

**OBTENCIÓN DE JARABES AZUCARADOS A PARTIR DE LA  
HIDRÓLISIS QUÍMICA DE RESIDUOS DE CÁSCARAS DE NARANJA  
(*Citrus sinensis l var valencia*) Y PAPA (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol  
Capiro (R-12) PARA SER EMPLEADOS COMO EDULCORANTES EN LA  
INDUSTRIA DE ALIMENTOS.**

**FLOR MARINA GERENA BARON**

**TRABAJO DE GRADO**

**Proyecto previo a la obtención del título de  
“Ingeniería de Alimentos”**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA “UNAD”  
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGÍA E INGENIERIA  
DUITAMA**

**2013**

**OBTENCIÓN DE JARABES AZUCARADOS A PARTIR DE LA  
HIDRÓLISIS QUÍMICA DE RESIDUOS DE CÁSCARAS DE NARANJA  
(*Citrus sinensis l var valencia*) Y PAPA (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol  
Capiro (R-12) PARA SER EMPLEADOS COMO EDULCORANTES EN LA  
INDUSTRIA DE ALIMENTOS.**

**FLOR MARINA GERENA BARON**

**46.455.179**

**TRABAJO DE GRADO**

**Proyecto previo a la obtención del título de  
“Ingeniería de Alimentos”**

**Q.A. Golda Meyer Torres**

**Director**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA “UNAD”  
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGÍA E INGENIERIA  
DUITAMA**

**2013**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

Golda Rojas Pineda

**Firma del presidente del jurado**

Ruth Kaciana A.

**Firma del jurado**

Duitama, 28 de Octubre del 2013

## **DEDICATORIA**

*Con todo mi amor a papito Dios, dueño de mi vida, mis sueños  
y mis metas.*

*A la Santísima Virgen María, por su protección y guía.*

*A mi linda familia en especial mi mamacita, por su amor,  
ayuda y comprensión y a todos aquellos que contribuyeron en  
mi empeño de alcanzar la meta.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primero que todo agradezco a Dios por guiar mi camino y permitirme seguir en mis estudios logrando culminar mi carrera universitaria.*

*A mi linda madre Marina Barón, que con tanto empeño, fe, fortaleza y amor, nos ha enseñado a luchar a mis hermanos y a mí, educándonos en la moral y sacándonos adelante con nuestros estudios.*

*A mis hermanos, por sus oraciones y consejos que me animaron, especialmente al padre fray Sergio, que me impulsó a no desfallecer en la carrera y terminar lo que ya había empezado, porque son mi razón de ser junto a mi madre y el regalo más lindo que Dios me dio.*

*A la Q.A Golda Meyer, por llegar a mi vida en esta carrera universitaria, ya que generó en mí la capacidad de aprender de forma lógica, clara y responsable, por sus enseñanzas, tiempo y ayuda en el proceso de mi tesis.*

*A todas aquellas personas que han sido parte de mi vida, por que han participado en mi crecimiento espiritual, personal e intelectual.*

## RESUMEN

El desarrollo de este proyecto de investigación, se centró en la elaboración de jarabes edulcorados, ricos en azúcares reductores, aportados por la degradación química de los residuos de celulosa y el almidón. En esta investigación se trabajó con los residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis L var valencia*) y papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12), se realizaron combinaciones porcentuales de estos residuos (N100, P100, N25P75, N50P50 y N75P25); se les caracterizó químicamente en cuanto porcentaje de humedad expresado como %H en base húmeda (%H bh) y %H en base seca (%Hbs), porcentaje materia seca expresado como (% MS), Porcentaje de grasa expresado como % extracto etéreo, porcentaje de celulosa (gramos/ 100 gramos de residuo seco), porcentaje de almidón (gramos/100 gramos de residuo seco), porcentaje de azúcares reductores (gramos/100 gramos de residuo seco). Los datos de los contenidos de celulosa, almidón y azúcares reductores, indicaron que se debe realizar una hidrólisis en todos los tratamientos para aumentar la cantidad de azúcares reductores en los jarabes obtenidos.

Se evaluó el efecto de las combinaciones porcentuales de los residuos orgánicos de cáscara de naranja y papa en la producción de azúcares reductores mediante hidrólisis química, para esto se planteó un diseño experimental de un factor completamente aleatorizado con efectos fijos. La prueba de Tukey indicó que entre N100, N75P25 y P100 existe diferencias significativas, P100 es quien genera más azúcares reductores; dentro de las combinaciones porcentuales N25P75 y N50P50 no hay diferencias significativas, esto indica que la cantidad de azúcares reductores que se genera es similar entre ellos y exhiben un comportamiento igual que hidrolizar P100.

Los jarabes obtenidos después de técnicas de purificación pueden ser considerados como jarabes de glucosa líquida ya que se encuentran en un rango superior de 20 ED (equivalente de dextrosa), lo que indicó que entre N100 (21,70 ED) y N75P25

(23,50 ED), se clasifican como glucosas líquidas de baja conversión. N25P75 (46,70), se clasifican como glucosa líquida de conversión media o estándar, pueden ser aplicados en la industria Pastelera, Helados, Alimentación Dietética, Galletas, Farmacéutico. N50P50 (57,00) y P100 (67,30) se clasifica como glucosa líquida de alta conversión, pueden ser empleados en la industria de caramelos, chicles, confitería.

## ABSTRACT

The development of this research project, focused on the production of syrups sweetened, rich in reducing sugars produced by the chemical degradation of waste cellulose and starch. In this research we worked with waste orange peel (*Citrus sinensis L. var valence*), potato (*Solanum tuberosum*) variety Diacol Capiro (R -12) and percentage combinations of these residues (N100 , P100 , N25P75 , N50P50 and N75P25), they are chemically characterized as humidity rate expressed as % wet basis H (% H bh) and % H in dry basis (% Hbs) , percent dry matter expressed as % DM, fat percentage expressed as % ether extract , percentage of cellulose (g / 100 g of dry residue), percentage of starch (g / 100 g of dry residue), percentage of reducing sugars (grams/100 grams solids). The data of the contents of cellulose, starch and reducing sugars indicated that hydrolysis should be performed in all treatments to increase the amount of reducing sugars in the syrups obtained.

The effect of percentage combinations of organic waste orange peel and potato on the production of reducing sugars by chemical hydrolysis to arose this experimental design a completely randomized factor fixed effects. Tukey's test indicated that between N100 and P100 N75P25 significant differences exist, P100 is who generates more reducing sugars; within N50P50 percentage combinations N25P75 and no significant differences, indicating that the amount of reducing sugars is similar generated between them and exhibit behavior hydrolyze as P100.

Syrups obtained after purification techniques can be considered as liquid glucose syrups that are in a higher range of 20 DE (dextrose equivalent), indicating that among N100 (21.70 ED) and N75P25 (23.50ED), are classified as low conversion glucose liquid. N25P75 (46,70), are classified as liquid glucose medium or standard conversion, can be applied in industry Pastry, Ice Cream, Food Diet, Cookies, Pharmacist. N50P50 (57.00) and P100 (67.30) is classified as high-converting liquid glucose, may be employed in the industry of candy, gum, confectionery.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PAGINA
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEORICO	16
1.1. Residuos Orgánicos Vegetales	16
1.1.1. Residuos con Composición Lignocelulósica	17
1.1.2. Almidón	22
1.2. Aprovechamiento de residuos orgánicos vegetales en la industria	23
1.3. Residuos vegetales de cáscaras de naranja y cáscaras de papa	25
1.3.1. Residuos de Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> L.)	26
1.3.2. Residuos de Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> )	30
1.4. Hidrólisis de polisacáridos	33
1.4.1. Hidrólisis Química	34
1.4.2. Hidrólisis Enzimática	37
1.5. Azúcares Reductores	39
1.6. Jarabes de glucosa y Edulcorantes en la Industria de Alimentos	40
1.6.1. Jarabes de glucosa	40
1.6.2. Edulcorantes	44
2. JUSTIFICACIÓN	49
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	51
4. OBJETIVOS	52
4.1 Objetivo General	52
4.2 Objetivos Específicos	52
5. METODOLOGÍA	54
5.1. Materiales	55
5.1.1. Materias primas para la obtención de azúcares reductores	55
5.2. Métodos	56
5.2.1. Combinaciones porcentuales	56
5.2.2. Caracterización de la materia prima.	56
5.2.3. Hidrólisis química de la materia prima	59
5.2.4. Caracterización de los jarabes	60

5.3. Análisis estadístico	61
5.3.1. Caracterización de la materia prima	61
5.3.2. Hidrólisis química	61
5.3.2.1. Diseño experimental para la hidrólisis química	61
5.3.3. Hipótesis	62
5.3.3.1. Hipótesis general	62
5.3.3.2. Hipótesis estadísticas	62
5.3.4. Variables	63
5.3.4.1. Variables independientes	63
5.3.4.2. Variables Dependientes (Variables de respuesta)	63
5.3.4.3. Variables extrañas o de ruido	63
5.3.4.4. Variables controlables	63
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
6.1. Caracterización química de la materia prima	64
6.2. Hidrólisis química	73
6.3. Caracterización de los jarabes obtenidos	79
7. CONCLUSIONES	82
8. RECOMENDACIONES	84
9. REFERENCIAS	85
ANEXOS	92

## INDICE DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 1. Monosacáridos constituyentes de las hemicelulosas en diferentes material lignocelulósico	20
Tabla 2. Composición química de cáscaras de banano y yuca en base seca	24
Tabla 3. Valor nutricional por cada 100 g ( <i>C. Sinensis</i> )	27
Tabla 4. Composición química aproximada de las cáscaras de Naranja	28
Tabla 5. Aproximación de azúcares reductores por hidrólisis ácida y enzimática	29
Tabla 6. Valor nutricional de ( <i>Solanum tuberosum</i> )	30
Tabla 7. Composición química de los residuos de cáscara de papa	31
Tabla 8. Resultados después de hidrólisis alcalina e hidrólisis ácida	36
Tabla 9. Resultados de la prueba diferencias entre Hidrólisis enzimática e hidrólisis ácida	38
Tabla 10. Edulcorantes más utilizados en la industria alimentaria.	45
Tabla 11. Caracterización residuos de cáscara de naranja, papa y combinaciones porcentuales	66
Tabla 12. Cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis (g/gramos de residuo seco).	73
Tabla 13. Estadístico (ANOVA) Cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis (g/gramos de residuo seco)	73
Tabla 14. Comparaciones múltiples) Cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis (g/gramos de residuo seco)	78
Tabla 15. Resultados de la caracterización de los jarabes obtenidos	79
Tabla 16. Clasificación de jarabes de glucosa y su aplicación en la industria de alimentos	81

## INDICE DE FIGURAS

	<b>PAGINA</b>
Figura 1. Celulosa. Modelo de células unidas por puentes de Hidrógeno	18
Figura 2. Monosacáridos constituyentes de las hemicelulosas.	19
Figura 3. Estructura general de la lignina	21
Figura 4. Molécula de amilosa	22
Figura 5. Etapas intervinientes dentro del proceso de digestión anaeróbica	25
Figura 6 Productos de degradación de la biomasa	35
Figura 7. Representación de estructura química de azúcares reductores	39
Figura 8. Diagrama de flujo de jarabes de glucosa	42
Figura 9. Diagrama de proceso de jarabes de glucosa	42
Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de obtención de jarabes azucarados	54
Figura 11. Materia prima, selección, adecuación y conservación	55
Figura 12. Combinaciones porcentuales de cáscaras de naranja y papa deshidratadas	56
Figura 13. Caracterización Química de la materia prima	58
Figura 14. Procedimiento hidrólisis química de la celulosa y almidón de las cáscaras de naranja y papa	59
Figura 15. Jarabes de glucosa purificados	60
Figura 16. Curva patrón de azúcares reductores por el método DNS	65

Figura 17. Caracterización de residuos de cáscaras de naranja y papa y combinaciones porcentuales, Humedad (%Hbh), (%H bs) y Materia seca (%MS)	67
Figura 18. Caracterización de residuos de cáscaras de naranja y papa y combinaciones porcentuales, Grasa (% extracto etéreo), Almidón (g/100g de rs) y Celulosa (g/100g rs)	69
Figura 19. Caracterización de residuos de cáscaras de naranja y papa y combinaciones porcentuales Azúcares reductores (g/100g rs), pH	71
Figura 20. Cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis (g/gramos de residuo seco)	74
Figura 21. Producción de azúcares reductores antes y después de la hidrólisis química	76

## INDICE DE ANEXOS

	PAGINA
ANEXO 1. Protocolos de laboratorio para la caracterización materia prima	92
ANEXO 2. Protocolo hidrólisis química	100
ANEXO 3. Matriz y datos del experimento caracterización química	102
ANEXO 4. Resumen estadístico caracterización química	104
ANEXO 5. Curva patrón glucosa para DNS antes de la hidrólisis	108
ANEXO 6. Matriz y datos del experimento hidrólisis química	109
ANEXO 7. Estudio estadístico hidrólisis química	110
ANEXO 8. Curva patrón glucosa para DNS después de la hidrólisis	115

## INTRODUCCION

La visión de la generación de miles de residuos sólidos vegetales derivada del consumismo a nivel mundial de años atrás y actualmente, ha sido entendida como una problemática que causa efectos ambientales negativos por su disposición incorrecta, asociados al incremento de la población humana, los procesos de transformación industrial, agroalimentarios y a los malos hábitos de consumo de las personas. La solución al problema a nivel mundial implica la separación de residuos orgánicos de los demás desechos sólidos o basura, incrementando empleo y diversas técnicas de procesamiento de productos y subproductos en la industria que genera diversidad de beneficios, el proceso de reciclaje genera la transformación de los residuos orgánicos, nuevamente en materia prima para productos de fermentación, etanol, biocombustibles, jarabes edulcorados y en el proceso de compostaje, como biofertilizantes. Jiménez, (2012) resume que el 49% de los residuos generados corresponden a residuos orgánicos, para el aprovechamiento de estos, existen biotécnicas de reciclaje para la obtención de derivados útiles, también son productos factibles en la industria de alimentos.

En la industria de alimentos y agrícola, se generan este tipo de residuos, y son muy pocas las industrias de procesamiento de alimentos que implementan tecnologías para la reutilización de los residuos generados del procesamiento de frutas y vegetales, ya que se consideran de bajo valor comercial, lo que hace que sean eliminados como basura y/o encaminados hacia la alimentación animal sin ningún pretratamiento. Los residuos orgánicos agrícolas se consideran una nueva fuente de petróleo no convencional, lo que ayuda a mitigar el agotamiento de recursos no renovables, esto considerando la inmensa riqueza de su composición química y energética derivada de las cadenas de carbono de estos residuos. Para esto es necesario trabajar en conjunto con la biotecnología industrial, que aporta el conocimiento necesario para aprovechar al máximo estas cadenas carbonadas de polisacáridos representadas en material lignocelulósico y almidón al convertirlos en excelentes sustratos para el crecimiento de microorganismos, los cuales son los

responsables del fraccionamiento de estos polisacáridos para la obtención de sustancia de interés industrial.

