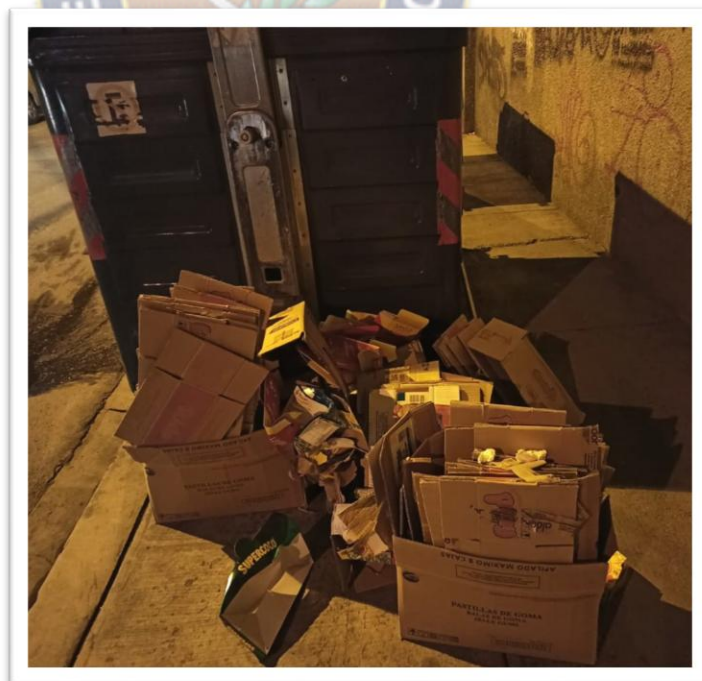


Figura 11 Recolección del cartón
Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura 12 Lavado del cartón
Fuente: Elaboración propia (2022)

7.3.2 Hidrólisis básica

Para la hidrólisis básica de la biomasa se preparó una solución de hidróxido de sodio (Sosa caustica) con una concentración de 10%, 12% y 15%p/v, en un vaso de precipitados de 1000 mL se adicionó a la solución 50 g de la muestra de cartón, se elevó la temperatura a 70°C con agitación constante durante 120 min para eliminar lignina, ceras, pectinas y resinas que se disuelven durante el tratamiento, como se observa en la figura 13.

Posterior al proceso la muestra se lavó por filtración al vacío hasta obtener un pH básico.

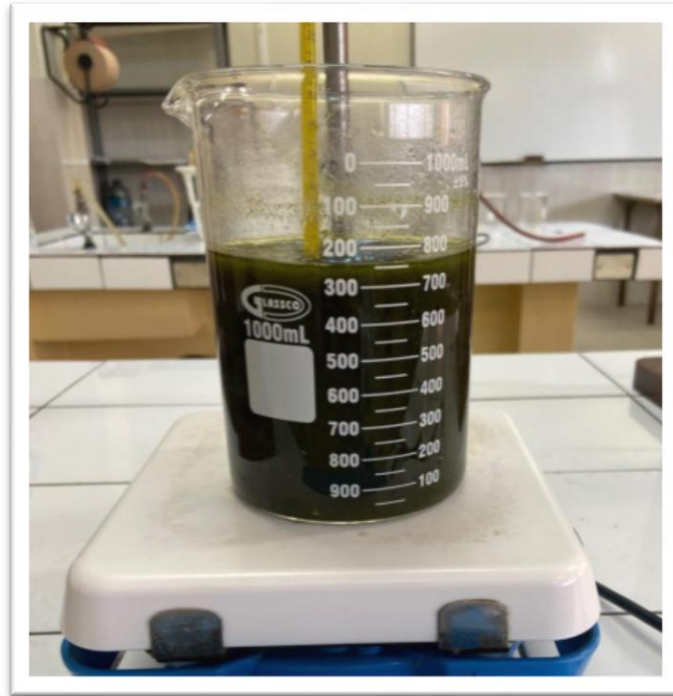


Figura 13 Hidrólisis básica del cartón
Fuente: Elaboración propia (2022)

7.3.3 Hidrólisis ácida

Para este procedimiento se utilizó una solución de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) con una concentración de 10%, 15% y 20% v/v junto con la muestra antes tratada, se llevó a una temperatura de 80°C con agitación constante durante 80 min como se puede apreciar en la figura 14, concluido el tiempo se dejó enfriar la muestra para luego lavarla con agua destilada hasta llegar a un pH neutro.



Figura 14 Hidrólisis ácida del cartón
Fuente: Elaboración propia (2022)

7.3.4 Blanqueo

Para el blanqueo de la celulosa extraída previamente se emplea una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) con concentraciones de 0,5%; 5% y 10% v/v llevando a una temperatura de 80 °C durante 2 h, luego se dejó enfriar a temperatura ambiente para luego neutralizar con agua destilada hasta un pH lo más cercano al neutro, luego se secó en una estufa durante 24 h a 64 °C. En la figura 15a) se puede apreciar la celulosa al inicio del proceso de blanqueamiento en donde aún tenía un color marrón, mientras que en la ilustración 15b) la celulosa ya tomó un color blanquecino.

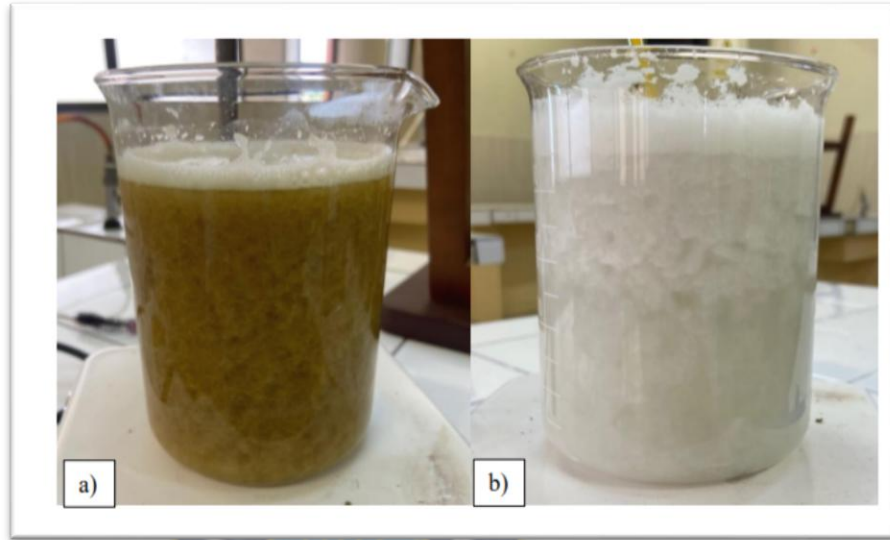


Figura 15 Blanqueo del cartón
a) Inicio de blanqueo del cartón, b) Final del proceso
Fuente: Elaboración propia (2022)

Posterior a este tratamiento se filtró la celulosa obtenida y se la deshidrató en la estufa por dos días controlando que no se quemara u oscurezca obteniendo así una celulosa evidentemente más clara que la de origen, que se observa en la figura 16.



