



Determinación de **celulosa y glucosa en** **varios tipos de papel**

Corbalán Lucía, Sáenz Fernanda

3°BO Química Industrial- Escuela Técnica
de Pando

Período de realización: 07/11/22 - 08/12/22

Resumen

Con la finalidad y el interés propio de realizar un proyecto que acredite el egreso de las presentes estudiantes se escogió una muestra de tres diferentes tipos de papel (papel blanco, papel reciclado industrial y papel reciclado casero) y se realizaron diferentes análisis sobre la composición de los mismos. Los análisis realizados fueron: determinación de pH, humedad, determinación del porcentaje de celulosa, obtención de glucosa por hidrólisis ácida de celulosa, reconocimiento y cuantificación de la misma, para posteriormente fermentar a alcohol mediante la acción *Saccharomyces Cerevisiae*. Una vez realizados los ensayos, se obtuvieron los siguientes resultados: para la muestra de papel blanco, el porcentaje de celulosa y humedad obtenido fue de $(20,90 \pm 0,02)$ % y $(13,0 \pm 0,1)$ % respectivamente, el pH de este fue de $6,99 \pm 0,01$, se identificó y dosificó la concentración de glucosa siendo de $(0,625 \pm 0,006)$ g/L, una vez fermentado, el índice de refracción del producto fue de 1,3450. Para la muestra de papel reciclado industrial, el porcentaje de celulosa y humedad fue de $(64,6 \pm 0,03)$ % y $(12,0 \pm 0,1)$ % respectivamente, el pH de la muestra fue de $6,33 \pm 0,01$, se identificó y dosificó la concentración de glucosa siendo de $(0,250 \pm 0,003)$ g/L, el resultado del índice de refracción posterior a la fermentación fue de 1,3485. La última muestra, el papel reciclado casero, presentó un porcentaje de celulosa y humedad de $(35,4 \pm 0,02)$ % y $(7,00 \pm 0,07)$ % respectivamente, siendo su pH de $5,88 \pm 0,01$, se identificó y dosificó la concentración de glucosa siendo de $(1,13 \pm 0,01)$ g/L, el índice de refracción resultante fue de 1,3600. Se confirma la hipótesis de que según el tipo de papel existe una variación en su composición verificada por la diferencia en los resultados obtenidos experimentalmente respondiendo a la pregunta investigable: ¿cómo afecta al porcentaje de humedad y de celulosa, el pH, la dosificación de glucosa y la fermentación de la misma que se modifique el tipo de papel?

Abstract

With the purpose and interest of carrying out a project that accredits the graduation of the present students, a sample of three different types of paper was chosen (white paper, industrial recycled paper and homemade recycled paper) and different analyzes were carried out on the composition of the same. The analyzes carried out were: determination of pH, humidity, determination of the percentage of cellulose, obtaining glucose by acid hydrolysis of cellulose, recognition and quantification of it, to later ferment it to alcohol through the action of *Saccharomyces Cerevisiae*. Once the tests were carried out, the following results were obtained: for the white paper sample, the percentage of cellulose and moisture obtained was $(20,90 \pm 0,02)$ % and $(13,0 \pm 0,1)$ % respectively, the pH of this was $6,99 \pm 0,01$, the glucose concentration was identified and dosed, being $(0,625 \pm 0,006)$ g/L, once fermented, the refractive index of the product was 1,3450. For the sample of industrial recycled paper, the percentage of cellulose and humidity was $(64,6 \pm 0,03)$ % and $(12,0 \pm 0,1)$ % respectively, the pH of the sample was $6,33 \pm 0,01$, the glucose concentration was identified and measured. being $(0,250 \pm 0,003)$ g/L, the result of the refractive index after fermentation was 1,3485. The last sample, the homemade recycled paper, presented a percentage of cellulose and humidity of $(35,4 \pm 0,02)$ % and $(7,00 \pm 0,07)$ % respectively, with a pH of $5,88 \pm 0,01$, the glucose concentration was identified and dosed, being $(1,13 \pm 0,01)$ g/L, the resulting

refractive index was 1,3600. The hypothesis is confirmed that depending on the type of paper there is a variation in its composition verified by the difference in the results obtained experimentally.

Introducción

Con la creciente concientización sobre la importancia del reciclaje y sus diferentes abordajes, se decide hacer una investigación con respecto al uso del papel y la diferencia en la composición según la muestra. Presentando, para esta, tres tipos de papel: blanco, reciclado industrial y reciclado casero. Teniendo en cuenta que la celulosa es un biopolímero formado por unidades de α -glucosa, con enlace 1-4, se toma el estudio analítico de cuantificación de glucosa mediante el método de la O-toluidina de Eduardo Brilla, Karl Schosinsky, Miguel Esquivel y Miguel Chavarria (1977), como referente con la diferencia de que en su técnica se realizó la cuantificación de glucosa en orina y en esta se realiza la cuantificación de glucosa una vez hidrolizada la celulosa de las diferentes muestras de papel. De esta forma se plantea la pregunta: ¿cómo afecta al porcentaje de humedad y de celulosa, el pH, la dosificación de glucosa y la fermentación de la misma que se modifique el tipo de papel? Debido a la estrecha relación entre la pregunta y la posible respuesta se diseña y justifica el método experimental en base a la hipótesis: al variar el tipo de papel, no debería existir una significativa diferencia en la composición de los mismos según los ensayos realizados, esto debido a que se trabajó con una misma materia prima y por ende sus características deberían ser similares. De este modo se plantearon los distintos objetivos teniendo en cuenta los ensayos a realizar, determinar cuantitativamente y cualitativamente la composición de distintos tipos de papel, profundizando en la cuantificación del porcentaje de celulosa, determinación de pH y humedad, realización de hidrólisis ácida y obtención de glucosa, identificando y cuantificando la misma para por último fermentarla por acción de levaduras, reconociendo el producto por método analítico y cualitativo.

Objetivo general

- Determinar cuantitativamente y cualitativamente la composición de distintos tipos de papel.

Objetivos específicos

- Cuantificar el porcentaje de celulosa en las diferentes muestras de papel y compararlas.
- Determinar el porcentaje de humedad y el pH de las muestras de papel.
- Hidrolizar la celulosa hasta la obtención de glucosa, realizar el análisis de glúcidos para confirmar la presencia de la misma y dosificarla por espectrofotometría.
- Fermentar anaeróticamente por acción de levaduras la glucosa y reconocer el producto.

Fundamento teórico

El árbol, una planta leñosa, caracterizada por poseer un tallo principal erguido llamado tronco o fuste que crece ascendentemente y se ramifica en altura, la madera, un material duro

y resistente, constituye el tronco y se ha utilizado durante miles de años, como combustible, materia prima para la fabricación de papel y una gran variedad de usos. Al igual que otros materiales naturales, la madera es un material sumamente complejo que está compuesto por al menos miles de sustancias químicas, distinguiéndose tres tipos, una de tipo estructural, que es la celulosa, y otras dos agrupadas entre sí, la hemicelulosa y lignina, que son las mismas que constituyen la matriz del leño, de esta forma, y complementándose, las tres sustancias componen la madera (Morales, 2015).

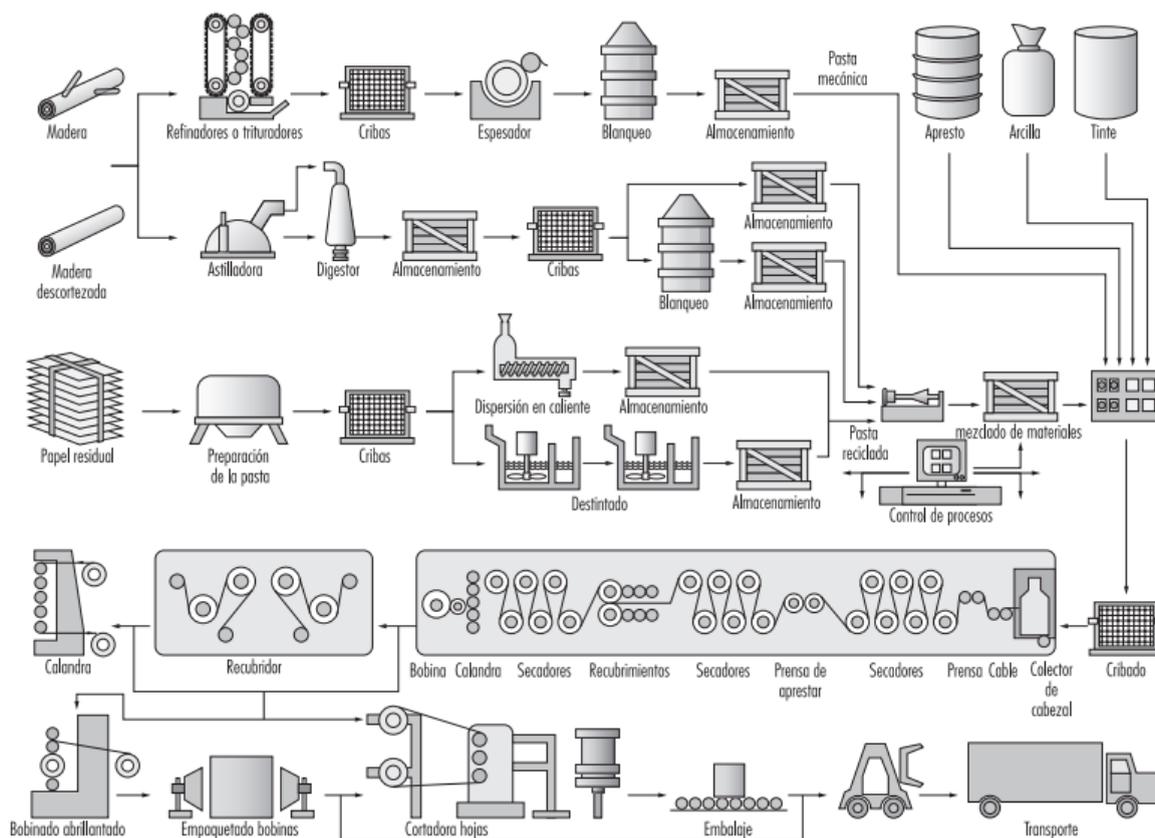
A partir de la madera se puede realizar el papel, una hoja delgada hecha con pastas de fibras vegetales obtenidas de trapos, madera, paja, etc. En lo que respecta a su producción, se mezclan las fibras necesarias en las proporciones requeridas en una gran cuba llamada pulper, que, en pocas palabras, actúa como juguera, formando una pasta acuosa que contiene las fibras, luego, esta pasta cae sobre una tela móvil donde se produce el entrecruzamiento de las fibras. A medida que se avanza el mismo, se va drenando el contenido de agua de la pasta, quedando sobre la tela una película de fibras húmedas que constituyen la hoja de papel. Las primeras muestras de papel se encuentran en China aproximadamente 200 años a.C, siendo realizadas de seda o lino y destinadas para envolver diversos objetos, mas no para su escritura. Hasta el año 900 se mantuvo la fabricación de papel en Asia, donde pasó al Cairo para luego a España y a toda Europa. La gran variedad de tipos de papel producidos a lo largo de la historia varían según sus diferentes características o propiedades, que pueden ser tanto físicas, por ejemplo, del volumen, tamaño de papel, rigidez, densidad real y aparente, humedad, capacidad de absorción de agua y resistencia, por otro lado, en cuanto a propiedades químicas se habla de flexibilidad, estabilidad, adhesión, color y adsorción de aditivos. El papel, puede tener un ciclo donde se recicla nuevamente a papel o productos similares, o donde se hidroliza ácida o enzimáticamente, obteniéndose diferentes sustancias de su reciclaje (Santacruz, 2014).