En el presente proyecto se busca una oportunidad de aprovechamiento de los residuos agrícolas, se hace necesaria la caracterización fisicoquímica de estos residuos, para conocer su composición, la calidad de sus componentes y la cantidad que se genera, con esto se pueden definir las tecnologías más apropiadas para su aprovechamiento y posterior tratamiento, considerando que se debe tener un enfoque de responsabilidad ambiental. Por lo anterior se hace necesario el proceso de hidrólisis en vegetales orgánicos, para el desarrollo de nuevos productos como jarabes edulcorados ricos en polisacáridos, productos de interés industrial y tecnológico y una propuesta para la disposición de residuos orgánicos.



## **1. MARCO TEORICO**

### **1.1. Residuos Orgánicos Vegetales**

En la mayoría de las legislaciones europeas (Comisión Reglamento 442/1975/EEC; 689/1991/EEC) a las sustancias y materia orgánica que sale desde el proceso de producción es llamado materiales indeseables, lo definen como "desechos", mientras en Colombia según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial son llamados "residuos sólidos orgánicos", Arapoglou *et al*, (2010), expone que en Europa las cáscaras de papa son residuos que causa preocupación en las industrias productoras, lo que implica la necesidad de identificar un sistema integrado, con el medio ambiente, buscar soluciones amistosas, ya que son residuos considerados desechos y contaminan el medio ambiente y los primeros responsables son las plantas de procesamiento. No se tiene en cuenta la potencialidad de re utilización de estos desechos dentro de la cadena alimentaria. Galanakis, (2012), concluye que es esta la razón por la cual el término "subproductos" se relaciona cada vez más entre los científicos con el fin de notificar que los "residuos de alimentos" son en definitiva sustratos para rescatar compuestos funcionales y el desarrollo de nuevos productos con un valor en el mercado.

Los residuos orgánicos son materias primas con capacidad de conversión de valor agregado, se pueden tratar y transformar en sustancias necesarias para la industria como para el medio ambiente. Galanakis, (2012) estima que el procesamiento de desechos orgánicos ha sido considerado como un asunto de tratamiento, prevención y minimización debido a los efectos ambientales inducidos por su disposición. Por la gran cantidad de residuos orgánicos que se generan a diario a nivel mundial se ha visto reflejados problemas en el medio ambiente y a nivel económico teniendo en cuenta los costos de recolección, transporte y disposición final que son cada vez mayores. Cardona, (2004).

Según las estadísticas Jiménez, (2012) resume que el 49% de los residuos generados corresponden a residuos orgánicos, para el aprovechamiento de estos, existen similares biotécnicas como: compostaje, lombricultura, etanol, biocombustibles, bocashi, biofertilizantes, biofermentos; en las que pueden reciclarse con la consiguiente obtención de derivados útiles.

En los últimos años se han implementado proyectos para el aprovechamiento de materiales orgánicos que den un valor agregado a la producción de subproductos como el etanol y combustibles líquidos a partir de biomasa agrícola, Mejía Giraldo *et al*, (2007). Mientras tanto Monsalve, (2006) concluye que de los residuos vegetales se obtienen residuos ricos en almidón, hemicelulosa, celulosa y lignina en porcentajes altos según la materia orgánica que se procese; estos sustratos una vez hidrolizados, es la materia prima para la obtención de etanoles, edulcorantes, azúcares fermentables. De acuerdo a lo anterior se definen la composición química de los residuos orgánicos vegetales.

### **1.1.1. Residuos con Composición Lignocelulósica.**

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas y vegetales, esta biomasa es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía y materias primas, Álvarez Castillo, *et al*, (2012). El aprovechamiento integral del material lignocelulósico persigue métodos de fraccionamiento de los compuestos estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina), de dos clases: métodos de hidrólisis y métodos de lignificación, Barroso Casillas, (2010).

Para conocer mejor la composición de los residuos lignocelulósicos, tenemos:

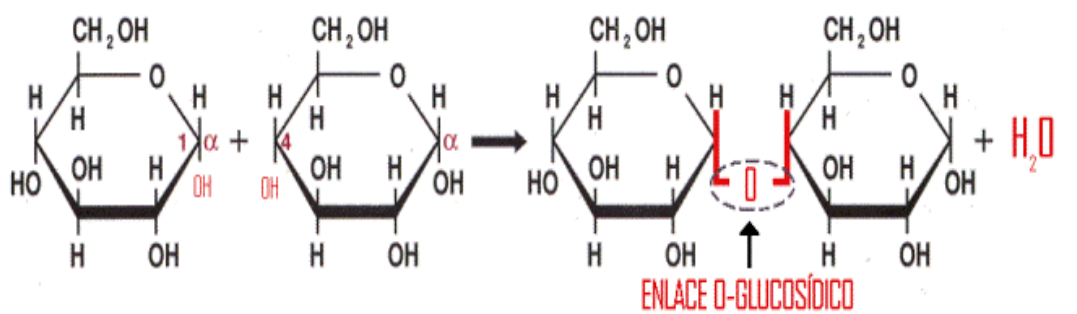
#### **- Celulosa**

La celulosa es un homopolímero lineal de elevado peso molecular y grado de polimerización, Barroso Casillas, (2010). Es la molécula orgánica más abundante, sirve para construir polisacáridos estructurales encontrándose envuelta por una pared

celular vegetal. La celulosa está formada por enlaces tipo Beta-glucosídicos (1-4) y es un polímero lineal helicoidalmente superior a la amilosa. Antes era Alfa y ahora es Beta, y como consecuencia los enlaces o-glucosídico quedan dentro de la hélice protegidos, (Ver Figura 1). Este polisacárido es muy difícil de hidrolizar, Nilsson, (1947), registra la necesidad de retirar la lignina para obtener la celulosa de la materia.

Figura 1. Celulosa.

Modelo de células unidas por puentes de Hidrógeno



Fuente: Wikipedia (2013). Enlace glucosídico.

La degradación de la celulosa se evalúa a través de un complejo enzimático, con dos niveles de temperatura (55 y 60 °C) y tres de pH (4.0, 5.0 y 6.0) con dos repeticiones por tratamiento, debido a que la lignina presente en la materia vegetal recubre la celulosa y no permiten que actúen las celulasas Whitaker, (1994), se logra obtener la mayor cantidad de celulosa a una temperatura de 60°C y un pH de 4.0.

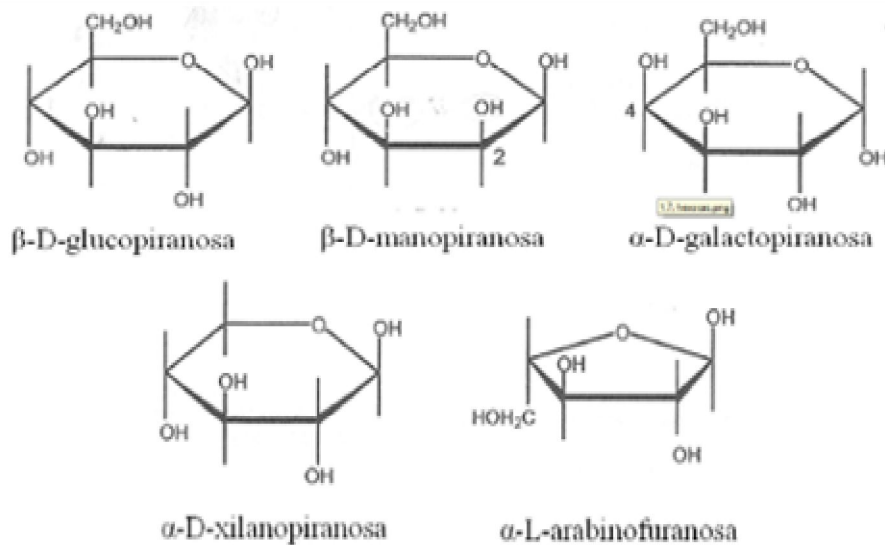
Existen tres enzimas que intervienen en la degradación de la celulosa (celulolisis), pueden trabajar por separado en una sucesión de microorganismos o en unísono:

1. Endoβ-1,4-glucanasa que ataca los en los enlaces β1, 4 de la macromolécula formando fragmentos de oligosacáridos solubles.
2. Exo-β-1,4-glucanasa que separa el disacárido celobiosa desde los extremos de la molécula.
3. β-glucósida que hidroliza la celobiosa con formación de glucosa y de esta forma seguir en otras rutas de degradación diferentes.

- **Hemicelulosa:**

Las hemicelulosas forman cadenas ramificadas de menor grado de polimerización que la celulosa por lo tanto no tiene, zonas cristalinas. Además los puentes de hidrógeno son menos eficaces, haciendo de las hemicelulosas polisacáridos más accesibles al ataque de reactivos químicos, Barroso Casillas, (2010).

Figura 2. Monosacáridos principales de la hemicelulosa, tres hexosas: glucosa, manosa y galactosa y dos pentosas: xilosa y arabinosa.



Fuente: Barroso Casillas, M. (2010). Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería.

Forma parte de las paredes de las células vegetales, recubriendo la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina, Son polisacáridos formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces  $\beta$  (1-4) fundamentalmente (xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa). Ver Figura 2. Tabla 1. Composición de la hemicelulosa de materiales lignocelulósicos.

Tabla 1. Monosacáridos constituyentes de las hemicelulosas en diferentes material lignocelulósico.

Material lignocelulósico	Xilosa	Manosa	Galactosa	Arabinosa	Grupos acetilo	Ácidos urónicos
<b>MADERAS DE CONÍFERAS</b>						
<i>Picea glauca</i>	6,8-9,1	11-12	1,2-1,9	1,1-1,6	1,2-1,3	3,6-4,4
<i>Picea mariana</i>	6	9,4	2	1,5	1,3	5,1
<i>Picea rubens</i>	6,2	12	2,2	1,4	1,4	1,7
<i>Pseudotsuga</i>	2,8	11	4,7	2,7	0,8	2,8
<i>Picea abies</i>	5,6-7,6	9,5-13,6	2,3-2,8	0,5-1,4	1,2-2,5	1,4-5,3
<i>Larix decidua</i>	5,1-6,3	11-11,5	2-6,1	2-2,5	1,4	2,2-4,8
<i>Pinus radiata</i>	6,2-8,5	9,5-12	2,8-3,3	2,1-2,7	1,9-2	2,5-5,1
<i>Pinus resinosa</i>	7,9-9,3	7,4-10,7	1,8-2	2-2,4	1,2	6
<i>Pinus ngida</i>	6,6	9,8	1,4	1,3	1,2	1,4
<i>Pinus sylvestris</i>	7,6	10-12,4	1,9-3,1	1,5-1,6	1,3	5-5,6
<i>Pinus taeda</i>	6,5-6,8	10,5-11	2,3-2,4	1,5-1,7	1,1	3,8
<b>MADERAS DE FRONDOSAS</b>						
<i>Abedul</i>	20-26	1,8-3,6	0,6-1,3	0,3-0,6	3,3-4,4	4,2-6,3
<i>Alamo</i>	15,2-21,2	2,1-3,5	0,8-2	0,4-0,9	3,2-3,9	3,1-5,2
<i>Arce</i>	15-19	2,3-3,3	0,6-1	0,5-1	2,9-3,8	3,5-4,4
<i>Eucalyptus globulus</i>	21,5	0,7	2,5	1,8	7,3	1,8
<i>Fagus sylvatica</i>	19-21,7	0,9-2,1	0,8-1,4	0,5-0,9	3,9-4,3	4,8-5,9
<i>Ulmus</i>	12-15,1	2,4-3,4	0,9	0,4-0,6	3-3,9	4,6-4,7
<i>Quercus falcata</i>	19-21,7	2-2,4	1,2-2,1	0,4-1,6	3,3	4,5
<b>MATERIALES ALTERNATIVOS</b>						
Bagazo caña	21,5	0	0	2,7	-	-
Cascanilla arroz	12,3	2,7	0,1	2,6	-	-
Paja de cebada	15	1,3	1,7	4,0	-	-
Tallos de maíz	13-21,1	0-0,25	0,7-0,8	2,8-3,7	3,6	4,4
Zuros de maíz	29,1	0	0	2,8	-	-
Paja de arroz	13	1,6	0,4	4,0	-	-
Paja de sorgo	15,0	0,8	0,2	3,0	-	-
Paja de trigo	16,9-18,5	0-0,7	0,7-2,2	1,6-2,1	2,4	2,2

Fuente: Barroso Casillas, M. (2010). Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtención de etanol en el marco de una biorrefinería.

Mejía Giraldo *et al*, (2007), para la obtención de azúcares fermentables del mango común (*Mangifera indica L.*), hidroliza química y enzimáticamente la materia, para obtener hemicelulosa, dice que a medida que se eleva la concentración de ácido sulfúrico, el tratamiento tiende a ser más degradado, obteniendo mayor cantidad de hemicelulosa. La hemicelulosa se extrae a partir de hidrólisis ácida y/o enzimática para la obtención de productos como el etanol azúcares reductores, biocombustibles etc.

#### - **Lignina**

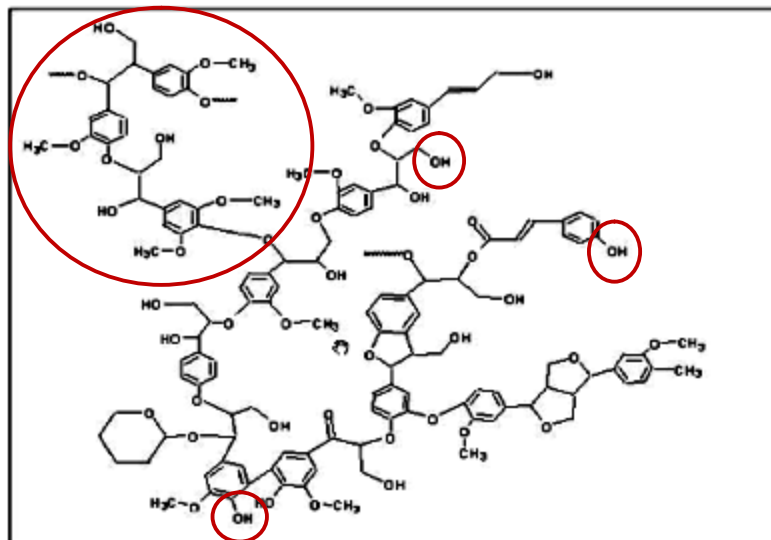
La lignina es un polímero aromático de estructura tridimensional bastante compleja (figura 3), muy ramificada y amorfa, formada por la condensación de precursores fenólicos unidos por diferentes enlaces resistentes, tanto al ataque de las sustancias químicas como a la acción de los microorganismos. Sin embargo, la lignina es disuelta por los reactivos sódicos y por el cloro, que la convierten en subproducto soluble en agua, es el constituyente intercelular incrustante o cementante de las células fibrosas de los vegetales. Es el segundo elemento en importancia de la

composición vegetal. De la lignina se obtienen productos industriales como el papel, plásticos resinas, celulosa para diferentes productos como cauchos y fibras para la industria textilera.

La lignina cumple con tres funciones específicas:

- Proteger a la celulosa del ataque microbiano.
- Conferir resistencia e impermeabilidad al material.
- Mantener unidas las fibras celulósicas.

Figura 3. Estructura general de la lignina.  
Representa el 30 % de los componentes del vegetal.



Fuente de: Universidad de Guadalajara (2008), lignina y sus derivados.