Figura 16 Celulosa obtenida
Fuente: Elaboración propia (2022)

7.3.5 Hidrólisis ácida de la celulosa

Una vez obtenida la celulosa ya seca con una masa de 32.4 g; se pesó 1,00 g en un vaso de precipitado de 100 mL, para el proceso de hidrólisis (figura 17).



Figura 17 Celulosa empleada
Fuente: Elaboración propia (2022)

Se prepararon 8 soluciones de las concentraciones reflejadas en la tabla 4, añadiendo 3,8 mL de ácido sulfúrico de concentraciones de: 96%, 90%, 80%, 70%, 60%, 40%, 30%, 10%, al vaso que contenía la celulosa, se agrega 40 mL de agua destilada.

La hidrólisis inicia al colocar el vaso de precipitados sobre una hornilla eléctrica como se observa en la figura 18, el tiempo ira variando a fin de hallar el adecuado, se termina la hidrólisis al retirar el vaso de la fuente de calor directa y llevarlo a baño de agua fría como se observa en la figura 19.

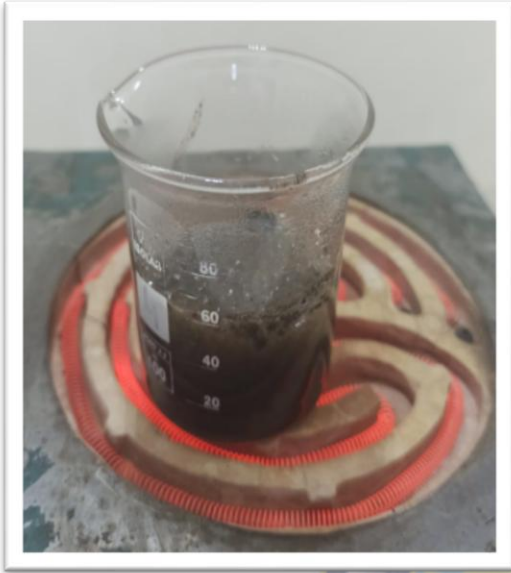


Figura 18 Inicio de la hidrólisis ácida
Fuente: Elaboración propia (2022)

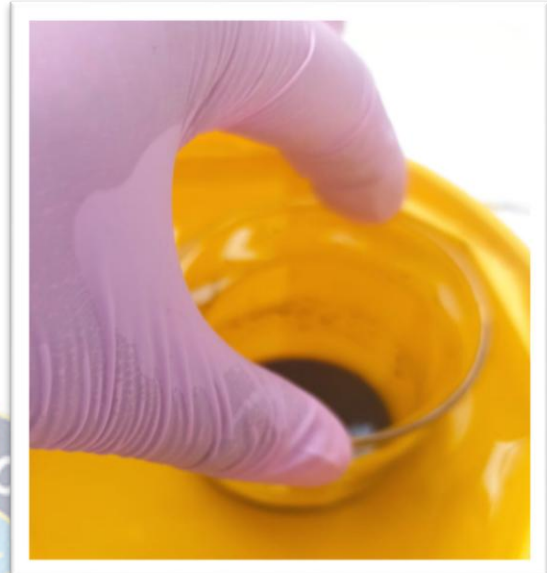


Figura 19 Fin de la hidrólisis
Fuente: Elaboración propia (2022)

Finalizada la hidrólisis (figura 20) se filtra la solución y se lava dos veces el residuo, con agua destilada, se desecha el mismo y se trabaja con el filtrado, el cual presenta un color marrón como se observa en la figura 21.



Figura 20 Filtrado de la solución
Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura 21 Solución resultante
Fuente: Elaboración propia (2022)

7.3.6 Neutralización del pH

Para determinar la presencia de azúcares reductores, específicamente de la glucosa, se realizó una prueba de Fehling, para este análisis se requiere de una previa neutralización ya que el medio está fuertemente ácido, tras la neutralización se dio fin a la hidrólisis evitando así la degradación de la glucosa.

Esta neutralización se realizó con la adición de $Ca(OH)_2$ comúnmente denominada cal apagada, como se observa en la figura 22, se controló el pH hasta la obtención de un pH fuertemente básico aproximadamente a $pH = 12$. Al basificar el pH se forman precipitados blancos de Sulfato de Calcio, y Bisulfato de Calcio como se muestra en la figura 23, los cuales se deben filtrar para evitar su interferencia al momento de la cuantificación de glucosa por espectrofotometría UV-Vis.

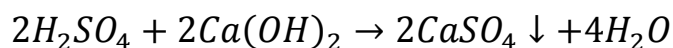


Figura 22 Basificación del pH
Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura 23 Formación de precipitado
Fuente: Elaboración propia (2022)

La neutralización ocurre mediante la reacción:



Ya neutralizado este compuesto y posterior a filtrar al vacío, como se observa en la figura 24, se procedió a realizar la prueba de Fehling para confirmar la presencia de azúcares reductores.



Figura 24 Filtrado de los precipitados
Fuente: Elaboración propia (2022)

7.4 PRUEBAS PARA DETERMINAR LA OBTENCIÓN DE GLUCOSA

7.4.1 Prueba de Fehling

Una vez filtrada la solución se añadió 3 gotas de la solución A posterior a ello se adicionaron 3 gotas de la solución B y 2 gotas del indicador azul de metileno, se calentó esta solución y se esperó el cambio de coloración para un resultado positivo o que se mantenga el color para una respuesta negativa.

La figura 25 muestra el característico color inicial (azul) que otorgan los reactivos y este color se mantendrá de ser negativa la respuesta, tras calentar unos segundos este color cambió como se observa en la figura 26.



Figura 25 Pruebas de Fehling

Fuente: Elaboración propia (2022)

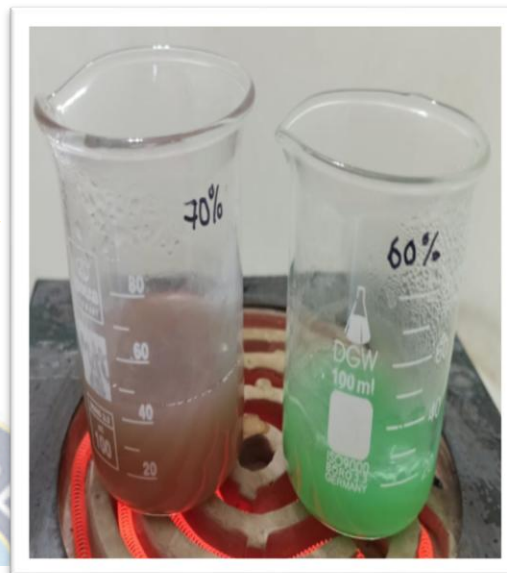


Figura 26 Resultados positivos

Fuente: Elaboración propia (2022)

7.5 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS ÓPTIMOS

Se prepararon 8 soluciones con masa de cartón 1,00 g, temperatura $T = 90^{\circ}\text{C}$ constantes y variaciones de tiempo, 8 concentraciones de ácido sulfúrico que se observan en la tabla 4 con un volumen constante de $v_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 3,8 \text{ mL}$ los cuales se controlaron con la prueba de Fehling para evidenciar la presencia de glucosa tras la hidrólisis.