El uso de residuos o de papel reciclado como materia prima para la preparación de pasta ha aumentado en el transcurso de las últimas décadas, llegando al punto en el que algunas papeleras dependen casi al completo del papel de desecho. Separándose en algunos países del resto de los residuos domésticos antes de su recogida o realizándose una separación por clases en plantas especiales de reciclaje. El papel reciclado se puede retransformar en pasta mediante un proceso relativamente suave, utilizando agua y a veces hidróxido de sodio, sin embargo, como limitación, las fibras de la pasta de este tipo de papel son generalmente más cortas, menos flexibles y menos permeables, no pudiéndose utilizar en productos de papel de alta calidad (OIT, 1999).

	Maderas blandas	Maderas duras	Paja	Bambú	Algodón
Carbohidratos					
α -celulosa	38–46	38–49	28–42	26–43	80–85
Hemicelulosa	23–31	20–40	23–38	15–26	n.d.
Lignina	22–34	16–30	12–21	20–32	n.d.
Extraíbles	1–5	2–8	1–2	0.2–5	n.d.
Minerales y otros compuestos inorgánicos					
	0,1–7	0,1–11	3–20	1–10	0,8–2

n.d. = sin datos disponibles.

Figura 1. Componentes químicos de las fuentes de pasta y de papel (%) según (OIT, 1999).



Fuente: Adaptado de Weidenmüller, 1984.

Figura 2. Ilustración de la secuencia de procesos en las operaciones de fabricación de pasta y de papel según (OIT, 1999).

La biomasa lignocelulósica, que proviene de la parte estructural de las plantas, y la cual se encuentra presente en el papel puede ser hidrolizada de forma ácida o enzimática para producir componentes químicos los que a su vez pueden ser utilizados como fuentes

renovables de carbono para producir biocombustibles y compuestos químicos, previamente, se estudió que la biomasa lignocelulósica está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La ruptura de estos da lugar a la formación de compuestos químicos que se pueden utilizar en la producción de biocombustibles. Principalmente, y para el caso pertinente, la celulosa es un polímero de glucosa que puede ser despolimerizado a través de hidrólisis en monómeros, los cuales se pueden utilizar en una biorrefinería de azúcares para producir combustibles con alta densidad de energía y diferentes productos químicos. Ácidos tales como H_3PO_4 , H_2SO_4 y HCl se han utilizado para el tratamiento de este tipo de materiales, siendo las condiciones de concentración y temperatura variables, y obteniéndose de este proceso una fracción líquida, rica en azúcares fermentables, los cuales se pueden dosificar, por ejemplo, por un método espectrofotométrico y una fracción sólida compuesta principalmente por celulosa y lignina (Morales, 2015).

La lignina, por detrás de la celulosa y la hemicelulosa, es el tercer biopolímero más abundante en la tierra, encontrándose principalmente en la capa media de la pared celular, formando junto con la hemicelulosa una matriz que rodea las microfibras de celulosa, pese a que la misma tiene una composición química muy compleja, se pueden diferenciar tres unidades repetidas a lo largo de su estructura ramificada y amorfa. La hemicelulosa, compuesta por polímeros de diferentes glúcidos con cadenas más cortas y ramificadas, es más amorfa y fácil de hidrolizar en sus glúcidos constituyentes de la celulosa; su papel principal es suministrar la unión entre la lignina y la celulosa para proporcionar rigidez a la pared celular, su composición química se basa en la unión glicosídica de distintos monosacáridos, sobre todo pentosas (arabinosa y xilosa), hexosas, (glucosa, manosa y galactosa), ácidos urónicos (galacturónico y glucurónico) y algunos desoxiazúcares, el contenido de hemicelulosas varía durante la maduración de los frutos y vegetales (Morales, 2015).

El principal componente de árboles y plantas, la celulosa, es una fibra vegetal identificada por primera vez en 1838 por el químico francés Anselme Payen, quien aisló la celulosa de varias plantas y determinó su fórmula molecular $(C_6H_{10}O_5)_n$ (n representando en el grado de polimerización de la misma, que representa la unidad de glucosa en el polímero), sin embargo, hasta 1922 se introdujo la representación de la estructura de la misma. Desde el punto de vista actual, la celulosa es el polímero orgánico más abundante del mundo, un polímero lineal o fibroso compuesto por unidades de glucosa, formado por enlaces β -glucosídicos (1-4). Los múltiples enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilos de las diferentes cadenas de glucosa yuxtapuestas, las hacen muy resistentes e insolubles en agua, produciendo fibras densas que conforman las paredes celulares de las células vegetales, confiriéndole la rigidez necesaria (Morales, 2015).

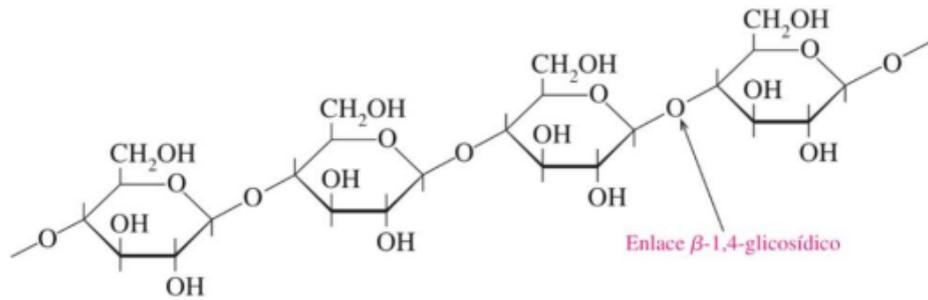


Figura 3. Modelo estructural de la celulosa.

La biomasa lignocelulósica, que proviene de la parte estructural de las plantas, y la cual se encuentra presente en el papel puede ser hidrolizada de forma ácida o enzimática para producir componentes químicos los que a su vez pueden ser utilizados como fuentes renovables de carbono para producir biocombustibles y compuestos químicos, como previamente se estudió, la biomasa lignocelulósica está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. La ruptura de estos da lugar a la formación de compuestos químicos que se pueden utilizar en la producción de biocombustibles. Principalmente, y para el caso pertinente, la celulosa es un polímero de glucosa que puede ser despolimerizado a través de hidrólisis en monómeros, los cuales se pueden utilizar en una biorrefinería de azúcares para producir combustibles con alta densidad de energía y diferentes productos químicos. Ácidos tales como H_3PO_4 , H_2SO_4 y HCl se han utilizado para el tratamiento de este tipo de materiales, siendo las condiciones de concentración y temperatura variables, y obteniéndose de este proceso una fracción líquida, rica en azúcares fermentables, los cuales se pueden dosificar, por ejemplo, por un método espectrofotométrico y una fracción sólida compuesta principalmente por celulosa y lignina (Morales, 2015).

La glucosa, que conforma la celulosa, es un glúcido, un compuesto orgánico de los más abundantes en la naturaleza, originándose como producto de la fotosíntesis, la glucosa se clasifica como un monosacárido de seis átomos de carbono, de los cuales 4 son carbonos quirales, presentando por consecuencia, 16 estereoisómeros, es el monosacárido más abundante en la naturaleza, encontrándose en diferentes frutas, como las manzanas y frutillas, o en hortalizas como la cebolla aunque también se encuentra en productos como la miel, que se constituye en aproximadamente un 40 % de este monosacárido. Es una aldohexosa es decir, presenta un grupo aldehído y seis átomos de carbono (Badui, 2006).

A modo de antecedentes se toma el estudio analítico en torno al método de la O-Toluidina para glucosa. La determinación cuantitativa en sangre ha preocupado a muchos químicos clínicos desde hace muchos años, por lo que los autores Brilla Eduardo, Schosinsky Karl, Esquivel Miguel y Chavarria Miguel se tomaron la tarea de estudiar el método de la O-Toluidina en la determinación de aldosaesacáridos en un medio de ácido acético, el cual fue establecido como método rutinario por Hultman en 1959. Su estudio concluyó de manera positiva para la cuantificación de glucosa en orina, por lo que, se adaptó esta técnica para la cuantificación de glucosa en diferentes muestras de papel, posterior a la hidrólisis ácida de las mismas.

Experimentalmente la glucosa es el producto de la hidrólisis ácida efectuada a la muestra de papel, por lo tanto, para verificar su presencia, se llevan a cabo una serie de ensayos como lo son la prueba de Barfoed, un ensayo para detectar monosacáridos basándose en la reducción de cobre, en forma de acetato, a cobre en forma de óxido, formándose un precipitado color rojo ladrillo, la prueba se basa en las diferencias de rapidez de la reacción dada, ya que los disacáridos demoran más tiempo. De forma similar se lleva a cabo la reacción de Fehling, ya que en presencia de glúcidos con poder reductor se forma óxido cuproso, observándose un precipitado color rojo ladrillo para positivos. La prueba de Seliwanoff se lleva a cabo para verificar la glucosa como aldosa, ya que se basa en el principio de que las cetosas se deshidratan a mayor rapidez que las aldosas, permitiendo su diferenciación en función del tiempo que tarda en aparecer el producto coloreado rojo (McMurry, 2008).

(Brilla, Schosinsky, Esquivel, 1977).

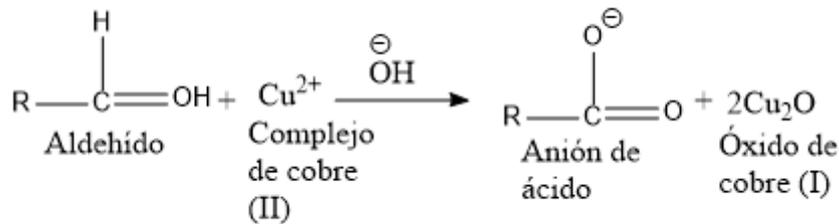


Figura 4. Ensayo de Fehling.