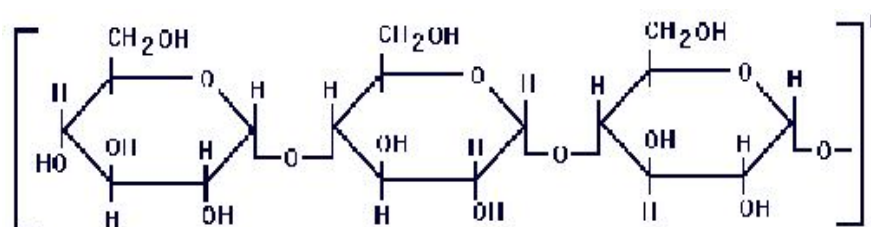
Chiaramonti, *et al*, (2012); argumenta que es necesario eliminar la lignina para la preservación de polisacáridos como hemicelulosa y celulosa porque de allí provienen los azúcares reductores, ya que son los mejores indicadores de la degradación y conversión del tejido vegetal a azúcares fermentables. La eliminación de la lignina aumenta la porosidad del material vegetal, para facilitar la exposición de estos polisacáridos a la hidrólisis posterior, sea química o enzimática. Tejada, *et al*, (2010), describe la degradación de la lignina de las cáscaras de piña y naranja: sumergiendo las cáscaras en una solución de NaOH 0.1N durante 15 minutos. Posteriormente se adicionó sulfato de calcio y se dejó en reposo por 3 horas de

acuerdo a lo reportado por Hoyos & Pérez (2005). Por último, se separó el material de la solución por decantación.

### 1.1.2. Almidón.

El almidón es el principal polisacárido de reserva de la mayoría de los vegetales, y la principal fuente de calorías de la mayoría de la Humanidad. Es importante como constituyente de los alimentos en los que está presente, tanto desde el punto de vista nutricional como tecnológico. Ver Figura 4. Es un polímero de cadena lineal o recta.

Figura 4. Molécula de amilosa



Fuente: Cruz Ruiz, (2012).

Químicamente, el almidón está compuesto por dos polímeros de diferente estructura: la amilosa y la amilopectina. Ambas son moléculas de alto peso molecular organizadas en gránulos semicristalinos. En la amilosa las unidades de D-glucosa se presentan como anillos de píranos unidos, la unidad de disacárido que se repite es la maltosa.

El almidón es un material de alimentación de alto rendimiento del cual se produce etanol por medio de hidrólisis, de allí se obtienen gran cantidad de azúcares reductores. Arapoglou *et al*, (2010), realiza una hidrólisis ácida, al 0,5% de Nitrato de Amonio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), 0,1% de peptona y 120 ml de ácido clorhídrico (HCl) 0,5 M, se esterilizó a 121 °C durante 15 min. Durante la esterilización los carbohidratos de las cáscaras de papa se transforman en azúcares fermentables, debido a la hidrólisis ácida.

Arapoglou *et al*, (2010), de forma enzimática utilizó preparaciones de *Viscozyme L.*, es una enzima de degradación de la pared celular, se usó 120 Unidades de Beta - glucanasa fúngicas (FBGU)/ml. Una FBG es la cantidad de enzima requerida en condiciones estándar, (30 °C, pH 5,0, tiempo de reacción 30 min) para degradar un - glucano de cebada a la reducción de los hidratos de carbono con un poder correspondiente reducción a 1 mol glucosa/min. La actividad de la enzima fue de 120 KNU/g (kilo unidades de novo de la  $\alpha$ -amilasa). KNU es la cantidad de enzima necesaria para descomponer 5,26 g de almidón por hora de acuerdo a Método estándar de Novozyme para la determinación de la  $\alpha$ -amilasa.

A nivel mundial, son importantes fuentes de almidón el maíz, trigo, patata y mandioca. A escala local, o para aplicaciones especiales, se obtiene también almidón de la cebada, avena, centeno, sorgo, sagú, guisante, batata y arrurruz. El almidón es un compuesto de almacenamiento, localizado en raíces, tubérculos, frutas y semillas de plantas.

## **1.2. Aprovechamiento de residuos orgánicos vegetales en la industria.**

El aprovechamiento de los residuos vegetales han tenido un gran impacto a nivel mundial, ya que en los últimos años se han llevado a investigaciones las diferentes tecnologías de subproductos y productos convirtiendo los residuos vegetales en materia prima para generar biotecnología entre ellas, el compostaje, el lombricultivo, producción de etanol, biocombustibles, pectina, Edulcorantes. Que han ayudado a las industrias a generar nuevos empleos y a diseñar estrategias de mercado que permite a biotécnicas aportar con el medio ambiente y generar una solución a problemas de contaminación y destrucción de la capa de ozono.

A continuación se describen diferentes tipos de productos en las industrias, en los que la materia prima son residuos vegetales. Para el desarrollo de diferentes subproductos se tienen en cuenta técnicas de proceso en el que intervienen la degradación de algunos componentes químicos de las estructuras de los vegetales. Monsalve, (2006) encuentra en las propiedades del almidón de yuca y en las cáscaras de banano, un gran valor agregado para su explotación en el diseño y



procesos de obtención de subproductos; debido a sus altos contenidos en biomasa y celulosa, (Ver Tabla 1), se procede a hidrolizar para obtener azúcares reductores.

Tabla 2. Composición química de cáscaras de banano y yuca en base seca.

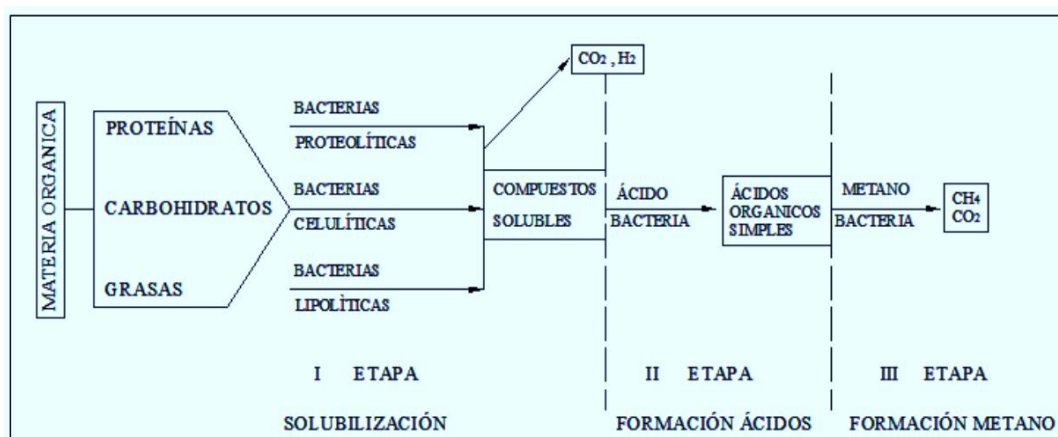
Componente	Cáscaras de banano (% base seca)	Yuca (% base seca)
Almidón	39,89	76,43
Humedad	89,10	66,7
Hemicelulosa	14,8	-----
Celulosa	13,2	-----
Lignina	14,00	-----

Fuente: Monsalve G, *et al*, (2006). Características químicas de yuca y cáscara de banano

Mejía Giraldo *et al*, (2007), analizó y estudió químicamente el residuo del mango común (*Mangifera indica L.*), que comprende la cáscara y residuos de fibra y pulpa, los cuales por su composición química se llevaron a procesar azúcares fermentables por medio de la hidrólisis ácida de la materia. Gil-Horan *et al*, (2008) encuentra conveniente, aprovechar los desechos orgánicos de la cáscara de naranja y el bagazo para la producción de biocombustibles y productos químicos finos por biotransformación, el cual es utilizado en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética y como materia prima para la síntesis orgánica o la producción de plásticos biodegradables. Cerón Salazar, *et al*, (2011) obtiene productos como aceites esenciales y pectinas, de las cáscaras de naranja, buscando incrementar su valor agregado y disminuir el impacto ambiental que estos producen.

Del bagazo de caña de azúcar se obtienen por medio de hidrólisis ácida, azúcares reductores (fermentables), que son convertidos en bioetanol, Domínguez, *et al*, (2011), confirma que este es un tratamiento eficaz de bajo costo y bajo consumo energético, de fácil recuperación y reutilización, además de ser aplicable a diversos materiales con eficiencia y reproducibilidad. Salazar Chamba, *et al*, (2012), explica que mediante desechos orgánicos domésticos obtiene biogás y biofertilizante a partir de la fermentación de la materia orgánica, esta es degradada para producir metano, mediante un conjunto de interacciones complejas entre distintos grupos de bacterias. Ver Figura 5.

Figura 5. Etapas intervinientes dentro del proceso de digestión anaeróbica



Fuente: Chungandro. K. *et al.* (2010)

Salcedo, *et al.*, (2010) obtuvo la producción del rendimiento de jarabes de fructosa a nivel de laboratorio, a partir de jarabes de glucosa obtenidos por medio de hidrólisis enzimática de almidones extraídos de dos variedades de residuos de yuca. Rodríguez Reinoso, (2011), a partir de almidón de cáscara de banano *Musa cavendish*, obtiene jarabe de glucosa, aconseja utilizar banano en estado verde con un grado Brix máximo de 1.2

Terminando con la descripción de los tipos de productos por medio de residuos vegetales en las industrias, se concluye que dichos residuos son de gran importancia tanto para las industrias y también para generar impactos de medio ambiente a nivel mundial, en el que se desarrollen campañas de recolección de desechos orgánicos creando conciencia ciudadana en la mayoría de las naciones, ya que podemos incentivar de acuerdo a las investigaciones, proyectos que generen productos y subproductos con estos materiales orgánicos, un bien común industrial, laboral y también de limpieza y desintoxicación ambiental.

### 1.3. Residuos vegetales de cáscaras de naranja y cáscaras de papa

La composición de la cáscara de naranja, es diferente a la cáscara de papa, principalmente en términos de niveles bajos de almidón y proteína, y niveles más altos de azúcares, pectina y celulosa, Mahmood, *et al.*, (1998).

### **1.3.1. Residuos de Naranja (*Citrus sinensis* L.)**

Las cáscaras de naranja representan aproximadamente del 45 al 60% del peso de la fruta, Tejada, *et al*, (2010). En Colombia se conocen y se cultivan dos tipos de variedades: naranja común o dulce y valenciana o valenciana late (esta última seleccionada como materia prima del presente trabajo de investigación), Acevedo Berger *et al*, (2001) y donde más se cosechan es en el centro del país (Boyacá, Santander, Cundinamarca y Tolima):

- Naranja dulce: es la fruta cítrica que ha alcanzado mayor popularidad, tanto para el consumo fresco como para la industrialización de su jugo. Se conocen cuatro grandes grupos: comunes, sin acidez, de ombligo y pigmentadas
  
- Valencia: Es la variedad de naranja que tiene mayor demanda a nivel mundial y una de las más cultivadas en el país. Da frutos de tamaño mediano, corteza un tanto gruesa, dura y coriácea. Superficie lisa, ligeramente áspera, jugo abundante y menos de seis semillas por fruto.

La naranja es destinada como insumo para la agroindustria, es utilizada para la producción de jugos principalmente, cuyo proceso conlleva una generación considerable de desechos como cáscaras, pulpa y semillas, Cerón Salazar, *et al*, (2011), asegura que se han vuelto una carga sustancial para el medio ambiente, Estos desechos pueden ser empleados para obtener otros productos como aceites esenciales y pectinas, buscando incrementar su valor agregado, con el proceso de agro industrialización y al mismo tiempo de disminuir el impacto ambiental que estos producen. La cáscara se usa mucho como saborizante, también el aceite esencial extraído de la capa externa de la piel, se utiliza comercialmente como saborizante de alimentos, refrescos y para otros fines. De la capa interna blanca de la cáscara se extrae pectina para el uso en conservas de frutas y de otras maneras.

Los diferentes usos de la naranja y sus desechos:

- Pulpa: la pulpa de los cítricos; 3/4 del total como subproducto de la extracción de jugo de naranja dulce, es altamente valorada como pienso granulado con un

contenido de proteínas de 6,58 a 7,03%. Es una fuente de levaduras comestibles, alcoholes no ingeribles, ácido ascórbico, y hesperidina.

- Piel: Además de sus usos alimentarios, el aceite de la cáscara de naranja es un aroma muy apreciado en perfumes y jabones. Debido a su contenido de limoneno, 90-95%, tiene un efecto letal sobre las moscas, pulgas y hormigas bravas. Su potencial como insecticida está bajo investigación. Se está utilizando en productos de limpieza de los motores y en jabones secos para las manos en los talleres de reparación de maquinaria pesada.
- Semillas: El aceite derivado de la semilla de la naranja y de otros cítricos se emplea como aceite de cocina, en jabones y en plásticos. El residuo de las semillas, de alta proteína es adecuado para la alimentación humana, un ingrediente en la alimentación del ganado, y en las mezclas fertilizantes.

A continuación valor nutricional de la naranja, (Tabla 3). Composición química de las cáscaras de naranja, (Tabla 4). Aproximación de azúcares reductores por hidrólisis ácida y enzimática (Tabla 5).

Tabla 3. Valor nutricional por cada 100 g (*C. Sinensis*)

<b>Energía 50 kcal 200 kJ</b>	
<b>Carbohidratos</b>	11.57 g
• <b>Azúcares</b>	9.35 g
• <b>Fibra alimentaria</b>	2.4 g
<b>Grasas</b>	0.12 g
• <b>saturadas</b>	0.015 g
• <b>monoinsaturadas</b>	0.023 g
• <b>poliinsaturadas</b>	0.025 g
<b>Proteínas</b>	0.94 g
<b>Agua</b>	86.75 g
<b>Vitamina A</b>	11 µg (1%)
• <b>β-caroteno</b>	71 µg (1%)
<b>Tiamina (Vit. B1)</b>	0.087 mg (7%)
<b>Riboflavina (Vit. B2)</b>	0.040 mg (3%)

<b>Niacina (Vit. B3)</b>	0.282 mg (2%)
<b>Ácido pantoténico (B5)</b>	0.250 mg (5%)
<b>Vitamina B6</b>	0.060 mg (5%)
<b>Ácido fólico (Vit. B9)</b>	30 µg (8%)
<b>Vitamina B12</b>	0 µg (0%)
<b>Vitamina C</b>	53.2 mg (89%)
<b>Vitamina D</b>	0 µg (0%)
<b>Vitamina E</b>	0.18 mg (1%)
<b>Vitamina K</b>	0 µg (0%)
<b>Calcio</b>	40 mg (4%)
<b>Hierro</b>	0.10 mg (1%)
<b>Magnesio</b>	10 mg (3%)
<b>Manganeso</b>	0.025 mg (1%)
<b>Fósforo</b>	14 mg (2%)
<b>Potasio</b>	181 mg (4%)
<b>Sodio</b>	0 mg (0%)
<b>Zinc</b>	0.67 mg (7%)

Fuente: Estados Unidos (USDA) (2009), Naranja en la base de datos de nutrientes de Departamento de Agricultura.