Tabla 4 Datos obtenidos a Temperatura constante de 90°C

tiempo/min	$\text{H}_2\text{SO}_4/\%$	pH_0	pH_F	Prueba de Fehling
5	96	1	13	++
10	90	1	12	++
20	80	1	12	++
25	70	1	13	+++
30	60	1	11	++
40	40	1	13	++
45	30	1	13	++
50	10	1	13	+

+++ Presencia positiva, ++Presencia, +Posible presencia

Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura 27 Hidrólisis ácida para diferentes: concentraciones de ácido y tiempos

Fuente: Elaboración propia

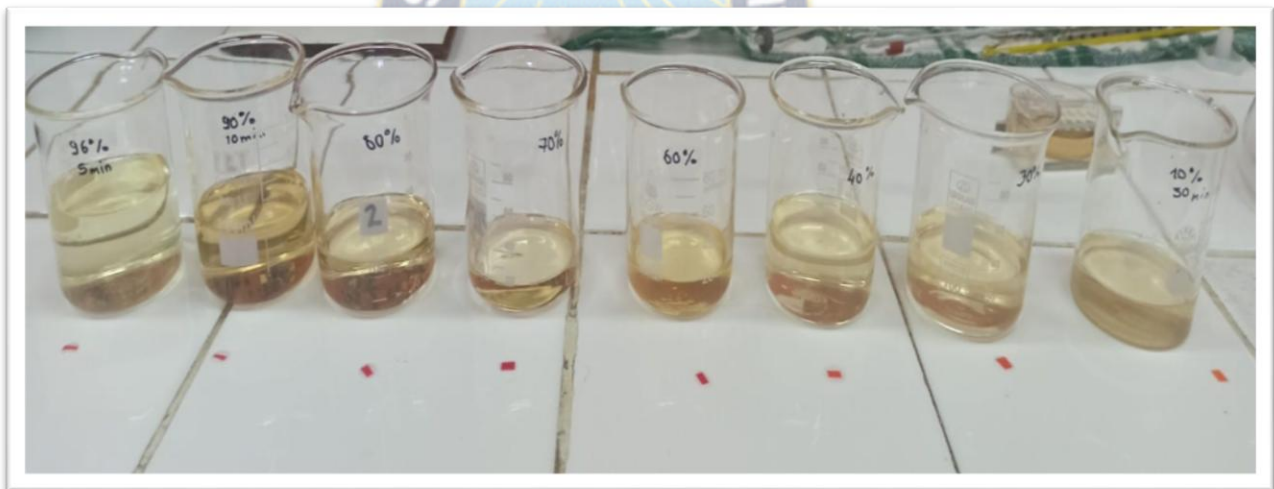


Figura 28 Filtrado de soluciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se observa que se realizó hidrólisis siguiendo el mismo procedimiento ya descrito para cada caso variando las concentraciones de ácido de: 96%, 90%, 80%, 70%, 60%, 40%, 30%, 10% a diferentes tiempos, de 5 min, 10 min, 20 min, 25 min, 30 min, 40 min, 45 min, 50 min, esto para determinar el tiempo ideal y la concentración de ácido óptima para la hidrólisis, en la figura 28 se observa que todas las soluciones tras las hidrólisis tienen un pH fuertemente ácido.

Se realizó la prueba de Fehling a todas las soluciones ya neutralizadas y filtradas, se añadió tres gotas de reactivo A, tres de reactivo B y 2 del indicador azul de metileno, y se llevó a calentar por unos segundos como se observa en la figura 29.

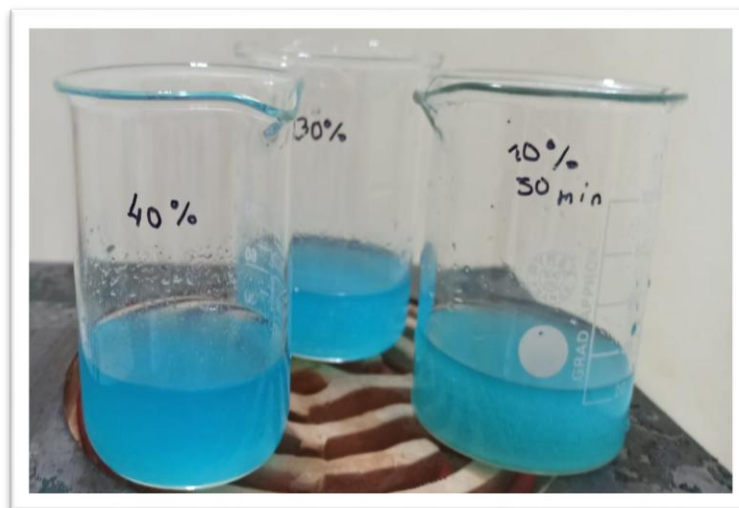


Figura 29 Prueba de Fehling a las soluciones
Fuente: Elaboración propia (2022)

Se evidenció que el resultado positivo más evidente mediante la prueba de Fehling es a concentración de ácido sulfúrico de 70%, y un tiempo de hidrólisis de 25 min, debido a que se observa con un cambio de coloración evidente, como se puede apreciar en la figura 30.



Figura 30 Resultados a diferentes concentraciones y tiempo

Fuente: Elaboración propia (2022)

Se elaboraron también 6 soluciones con variaciones de temperatura que van desde 40 °C. 50 °C. 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C datos que se reflejan en la tabla 5 y concentración del ácido sulfúrico de 90 %, 80 %, 70%, 60%, 40% y 30% respectivamente con tiempo constante de 25 min. Siendo las temperaturas de 40 °C, 50°C, 60 °C y 90 °C resultados positivos, se tomará en cuenta el valor de 90 °C ya que se trata de la temperatura de ebullición que se controló con ayuda de un termómetro.

Tabla 5 Datos obtenidos a tiempo constante de 25 min

Temperatura /°C	H ₂ SO ₄ /%	pH ₀	pH _F	Prueba de Fehling
40	90	1	10	+++
50	80	1	12	++
60	70	1	13	++
70	60	1	13	+
80	40	1	12	+
90	30	1	13	++

Fuente: Elaboración propia (2022)

La muestra problema se determinó entonces bajo las condiciones descritas en la tabla 6, condiciones que se determinaron experimentalmente tomando en cuenta los resultados obtenidos a diferentes condiciones fisicoquímicas.

Tabla 6 Condiciones de análisis de la muestra

Masa de celulosa	1,00 [g]
Volumen de H ₂ SO ₄	3,80 [mL]
Concentración del H ₂ SO ₄	70 % (v/v)
Volumen del agua destilada	40 mL
Tiempo de hidrólisis	25 min
Temperatura	90 °C

Fuente: Elaboración propia 2022

7.5 METODOLOGIA

En las figuras 31, 32 y 33 se presentan las metodologías seguidas para el desarrollo de cada uno de los pasos que se siguió en el proyecto.