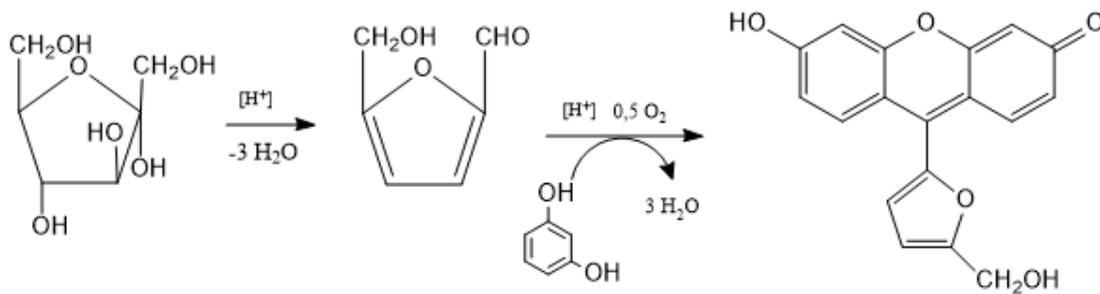


Figura 5. Ensayo y mecanismo de Seliwanoff.

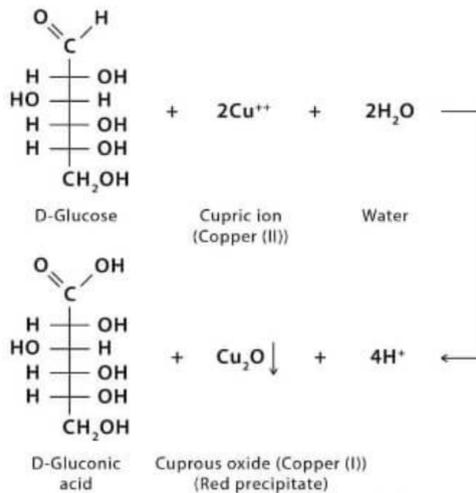


Figura 6. Ensayo de Barfoed.

Para la identificación de la presencia de glucosa en el hidrolizado se hace uso de una técnica polarimétrica que se basa en la medición de la rotación óptica producida sobre un haz de luz polarizada al pasar por una sustancia ópticamente activa. La actividad óptica es la propiedad de una sustancia para hacer girar el plano de luz polarizada, y los productos que presentan este comportamiento se llaman ópticamente activos, por ejemplo, la glucosa, tiene la capacidad de hacer girar el plano de polarización, la cual es una propiedad intrínseca de una molécula ópticamente activa que además es constante para unas condiciones determinadas y se utiliza por ello en su caracterización (Skoog, Holler y Nieman, 2001).



Figura 7. Polarímetro.

Con el fin de determinar la concentración de glucosa en los hidrolizados se utiliza un método espectrofotométrico, donde se mide la intensidad de la luz con el fin de determinar la concentración del analito presente en una muestra, por lo tanto, la espectrofotometría se utiliza para medir cuánto absorbe o transmite una sustancia química. En el primero de estos se mide la absorbancia (A) del analito, lo cual está ligado a la luz absorbida por el mismo, es una magnitud directamente proporcional a la concentración. Esto se explica por medio de la

Ley de Lambert-Beer, que relaciona la absorbancia con la concentración, ya que la misma es proporcional a la concentración (c) y al espesor de la cubeta (b) a la vez que la absorptividad molar (ϵ) es característica de cada sustancia y de cada longitud de onda λ . Siendo así $A = \epsilon \cdot b \cdot c$. Para este tipo de métodos se prepara una curva de calibración, que es la referencia para transformar la medida de la absorbancia de cualquier muestra desconocida en un valor de concentración para el analito (Skoog, West y Holler, 2001).

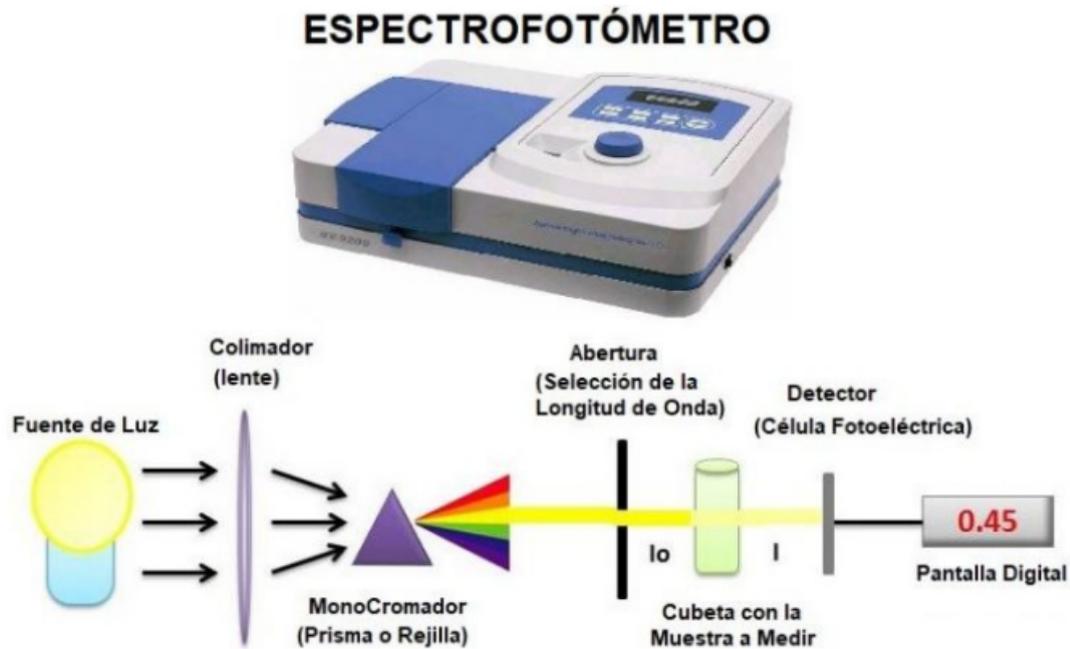


Figura 8. Resumen del funcionamiento del espectrofotómetro digital.

La utilización de la O-toluidina en la determinación de aldosaes en un medio de ácido acético se fundamenta debido a una reacción de condensación de la glucosa y amins aromáticas primarias en un medio de ácido acético glacial. El producto coloreado final es el resultado de la O-toluidina con la glucosa, formándose glucosilamina y la correspondiente base de Schiff. Este producto coloreado tiene un máximo de absorción de 625 a 635 nm, el color resultante experimentalmente fue anaranjado (Brilla, Schosinsky, Esquivel, 1977).

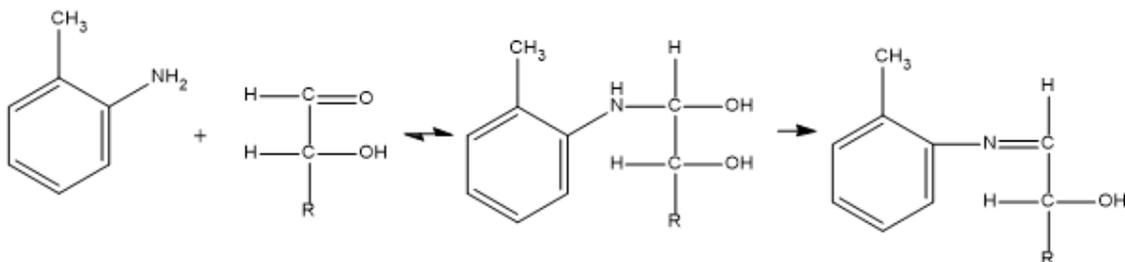


Figura 9. Reacción de O-Toluidina con glucosa.

La fermentación puede definirse como un proceso metabólico generador de energía. En la fermentación, el sustrato da lugar a una mezcla de productos finales, algunos más oxidados que él y otros menos reducidos. Los sustratos fermentables no pueden ser ni muy oxidados ni muy reducidos, siendo esta la razón de que los glúcidos sean muy buenos sustratos para los procesos fermentativos, pese a que las bacterias pueden también fermentar ácidos orgánicos, aminoácidos, piridinas y pirimidinas. Por lo tanto, prácticamente cada glúcido o derivado puede ser utilizado como sustrato fermentable por algún microorganismo, incluyendo algunos polisacáridos como almidón, o celulosa, o disacáridos como lactosa, maltosa y sacarosa, también hexosas como glucosa, fructosa y galactosa, entre otros. Las cepas de *Saccharomyces cerevisiae* se utilizan específicamente en la fermentación de hexosas como agente biológico de la misma, variando el tiempo del proceso según la temperatura, la concentración de azúcar y la cepa fermentadora. La producción industrial de alcohol se realizó totalmente por el proceso fermentativo hasta 1930, utilizando melazas de diversos tipos como materias primas, sin embargo, el encarecimiento de estas y el rápido desarrollo de la producción de etanol por síntesis química hacen en la actualidad poco económico el proceso fermentativo (Zalduegui, 1975).

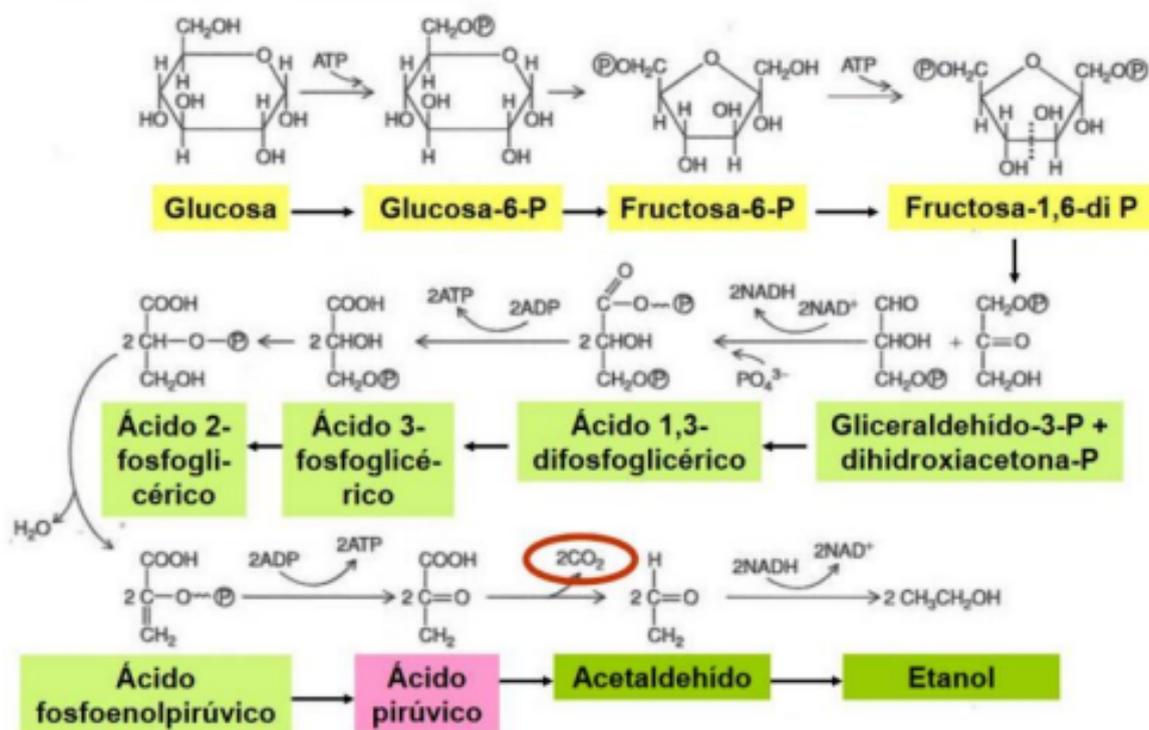


Figura 10. Ruta glucolítica de Embden-Meyerhof según (Borges, 2019).