Tabla 4. Composición química aproximada de las cáscaras de Naranja

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Sólidos Solubles (°Brix)	7,1 ± 1,2
pH	3,93 ± 0,03
Total de acidez (g de ácido cítrico/100 mL)	0,29 ± 0,03
Índice de formol	34 ± 2,4
Humedad %	85,9 ± 1,6
Grasa % (DM)	1,55 ± 0,17
Ceniza % (DM)	3,29 ± 0,19
Proteína % (DM)	6,16 ± 0,23
Carbohidratos % (DM)	89,0 ± 1,1
Fibra soluble % (DM)	
Azúcares Neutrales	3,8 ± 0,3
Ácido urónico	7,1 ± 0,9
Lignina	3,2 ± 0,4
Pectina % (DM)	17 ± 5

DM, materia seca

Fuente: Cerón Salazar, *et al*, (2011).

Tabla 5. Aproximación de azúcares reductores por hidrólisis ácida y enzimática.

Sample/ treatment	(a) Approximate soluble sugar yield (wt% of total solids)								
	Suc	Glc	Fru	Gal	Ara	Xyl	Rha	Gal A	Total sugars
Aqueous extract	2.89 (1.89) <sup>a</sup>	10.73 (1.03)	8.99 (1.40)	0.199 (0.075)	0.073 (0.02)	0.044 (0.001)	0	0.30 (0.018)	23.23 (4.41)
Two-stage acid hydrolysate	0	22.44 (0.799)	0	3.85 (0.050)	4.69 (0.007)	1.85 (0.148)	0.90 (0.093)	14.08 (0.106)	47.81 (1.20)
Enzymatic hydrolysate	0.249 (0.11)	22.77 (2.75)	11.41 (1.73)	3.45 (0.205)	4.50 (0.501)	1.36 (0.243)	1.11 (0.265)	16.86 (2.05)	61.71 (7.76)
	(b) Miscellaneous analyses								
	Klason lignin	Ash	ADF	Cellulose	Protein				
Dry peel	8.7(0.1) <sup>b,c</sup> 2.0(0.1) <sup>c</sup>	3.45 (0.05)	21.8 (0.4)	9.91 (0.14)	6.06 (0.19)				

<sup>a</sup>Numbers in parentheses refer to standard deviations. <sup>b</sup>Determined in original peel. <sup>c</sup>Determined by acid detergent fiber procedure.

Fuente: Grohmann *et al*, (1995), Fraccionamiento y tratamiento previo de cáscara de naranja por hidrólisis ácida diluida.

La naranja (*Citrus Sinensis L.*) es una especie subtropical y en Colombia se destina exclusivamente al mercado en fresco. En diferentes ciudades de Colombia, las cáscaras de naranja son desechadas en grandes cantidades, en hoteles, restaurantes y ventas estacionarias de jugos. En el departamento de Bolívar (Colombia), existen dos despulpadoras de frutas y una industria de vino de naranja, que dentro de los residuos que generan, se incluyen las cáscaras de naranja.

Gil-Horan *et al*, (2008) comenta que en el sureste de Mexico se presenta una actividad constante de producción de cítricos los cuales son generadores de economía en la industria de alimentos y por tal razón se quiere aprovechar los desechos orgánicos de la cáscara de naranja y el bagazo para la producción de biocombustibles y productos químicos finos por biotransformación. Se encontró también según Grohmann *et al*, (1995) que los residuos de cáscara de naranja son ricos en azúcares solubles como son la glucosa, fructosa y sacarosa, polisacáridos insolubles como compuesto de pectina, celulosa y hemicelulosa. La pectina y hemicelulosa son ricos en ácido galacturónico, arabinosa, y galactosa.

Por la características físico-químicas de las cáscaras de naranja, se determina según las diferentes investigaciones, que estos residuos son aptos para extraer celulosa por medio de hidrólisis química y enzimática y de allí obtener alto

porcentaje de azúcares reductores, destacados como jarabes azucarados para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos.

### 1.3.2. Residuos de Papa (*Solanum tuberosum*)

La papa se obtiene a partir de la planta solanácea (*Solanum tuberosum L*), es una herbácea anual que alcanza una altura de un metro y produce un tubérculo, la papa misma, con tan abundante contenido de almidón, es el cuarto de mayor ingesta en el mundo, después del maíz, el trigo y el arroz. La papa es un alimento de consumo básico, que por sus características sensoriales, sabor y color neutro, puede ser parte de una alimentación saludable y variada. Corresponde a los tubérculos conformados por engrosamiento subterráneo, Pertuz Cruz, (2012). Cada unidad se encuentra conformada por tres partes principales: piel, cáscara y zona medular, esta última se forma primordialmente de tejido parenquimatoso, reservorio por excelencia de almidón, y por ende de energía. Luego de su cosecha los tubérculos contienen en promedio 80% de agua y 20% de materia seca (60% de esta corresponde a almidón).

A continuación valor nutricional de la papa, (Tabla 6). Composición química de los residuos de cáscara de papa, (Tabla 7).

Tabla 6. Valor nutricional de (*Solanum tuberosum*).  
Según la FAO, En promedio 100 gramos de papa contiene:

Componente	FAO (%)
Calorías (kcal)	87
Agua	77
Proteína	1,9
Carbohidratos	20,1
Lípidos	0,10
Vitamina C	13
Hierro	0,31
Calcio	5
Fósforo	44

Fuente: Pertuz Cruz, *et al*, (2012).

Tabla 7. Composición química de los residuos de cáscara de papa

Parámetros	Peso seco (%)
Humedad	85,06 %
Los carbohidratos totales	68.7
Azúcares solubles totales	1
Azúcar reductor	0,61
Almidón	1.3
Proteínas ( Ntot 6,25 )	8
Ceniza	6,34

Fuente: Arapoglou *et al*, (2010)

Según FEDEPAPA, en el país existen más de 30 variedades de papa cultivadas pero tan sólo 10 de ellas cuentan con importancia comercial. La variedad denominada Parda Pastusa es la más cultivada y la que en mayor cantidad se consume en estado fresco; datos recientes indican que en Cundinamarca el 74% de la papa cultivada es de esta variedad y en el departamento de Boyacá representa el 50% del cultivo. Le siguen en importancia, la Diacol Capiro (también conocida como *R12* negra), utilizada como materia prima por la industria, para la exportación y para el consumo en fresco, el 18% del área cultivada en Cundinamarca y el 21% en Boyacá es de esta variedad; la ICA-Puracé, utilizada preferentemente en algunas regiones del país (climas templado y cálido) para consumo en fresco; la Tuquerreña o Sabanera, consumida principalmente en Bogotá; y la Criolla (*Solanum phureja*) o también denominada yema de huevo, Espinal G, *et al*, (2005).

En Colombia actualmente, la principal variedad que se utiliza para la industria procesadora de papas fritas, es la llamada Diacol Capiro, que cumple con características para la elaboración de chips y bastones. Sin embargo, *Nova* es la primera variedad en Colombia que cumple con los estándares específicos requeridos para la fabricación de papa en bastón. La producción de papa en Colombia se concentra especialmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia. Los dos primeros, para los cuales es más apta la variedad *Nova*, tienen una participación conjunta de más del 64% de la oferta nacional, que en 2008 superó los 2,4 millones de toneladas, CORPOICA, (2009).



La industria nacional demanda entre el 4 y el 8% de la producción, principalmente para la fabricación de productos procesados tales como papas fritas (hojuelas), preparadas congeladas y deshidratadas. Entre las congeladas, el lugar principal lo ocupa la papa prefrita o a la francesa. Las papas que se consumen frescas son menos del 50 por ciento de la producción mundial. Con el resto se obtienen alimentos e ingredientes alimentarios industriales, piensos para el ganado bovino, porcino y las aves de corral, almidón para la industria, y tubérculos semilla para la siguiente cosecha.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (2008), según estudios realizados a nivel mundial en la industria, el almidón de la papa es utilizado para la producción farmacéutica, textil, de la madera y del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno, y por las compañías que perforan pozos petroleros, para lavar los pozos. El almidón de papa es un sustituto 100 por ciento biodegradable del polietileno y se utiliza, por ejemplo, para hacer platos y cubiertos desechables. Las industrias también aprovechan el almidón de papa, como polvo fino y sin sabor, este es de excelente textura, da mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz, y permite elaborar productos más gustosos, como para hacer espesas las salsas y los cocidos, y como aglutinante en las harinas para pastel, las masas, las galletas y el helado.

Europa oriental y en los países escandinavos, las papas molidas se someten a tratamiento térmico para convertir su almidón en azúcares que se fermentan y destilan para producir bebidas alcohólicas, como el vodka y aguardientes típicos de esas regiones. De la cáscara de la papa y otros desechos “sin valor” de la industria de la papa tienen un abundante contenido de almidón, que se puede licuar para obtener etanol apto para la producción de combustibles.

Teniendo en cuenta la aclaración de Jaramillo *et al.*, (2008), se debe realizar el aprovechamiento de materiales orgánicos siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente. Viéndolo desde ese punto de vista se encuentra que los residuos de cáscara de papa producidas por las plantas de procesamiento tienen un gran valor agregado ya que se pueden procesar y

sacar de ellos subproductos como el bioetanol para uso de biocombustible, justificando el contenido de suficientes azúcares de almidón, celulosa, hemicelulosa como materia prima del etanol Arapoglou *et al*, (2010). De igual forma por sus componentes se pueden producir Jarabes de glucosa como poder edulcorante.

Guevara, *et al*, (2012) enseña que por medio de la hidrólisis del almidón, ocurre la conversión de amilosa y amilopectina a azúcares fermentables. Según el informe de Arapoglou *et al*, (2010), para la producción de etanol realizó características físicas y químicas de las cáscaras de papa, se determinó cantidad de azúcares reductores formados durante la hidrólisis ácida y enzimática, se dispone como glucosa mediante el uso de ácido dinitrosalicílico (DNS). Esto da a entender que en procesos de hidrólisis y de obtención de productos o subproductos de residuos orgánicos siempre habrá caracterización fisicoquímica de los residuos vegetales, para evaluar sus comportamientos en la composición estructural de la materia y también se deben hidrolizar para obtener azúcares reductores.

#### **1.4. Hidrólisis de polisacáridos.**

La hidrólisis es un proceso químico que rompe un enlace en presencia de agua y produce uno o varios compuestos, se aplica a reacciones químicas que pueden ser orgánicas o inorgánicas. Según las investigaciones realizadas para el aprovechamiento de residuos orgánicos vegetales, se concluye que en la mayoría de los procesos se ha realizado hidrólisis para obtener los productos requeridos, estas hidrólisis son de diferente técnica teniendo en cuenta el producto que se desea obtener. Dentro del estudio realizado a las diferentes técnicas de hidrólisis, generan conocimiento científico a lo largo de los procesos a diseñar para dar un valor agregado a estos residuos vegetales, ricos en almidón, lignina, hemicelulosa y celulosa. Entre las diferentes técnicas de hidrólisis destacadas para tal fin, se encontró la hidrólisis química, hidrólisis enzimática, hidrólisis alcalina entre otras, que se encontraran en la descripción de hidrólisis de polisacáridos, como también comparaciones entre estas para diferenciar calidad del proceso en cuanto a cantidad de azúcares reductores obtenidos.

### 1.4.1. Hidrólisis Química

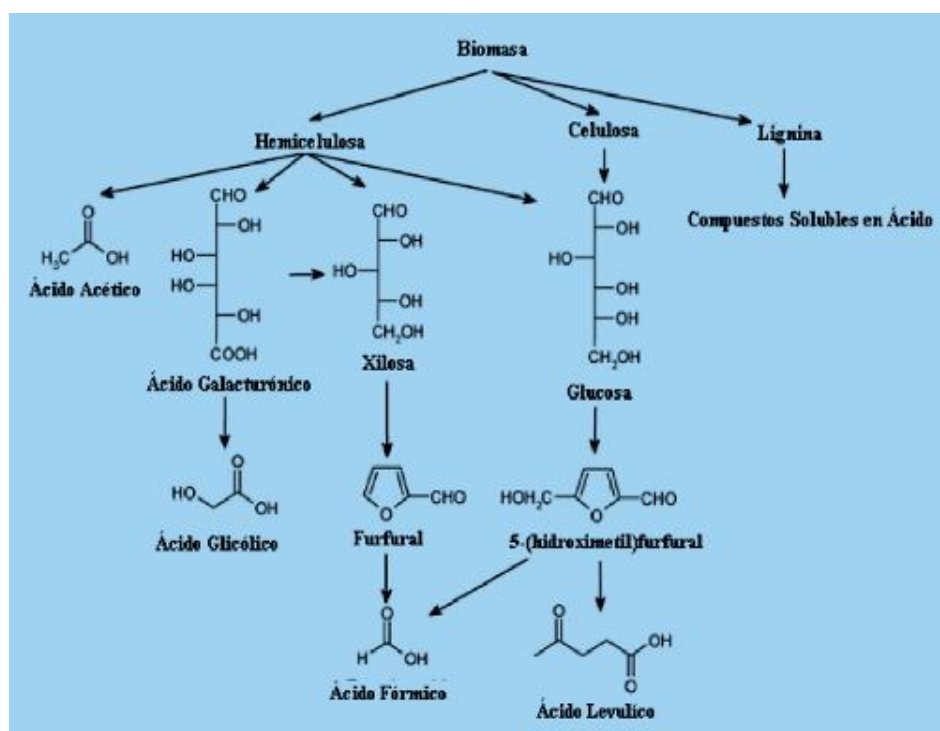
Las moléculas de almidón y de celulosa, como todos los polisacáridos, se despolimerizan por acción de los ácidos en caliente. Cuando los gránulos son expuestos a la acción de ácidos minerales muy diluidos y luego calentando esta mezcla se obtiene la hidrólisis de los enlaces glucosídicos, retomando la moléculas a su forma original, es decir, a sus monómeros principales de D-glucosa. La hidrólisis ácida permite obtener jarabes de D-glucosa con ED (equivalente de dextrosa).

El método que se usa para la hidrólisis química es emplear 100 mg de ácido/g de material seco, donde se encuentra una relación sólido: líquido de 1:8 g: g, a 120°C durante 17 minutos. Tejada, *et al*, (2010) llevo a cabo la hidrólisis ácida, adicionando 50 ml de ácido sulfúrico al 5% por cada 100 gramos de cáscara de fruta, a una temperatura de 125°C y 15 psi, regulada por medio de un autoclave, durante 15 minutos, como lo reportan Sun *et al*, (2002). Luego los jarabes obtenidos se separaron de los componentes que precipitaron, por centrifugación. Se determinó el contenido de azúcares en los jarabes obtenidos.

Mejía Giraldo *et al*, (2007), Hoyos y Pérez (2005), aconseja realizar el proceso de degradación de lignina para poder obtener la celulosa. Tejada, *et al*, (2011), Por medio de ensayos descubrieron que sumergiendo en una solución de NaOH 0.1N más adición de 0.816 g de sulfato de calcio por tres horas, se eliminaba gran porcentaje de lignina (30%) presente en la materia orgánica y parte de la hemicelulosa obteniendo así la celulosa libre, este proceso es necesario dentro de la hidrólisis cuando se desea obtener azúcares reductores ya que la lignina por su estructura química recubre la celulosa y la hemicelulosa y sin degradarla no le permite la separación. Se encontró que las concentraciones de azúcares reductores en mayor cantidad se producen en la hidrólisis ácida al: 0,25; 0,50 y 0,75% de ácido sulfúrico, Mejía Giraldo *et al*, (2007). La hemicelulosa y celulosa alcanzan su mayor degradación al 0,75% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, por lo tanto descende el contenido de azúcares reductores; aunque se efectuó la hidrólisis, esta concentración es bastante fuerte para estos polisacáridos y los transforma en otro tipo de compuestos como fufural, HMF (Hidroxi Metil Furfural). (Figura 6).