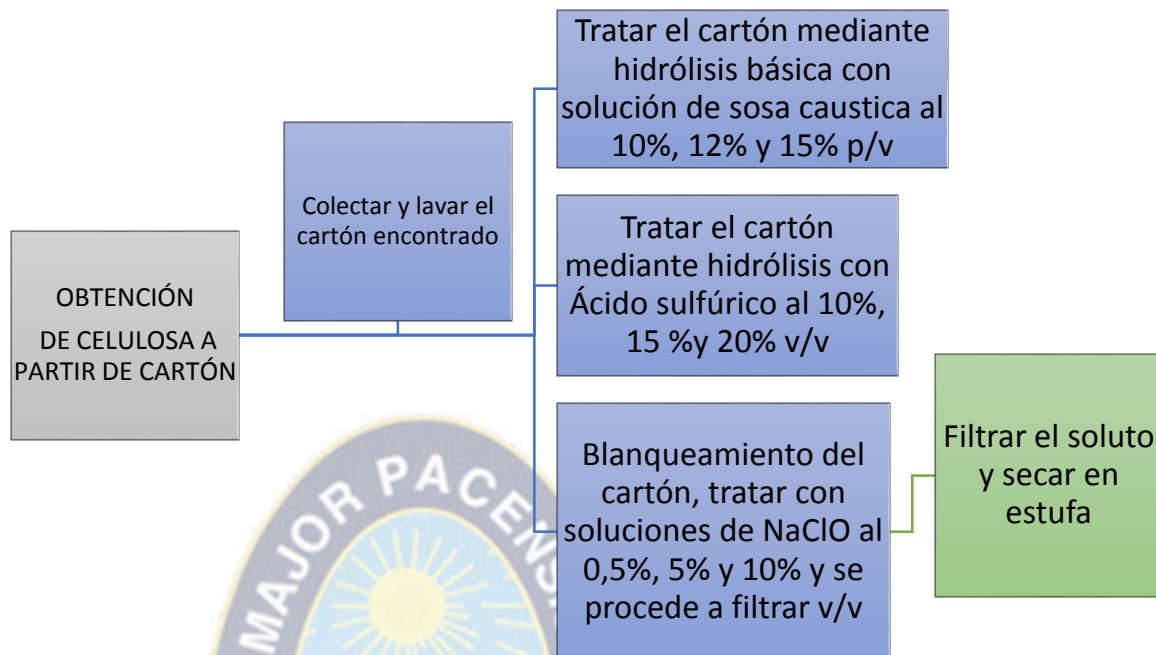


Figura 31 Metodología para obtención de celulosa procedente de cartón

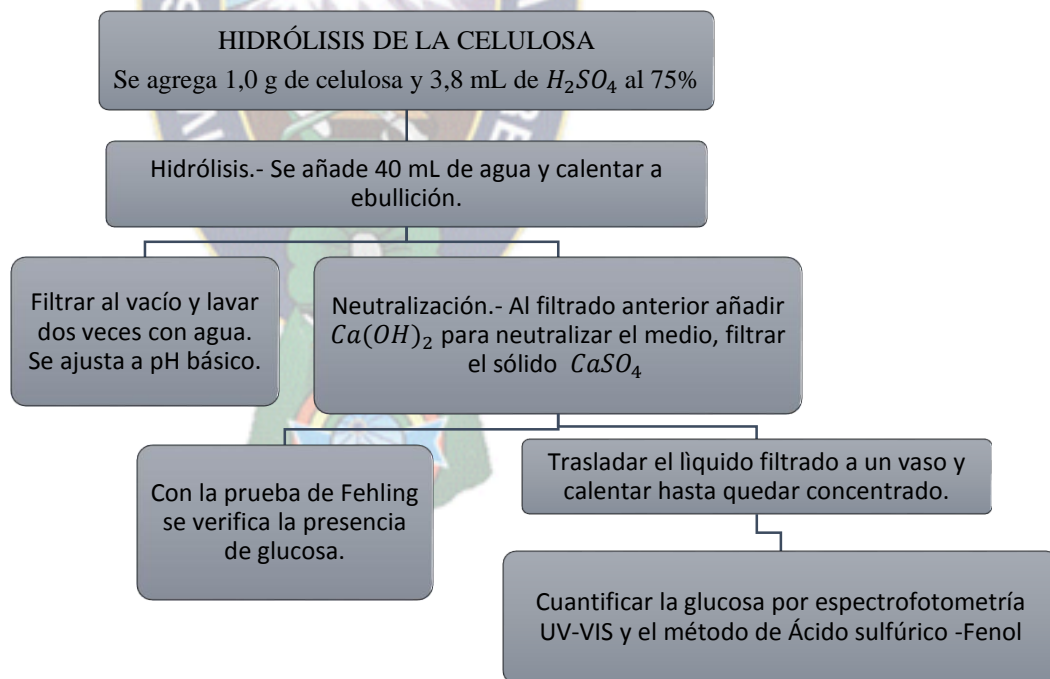


Figura 32 Metodología para hidrólisis de celulosa y obtención glucosa

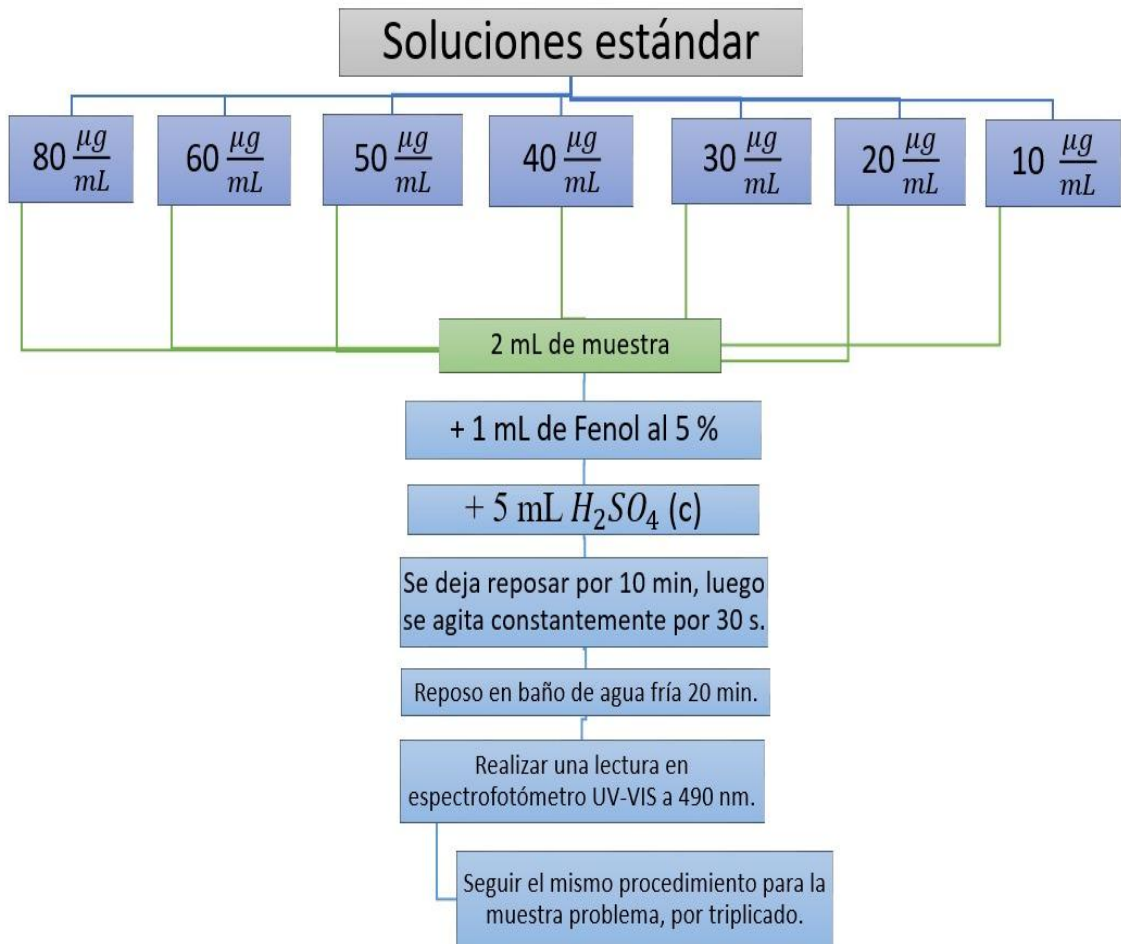
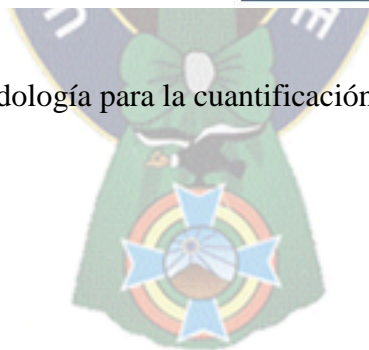
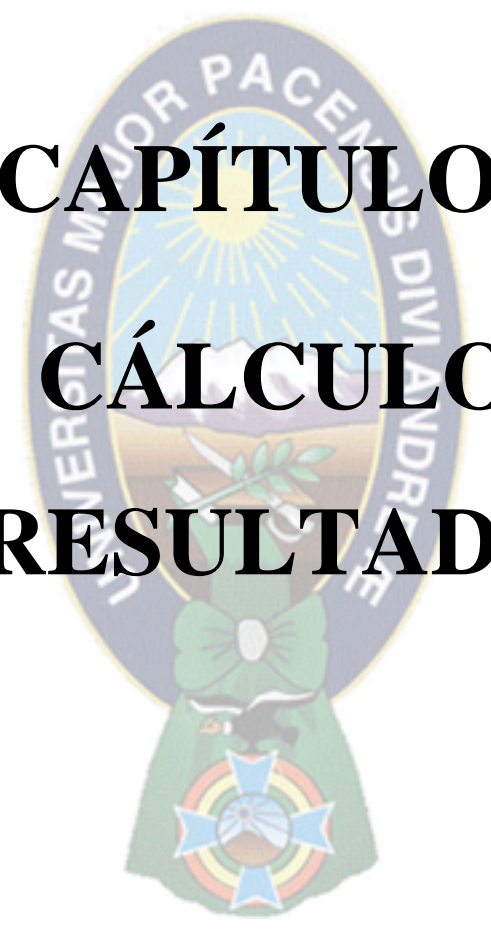


Figura 33 Metodología para la cuantificación de glucosa(Dubois M. G., 1956)





CAPÍTULO VIII

CÁLCULOS Y

RESULTADOS

8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

8.1 CURVA DE CALIBRACIÓN DE GLUCOSA

Para determinar la concentración de glucosa obtenida a partir de la hidrólisis ácida de la celulosa, se prepara 7 soluciones de concentraciones que se reflejan en la tabla 7, empleando glucosa de grado analítico (p.a.).

Tabla 7 Datos obtenidos para la curva de calibración

Concentración/ $[\mu\text{g}/\text{mL}]$	Absorbancia
80	0,931
60	0,696
50	0,597
40	0,485
30	0,401
20	0,260
10	0,103

Fuente: Elaboración propia (2022)

En la figura 34 se observa la curva obtenida empleando la técnica de espectroscopia UV-VIS, empleando la metodología Ácido sulfúrico – fenol.

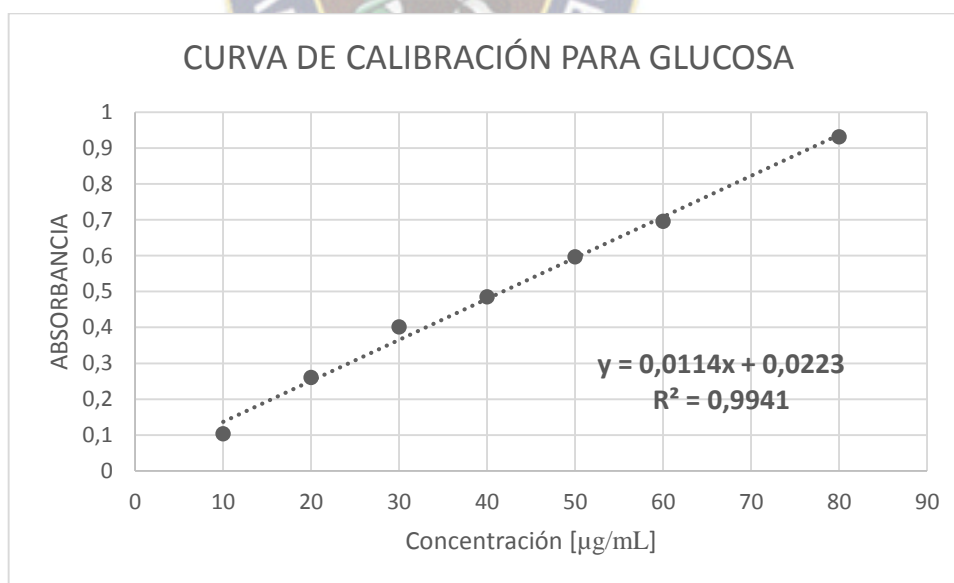


Figura 34 Curva de calibración
Fuente: Elaboración propia

La curva presenta un coeficiente de correlación $R^2 = 0,9941$ lo que indica que existe una buena correlación entre la absorbancia medida y la concentración. Esta curva de calibración se emplea para determinar la concentración de la glucosa presente en las muestras.