Los alcoholes se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza teniendo varias aplicaciones tanto industriales como farmacéuticas, por ejemplo, el etanol fue una de las primeras sustancias químicas orgánicas en ser preparadas y purificadas, su producción por la fermentación de granos y azúcares se ha realizado por quizá 9000 años, y su purificación por destilación data de al menos desde el siglo XII, produciéndose actualmente alrededor de 4 miles de millones de galones de etanol anualmente en Estados Unidos por medio de la fermentación de maíz, la cebada y el sorgo. Los alcoholes se pueden clasificar como

primarios, secundarios y terciarios dependiendo del número de grupos orgánicos unidos al carbono que comparte el hidroxilo. De forma general se pueden establecer algunas propiedades de los alcoholes: suelen ser líquidos incoloros de un olor característico, solubles en agua en proporciones diferentes, y al aumentar su masa molar también aumentan sus puntos de fusión y ebullición, además, que pueden comportarse como ácidos o bases gracias a que el grupo funcional es similar al agua, estos alcoholes se sintetizan a través de una gran variedad de métodos, y el grupo hidroxilo puede transformarse en muchos otros grupos funcionales. Por otro lado, se puede considerar a los aldehídos y cetonas como derivados de los alcoholes, a los cuales se les ha eliminado dos átomos de hidrógeno, uno de la función hidroxilo y otro del carbono contiguo, los aldehídos son compuestos de fórmula general R-CHO y las cetonas son compuestos de fórmula general R-CO-R', donde los grupos R y R' pueden ser alifáticos o aromáticos. Ambos tipos de compuestos se caracterizan por tener el grupo carbonilo por lo cual se les suele denominar como compuestos carbonílicos. El reactivo de Schiff es un reactivo para la detección de aldehídos, el mismo está formado por fucsina, que se encarga de teñir la solución de rosa claro en presencia de un aldehído (Martinez, 1991).

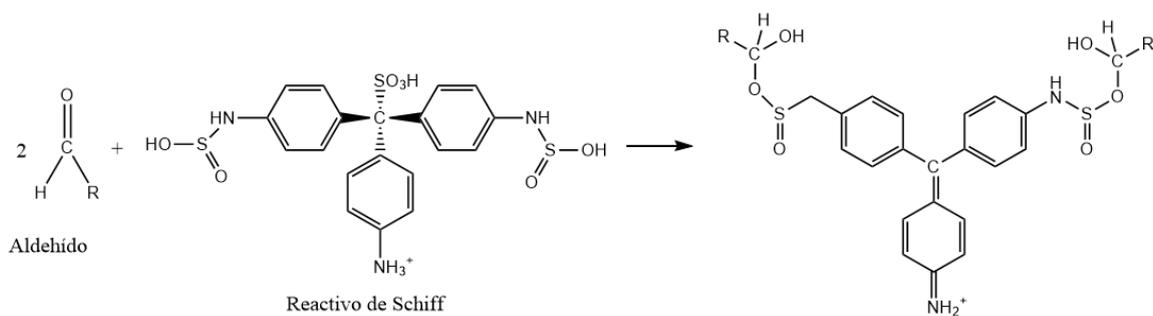


Figura 11. Ensayo de reconocimiento de alcoholes por reacción de Schiff.

Con el fin de reconocer el alcohol obtenido se utilizó un instrumento llamado refractómetro, con este tipo de instrumento, se puede, por ejemplo, reconocer una bebida alcohólica, dosificar la concentración de la misma o incluso proporcionar una medida de la pureza de la muestra examinada. Esto se logra comparando el índice de refracción medido experimentalmente con el valor informado en la literatura para una muestra ultrapura del compuesto. Cuanto más cerca esté el valor de la muestra medida al valor de la literatura, más pura será la muestra. Para el caso del etanol el índice de refracción es de 1,361. Por lo tanto, se puede afirmar que el índice de refracción es una propiedad física de los líquidos muy útil, el mismo tiene como base el hecho de que la luz viaja a una velocidad diferente en fases condensadas (líquidos, sólidos) que en el aire. El índice de refracción n se define como la relación entre la velocidad de la luz en el aire y la velocidad de la luz en el medio que se mide. La diferencia de velocidad es debido a la acción recíproca entre el campo eléctrico de la radiación y los electrones de enlace de la materia, llamándose a este fenómeno refracción. Si el segundo medio es ópticamente más denso que el primero, el rayo va a tender a ser perpendicular a la superficie limitante (Pavia, 1998).

$$\eta = \frac{\text{sen}(i)}{\text{sen}(r)} = \frac{v_1}{v_2}$$

Figura 12. Cálculo del índice de refracción.

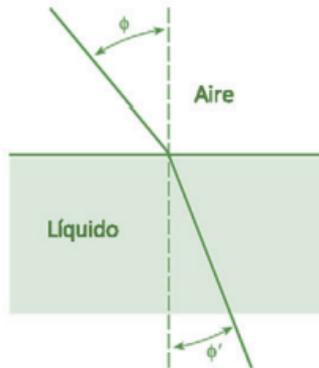


Figura 13. Rayo refractado del aire a un medio líquido.

Aunque hay muchos tipos de refractómetros disponibles, el instrumento más común es el refractómetro Abbe; este tipo tiene las siguientes ventajas:

1. La luz blanca se puede utilizar para la iluminación, ya que el instrumento está compensado ópticamente, de modo que el índice de refracción obtenido es en realidad el de la línea D de sodio.
2. Se puede controlar la temperatura de los prismas.
3. Solo se requiere una pequeña muestra (unas pocas gotas de líquido usando el método estándar, o aproximadamente 5 μL usando una técnica modificada) (Pavia, 1998).

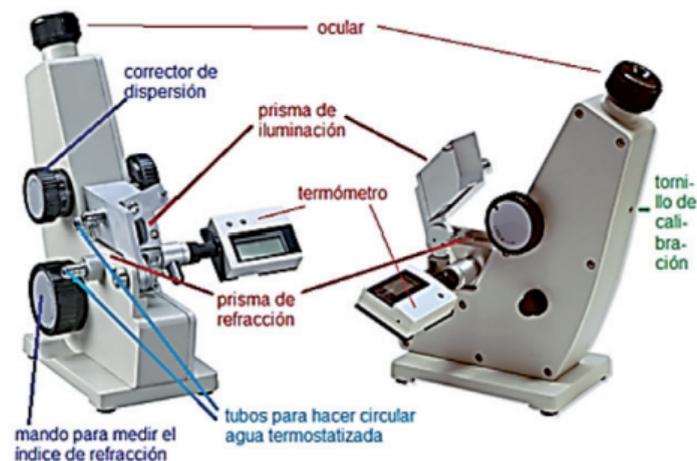


Figura 14. Refractómetro de Abbe

En lo que respecta a las **medidas de seguridad**, las mismas se basan en el uso bajo campana de todos los ácidos concentrados (sulfúrico, nítrico y acético) utilizados en la práctica. Para las hidrólisis se debe mantener dentro de la campana extractora de gases el hidrolizado al ser agregado ácido (el cual se adiciona de a poco) y tratado a altas

temperaturas. También debemos considerar el uso de la O-toluidina con guantes y bajo campana, conservándola en frascos ámbar o lejos de la exposición de radiación lumínica. Las levaduras empleadas para la fermentación se deben conservar en heladera mientras no estén en uso, evitando el contacto con el dióxígeno presente en el aire y manteniendo una zona estéril a su alrededor mediante el uso de mecheros de alcohol, siendo prudentes con su uso.

Materiales, sustancias y soluciones

Pre-tratamiento del papel:

Papel reciclado comprado Papel reciclado hecho Papel blanco Agua destilada	Vaso de Bohemia de 500 mL Agitador magnético Plancha calefactora Balanza auxiliar
---	--

Determinación de humedad:

	Crisol Espátula Estufa Balanza analítica
--	---

Determinación de pH:

Agua destilada	Espátula Balanza auxiliar Probeta de 150 mL Agitador magnético Plancha calefactora pHmetro Vaso de Bohemia
----------------	--

Determinación de celulosa en papel:

Ácido acético al 80 % Ácido nítrico al 68 % Etanol	Pipeta graduada de 15 mL Plancha calefactora Agitador magnético Balanza analítica Vaso de Bohemia Varilla Mufla Estufa
--	---

Hidrólisis ácida y neutralización:

Ácido sulfúrico concentrado Agua destilada Solución de hidróxido de potasio	Espátula Vaso de Bohemia de 1000 mL Plancha calefactora Agitador magnético
---	---

	Termómetro Probeta de 100 mL pHmetro Cuentagotas Varilla Soporte universal Papel filtro Aro de contención
--	--

Análisis de glúcidos:

Solución de glucosa patrón Reactivo de Fehling A y B Reactivo de Seliwanoff Reactivo de Barfoed	Espátula Cuentagotas Baño de agua Tubo de ensayo Gradilla Tubo de polarimetría Polarímetro
--	--

Determinación de glucosa por espectrofotometría por el método de la O-Toluidina:

O-toluidina Tiourea Agua destilada Glucosa patrón Ácido acético glacial	Matraces aforados de 25,00 mL Tapones Pipeta aforada de 5,00 mL Bureta de 10,00 mL Espectrofotómetro Celda del espectrofotómetro Pinza y soporte universal Pinza de Mohr Vaso de descarte Vaso de Bohemia Espátula y vidrio reloj Balanza Analítica
---	--

Fermentación de la glucosa:

Levadura Sulfato de amonio Agua destilada	Probeta de 100,0 mL Pipeta graduada de 25,0 y 10,0 mL Balanza auxiliar/analítica Espátula Matraz Erlenmeyer de 150 mL Microscopio Frascos estériles Cubreobjetos Portaobjetos Gotero Mecheros de alcohol
---	--

Reconocimiento de alcohol:

Dicromato de potasio Ácido sulfúrico Disán Reactivo de Schiff	Tubos de ensayo Gradilla Cuentagotas Vasos de Bohemia Refractómetro
--	---

Técnicas

Producción del papel reciclado:

1. Se cortaron papeles obtenidos de cuadernolas utilizadas.
2. Los mismos fueron colocados en una licuadora y se le agregaron de 3 a 5 vasos de agua.
3. Se prendió la licuadora y se mantuvo hasta observar la formación de una pasta.
4. En una bandeja con agua se colocó una porción de la pasta previamente hecha.
5. Se sumergió en la bandeja con agua y pasta un bastidor formándose una fina capa de pasta sobre la tela.
6. Durante 40-60 minutos se dejó secar la pasta y se retiró el papel.