Los azúcares reductores tienden a reducir su concentración cuando aumenta la concentración del ácido, formando compuestos tóxicos, ya que la hidrólisis continua, hasta generar productos como HMF (Hidroxi Metil Furfural) y furfural, estos compuestos traen alta incidencia en la reducción en el porcentaje de azúcares reductores y sobre los procesos fermentativos, el cual puede inhibir el crecimiento microbiano.

Figura 6. Productos de degradación de la biomasa.



Fuente: Jiménez, (2011), Degradación de azúcares por hidrólisis ácida.

Los tratamientos con ácido solubiliza una gran porción de carbohidratos totales, de igual forma, sólo azúcares solubles y azúcares derivados de la hidrólisis de hemicelulosa fueron liberados de manera eficiente por el tratamiento con ácido sulfúrico. Pero no todos los autores consultados en la investigación están de acuerdo, Grohmann *et al*, (1995), dice que el método de hidrólisis con ácido sulfúrico no es un buen método para la extracción de carbohidratos ya que contienen un alto contenido de poligalacturónico y refleja el contenido alto de pectina presentes en la cáscara de naranja posteriormente. Midió entonces la concentración de azúcares reductores mediante el método de Lane-Eynon.

Mussatto *et al.*, (2006), ha empleado hidrólisis alcalina (reacción química en la que una molécula de agua H<sub>2</sub>O, reacciona con una molécula de una sustancia H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>) una solución de NaOH 2% p/v, relación sólido: líquido de 1:20 g: g, a 120°C durante 90 minutos, para diferenciar entre hidrólisis ácida e hidrólisis alcalina. Los resultados son significativos ya que se encuentra más confiable y efectividad, en la hidrólisis ácida, para remoción de la hemicelulosa del material. Siguiendo al proceso, la pulpa obtenida por medio de hidrólisis alcalina, quedó enriquecida en celulosa (34, % p/p). Cuando el bagazo fue hidrolizado químicamente con solución de NaOH, la pulpa obtenida presentó un contenido de celulosa mayor que el obtenido por el proceso anterior (54,3% p/p) y menos lignina residual (14,4% p/p). Sin embargo, el contenido de hemicelulosa fue mayor y debido a la presencia de resinas en esa fracción, las fibras de celulosa quedaron fuertemente unidas. La diferencia de resultados se muestra en la siguiente Tabla 8.

Tabla 8. Resultados después de hidrólisis alcalina e hidrólisis ácida

Componente (% p/p)	Bagazo de malte original	Pulpa 1	Pulpa 2	Pulpa 3
Celulosa	16,8	34,0	54,3	90,5
Hemicelulosa	28,4	7,9	20,4	1,1
Lignina	27,8	49,2	14,4	8,2
Otros <sup>(a)</sup>	27,0	8,9	10,9	0,2
Rendimiento de recuperación (% p/p)	-	48,6	30,1	16,3 <sup>(b)</sup>

Pulpa 1: obtenida después de la hidrólisis ácida del bagazo de malta; Pulpa 2: obtenida después de la hidrólisis alcalina del bagazo de malta; Pulpa 3: obtenida después de la secuencia de hidrólisis ácida y alcalina del bagazo de malta.

Fuente: Mussatto, *et al.*, (2006) Efecto de los tratamientos de hidrólisis ácida e hidrólisis alcalina en la estructura del bagazo de malta para liberación de fibras de celulosa.

#### 1.4.2. Hidrólisis Enzimática.

La hidrólisis enzimática se produce mediante un grupo de enzimas llamadas hidrolasas. Estas enzimas ejercen un efecto catalítico hidrolizante, es decir, producen la ruptura de enlaces por agua según:  $H-OH + R-R' \rightarrow R-H + R'-OH$ . En algunos

casos este grupo puede ser transferido por la enzima a otras moléculas y se considera la hidrólisis misma como una transferencia del grupo al agua.

Quintero Suárez, (2008), realizó la hidrólisis enzimática a diferentes almidones como: Almidón de bore, Almidón de maíz, Almidón de yuca, Bagazo de caña, para hidrolizar el material y aumentar el área superficial expuesta o el número de grupos hidrofílicos disponibles. Mejía *et al.* (2007), reporta la hidrólisis ácida y enzimática a residuos del mango común, obtuvo mejores resultados con la hidrólisis ácida usando ácido sulfúrico en proporción de 0.5%.

Diferentes estudios realizados han calculado que en la mayoría de veces al realizar hidrólisis para obtención de azúcares reductores los mejores métodos ha sido la hidrólisis ácida aunque la hidrólisis enzimática también tiene sus ventajas de acuerdo al objetivo requerido. Tejeda *et al.*, (2011), describe resultados de diferencia entre hidrólisis ácida y la hidrólisis enzimática dando a conocer que con la hidrólisis ácida se obtienen mejores resultados. Se obtiene con la hidrólisis ácida de todas las muestras (entre 10 y 30g/L de glucosa), que con la hidrólisis enzimática de los residuos mezclados (8,83g/L de glucosa), quedando abierta la posibilidad de obtener biocombustibles a partir de este tipo de residuos. Se hace necesaria la optimización de los procesos con el propósito de mejorar el rendimiento en la producción de glucosa. La diferencia de resultados se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados de la prueba diferencias entre Hidrólisis enzimática e hidrólisis ácida.

### Caracterización de residuos

Muestra	Tallos	Hojas	Flores
Glucosa, g/L	3,84	13,04	20,31
Hemicelulosa, g/L	15,42	27,60	23,15
Celulosa, g/L	42,54	28,67	24,17
Promedio, g/L	20,60	23,10	23,66

### Resultados jarabes glucosados hidrólisis ácida

Generación de glucosa	Tallos	Hojas	Flores
Glucosa inicial (g/L)	3,84	13,04	30
Glucosa final (g/L)	10,77	16,85	30,46
Glucosa producida (g/L)	6,93	3,81	0,46
% Rendimiento	16%	13%	2%

### Resultados de glucosa, hidrólisis enzimática

Jarabes	Niveles de glucosa (g/L)
1	9,4
2	8,9
3	8,2
PROMEDIO	8,83

Fuente: Tejeda *et al.*, (2011), Obtención de etanol a partir de residuos de poda, mediante hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática.

Al contrario de lo expuesto anteriormente, Rodríguez Reinoso, (2011), en su estudio comparativo entre los métodos de hidrólisis ácida y enzimática de banano (*musa cavendish*) para la obtención de jarabe de glucosa, obtiene el mayor rendimiento en la hidrólisis enzimática (90.14%), que en la ácida (53.14%). Respecto a la cristalinidad que se obtuvo con el método ácido fue mayor, que la que se obtuvo por medio del tratamiento enzimático. El jarabe de glucosa obtenido, producto de la hidrólisis ácida tuvo un porcentaje aproximado de 46% en dextrinas de 11, 10 y 8 unidades de glucosa, mientras que el del proceso enzimático reveló alta pureza de glucosa.

La hidrólisis enzimática es el proceso más usado en la industria de biocombustibles ya que gracias a su desprendimiento y formación dentro de la hidrólisis permite llevar los azúcares reductores obtenidos a fermentaciones de las cuales se obtienen

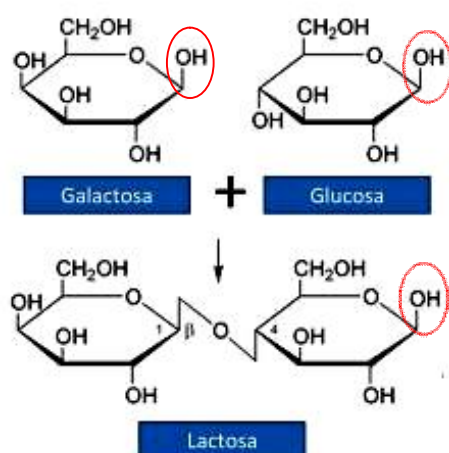
biocombustibles seguros para la industria, además de otros productos con características fisicoquímicas que se dan por la hidrólisis enzimática.

Cuando se trata de obtener azúcares reductores con altos D-glucosa provenientes de la celulosa y almidón es necesario recurrir a la hidrólisis química, ya que se obtienen mejores resultados, estos son valorados al finalizar por su equivalente de dextrosa y poder edulcorante, que además se establecen para incentivar productos y subproductos de materia orgánica vegetal y darle un valor agregado a estos llevándolos a la industria de alimentos, que en su generalidad se establece una demanda de edulcorantes como aditivos para diferentes alimentos procesados industrialmente.

### 1.5. Azúcares Reductores.

Los azúcares reductores son aquellos azúcares que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional), intacto, un grupo hemiacetal (una interacción entre C-2 y C-5,) que le confiere la característica de poder reaccionar con otros compuestos. En solución acuosa, dicho grupo aldehído libre tiene la capacidad de reducción de agentes oxidantes. Las formas cíclicas hemiacetales de los azúcares tiene la potencialidad de generar trazas de la forma abierta (grupos aldehídos libres). Ver figura 7.

Figura 7. Representación de estructura química de azúcares reductores.



Fuente: Wikipedia (2013). Enlace glucosídico.



Azúcares reductores son aquellos que como la glucosa, fructosa, lactosa y maltosa presentan un carbono libre en su estructura y pueden reducir, en determinadas condiciones, a las sales cúpricas.

La determinación de los azúcares reductores, se obtiene por medio de una curva de calibración, siguiendo el método de Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico), reactivo que tiene la capacidad de oxidar a los azúcares reductores, dando resultados colorimétricos, este método emplea 3,5-ácidodinitrosalicílico para la hidrólisis de polisacáridos presentes en una muestra, seguido de la determinación espectrofotométrica a 540nm de los azúcares reductores. Esta técnica sirve para cuantificar los azúcares reductores producidos durante una fermentación o para cuantificar los productos de una reacción enzimática.

Domínguez, *et al*, (2011), Wood, (2012). Recomiendan después de la hidrólisis química o enzimática usar glucosa como estándar y el método de ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) para la cuantificación de azúcares reductores a (1, 5, 10, 20, 30, 40, y 50% de la muestra/reactivo de DNS, v/v), calentar las soluciones (5 min, 100 °C) y cuantificar a 540 nm. Mejía Giraldo *et al*, (2007), fundamenta: el ácido 3,5 dinitrosalicílico en presencia de calor reduce el ácido 3-amino-5 nitrosalicílico por los azúcares reductores presentes, desarrollándose un color amarillo café el cual es estable hasta por 24 horas. Este método permite medir las unidades reductoras presentes en los azúcares. Se concluye que con este método de DNS recomendado se logra la precisión de la velocidad de los resultados.

Los azúcares reductores extraídos de las cáscaras de naranja y las cáscaras de papa tienen un alto porcentaje (%) de Glucosa, según análisis de laboratorio para la implementación de jarabes azucarados por medio de hidrólisis química.

## **1.6. Jarabes de glucosa y Edulcorantes en la Industria de Alimentos.**

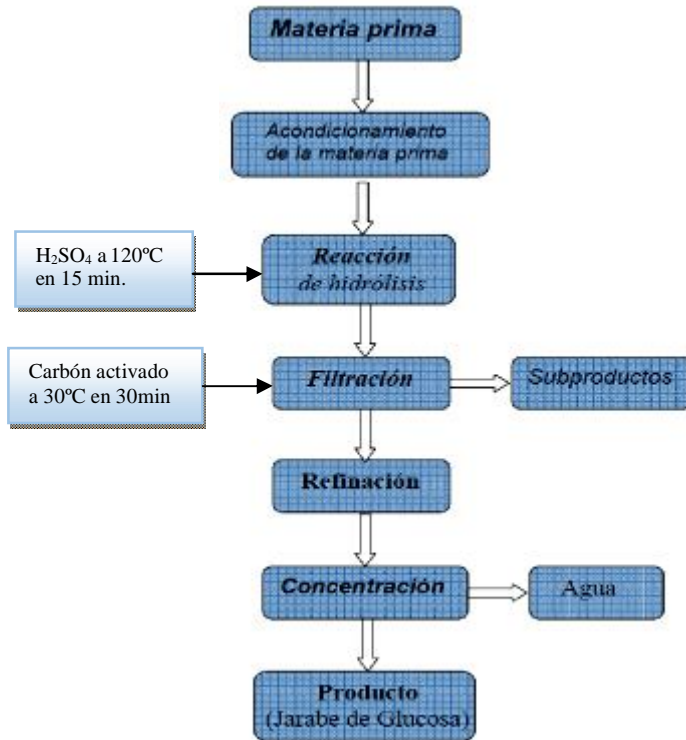
### **1.6.1. Jarabes de glucosa**

Los jarabes de glucosa son líquidos de consistencia viscosa que por lo general contienen soluciones concentradas de azúcares, como la sacarosa, en agua o en otro líquido. Los jarabes se usan desde hace mucho tiempo y antes de descubrirse el azúcar, se preparaban con miel. Los líquidos que habitualmente integran el jarabe son el agua destilada, soluciones extractivas, zumos, y otros, Lachman L., Lieberman H, (1986). Apiario los Cítricos (2010) recomienda tener cuidado en el proceso de hidrólisis y con la fermentación, así como también la degradación de los jarabes; ya que a mayor temperatura mayor la producción de la molécula conocida como HMF (Hidroxi Metil Furfural) que es un aldehído y un furano formado durante la descomposición térmica de los glúcidos.

Rodríguez Reinoso, (2011), describe el jarabe de glucosa como uno de los productos más utilizados por la industria confitera y de alimentos procesados. En el caso de los helados, el jarabe de glucosa aporta textura, brillo y disminuye la temperatura de congelación. En confitería, es utilizado como anticristalizante del azúcar, regulador del dulzor, generador de brillo, etc. En las carnes procesadas, incrementa el pardeamiento de la carne durante la cocción, Revista I Alimentos, (2010).