8.2 CÁLCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOSA OBTENIDA DE LA HIDRÓLISIS ÁCIDA DE CELULOSA A PARTIR DE CARTÓN

, en este caso glucosa p.a. se realizarán 7 concentraciones diferentes las cuales se medirán sus absorbancias con un espectrofotómetro para obtener así la recta de la curva, datos que se observan en la tabla 7.

Para determinar la concentración de la glucosa obtenida tras la hidrólisis se empleará la curva de calibración obtenida, midiendo la absorbancia de la muestra problema por triplicado, se obtuvieron las absorbancias que se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8 Absorbancias de la muestra problema

Muestra	Absorbancia
1	0,882
2	0,803
3	0,926

Fuente: Elaboración propia 2022

De la curva de calibración se obtuvo la siguiente ecuación:

$$y = 0,0114x + 0,0223$$

Se reemplazará las absorbancias registradas para las muestras 1, 2, 3 y se obtiene el siguiente resultado:

$$C_i = \frac{0,882 - 0,0223}{0,0114} = 75,4 \frac{\mu g}{mL}$$

Una vez culminada la hidrólisis de la celulosa obtenida, tras filtrar se tuvo una solución con un volumen de 11,5 mL, la concentración de esta muestra de cuantificó por

triplicado, realizando una dilución de la siguiente manera: Se tomó 1,00 mL de la solución de diluyó en un matraz aforado de 25 mL, se tomaron 5mL de la solución resultante y se la diluyeron en un matraz aforado 25 mL como se observa en la figura 35.