Pre-tratamiento del papel:

1. Se colocó 50 g de papel en un vaso de bohemia de 500 mL.
2. Se lavó con 350 mL de agua destilada a temperatura de 120 °C en plancha y se agitó constantemente durante 30 minutos.

Determinación de humedad:

1. En un crisol, se colocó 1 g de muestra húmeda de papel pre tratado.
2. Se llevó a estufa durante 4 horas a 105 °C (de no alcanzar esta temperatura mantener más horas, hasta eliminar toda el agua).
3. Se midió la masa final y se repitió el proceso hasta obtener masa constante.

Determinación de pH:

1. Se solubilizó y homogeneizó 5 g de muestra en 100 mL de agua destilada.
2. Se mantuvo en constante agitación.
3. Luego de 30 minutos se dejó reposar hasta que el papel sedimentó.
4. Se introdujo el electrodo del pHmetro y medir el pH.

Determinación de celulosa en papel:

1. Se colocó 1 g de papel previamente tratado, troceado y secado y se le agregaron 15 mL de ácido acético al 80 % y 1,5 mL de ácido nítrico al 68 %.
2. Se agitó la mezcla durante 20 min, se filtró y se lavó con etanol llevándolo posteriormente a una estufa a 105 °C durante 3 horas.
3. Se midió la masa y se llevó a una mufla a 500 °C durante 30 min. Por último se midió la masa final.

Hidrólisis ácida:

1. Se tomó una muestra de papel previamente troceado, colocando la materia en un vaso de precipitación/Bohemia de 1000 mL
2. Se agregó ácido sulfúrico concentrado durante 45 min a una temperatura de 50 °C, por agitación magnética hasta finalizar la hidrólisis.

Neutralización de la solución obtenida por la hidrólisis ácida:

1. Se colocó el electrodo del pHmetro en la solución de hidrólisis ácida una vez haya disminuido la temperatura.
2. Se agregó carbonato de sodio e hidróxido de potasio 6 mol/L hasta alcanzar un pH cercano a 4.
3. Se filtró por gravedad con una media de nylon.

Prueba de Fehling:

1. Se preparó una solución de glucosa de concentración conocida a forma patrón con el fin de comparar con el problema. Tomando 0,25 g en 1 mL de agua destilada a lo que se le agregaron 10 gotas de reactivo de Fehling A y B. Se calentó el tubo en baño de agua hasta que la solución se tornó de color rojo.
2. Se extrajo una muestra de cada una de las hidrólisis ácidas y se dejó enfriar por 25 min.
3. Se filtró la muestra y al hidrolizado se le realizó el mismo procedimiento que la muestra patrón, diferenciando que la toma de la muestra es de 1 mL.

Prueba de Seliwanoff:

1. Se colocó en un tubo de ensayo 1 mL de la solución de la hidrólisis ácida.
2. Se agregaron 2 mL del reactivo de Seliwanoff.
3. Se llevó a baño de María y se analizaron los resultados.

Prueba de Barfoed:

1. Se colocó en un tubo de ensayo 1 mL de la solución de la hidrólisis ácida.
2. Se agregaron 2 mL del reactivo de Barfoed y se calentó a ebullición en baño de María registrando el tiempo.

Prueba por polarimetría:

1. Se determinó el 0 del polarímetro.
2. Se colocó la muestra de glucosa en el tubo del polarímetro hasta el 100 % de su capacidad, controlando que no hayan burbujas de aire y sacando el tubo con papel.
3. Se colocó en el polarímetro con el atrapa burbujas hacia arriba.
4. Se buscó con el analizador del polarímetro la misma imagen que en el 0 (menor luminosidad).
5. Se calculó la rotación específica y la comparó con la teórica.
6. Se repitió el procedimiento con el hidrolizado.

Preparación del reactivo de O-Toluidina al 5 %:

1. Se midió la masa de 0,15 g de tiourea y trasvasó a un matraz aforado de 100,00 mL, agregando 50 mL de ácido acético glacial y 5 mL de O-toluidina para posteriormente enrasar a 100 mL con ácido acético glacial.

Preparación de la curva de calibración:

Matraz	Blanco	1	2	3	4
Volumen patrón (mL)	0	1,25	3,75	6,25	8,75
V reactivo (mL)	5	5	5	5	5

1. En un matraz de 25,00 mL se colocó la cantidad previamente establecida de la solución patrón de glucosa con una bureta de 10,00 mL.
2. Se adicionaron 5 mL del reactivo de O-toluidina a cada matraz antes de enrasar.
3. Se enrasó con agua destilada y se midió espectrofotométricamente la absorbancia a 630 nm.

Determinación espectrofotométrica de la concentración de glucosa:

1. Se tomaron 5,00 mL del hidrolizado de cada una de las muestras y se llevaron a tres matraces de 25,00 mL respectivamente.
2. Se adicionaron 5 mL del reactivo de O-toluidina y se enrasó con agua destilada.
3. Se verificó macroscópicamente que la muestra quedase en la mitad de la curva.
4. Se midió espectrofotométricamente la absorbancia de cada muestra a 630 nm.

Fermentación de la glucosa:

1. Preparación de la solución glucosa patrón: en 50 mL de agua destilada se colocó 0,35 g de glucosa.
2. Suspensión de levadura: en 100 mL de agua destilada se colocó 10 g de levadura y 0,1 g de sulfato de amonio.
3. Se agregó 50 mL del hidrolizado (con glucosa) conjunto con 10 mL de la suspensión preparada anteriormente.
4. Se repitió este proceso con cada muestra.

**Seguimiento del proceso de fermentación:*

Se observa durante el proceso una variación de volumen, que indicaría la presencia o ausencia de etanol y se observa microscópicamente el fermentado cada siete días.

Reconocimiento de alcohol post-fermentación:

A) Reconocimiento por ensayo orgánico:

1. Se colocó en un tubo de ensayo una toma del hidrolizado 1.
2. Se agregó a cada tubo 0,5 mL de dicromato de potasio.
3. Se agregó 1 mL de ácido sulfúrico. Se agitó.

4. Una vez presente la coloración verde, se agregó disán, se agitó y posteriormente se separó la fase incolora, descartando la verde.
5. Se dividió en dos tubos de ensayo, a uno de estos se añadieron 5 gotas del reactivo de Schiff y al otro 5 gotas del reactivo de Imbert.
6. Al último tubo se agregó por las paredes 0,5 mL de solución de amoníaco.
7. Se repitió con los restantes fermentados.

B) Reconocimiento por índice de refracción:

1. Se tomó una muestra del fermentado 1 y se colocó en el refractómetro.
2. Asegurándonos de que el refractómetro reciba la luz correspondiente, se midió el ángulo de refracción para esta muestra.
3. Se repitieron los dos primeros pasos para los restantes fermentados.

Tratamiento de datos y resultados

- 1- Papel blanco
- 2- Papel reciclado industrial
- 3- Papel reciclado casero

Celulosa por gravimetría

<i>Muestra</i>	<i>% de celulosa</i>	<i>Incertidumbre (%)</i>
1	20,90	0,02
2	64,60	0,03
3	35,40	0,02



Figura 15. Muestras de papel para determinación de celulosa previo al secado.



Figura 16. Calcinación de una de las muestras de papel previo a la mufla



Figura 17. Muestras de papel posterior a la mufla.

Porcentaje de humedad

<i>Muestra</i>	<i>% de humedad</i>	<i>Incertidumbre (%)</i>
1	13	1
2	12	1
3	7,0	0,5



Figura 18. Muestras de papel previo al procedimiento de medición de la humedad.

Determinación de pH

<i>Muestra</i>	<i>pH</i>	<i>Incertidumbre</i>
1	6,99	0,01
2	6,33	0,01
3	5,88	0,01

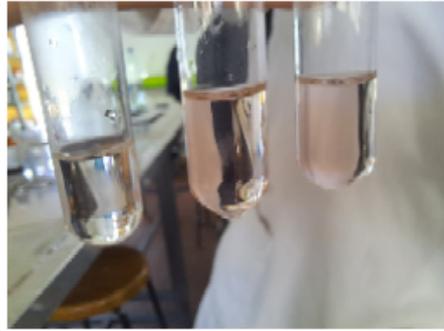


Figura 19. Soluciones de papel para su medición de pH

Figura 20. pHmetro

Resultados de los análisis de glúcidos:

<i>Ensayo</i>	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>
<i>Seliwanoff</i>	Incoloro- aldosa	Incoloro- aldosa	Incoloro- aldosa
<i>Barfoed</i>	ppto blanco- monosacárido	ppto blanco- monosacárido	ppto blanco- monosacárido
<i>Fehling</i>	ppto rojo- azúcar reductor	ppto rojo- azúcar reductor	ppto rojo- azúcar reductor
<i>Polarimetría</i>	160°	200°	133°



Figuras 21, 22 y 23. Resultado positivo del ensayo de Fehling para las tres muestras de hidrolizado. / Resultado negativo de la prueba de Seliwanoff para las tres muestras de hidrolizado. / Resultado positivo de la prueba de Barfoed para las tres muestras de hidrolizado.



Figuras 24 y 25. Realización del reconocimiento de glucosa por polarimetría. / Polarímetro.