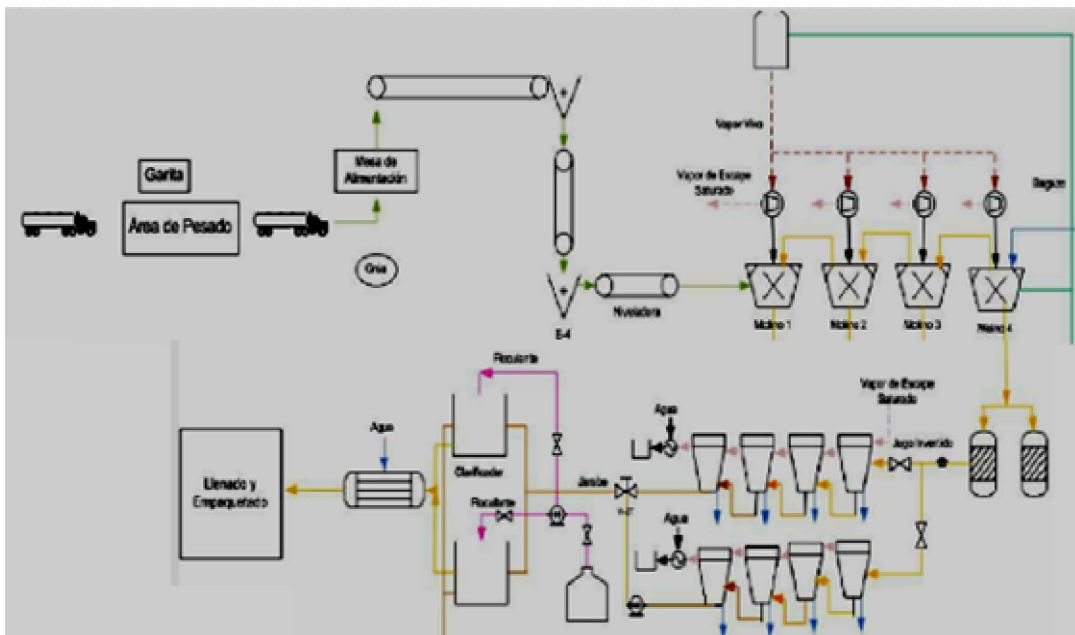
El jarabe de glucosa se encuentra importante para la industria, ya que tiene aplicaciones en procesos de producción de etanol y elaboración de cerveza, en la industria de alimentos (repostería, confitería, etc.) también impide la cristalización de la sacarosa y otros azúcares es, tiene la capacidad de bajar el punto de congelación de algunas soluciones, obtiene buena higroscopicidad, también controla la coloración morena de los azúcares reductores en la superficie durante la cocción. Armenta (2004), asegura que el jarabe de glucosa se obtiene por hidrólisis química o hidrólisis enzimática según los objetivos a cumplir, estos jarabes se pueden obtener de diferentes materias vegetales que son tratadas y llevadas a análisis químicos para obtener formación de moléculas de maltosa, glucosa, dextrinas y otros azúcares. (Ver figuras 8 y 9).

Figura 8. Diagrama de flujo de jarabes de glucosa



Fuente: Suárez *et al*, (2004), Diseño conceptual y comparación técnica de los procesos de hidrólisis ácida y enzimática para la producción de glucosa a partir de almidón de yuca

Figura 9. Diagrama de proceso de jarabes de glucosa



Fuente: Molina, *et al*, (2012), Obtención de jarabe rico en glucosa y fructosa a partir de jugo de caña de sorgo dulce.

El jarabe de glucosa se obtiene a partir de almidón, hemicelulosa y celulosa por hidrólisis. Se trata de una disolución acuosa compuesta de glucosa, fructosa, maltosa, oligosacáridos y polisacáridos, que contienen una proporción diferente entre unos y otros dependiendo del método de hidrólisis y grado de conversión. En diferentes proyectos de investigación se analiza la obtención de jarabes por la hidrólisis enzimática de almidón de distintos productos naturales, de la papa, del maíz, del trigo. Se puede realizar una hidrólisis parcial o total, dando paso a distintos productos.

Armenta *et al*, (2004) aconseja tener algunos parámetros para la purificación y clarificación de jarabes, Apiario los Cítrico (2010), lo realizó por remoción de sólidos, por medio de separación solido-liquido, como la sedimentación, centrifugación y filtración, usando agentes floculantes y coagulantes, además se pueden usar agentes absorbentes como el carbón activado, la bentonita y tierras de atomacia.

Los jarabes de D-glucosa son una mezcla entre una solución acuosa de D-glucosa, maltosa y otros oligosacáridos llamados dextrinas que siendo hidrolizados se caracterizan por su “equivalente de dextrosa” (ED), Armenta, *et al*, (2004), que está definido como el porcentaje en peso de glucósidos reductores presentes en el jarabe con respecto al peso de los sólidos totales de oligosacáridos, así:

$$ED = (W_{gr}/W_{st}) * 100$$

Dónde: Wgr: Peso de glucósidos reductores presentes en el jarabe.

Wst: Peso de los sólidos totales en el jarabe

Mientras que, Salcedo, *et al*, (2010), determina el equivalente de dextrosa con la siguiente ecuación:

$$ED = (AR/M) * 100$$

AR = cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra

M = peso de la muestra seca en gramos

El equivalente de dextrosa (ED), es el contenido de azúcares reductores de un edulcorante, calculado como dextrosa y expresado como porcentaje de los sólidos totales.

El Codex alimentarius recoge los siguientes como productos destinados al consumo humano, tanto vendidos directamente como utilizados por la industria en la elaboración de productos alimenticios:

- Dextrosa anhidra. D-glucosa purificada y cristalizada sin agua de cristalización, con un contenido de D-glucosa de no menos de 99,5% m/m sobre peso seco y un contenido total de sólidos de no menos del 98,0% m/m.
- Dextrosa en polvo (dextrosa glacé). Dextrosa anhidra finamente pulverizada o dextrosa mono hidrato o mezclas de ambas, con o sin adición de un agente anti aglutinante.

Es el componente oficial de los jarabes (ED). Su sabor característico y agradable, su gran solubilidad en agua y viscosidad de sus soluciones, la hacen una sustancia de intenso empleo.

### **1.6.2. Edulcorantes**

Según el CAE (Código Alimentario Español), el poder edulcorante (PE) se entiende por: “Los gramos de sacarosa que hay que disolver en agua para obtener un líquido con igual sabor que la disolución de un gramo de Edulcorante en el mismo volumen”. Son sustancias obtenidas de los alimentos naturales y tienen alto poder edulcorante ya que se adhieren a los alimentos aportando gran cantidad de azúcar, la glucosa por ejemplo se emplea en la confitería y elaboración de helados (hasta un 25% del total de los azúcares presentes), tiene un PE = 0,5 - 0,8 (Navarro, 2012).

En una conferencia pronunciada en el curso sobre Alimentos de Origen Vegetal, Gómez, (1994) expone sobre descubrimiento del poder edulcorante de la glucosa en el año 1811, siendo considerada como una fuente importante de azúcar por la

Europa de Napoleón. La remolacha azucarera la suplanta. La glucosa se utilizó en ciertas aplicaciones de la industria alimentaria y farmacéutica en la que es apropiada. Suárez, *et al*, (2004), señala que la glucosa por ser ligeramente dulce regula el poder edulcorante en productos alimenticios. Normalmente un jarabe con 40% de Equivalente de Dextrosa tiene un poder edulcorante de 40-45% en relación con la sacarosa.

Los edulcorantes pueden ser naturales o artificiales y su uso en la industria alimentaria se destina a la elaboración de alimentos bajos en calorías. Entre sus principales características se destacan: tener un sabor lo más similar posible a la sacarosa, percibir un sabor dulce rápidamente y a la vez desaparecer de la misma manera, ser resistente a las condiciones de procesamiento del producto en el cual va a ser incluido.

Los edulcorantes pueden ser clasificados según su aporte calórico como:

- Edulcorantes nutritivos: en este grupo se encuentran la sacarosa y otros disacáridos (maltosa, lactosa). Los monosacáridos (glucosa, fructosa). Los polioles (sorbitol, manitol, xilitol, lactitol).
- Edulcorantes no nutritivos: se encuentran los edulcorantes intensos (sacarina, ciclamato, acesulfame-K, neohesperidina dihidrochalcona (NHDC), taurina, aspartame).

A continuación se presenta una tabla 10, con los edulcorantes más utilizados en la industria alimentaria y sus características:

Tabla 10. Edulcorantes más utilizados en la industria alimentaria.

Edulcorante	No. E	Origen	Poder edulcorante (sol. 10% sacarosa)	Observaciones
Sacarosa		Vegetales con clorofila, caña de azúcar, remolacha.	1	Estable a pH
Sorbitol	E420(i)	Frutas como moras, ciruelas,	0,5	Humectant

		cerezas.		e. Estable a la temperatura y pH.
Manitol	E421	Algas y hongos. Azúcar invertido.	0,5	Estable a pH.
Xilitol	E967	Frutas y vegetales como ciruela, fresa, coliflor.	1	Humectante. Refrescante. Estable a pH.
Aspartame	E951	Dipéptido (Phe y éster metílico Asp).	140-220	Buen sabor, poco estable a la temperatura y pH, costoso.
Acesulfame K	E950	Derivado del ácido acetoácido.	130-200	Tiene notas amargas, muy estable a la temperatura y pH, costoso.
Ciclamato	E952	Ácido ciclohexilsulfámico y sus sales Na, Ca.	30-40	Muy estable. Buena solubilidad. Buen sabor, pero menos intenso. Bajo costo.
Sacarina	E954	Derivado cíclico del ácido sulfamidobenzoico	300-500	Buena estabilidad Muy soluble, gusto amargo Muy bajo costo.
Taumatina	E957	Proteína del fruto <i>Thaumatococcus danielli</i> .	2000-2500	Buena solubilidad. Dulzor lento. Poco estable a pH. Costoso.
Neohesperidina dihidrochalcona (NHDC).	E959	Obtenido por hidrogenación de un flavonoide de la naranja amarga.	600-1500 250-300	Bastante estable. Solubilidad limitada. Poco estable a pH. Costoso.

Fuente: Sena Clase Mundial, (2011). Aditivos: análisis y control de calidad en la industria alimentaria.

El jarabe de glucosa por su poder edulcorante tiene ventajas que permiten su uso en un amplio rango de industrias como:

- Confitería: en esta industria se utiliza como agente que evita la cristalización y ayuda a homogenizar productos como gomas de mascar y chocolates. Suministra una textura lisa, goza de cualidades de buen preservante para una larga vida en estantería.
- Mermeladas, gelatinas y frutas enlatadas: en este tipo de alimentos procesados, el jarabe de glucosa es usado para prevenir la cristalización del azúcar. Actúa como preservativo y previene la descomposición del producto sin incrementar su dulzura.
- Productos de panadería: el jarabe de glucosa añade cuerpo, volumen y una óptima edulcoración a los productos de panadería. Por esta razón es usado en rellenos de cremas y pasteles. También previene la cristalización, aumenta el tiempo que el producto tarda en estanterías y sus propiedades organolépticas mantienen el producto fresco por más tiempo.
- Heladería: da una textura suave y cremosa, asegura que los helados no se derritan pronto, previene la cristalización de la sacarosa y permite edulcoración homogénea.
- Farmacéuticas. Destaca su uso en jarabes y pastillas para la tos, tónicos basados en vitaminas y como agente granular para recubrimientos de tabletas. Provee cuerpo, resistencia, un buen sabor en la boca y edulcoración balanceada cuando son usados otros carbohidratos edulcorantes tales como la sacarosa y el sorbitol.



- Productos de cuero: al finalizar el cubrimiento de cuero, el jarabe de glucosa inmenso es aplicado para dar lustre, fineza y justo peso, añade flexibilidad al cuero terminado.
- Otras aplicaciones: el jarabe de glucosa también encuentra uso como preservante, además ayuda en las industrias de fermentación y de fabricación de cerveza. También es usado en las industrias tradicionales de extracción de aceites por sus propiedades como adhesivos en gomas, etc.

## 2. JUSTIFICACION

Desde hace varias décadas los residuos orgánicos vegetales han sido un foco de atención para varios investigadores a nivel mundial, debido a que parte de sus componentes pueden ser materia prima para generar diversos productos de interés. Con el tiempo se han venido analizando diferentes estrategias y técnicas de producción tomando como materia prima los residuos orgánicos vegetales de los cuales se han podido transformar grandes y útiles productos y subproductos que intervienen en el crecimiento de la industria y el cuidado del medio ambiente en general.

En Colombia, las cifras del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial señalan que en un día el país produce 27300 toneladas de basura de las cuales el 65% son residuos orgánicos. Por tal razón se debe innovar en procesos tecnológicos que generen productos de valor agregado a la industria de alimentos teniendo en cuenta que Colombia es rico en frutas y vegetales las cuales sus residuos o desechos son aislados, en su mayoría son residuos orgánicos llamados por la totalidad de las personas que desconocen su valor y capacidad de materia prima, como “basura”, basura que está generando contaminación ambiental, Espinosa Cajas, (2013) resume que el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) forma parte de un flujo de circulación natural entre la atmósfera y la vegetación, sin contar con el efecto de calentamiento global.

En Duitama (Boyacá), la empresa SERVIASEO recoge diariamente un total de 70 Toneladas, diarias, y aproximadamente un total de 1.800 a 1.900 Toneladas mensuales de las cuales el 30% son orgánicos, otro 30% son reciclables y un 40% son sanitarias. En Duitama se encuentran cuatro empresas de fritura las cuales se dedican al proceso de papas, platanitos y chicharrones, los residuos de papa después de los procesos, son aproximadamente 8Kg diarios, actualmente regalan los desechos, estos son usados como lavaza (alimento de animales). Se investigó la cantidad de puestos ambulantes de venta de jugo en la ciudad de Duitama, son

aproximadamente 150 puestos ambulantes, y sacan entre 5 y 7Kg de residuos de naranja al día, estos residuos de naranja son mezclados con los vasitos de los tintos y agüitas que venden, se empacan en bolsas y se dejan en el andén diariamente para que el carro de basura los recoja. Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto pretende aprovechar la composición química de los residuos sólidos generados de algunas de las actividades de negocio como es la venta en la vía pública de jugo de naranja y de la industria de fritura de papa de la ciudad de Duitama, darle un valor agregado como es el usarlos como sustratos para obtención de jarabes edulcorados.

Después de una extensa investigación, se logró aplicar una metodología que incluye la caracterización fisicoquímica de los residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*), cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) y sus combinaciones porcentuales, mediante hidrólisis química, de allí se obtuvo jarabes edulcorados ricos en azúcares reductores provenientes del contenido de almidón y celulosa, con un grado de equivalente de dextrosa y poder edulcorante para la industria de alimentos.

Al darle este valor agregado a los residuos provenientes de la venta de jugo de naranja y de la industria de fritura de papa, se puede incentivar la cultura del reciclaje de residuos derivados de actividades de manipulación, producción y transformación de alimentos en la ciudad de Duitama y conducir futuras investigaciones para la producción de otras sustancias de interés industrial y de esta forma contribuir al manejo y disposición de los residuos sólidos.

La investigación aporta al área disciplinar del programa y al desarrollo de la región generando alternativas de solución a una problemática existente y tangible en el manejo y disposición de los residuos orgánicos vegetales; la formulación de esta propuesta promueve el fortalecimiento de la cultura investigativa en la UNAD para generar nuevos conocimientos con aplicabilidad y proyección social, promueve y contribuye a posicionar a la Universidad como un ente institucional con producción científica enfocada al desarrollo sostenible y sustentable al generar nuevas alternativas de aprovechamiento de los residuos orgánicos vegetales.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta investigación, se plantea el siguiente interrogante:

¿La hidrólisis química de los residuos de cáscara de naranja (*Citrus sinensis L var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) y las combinaciones porcentuales de estos, produce una alta concentración de azúcares reductores (gramos AR/ gramos de residuo seco) que pueden ser usados como edulcorantes en la industria de alimentos?

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo general

Obtener jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis l var valencia*) y papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) para ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos.