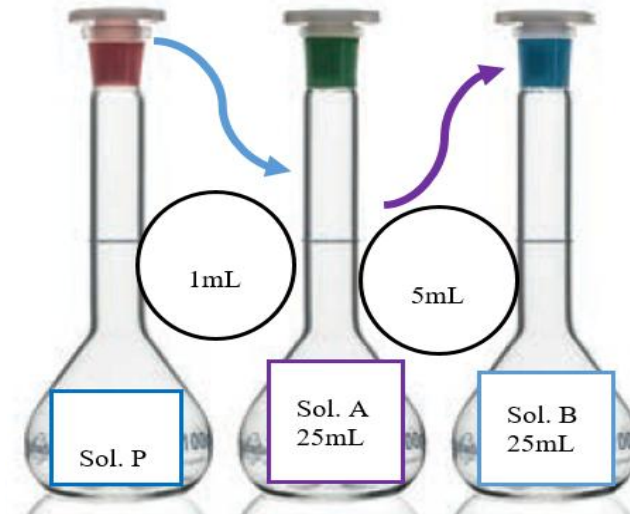
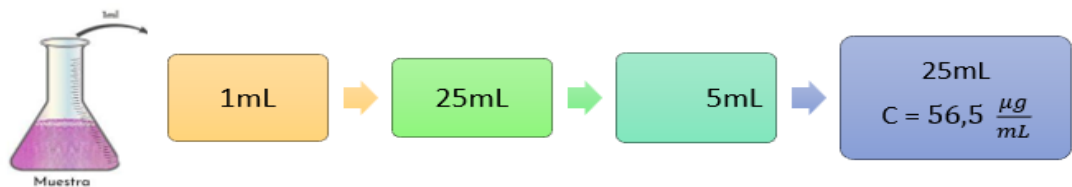


Figura 35 Diluciones de la muestra



Factor de dilución 1 = 25

Factor de dilución 2 = 5

Para absorbancia 0,882

$$75,4 \frac{\mu g}{mL} \times 5 = 377 \frac{\mu g}{mL} \times 25 = 9425 \frac{\mu g}{mL} \times \frac{1g}{10^6 \mu g} \times \frac{1000 mL}{1 L} = 9,42 \frac{g}{L}$$

Para absorbancia 0.803

$$68,5 \frac{\mu g}{mL} \times 5 = 377 \frac{\mu g}{mL} \times 25 = 8562,5 \frac{\mu g}{mL} \times \frac{1g}{10^6 \mu g} \times \frac{1000 mL}{1 L} = 8,56 \frac{g}{L}$$

Para absorbancia 0.926

$$77,5 \frac{\mu g}{mL} \times 5 = 377 \frac{\mu g}{mL} \times 25 = 9687,5 \frac{\mu g}{mL} \times \frac{1g}{10^6 \mu g} \times \frac{1000 mL}{1 L} = 9,69 \frac{g}{L}$$

Tabla 9 Concentración de glucosa obtenida

Muestra	Concentración [g/L]
1	9,42
2	8,56
3	9,69
Promedio	9,22
Desviación estándar	0,589
Coefficiente de Varianza	6,38

Fuente: Elaboración propia

La concentración de glucosa obtenida fue:

$$[C]_{Glucosa} = 9,22 \pm 0,589 \frac{g}{L}$$

La masa de glucosa obtenida fue:

Para absorbancia 0,882

$$75,4 \frac{\mu g}{mL} \times 5 = 377 \frac{\mu g}{mL} \times 25 = 9425 \frac{\mu g}{mL} \times 11,5 mL = 108387 \mu g \times \frac{1 g}{10^6 \mu g} = 0,108 g$$

Para absorbancia 0.803

$$68,5 \frac{\mu g}{mL} \times 5 = 377 \frac{\mu g}{mL} \times 25 = 8562,5 \frac{\mu g}{mL} \times 11,5 mL = 98469 \mu g \times \frac{1 g}{10^6 \mu g} = 0,098 g$$

Para absorbancia 0.926

$$77,5 \frac{\mu g}{mL} \times 5 = 377 \frac{\mu g}{mL} \times 25 = 9687,5 \frac{\mu g}{mL} \times 11,5 mL = 111406 \mu g \times \frac{1 g}{10^6 \mu g} = 0,111 g$$

Glucosa promedio: **0,106 g** masa de celulosa hidrolizada

Rendimientos de celulosa y glucosa obtenidas del cartón:

$$\% = \frac{m_{\text{celulosa obtenida}}}{m_{\text{cartón}}} \times 100 = \frac{32,4572g}{38,6746g} \times 100 = 83,9\%$$

100g de cartón → 83,9g celulosa

xg de cartón → 1,00 g celulosa

x g de cartón = 1,19 g celulosa

$$\frac{0,106 \text{ g glucosa}}{1 \text{ g celulosa}} \times 100 = 10,6\%$$

$$\frac{0,106 \text{ g glucosa}}{1,19 \text{ g de cartón}} \times 100 = 8,90 \%$$



The logo of Universidad Mayor Pacensis is a circular emblem. It features a sun with rays at the top, a mountain range in the middle, and a green landscape with a blue cross at the bottom. The text "UNIVERSIDAD MAJOR PACENSIS" is written around the top inner edge of the circle, and "MI AVANCE" is written around the bottom inner edge. The text "UNIVERSIDAD MAJOR PACENSIS" is also visible on the left side of the circle.

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 CONCLUSIONES

Los resultados muestran que es viable la obtención de glucosa a partir de cartón.

La obtención de celulosa a partir del cartón muestra que tiene un alto potencial para la producción de glucosa.

Se determinó que las condiciones para obtener glucosa, mediante hidrólisis ácida son: concentración de H_2SO_4 al 70 % (v/v), temperatura 90 °C y un tiempo de 25 min.

Mediante la prueba para azúcares reductores de Fehling se verificó la presencia de azúcares en todos los procesos.

Una vez conocidos los valores óptimos de las condiciones fisicoquímicas, se determinó la concentración de la glucosa obtenida siendo $[C]_{Glucosa} = 9,22 \pm 0,589 \frac{g}{L}$, y el rendimiento empleando el método de Fenol – ácido sulfúrico fue del 10,6%,

Con las variables que se determinaron y utilizando la técnica de la espectroscopía UV-VIS, se cuantificó la glucosa mediante el método fenol – ácido sulfúrico obteniéndose un rendimiento de 8,90 %.

La celulosa obtenida a partir de cartón contiene cantidades significativas de glucosa que puede ser transformada mediante una fermentación para producir bioetanol.

Se concluye que la hidrólisis es un factor determinante en la obtención de la glucosa y las condiciones como: temperatura, concentración de ácido y tiempo de hidrólisis y además dependerá de las materias primas que se vayan a utilizar para este procedimiento.