Datos obtenidos experimentalmente de la curva de calibración

Matraz	Blanco	1	2	3	4
Volumen patrón (mL)	0	1,25	3,75	6,25	8,75
Reactivo (mL)	5	5	5	5	5
Concentración (g/L)	0,0000	0,5061	1,5183	2,5305	3,5427
Absorbancia	0,0130	0,0400	0,0440	0,0480	0,0520

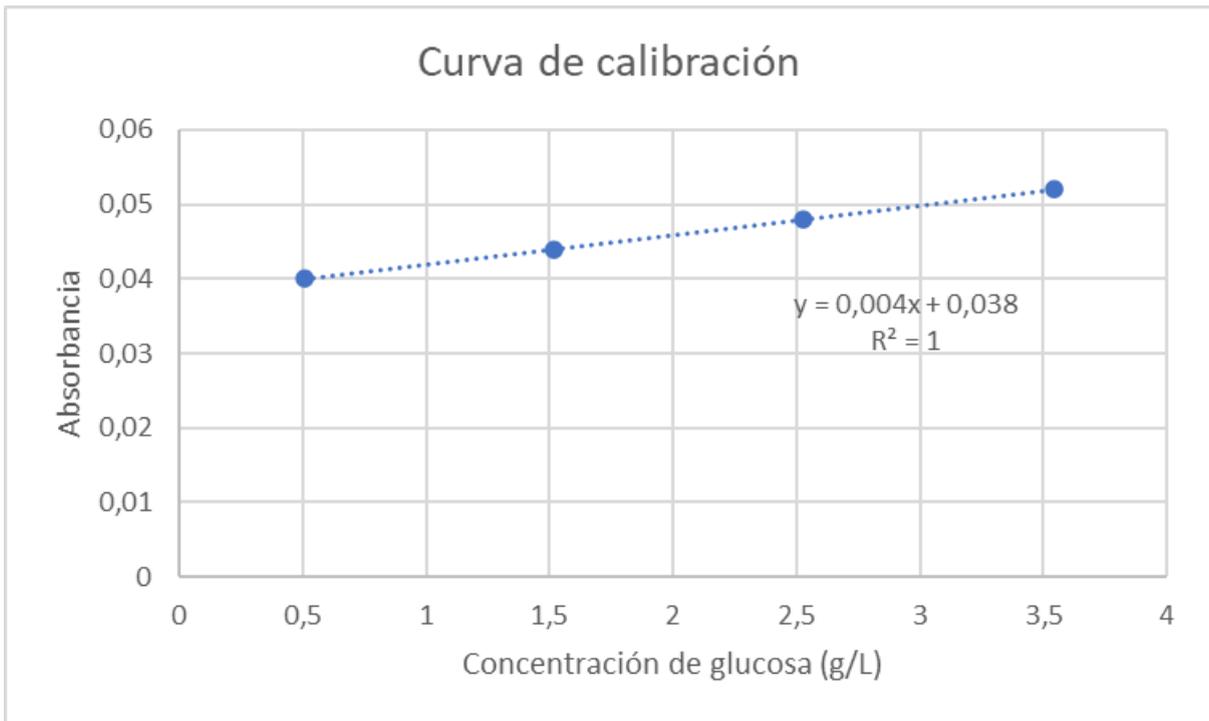


Figura 26. Curva de calibración y ecuación de mejor ajuste para determinación espectrofotométrica.



Figura 27. Desarrollo de color de la curva de calibración



Figura 28. Ubicación de las muestras en la curva de calibración

Datos de la absorbancia y concentración de las soluciones problemas

Muestra	Absorbancia	Concentración (g/L)	Incertidumbre
H1	0,0405	0,625	0,006
H2	0,0390	0,250	0,002
H3	0,0425	1,13	0,01



Figura 29. Desarrollo de color del hidrolizado de las muestras de papel para la curva de calibración.

Observaciones de la fermentación



Figura 30. Preparación de los hidrolizados para su fermentación.



Figura 31. Primer seguimiento de los fermentados.



Figura 32. Segundo seguimiento de los fermentados.

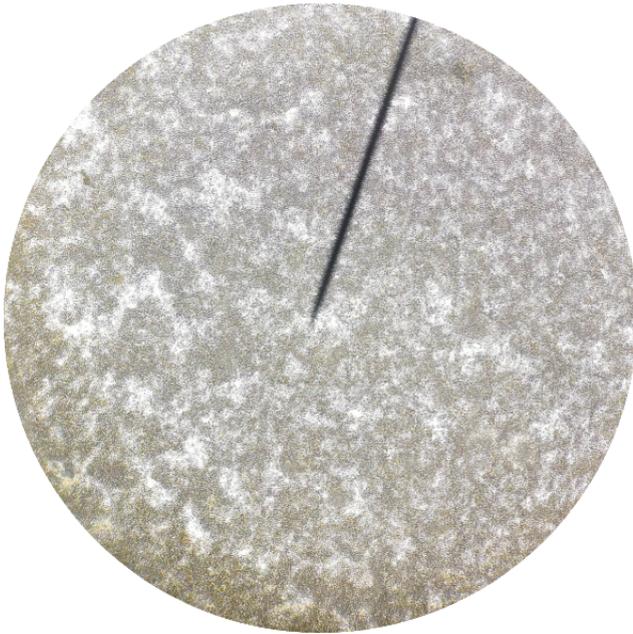


Figura 33. Observación de las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* luego de la preparación de los hidrolizados

Reconocimiento de alcohol post-fermentación:

Ensayo orgánico:

Fermentado	Dicromato	Ácido Sulfúrico	Disán	R. Schiff
1	Anaranjado	Verde	Dos fases	Rosado
2	Anaranjado	Verde	Dos fases	Rosado
3	Anaranjado	Verde	Dos fases	Rosado
Patrón	Anaranjado	Verde	Dos fases	Rosado

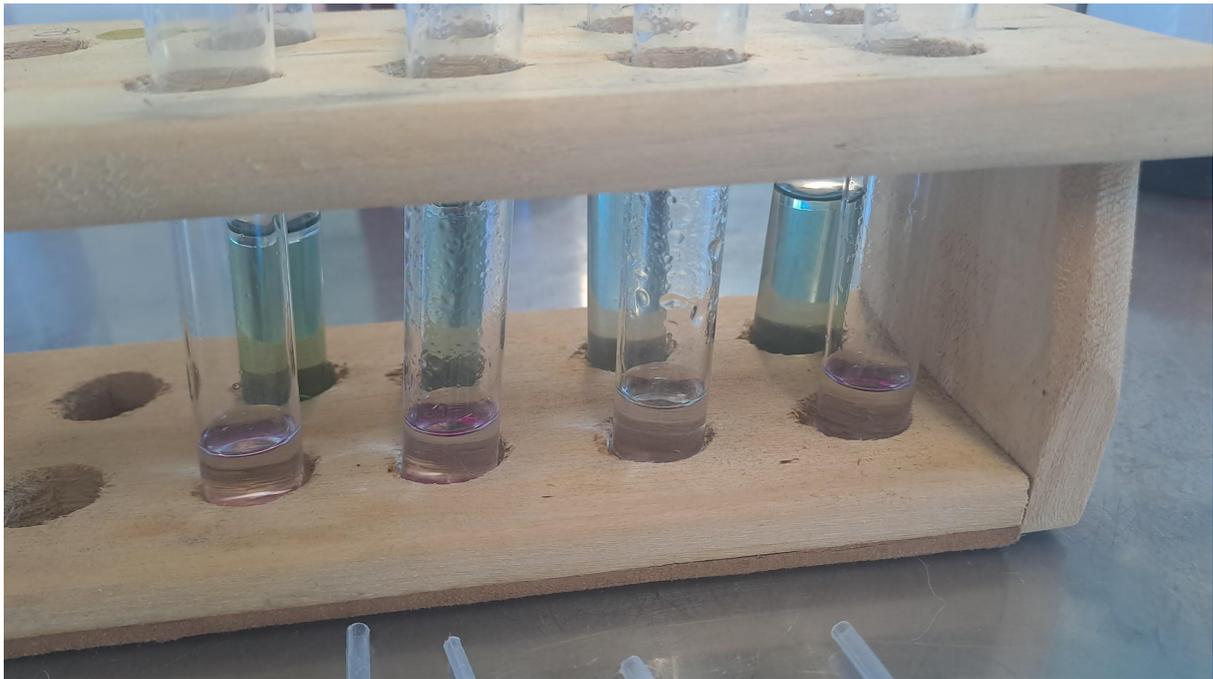


Figura 34. Reconocimiento de alcohol por ensayo con reactivo de Schiff.

Refractometría:

Fermentado	Índice de refracción	
	1	1,3430
2	1,3470	1,3485
3	1,3540	1,3600
Patrón	1,3365	1,3370

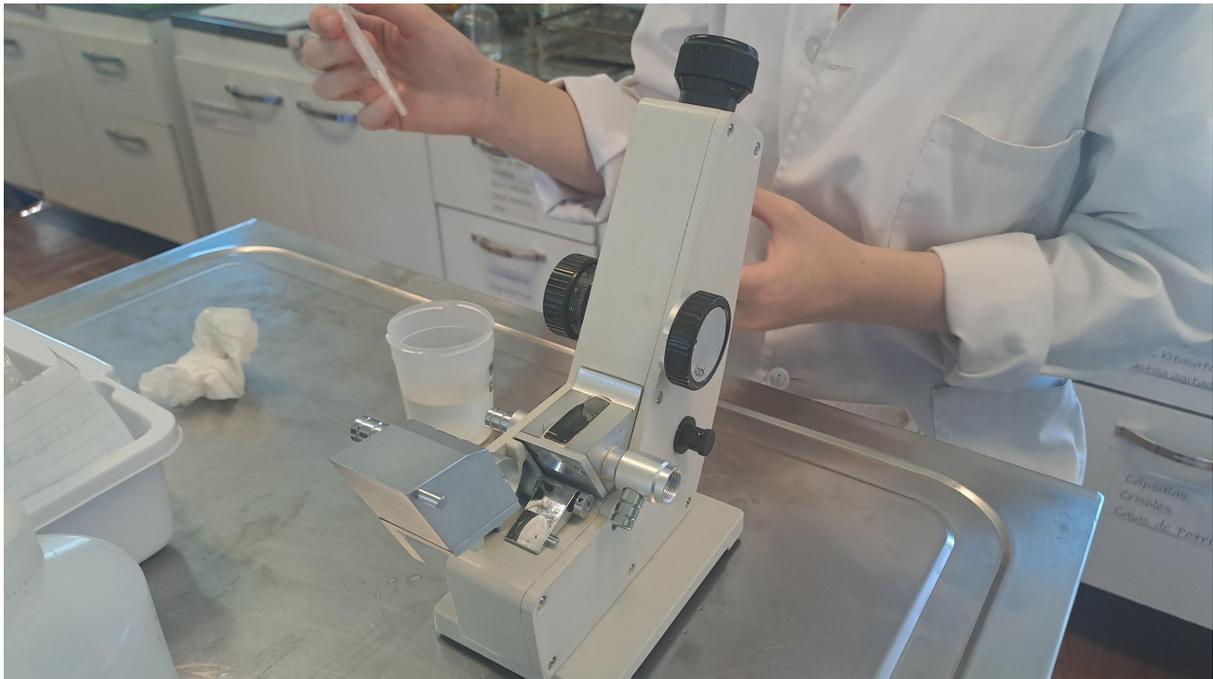


Figura 35. Refractometría.