### 4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis l var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) y combinaciones porcentuales de estas, para determinar el porcentaje de humedad, materia seca, extracto etéreo (grasa), almidón, celulosa y azúcares reductores.
- Evaluar diferentes combinaciones porcentuales de los residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis l var valencia*) y papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) con el fin de determinar la cantidad de azúcares reductores.
- Hidrolizar de forma química los residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis l var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) y combinaciones porcentuales de estos para obtener jarabes edulcorados
- Cuantificar los azúcares reductores (gramos/100 gramos de residuo seco) obtenidos a partir de la hidrólisis química aplicada sobre los residuos de naranja (*Citrus sinensis L var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (r-12) y las combinaciones porcentuales de estos.

- Caracterizar los jarabes obtenidos para determinar equivalentes de Dextrosa (ED).

## 5. METODOLOGIA

Los procedimientos experimentales se llevaron a cabo en los laboratorios de química y biología de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CEAD Duitama. Ver figura 10. Diagrama de flujo del proceso de obtención de jarabes azucarados.

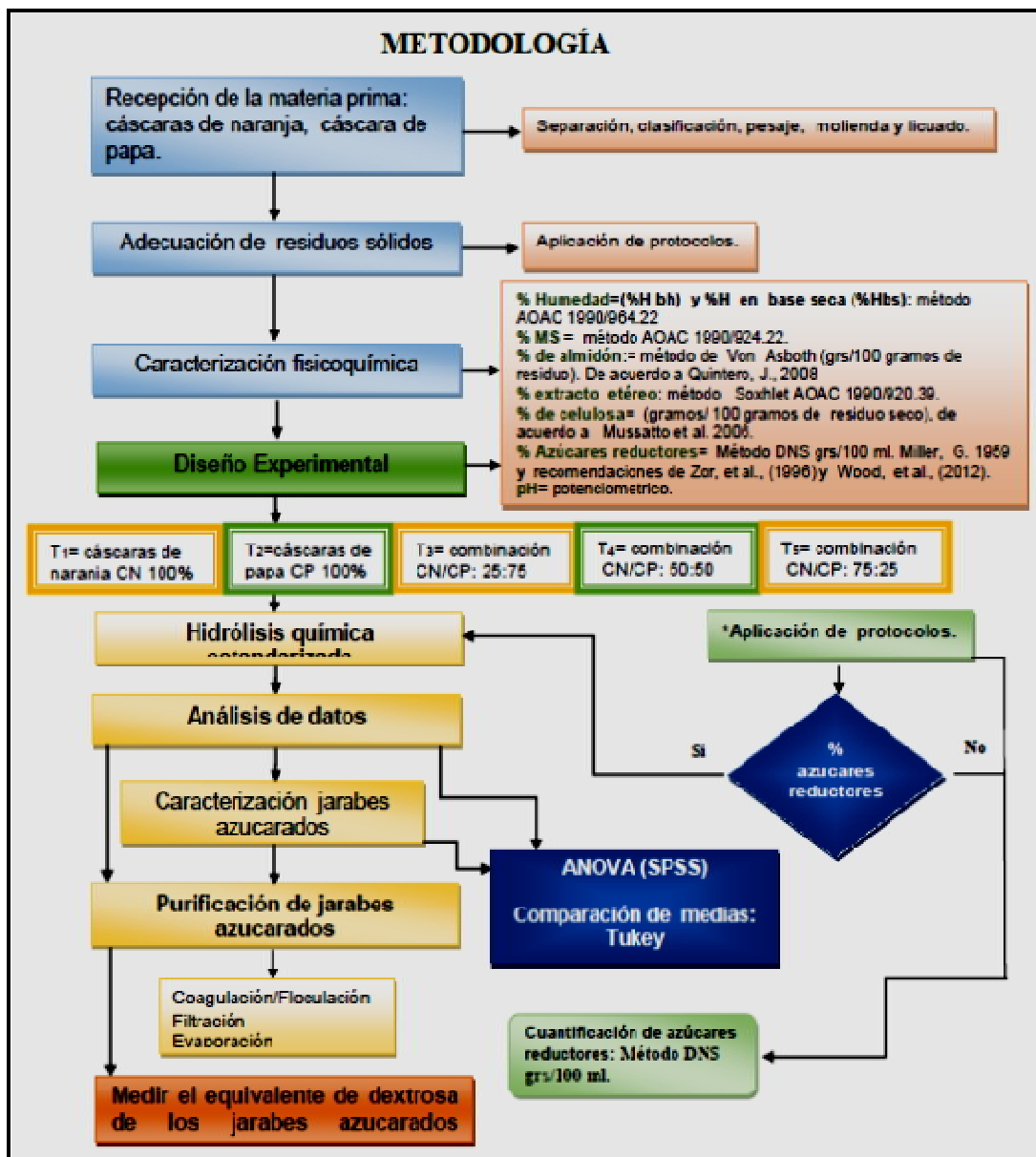


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja y de papa para ser empleados en la industria de alimentos.

## 5.1. Materiales

### 5.1.1. Materias primas para la obtención de azúcares reductores.

Se obtuvieron de manera comercial, directamente de la fuente de origen: Las cáscaras naranja (*Citrus sinensis L var valencia*), se tomaron al azar de un punto de venta de jugos en la vía pública en la Ciudad de Duitama (Boyacá), entre las 6 a.m-8:00 a.m. durante dos días. Luego de la recolección, se llevaron de forma inmediata al laboratorio donde se procedió a la selección y adecuación (figura 11); se congelaron en bolsas ziploc de un 1 kg.



Figura 11. Materia prima, selección, adecuación y conservación.

Las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*), variedad Diacol Capiro (R-12), se obtuvieron directamente de la fábrica de productos Fritos “La libertad” de la ciudad de Duitama (Boyacá), inmediatamente después del pelado por abrasión de los tubérculos. Luego de la recolección, se llevó al laboratorio donde se procedió a la selección y adecuación, se congelaron en bolsas ziploc de un 1 gk.



## 5.2. Métodos

### 5.2.1. Combinaciones porcentuales.

La materia prima fue deshidratada a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  por un periodo de 20 horas, las muestras fueron trituradas en un molino convencional, luego se realizaron las siguientes combinaciones porcentuales cada una con cuatro replicas, (figura 12):

- N100= Cáscara de naranja al 100%
- P100= Cáscara de papa al 100%
- N25P75=Cáscara de naranja al 25% y papa al 75%
- N50P50= Cáscara de naranja al 50% y papa al 50%
- N75P25= Cáscara de naranja al 75% y papa al 25%



Figura 12. Combinaciones porcentuales de cáscaras de naranja y papa deshidratadas.

### 5.2.2. Caracterización de la materia prima.

Para cada combinación, se realizó la caracterización química en cuanto a:

- Porcentaje de humedad: expresado como %H en base húmeda (%H bh) y %H en base seca (%Hbs): método AOAC 1990/964.22.
- Porcentaje materia seca: expresado como % MS: método AOAC 1990/924.22.
- Porcentaje de grasa: expresado como % extracto etéreo: método Soxhlet AOAC 1990/920.39.

- Porcentaje de almidón: (gramos/100 gramos de residuo seco): Método Von Asboth, de acuerdo a Quintero, J. (2008).
- Porcentaje de celulosa: (gramos/100 gramos de residuo seco), de acuerdo a Mussatto *et al.* (2006).
- Porcentaje de azúcares reductores (gramos/100 gramos de residuo seco): método Miller, (1959) y recomendaciones de Zor, *et al.* (1996) y Wood, *et al.* (2012).
- pH: método pH metro.

En el anexo1, se presenta los protocolos de laboratorio para cada determinación, en la figura 13, se presenta el correspondiente registro.

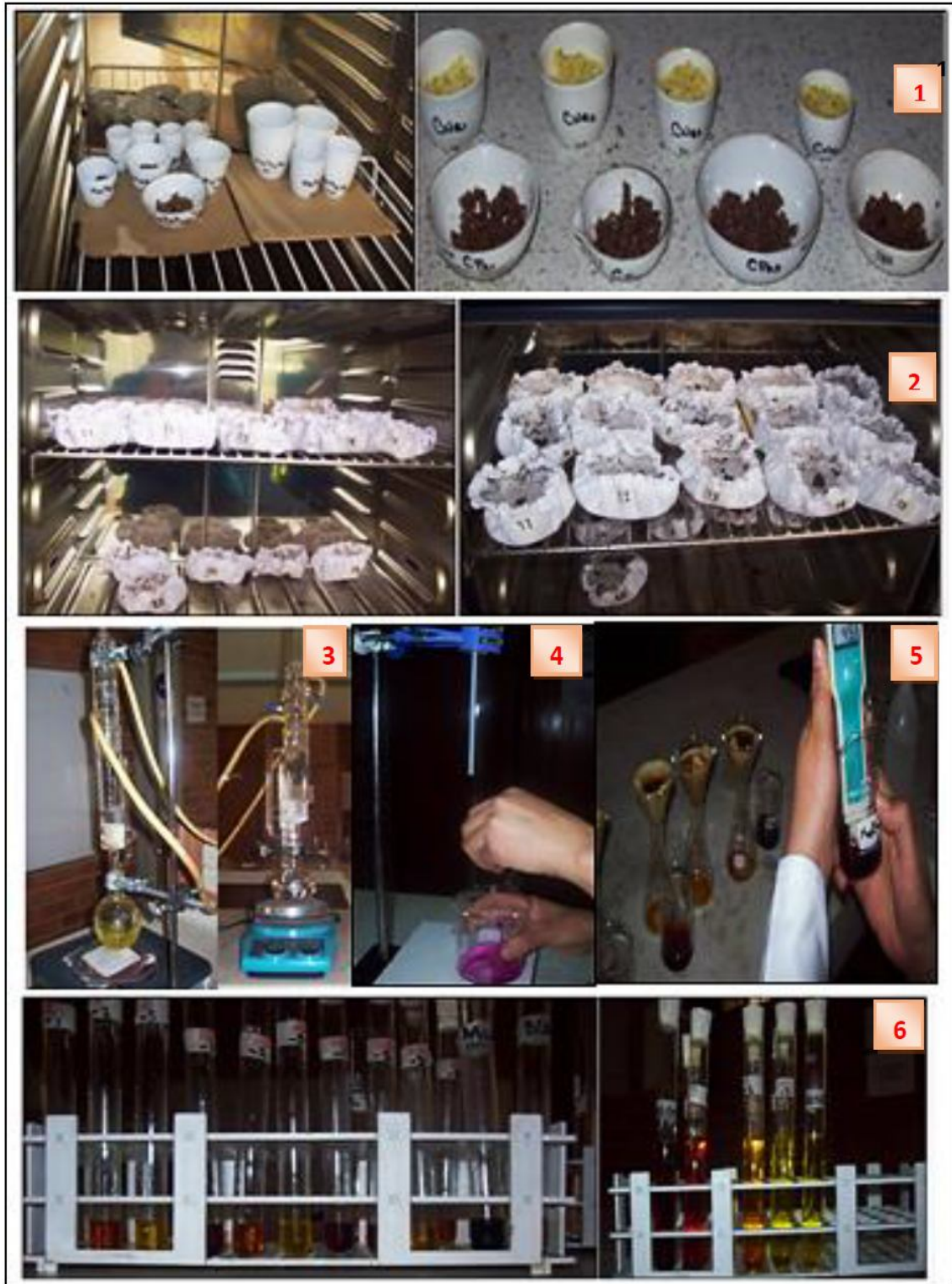


Figura 13. Caracterización Química de la materia prima: (1) Determinación Húmeda (%H bh1y %Hbs) y materia seca (%MS). (2) Determinación de celulosa. (3) Extracción de grasa método Soxhlet (4) Determinación de almidón. (5) Determinación de pH. (6) Determinación azúcares reductores método DNS.

### 5.2.3. Hidrólisis química de la materia prima.

A las combinaciones porcentuales se realizó un pretratamiento químico, con el objeto de hidrolizar los polisacáridos como la celulosa proveniente de las cáscaras de naranja (*Citrus sinensis* L var valencia) y almidón proveniente de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro R-12, siguiendo la metodología de Monsalve, *et al* (2006). El procedimiento se desarrolló con cuatro replicas para cada combinación porcentual. En el anexo 2, se presenta el protocolo aplicado.

De acuerdo al protocolo, para la eliminación de lignina de las cáscaras de naranja en las combinaciones N100, N25P75, N50P50 y N75P25, se realizó varias etapas de hidrólisis básica (sumergir totalmente la muestra con NaOH 0.1N, 15 minutos luego, adición de sulfato de calcio por tres horas); en la combinación P100 no se realizó este procedimiento. La hidrólisis de la celulosa, se llevó a cabo mediante hidrólisis ácida (por cada 100 gramos de residuos se adiciono 50 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 125°C por 15 minutos), la hidrólisis del almidón se llevó a cabo en los tratamientos P100, N25P75, N50P50 y N75P25 (Adición de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluida 20%) llevar a baño María a 94°C por 6 horas con agitación constante; en la combinación N100 no se realizó este procedimiento. Ver figura 14.



Figura 14. Procedimiento hidrólisis química de la celulosa y almidón de las cáscaras de naranja y papa.

#### 5.2.4. Caracterización de los jarabes

##### - Purificación:

Se llevó a cabo mediante filtración carbón activado, esto con el fin de eliminar impurezas de los jarabes de glucosa, para esto cada sustrato se mezcló con carbón activado a 30°C. Posteriormente se sometieron a filtración con una bomba de vacío y se guardaron en refrigeración en frascos de vidrio con tapa. Ver figura 15.



Figura 15. Jarabes de glucosa purificados

##### - Equivalente de dextrosa de los jarabes azucarados obtenidos.

Para la determinación del equivalente de dextrosa de los jarabes de D-glucosa es necesario haber cuantificado azúcares reductores de los residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis l var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12), por medio de hidrólisis química, obteniendo un alto porcentaje (%) de Glucosa por el método DNS. Para la siguiente determinación, se usa el método de Salcedo, *et al*, (2010), usando la siguiente ecuación:

$$ED = (AR/M) * 100$$

AR = cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra

M = peso de la muestra seca en gramos

### **5.3. Análisis estadístico**

#### **5.3.1. Caracterización de la materia prima.**

Para la presentación e interpretación de resultados, se utilizaron las medias estadísticas de rigor como la media aritmética, desviación estándar, coeficiente de variación y presentaciones gráficas.

#### **5.3.2. Hidrólisis química.**

Para la presentación e interpretación de resultados, se utilizaron las medias estadísticas de rigor como la media aritmética, desviación estándar y el coeficiente de variación.

La verificación del modelo estadístico (diseño del experimento), se realizó mediante un análisis exploratorio. Para la discusión de resultados obtenidos, los datos se tabularon mediante el programa estadístico SPSS para observar la dispersión de los datos y así verificar la confiabilidad de la investigación (ANOVA). Se utilizó la prueba de Tukey para establecer la comparación entre medias por pares y establecer cuál de las combinaciones porcentuales estudiadas genera más azúcares reductores después de la hidrólisis química.