Con base a este trabajo se demostró que la metodología propuesta para el cartón, es decir su tratamiento previo, para la obtención de la celulosa es eficiente con un rendimiento de 83,9%.

9.2. RECOMENDACIONES

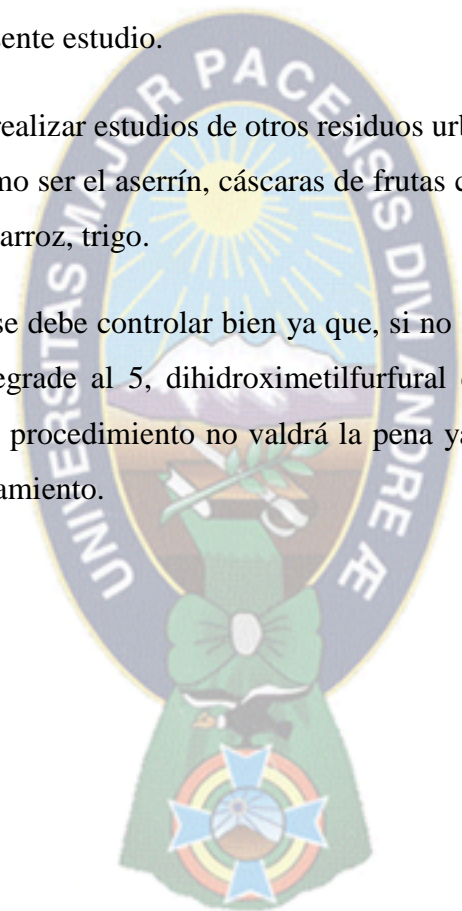
Se recomienda realizar el estudio de la hidrólisis acida del cartón empleando otros ácidos

Con base en los resultados obtenidos en este proyecto se recomienda realizar fermentaciones para obtener bioetanol.

Se recomienda realizar estudios de hidrolisis básica del cartón, para complementar el presente estudio.

Recomendar realizar estudios de otros residuos urbanos que contengan materiales lignocelulósicos. Como ser el aserrín, cáscaras de frutas como naranja, cacao y residuos de cereales como ser arroz, trigo.

La hidrólisis se debe controlar bien ya que, si no se detiene, se corre el riesgo de que la glucosa se degrade al 5, dihidroximetilfurfural de ser así la concentración de glucosa bajará y este procedimiento no valdrá la pena ya que se requiere de la glucosa para un posterior tratamiento.



ANEXOS



Figura 36 Problemática de la basura en la urbe paceña
Fuente: Elaboración propia (2022)

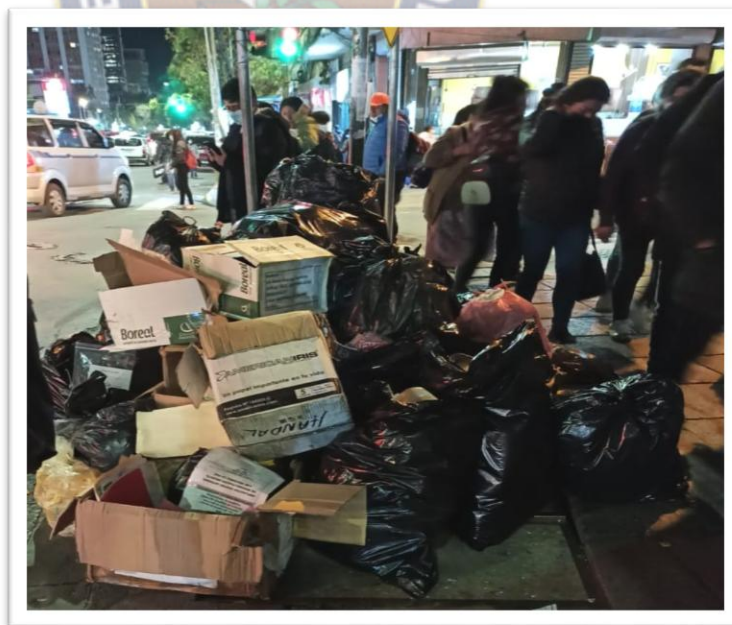


Figura 37 Cartones acumulados en el centro de la ciudad de La Paz
Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura 38 Espectrofotómetro UV-VIS CECIL 3041 (REGIMPORT Lab)
Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura 39 Patrones medidos para elaborar la curva de calibración
Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura 40 Patrones con los que se elaboró la curva de calibración
Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura 41 Enfriado como requiere el Método Dubois
Fuente: Elaboración propia (2022)

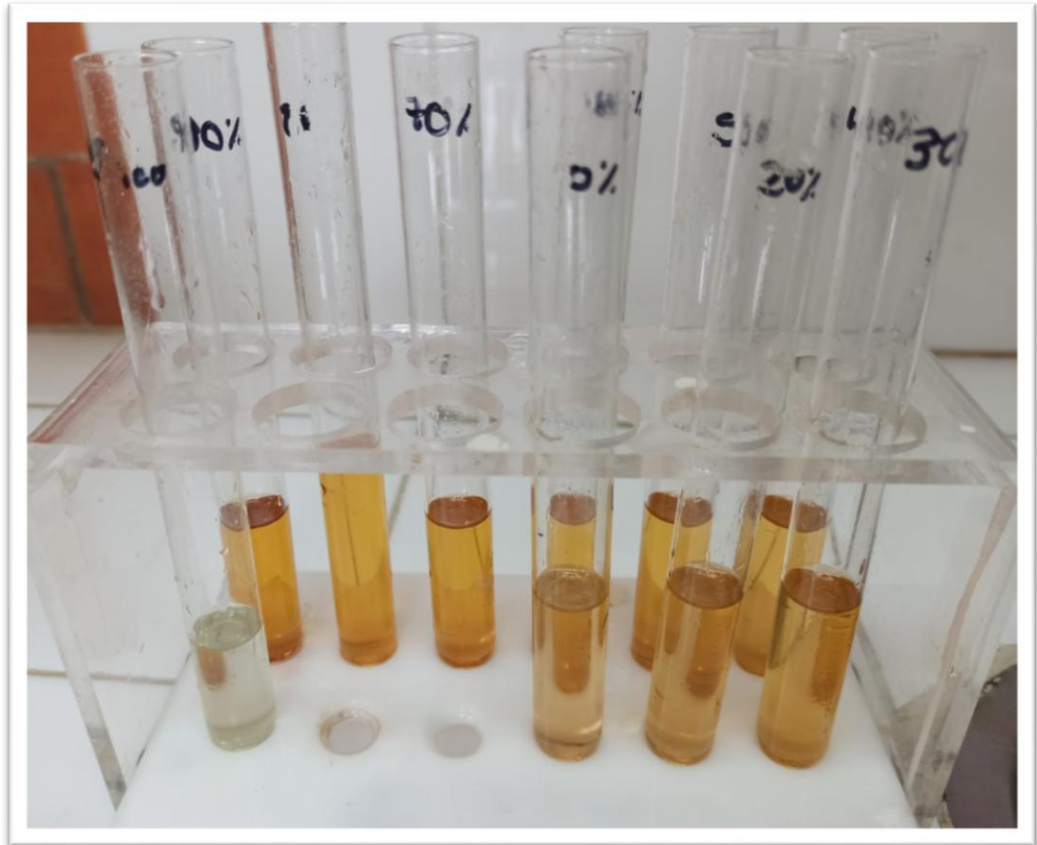
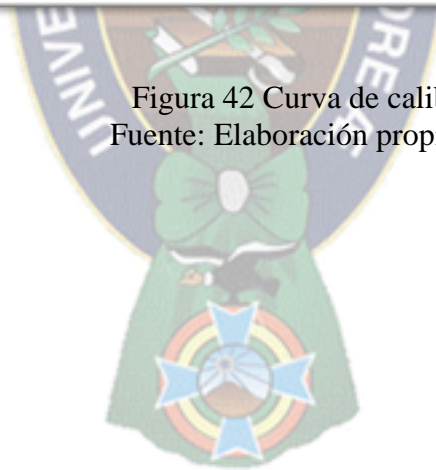