El reciclaje como problemática sociológica

Datos obtenidos de la encuesta realizada a los participantes del grupo de discusión:

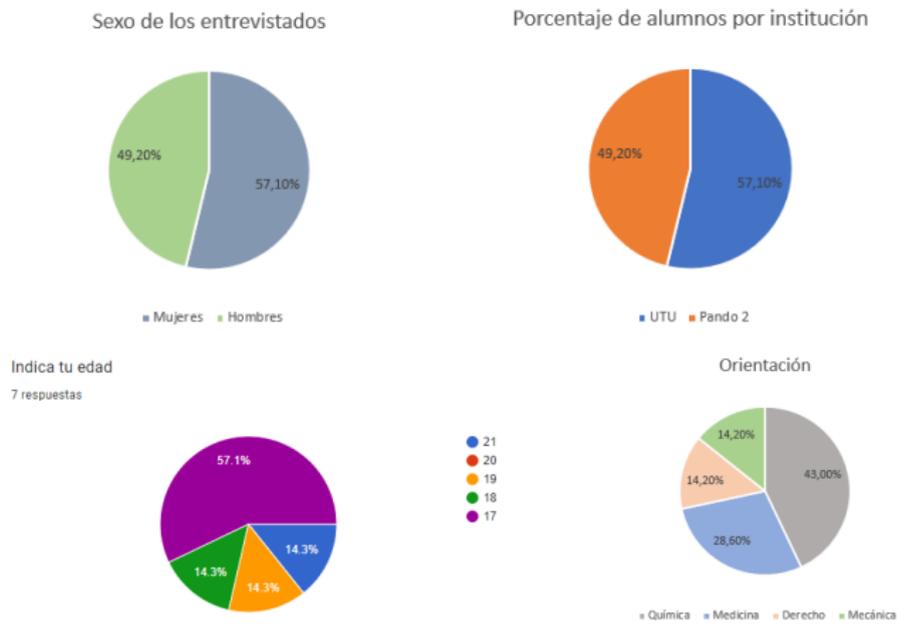


Figura 36. Datos obtenidos de la encuesta realizada.

Materiales que han reciclado los entrevistados:

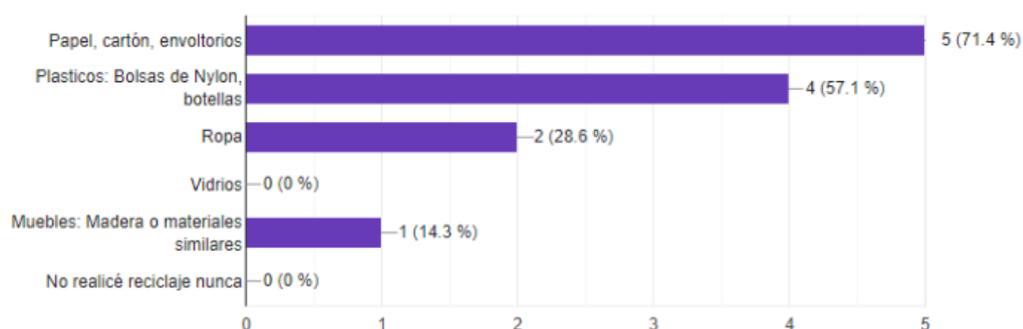


Figura 37. Datos obtenidos de la encuesta realizada.

¿Crees que es importante el reciclaje?

7 respuestas

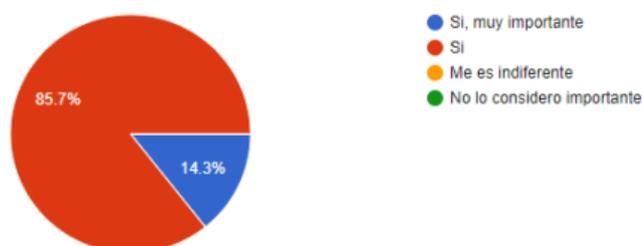


Figura 38. Datos obtenidos de la encuesta realizada.

Discusión de resultados

Con el fin de tener más variedades de papel se decidió hacer el papel de forma casera, partiendo de hojas que fueron previamente utilizadas, comenzando con trocear las hojas y agregar agua formando una pasta, la cual se extendió sobre una rejilla y se dejó secar, obteniendo así la muestra con la que se realizaría los ensayos. El pretratamiento de las restantes muestras (papel blanco y papel reciclado industrial) se realizó de manera similar.

El primer análisis realizado fue la determinación de humedad, donde se partió de la pasta de papel en los tres casos, midiendo una masa de aproximadamente un gramo para cada muestra y colocándola en una cápsula para llevarla a estufa durante 6 horas a 60 °C. Posterior a esto se midió su masa y se calculó el porcentaje de humedad que cada una contenía según la variación de masa, relacionando esto con la pérdida de humedad. El papel con menor porcentaje de humedad fue el casero, seguido del papel reciclado comprado y el que presentó mayor humedad fue el papel blanco.

La determinación de pH se llevó a cabo con el fin de conocer en qué medio se encontraban las muestras previo a cualquier análisis. Constó de colocar 5 g de muestra en 100 mL de agua destilada manteniendo en constante agitación y midiendo por medio de un pHmetro el pH que se producía en el medio. Las tres muestras se encontraban en un medio relativamente neutro, siendo el más cercano a este el de papel blanco, disminuyendo así al papel reciclado

industrial y por último el papel reciclado casero. Se especula que la disminución del pH se puede deber a la presencia de tintas o colorantes en los papeles reciclados.

En cuanto a la determinación del porcentaje de celulosa, se puede decir que esta se basó en un método gravimétrico que consta de pasar las muestras por estufa en primera instancia, medir la masa una vez culminado este proceso y llevarlas a mufla durante 30 minutos a 500 °C. Midiendo finalmente la masa. En este ensayo se utilizó ácido acético al 80 % y ácido nítrico al 68 % con el fin de generar una pasta que aisle la celulosa. Dado que la estufa no permitía el acceso a los 105 °C necesarios, se debió calcinar la muestra con mecheros bunsen posterior al secado en la estufa. Al realizar esto se perdió accidentalmente masa en el transporte a la mufla, lo que pudo haber afectado los resultados finales. Siendo el papel blanco el más afectado en las pérdidas. Los resultados finales dictaron que el papel reciclado industrial presentó mayor porcentaje de celulosa y el blanco el menor.

La elección del método de hidrólisis ácida se debió a la imposibilidad de conseguir las enzimas necesarias para realizar la hidrólisis enzimática, ambos procedimientos tienen el fin de romper los enlaces entre las unidades de α -glucosa presentes en el biopolímero. Al realizarse en medio ácido estos enlaces se rompen de forma tal que su producto final sea el monosacárido antes mencionado. A 200 g de la pasta de papel, se le agregaron aproximadamente 500 mL de agua destilada y 50 mL de ácido sulfúrico concentrado, en constante agitación y altas temperaturas durante 45 minutos. Se notó una rápida acción al observar la textura que había obtenido la pasta inicial. Posterior a esto, se dejó que disminuyera la temperatura de los vasos de Bohemia que contenían los hidrolizados para filtrar y conservar el sobrenadante.

Debido a la cantidad de ácido sulfúrico concentrado agregado resultaron inconvenientes a la hora de neutralizar los mismos. Siendo el pH inicial de estos inferior a 1 y final cercano a 3. Este pH no condiciona la acción de las levaduras, y nos permite realizar el análisis de glúcidos.

Con el fin de identificar la glucosa posterior a la hidrólisis ácida se llevó a cabo el análisis de glúcidos, donde se realizó el ensayo de Fehling, Barfoed, Seliwanoff y polarimetría. El primero de estos ensayos se basa en la reacción entre el reactivo de Fehling y la muestra, para producir en caso de la presencia de un glúcido reductor un precipitado color rojo correspondiente al óxido cuproso presente en la figura 4 presentada en el fundamento teórico. El ensayo de Barfoed consta del mismo principio, pero con otro mecanismo de acción, ante la observación de este precipitado y la diferencia de tiempo transcurrida se puede distinguir entre monosacáridos y disacáridos. La distinción entre la posición en la que se encuentra el grupo carbonilo nos condiciona frente a una cetosa o aldosa, observándose un cambio de color en la solución a rojo ante la presencia de una cetosa, en el caso de una aldosa, la solución se mantiene en el estado inicial, estos resultados se dan en el ensayo de Seliwanoff.

En cuanto una técnica analítica utilizada, como es la polarimetría, se realizó con la intención de confirmar como último paso la presencia de glucosa, al llevar a cabo este

método se presentaron ciertos inconvenientes, el principal, es la apreciación del instrumento, condicionando este el ángulo medido y así la rotación específica calculada. Los resultados obtenidos superan ampliamente el valor teórico de la rotación específica de la glucosa, el cual es: $55,7^\circ$, sin embargo, al realizar los otros ensayos previamente discutidos, se puede confirmar la presencia de glucosa gracias a las características que esta presenta como monosacárido reductor con grupo aldehído.

La dosificación de glucosa se llevó a cabo por medio de un método espectrofotométrico donde se realizó una curva de calibración con diluciones de distintas concentraciones de glucosa, la cual fue previamente preparada como patrón. Habiendo preparado el reactivo de O-toluidina, se agregaron 5 mL a cada uno de los matraces para el desarrollo de color, basándose en la reacción 9 presentada en el fundamento teórico. A estas soluciones se les midió la absorbancia por duplicado, obteniendo su promedio para graficar la curva de mejor ajuste, siendo la misma la figura 26 en el tratamiento de datos y resultados. Es de suma importancia recalcar el coeficiente de determinación (R^2) de 1, el cual nos permite confirmar una mayor exactitud a la hora de la determinación. De la misma manera se prepararon las soluciones de los hidrolizados y se midió su absorbancia, a partir de la cual junto con la ecuación de mejor ajuste se calculó la concentración de glucosa en g/L.