Figura 42 Curva de calibración
Fuente: Elaboración propia (2022)



10. BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A. &. (2012). Etanol a partir de biomasa lignocelulósica. *Aleta*, 46 - 47.
- Albarracín, K. G. (2015). Obtención de bioetanol anhidro a partir de paja (*Stipa ichu*). *Revista politécnica Vol 36, N°2*, 109,109.
- Alicante, U. d. (18 de agosto de 2022). *Instrumentación científica, unidad de rayos x de my onocrystal y espectroscopía vibracional y óptica*. Obtenido de espectroscopia-ultravioleta-visible: <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x-de-monocrystal-y-espectroscopias-vibracional-y-optica/espectroscopia-ultravioleta-visible.html>/ Universidad de Alicante
- Alonso-Gómez, L. A.-P. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, vol 52, N° 7, 967 - 990.
- Arévalo Gualteros, L. K. (2018). Biocombustibles en Colombia.
- Arqhys. (2012). www.arqhys.com. Obtenido de Arquitectura: <https://www.arqhys.com/decoracion/proyectos-de-arquitectura-2012.html>
- ASFI.gob.bo. (7 de Enero de 2015). *Bonos LA PAPELERA S. A.* Obtenido de www.lapapelera.com: https://www.asfi.gob.bo/images/VALORES/Emisores/Prospectos/Pros_Bonos_PAPELERA_I.pdf
- Banamex, C. (2022). centrobanamex.com.mx. Obtenido de centrobanamex: <https://www.centrobanamex.com.mx/cuales-son-las-caracteristicas-quimicas-del-carton>
- Benítez, L. T. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(10), 120 - 125.

- Chávez-Sifontes, M. &. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances e ciencia e ingeniería Vol 4, N° 4*, 15 - 46.
- Colonna, P. &. (2010). La química verde. *No. 577.14 577.14 QU5 QU56*.
- de la Rosa, S. M. (2015). Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos.
- Díaz, N. A. (2010). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *Universidad de Córdoba*, 1 - 8 .
- Domínguez-Domínguez, M. M.-C.-B.-C. (2012). Estudio de la cinética del pretratamiento e hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar. *Revista Iberoamericana de polímeros. Revista Iberoamericana de polímeros, 2012, vol. 13, no 4, , 200 - 211.*
- Dubois, M. G. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Dubois, M. K. (1950). A calorimetric method for the determination of sugar. *Nature*, 168 - 169.
- Espinoza, G. T. (2021). Retrospectiva y prospectiva del Desarrollo de las generaciones de biocombustibles. *Ciencia y Tecnología*, 53 - 63.
- Fernandez Coss, O. A. (2015). Hidrólisis enzimática de tallos de quinua (*Chenopodium quínu wild*), para la obtención de una plataforma de azúcares fermentables. *Doctoral dissertation*. La Paz , Bolivia.
- Fernández González, L. (2006). Análisis económico de precios del bioetanol para mezclas con gasolinas.
- García-Alcocer, N. K.-G.-S.-C.-B.-S. (2019). Evaluacion de óxido de calcio e hidróxido de calcio para la obtención de fibra de celulosa. *Agro Productividad*, 12(7).

- González Velandia, K. D. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, Vol 43, 499 - 517.
- IBAÑEZ, E. A. (Octubre de 2020). OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE BIOETANOL A PARTIR DE MATERIAL LIGNOCELULÓSICO DE RESIDUOS DEL MAÍZ AMARILLO (MARLO U OLOTE)”. *Proyecto de grado*. Tarija , Bolivia: Repositorio UAJMS.
- JIMÉNEZ ISLAS, D. A. (2012). Obtención de azúcares fermentables mediante hidrólisis ácida de Beta vulgaris L. *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol 28 N°(2)., 151-158.
- López-Legarda, X. T.-G.-E.-S.-B. (2017). Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales. *Revista Cubana de Química*, 29(2).
- Mifsud Grau, M. (2008). Química sostenible. Empleo de catalizadores heterogéneos para la obtención de productos de alto valor añadido: fármacos, aromas y surfactantes. *Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València*.
- Morales-de la Rosa, S. G. (2015). Procedimiento de hidrólisis de biomasa lignocelulósica.
- Narváez Jara, A. B. (Diciembre de 2021). Cuantificación de la transformación de la celulosa mediante hidrólisis ácida y enzimática. *Bachelor's thesis*, 40 - 56. Cuenca, Ecuador.
- Núñez, C. E. (2008). Transformaciones de la madera durante el pulpado químico. Relaciones madera-agua, impregnación, deslignificación. *URL*. Obtenido de URL
- Pájaro Castro, N. P. (2011). Química verde: un nuevo reto. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 21(2), 169 - 182.

Pazos, G. B. (1999). Importancia de la lignina en las contracciones de la madera. *Revisión bibliográfica Maderas y Bosques* , 13 - 26.

Quintero Ocampo, B. E. (2009). Impacto ambiental y general de los biocombustibles.

Ríos Manríquez, N. (23 de Octubre de 2009). Aislamiento de cepas anaerobias termófilas productoras de celulasas y hemicelulasas, provenientes de la región altiplánica de Bolivia, implicadas en la producción de etanol mediante técnicas de cultivo y aislamiento tradicional. *Tesis doctoral*. La Paz, Bolivia: UMSA.

Rivera, N. A. (2004). El reciclado de papel y cartón. . *Elementos: Ciencia y Cultura*, 11(53), 54-56.

Sanluis Fariña, C. (2021). Seguimiento espectroscópico de la despolimerización (ruptura de enlaces) durante la deslignificación de materiales vegetales.

Scharlemann Jörn P.W, L. F. (2008). How Green are biofuels? *Environmental science*, vol 319.

Toledo Medrano, C. L. (2008). Caracterización de residuos sólidos urbanos y análisis de opciones de revalorización de materiales en el municipio de Cercado. *Acta Nova Vol 4, N°1*, 3-21.

VARGAS RAMOS, C., BRIONES RAMÍREZ, C. D., & MANCHA SÁNCHEZ. (2013). CONCIENCIA AMBIENTAL DE LOS HABITANTES DE LA COLONIA. *Luna azul*, 155 - 161.