En lo referente a Microbiología, se realizó una fermentación alcohólica anaeróbica de la glucosa en presencia de levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, las cuales son específicas para esta hexosa. En frascos estériles se colocaron 10 g de reactivo de cloruro de amonio junto con 10 g de levadura y 50 mL del hidrolizado. A los mismos se les realizó un seguimiento cada 7 días donde se retiraba una muestra y se analizaba por medio de refractometría. Inicialmente se planeó un reconocimiento de alcohol con el reactivo de Schiff, siendo la reacción correspondiente la planteada en el fundamento teórico como figura 11, presentando un resultado positivo. En lo que respecta a la refractometría, el tercer y último método analítico, se investigó el índice de refracción teórico para el etanol, siendo de 1,3611, contra el cual fueron comparados los índices medidos a lo largo del seguimiento. Acercándose a este a medida que avanzaba el proceso de fermentado.

En lo que respecta al problema sociológico, se llevó a cabo una encuesta a los participantes del grupo de discusión, siendo estos estudiantes de los bachilleratos de los centros de Escuela Técnica de Pando y del Liceo Maríaia Julia Hernandez De Ruffinatti, tan solo viendo las respuestas proporcionadas por los mismos en las figuras 36, 37 y 38 se puede afirmar una respuesta positiva a la pregunta investigable planteada inicialmente, la cual fue: ¿Cómo varía la percepción del reciclaje en los estudiantes de bachillerato según al centro educativo al que asisten?, estas opiniones fueron respaldadas mediante el grupo de discusión.

Se deja constancia de que el presente trabajo no presenta antecedentes que aporten valores significativos con los cuales comparar los resultados obtenidos de la dosificación de glucosa a partir de papel, dado que es una adaptación por parte de las estudiantes de una técnica de otra área.

Conclusión

Con el fin de reunir los datos obtenidos experimentalmente, se presenta: para la muestra de papel blanco, el porcentaje de celulosa y humedad obtenido fue de $(20,90 \pm 0,02)$ % y $(13,0 \pm 0,1)$ % respectivamente, el pH de este fue de $6,99 \pm 0,01$, se identificó y dosificó la concentración de glucosa siendo de $(0,625 \pm 0,006)$ g/L, una vez fermentado, el índice de refracción del producto fue de 1,3450. Para la muestra de papel reciclado industrial, el porcentaje de celulosa y humedad fue de $(64,60 \pm 0,03)$ % y $(12,0 \pm 0,1)$ % respectivamente, el pH de la muestra fue de $6,33 \pm 0,01$, se identificó y dosificó la concentración de glucosa siendo de $(0,250 \pm 0,003)$ g/L, el resultado del índice de refracción posterior a la fermentación fue de 1,3485. La última muestra, el papel reciclado casero, presentó un porcentaje de celulosa y humedad de $(35,40 \pm 0,02)$ % y $(7,00 \pm 0,07)$ % respectivamente, siendo su pH de $5,88 \pm 0,01$, se identificó y dosificó la concentración de glucosa siendo de $(1,13 \pm 0,01)$ g/L, el índice de refracción resultante fue de 1,3600. Se concluye que, y considerando que el proyecto se puede llevar más allá de lo investigado, si se buscara con la intención de obtener alcoholes por medio de la fermentación alcohólica de glucosa presente en la celulosa, según los datos obtenidos el papel más rentable sería el papel reciclado casero dado que presentó una mayor pureza al extraer la muestras del fermentado. Sin embargo, se recomienda el blanqueamiento de los mismos al momento de pre-tratarlos con el fin de evitar la interferencia de la tinta en la investigación espectrofotométrica.

Bibliografía

- Badui S. (2006). *Química de los Alimentos*. PEARSON. Cuarta Edición. México.
- Brilla, E. Schosinsky, K. Esquivel, M. Chavarria, M. (1977). *Cuantificación de la glucosa por el método de la O-Toluidina*.
- Martínez, F. (1991). *Química analítica general e instrumental*. EDICIONES PARANINFO. Sexta Edición.
- Morales, S. (2015). *Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos*. Tesis de Grado Doctor en Ciencias Químicas. Madrid.
- Pavia. (1998). *Introduction to organic laboratory techniques: small-scale approach*. Harcourt College Pub. Cuarta Edición.
- OIT. (1999). *Industrias del papel y de la pasta de papel, Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Chantal Dufresne. (Tomo III, Capítulo 72).
- Santacruz (2014). *El papel, veintidós siglos de historia, y ¿Ni uno más?*. Universidad Jaume.
- Skoog, West, Holler y Crouch (2001). *Química Analítica*. McGraw-Hall. Séptima Edición. España.

Anexos:

Celulosa:

$$\% \text{ Celulosa} = \frac{(MS-MC)}{PM} \cdot 100$$

MS: masa de la muestra seca (g)

MC: masa de la muestra calcinada (g)

PM: masa inicial de la muestra antes del secado (g)

	MS (g)	MC (g)	PM (g)
1	34,9309	34,7203	1,0089
2	35,6729	35,0225	1,0069
3	35,0508	34,6924	1,0117

$$\% \text{ Celulosa 1} = \frac{(34,9309 \text{ g} - 34,7203 \text{ g})}{1,0089 \text{ g}} \cdot 100 = 20,90 \%$$

$$\% \text{ Celulosa 2} = \frac{(35,6729 \text{ g} - 35,0225 \text{ g})}{1,0069 \text{ g}} \cdot 100 = 64,6 \%$$

$$\% \text{ Celulosa 3} = \frac{(35,0508 \text{ g} - 34,6924 \text{ g})}{1,0117 \text{ g}} \cdot 100 = 35,4 \%$$

Humedad:

$$\% H = \frac{M2 - M3}{M1 - M3} \cdot 100$$

M1: masa del recipiente con la muestra húmeda (g)

M2: masa del recipiente con muestra seca (g)

M3: masa del recipiente (g)

	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)
1	35,3702	34,5010	34,3702
2	35,9261	34,9558	34,8261
3	35,8097	34,7553	34,6797

$$\% H_1 = \frac{(34,5010 \text{ g} - 34,3702 \text{ g})}{(35,3702 \text{ g} - 34,3702 \text{ g})} \cdot 100 = 13,08 \%$$

$$\% H_2 = \frac{(34,9558 \text{ g} - 34,8261 \text{ g})}{(35,9261 \text{ g} - 34,8261 \text{ g})} \cdot 100 = 11,79 \%$$

$$\% H_3 = \frac{(34,7553 \text{ g} - 34,6797 \text{ g})}{(35,8097 \text{ g} - 34,6797 \text{ g})} \cdot 100 = 6,67 \%$$

Curva de calibración:

Patrón de glucosa:

$$C(g/L) = \frac{\text{masa (g)}}{\text{volumen (L)}}$$

$$C(g/L) = \frac{1,0122 \text{ g}}{0,10000 \text{ L}} = 10,122 \text{ g/L}$$

Diluciones:

$$C_{\text{Patrón}} \cdot V_{\text{Patrón}} = C_1 \cdot V_1$$

$$10,122 \text{ g/L} \cdot 1,25 \text{ E} - 3 \text{ L} = C_1 \cdot 25,00 \text{ E} - 3 \text{ L}$$

$$C_1 = \frac{10,122 \text{ g/L} \cdot 1,25 \text{ E} - 3 \text{ L}}{25,00 \text{ E} - 3 \text{ L}} = 0,5061 \text{ g/L}$$

$$C_{\text{Patrón}} \cdot V_{\text{Patrón}} = C_2 \cdot V_2$$

$$10,122 \text{ g/L} \cdot 3,75 \text{ E} - 3 \text{ L} = C_2 \cdot 25,00 \text{ E} - 3 \text{ L}$$

$$C_2 = \frac{10,122 \text{ g/L} \cdot 3,75 \text{ E} - 3 \text{ L}}{25,00 \text{ E} - 3 \text{ L}} = 1,5183 \text{ g/L}$$

$$C_{\text{Patrón}} \cdot V_{\text{Patrón}} = C_3 \cdot V_3$$

$$10,122 \text{ g/L} \cdot 6,25 \text{ E} - 3 \text{ L} = C_3 \cdot 25,00 \text{ E} - 3 \text{ L}$$

$$C_3 = \frac{10,122 \text{ g/L} \cdot 6,25 \text{ E} - 3 \text{ L}}{25,00 \text{ E} - 3 \text{ L}} = 2,5305 \text{ g/L}$$

$$C_{\text{Patrón}} \cdot V_{\text{Patrón}} = C_4 \cdot V_4$$

$$10,122 \text{ g/L} \cdot 8,75 \text{ E} - 3 \text{ L} = C_4 \cdot 25,00 \text{ E} - 3 \text{ L}$$

$$C_4 = \frac{10,122 \text{ g/L} \cdot 8,75 \text{ E} - 3 \text{ L}}{25,00 \text{ E} - 3 \text{ L}} = 3,5427 \text{ g/L}$$

	Absorbancia 1	Absorbancia 2	Absorbancia Promedio
Blanco	0,012	0,014	0,013
1	0,039	0,041	0,040
2	0,044	0,044	0,044
3	0,048	0,048	0,048
4	0,052	0,052	0,052
H1	0,040	0,041	0,0405
H2	0,039	0,039	0,039
H3	0,043	0,043	0,0425

Ecuación de la recta de mejor ajuste: $A = 0,004 \cdot C + 0,038$.

Muestras Problema:

H1: $A = 0,0405$

$$0,0405 = 0,004 \cdot C + 0,038$$

$$C = \frac{0,0405-0,038}{0,004} = 0,625 \text{ g/L}$$

$$\text{H2: } A = 0,039$$

$$0,039 = 0,004 \cdot C + 0,038$$

$$C = \frac{0,039-0,038}{0,004} = 0,250 \text{ g/L}$$

$$\text{H3: } A = 0,0425$$

$$0,0425 = 0,004 \cdot C + 0,038$$

$$C = \frac{0,0425-0,038}{0,004} = 1,125 \text{ g/L}$$

Polarimetría: Rotación específica.

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{c \cdot l}$$

α ángulo medido en el polarímetro

C concentración en g/mL

l longitud del tubo de polarímetro en dm

Muestra	Ángulo medido (°)
1	0,1
2	0,05
3	0,15

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{0,1^{\circ}}{6,25 \text{ E-4 g/mL} \cdot 1 \text{ dm}} = 160^{\circ}$$

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{0,05^{\circ}}{2,50 \text{ E-4 g/mL} \cdot 1 \text{ dm}} = 200^{\circ}$$

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{0,15^{\circ}}{1,125 \text{ E-3} \cdot 1 \text{ dm}} = 133^{\circ}$$