##### **5.3.2.1. Diseño experimental para la hidrólisis química.**

Para evaluar el efecto de las combinaciones porcentuales de los residuos orgánicos de cáscara de naranja y papa en la producción de azúcares reductores mediante hidrólisis química, se plantea un diseño experimental de un factor completamente aleatorizado con efectos fijos, Montgomery, (2000) con cinco niveles y cuatro replicas por nivel para un total de 20 réplicas.

El experimento presenta un modelo de efectos representado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \left\{ \begin{array}{l} I= 1,2,\dots, a \\ J= 1,2,\dots,n \end{array} \right.$$

Donde  $\mu$  es la media global,  $\tau_i$  efecto de las combinaciones porcentuales en la producción de jarabes edulcorados (azúcares reductores),  $\varepsilon_{ij}$  error aleatorio del modelo y  $Y_{ij}$  es la observación o variable de respuesta (concentración de azúcares reductores después de la hidrólisis química).

### 5.3.3. Hipótesis

#### 5.3.3.1. Hipótesis general:

El proceso de hidrólisis química de los residuos de cáscara de naranja (*Citrus sinensis L var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) y de las combinaciones porcentuales se obtiene un alto contenido de azúcares reductores (gramos AR/gramos de residuo seco) que pueden ser usados como edulcorantes en la industria de alimentos.

#### 5.3.3.2. Hipótesis estadísticas

Ho:  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5$

Ho: el contenido de azúcares reductores (gramos AR/gramos de residuo seco) derivado de la hidrólisis química de los residuos de cáscara de naranja, papa y las combinaciones porcentuales de estos, no difieren entre sí (no presentan diferencias significativas).

Ha:  $\tau_1 \neq \tau_2 \neq \tau_3 \neq \tau_4 \neq \tau_5$

Ha: el contenido de azúcares reductores (gramos AR/gramos de residuo seco) derivado de la hidrólisis química de los residuos de cáscara de naranja, papa y las combinaciones porcentuales de estos, difieren entre sí (presentan diferencias significativas), o por lo menos una de ellas difiere de las demás.

#### **5.3.4. Variables.**

##### **5.3.4.1. Variables independientes**

Cantidad de residuos sólidos de naranja (*Citrus sinensis L var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) y combinaciones porcentuales de estos.

##### **5.3.4.2. Variables Dependientes (Variables de respuesta):**

Contenido de azúcares reductores (gramos AR/gramos de residuo seco)

##### **5.3.4.3. Variables extrañas o de ruido:**

- origen vegetal de los residuos sólidos orgánicos de cáscara de naranja y papa.
- Toma de absorbancias (espectrofotómetro).
- Filtración (bomba al vacío).
- Procesos en autoclave.

##### **5.3.4.4. Variables controlables:**

- Temperatura y Tiempo de hidrólisis celulosa: 3 horas en hidrólisis química y 15 minutos a 125°C para la hidrólisis ácida.
- Temperatura y Tiempo de hidrólisis de almidón: 94°C por 6 horas en ebullición a reflujo.
- Adición de reactivos químicos (hidróxido de sodio y ácido sulfúrico): volúmenes constantes de acuerdo a los protocolos ajustados previamente.
- Concentración de reactivos químicos: NaOH a 0.1 N y ácido sulfúrico 20%.



## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. Caracterización química de la materia prima

De la caracterización de los residuos de cáscaras de naranja (*citrus sinensis l var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) y las combinaciones porcentuales de estos, se obtuvieron los resultados que se presenta en la tabla 11; estos resultados es el producto del procesamiento estadístico de los datos recopilados en la matriz del experimento caracterización química (ver anexos 3, 4 y 5).

Se determina por el método de DNS la cuantificación de azúcares reductores (gramos/100 gramos de residuo seco), parámetro importante, ya que indica el contenido inicial de azúcares reductores (gramos AR/ gramos de residuo seco) en los tratamientos para posterior evaluación y comparación, una vez se realice la hidrólisis química. El procedimiento relaciona la determinación de la curva de calibración tomando como solución patrón glucosa (1.0 g/l), tal como explica en el anexo 1. Se desarrolló el cálculo matemático respectivo con los datos de absorbancia, en donde se obtuvo la siguiente ecuación (ver anexo 5 y figura 16):

$Y=mx+b$ $Y= 0,332x+0,0102$ $R2= 0,9924$	Ecuación: 1
------------------------------------------	-------------

Los resultados de azúcares reductores (gramos AR/gramos de residuo seco) de los tratamientos (N100, P100, N25P75, N50P50, N75P25) obtenidos al reemplazar en la ecuación 1, se convierten matemáticamente hasta gramos de azúcares reductores/gramos de residuo seco, teniendo en cuenta las diluciones, volúmenes y cantidad de las muestras del protocolo del anexo 1, ítem 1.5.

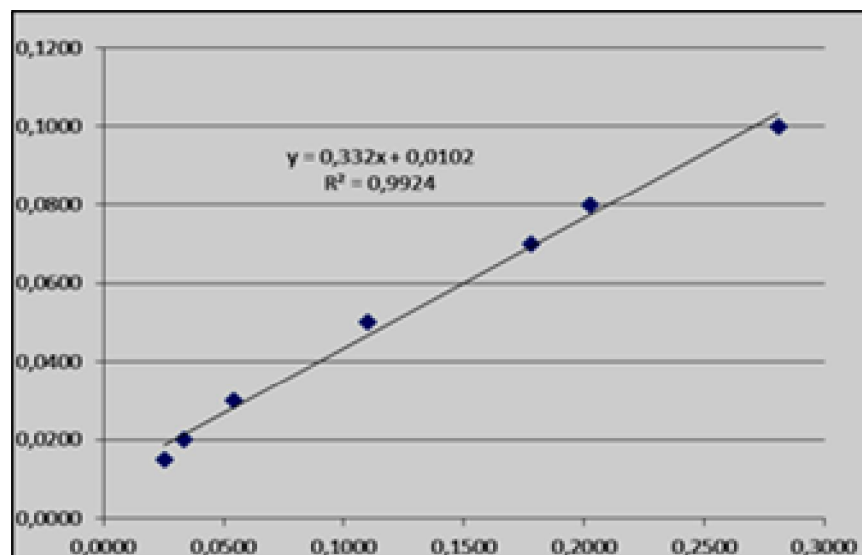


Figura 16. Curva patrón de azúcares reductores por el método DNS

La caracterización química realizada a los residuos de cáscaras de naranja (*citrus sinensis l var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12), es importante para clasificar y evaluar la materia orgánica empleada para la obtención de azúcares reductores. Por medio de su caracterización se lleva a cabo una investigación completa de los residuos de cáscaras de naranja y cáscaras de papa. Se sabe que estos residuos son ricos en celulosa y almidón por lo tanto se producen polisacáridos por medio de hidrólisis química, de los cuales se obtendrán azúcares reductores para los respectivos jarabes de glucosa que es el objetivo general del proyecto en curso, además de determinar los contenidos de humedad en base húmeda y en base seca, materia seca, grasa, azúcares reductores y pH, permitiendo establecer un análisis de la media aritmética que da los valores promedio de estos resultados y así compararlos con algunos residuos vegetales reportados en la literatura.

Tabla 11. Caracterización residuos de cáscara de naranja, papa y combinaciones porcentuales

Componente	Humedad en base húmeda (%H bh)	Humedad en base seca (%H bs)	Materia Seca (%MS)	Grasa (% extracto etéreo)	Almidón (gramos/ 100 gramos de residuo seco)	Celulosa (gramos/ 100 ramos de residuo seco)	Azúcares reductores (gramos/100 gramos de residuo seco)	pH
Tratamientos								
<b>N100</b>	74,278 <sup>a</sup> (0,252)	5,733 <sup>a</sup> (0,449)	24,726 <sup>a</sup> (0,253)	0,902 <sup>a</sup> (0,612)	1,5700 <sup>a</sup> (0,2965)	11,635 <sup>a</sup> (0,621)	19,277 <sup>a</sup> (2,920)	4.5 <sup>a</sup>
<b>P100</b>	82,228 <sup>a</sup> (0,883)	1,984 <sup>a</sup> (0,315)	17,575 <sup>a</sup> (0,841)	0,780 <sup>a</sup> (0,4006)	60,107 <sup>a</sup> (1,3349)	1,444 <sup>a</sup> (0,355)	0,757 <sup>a</sup> (0,302)	5.6 <sup>a</sup>
<b>N25P75</b>	79,477 <sup>a</sup> (0,659)	1,633 <sup>a</sup> (0,1863)	20,302 <sup>a</sup> (0,639)	0,800 <sup>a</sup> (0,4501)	45,080 <sup>a</sup> (1,001)	3,881 <sup>a</sup> (1,486)	6,199 <sup>a</sup> (1,514)	5.1 <sup>a</sup>
<b>N50P50</b>	76,395 <sup>a</sup> (0,399)	1,521 <sup>a</sup> (0,127)	23,414 <sup>a</sup> (0,389)	1,230 <sup>a</sup> (0,330)	30,053 <sup>a</sup> (0,667)	9,545 <sup>a</sup> (0,586)	6,522 <sup>a</sup> (1,292)	4.8 <sup>a</sup>
<b>N75P25</b>	72,910 <sup>a</sup> (0,535)	2,086 <sup>a</sup> (0,112)	26,719 <sup>a</sup> (0,529)	0,845 <sup>a</sup> (0,166)	15,026 <sup>a</sup> (0,333)	11,216 <sup>a</sup> (0,254)	16,876 <sup>a</sup> (1,7867)	4.6 <sup>a</sup>
a media aritmética. Los números entre paréntesis corresponden a la desviación estándar. (n=4).								

De acuerdo a la caracterización química realizada a los residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis* l var *valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) y combinaciones porcentuales se procede a graficar los resultados para llevar a cabo su respectivo análisis. (Figuras 17, 18 y 19).

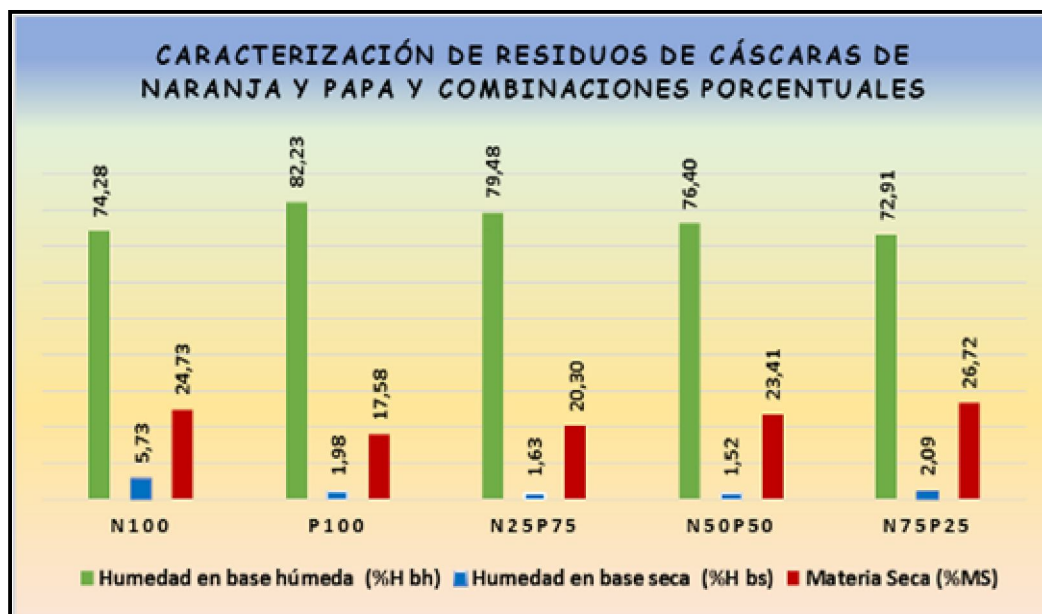


Figura 17: Caracterización de residuos de cáscaras de naranja y papa y combinaciones porcentuales, Humedad (%Hbh), (%H bs) y Materia seca (%MS).

De la figura anterior se analizó que para los resultados de %Hbh, los tratamientos exhiben un comportamiento homogéneo (Coeficiente de variación, CV, en promedio fue de 0.7), es decir, que los datos guardan relación entre sí y son precisos. El contenido de humedad %Hbh en los residuos de cáscaras de naranja y papa empelados en esta investigación están en un promedio de 74,28% para N100 y 82,23% para P100. Los residuos de papa (P100) exhiben mayor porcentaje de humedad, esto se puede relacionar al comparar la composición de estos dos residuos, en donde los de papa poseen mayor contenido de almidón, debido a que las moléculas polares del almidón, pueden enlazar mayor número de moléculas de agua. El valor obtenido (82.23%) resulta semejante al reportado por Arapoglou *et al*, (2010), Arapoglou *et al*, (2009), en donde dichos residuos tienen un 85.06% de humedad.

En cuanto a las cáscaras de naranja en N100 (74.28%), se puede analizar que estos residuos poseen compuestos lignocelulósicos pero que no pueden estar expuestos para enlazar moléculas de agua, esto debido a su ubicación en la pared celular, lo que hace que las molécula polares estén menor expuesta que en P100. El resultado obtenido al compararlo con los de Cerón Salazar, *et al*, (2011), en donde presentan un 85.9%; se observa que hay diferencia en el contenido de humedad que pueden ser atribuidas a factores como a la especie de naranja y forma de secado. Continuando el análisis con otros autores, Tejeda *et al.*, (2010), reporta un 69.36%, un valor aún más inferior que el obtenido, argumentado las mismas razones ya expuestas. Para las combinación porcentuales (N25P75, N50P50 y N75P25), los resultados son, 79,5%; 76.4% y 72,91% respectivamente, son semejantes entre sí y se encuentran en un promedio de 76%, a medida que se reduce el porcentaje de los residuos de cáscara de papa disminuye el promedio de los resultados.

Para análisis de los resultados de humedad (%Hbs), los tratamientos exhiben un comportamiento homogéneo (Coeficiente de variación, CV, en promedio fue de 9.83), es decir, que los datos guardan relación entre sí. En los residuos de N100 y N75P25 obtienen un porcentaje alto, 5,733% y 2,086% respectivamente, mientras que P100, N25P75 y N50P50, se encuentran en un rango entre 1,521 y 1,984%. Se puede concluir que los residuos que poseen mayor cantidad de naranja, retiene agua en el sentido que les resulta más difícil perder moléculas de agua de su estructura, en comparación en los residuos que poseen mayor cantidad de papa, en donde el agua puede separarse del almidón y fluir libremente. Rincón, *et al*, (2005), extrae de los residuos de cáscaras de naranja, mandarina y toronja el 3,31; 4,33 y 7,81% respectivamente dando a entender que son resultados similares o cercanos a los expuestos en la figura 17 para N100.

En cuanto al porcentaje de materia seca (%MS), los tratamientos exhiben un comportamiento homogéneo (Coeficiente de variación, CV, en promedio fue de 2.52), es decir, que los datos guardan relación entre sí. Los resultados de materia seca (%MS) para N100 es del 24,726% y N75P75 del 26,719%, esto refleja que poseen gran

cantidad de sólidos, los cuales se pueden relacionar con los residuos lignocelulósicos y de pectina que presenta, mientras que en donde hay residuos de papa, la materia seca se reduce, por lo que estos residuos básicamente es almidón. Según el estudio comparativo se encontró que Mahmood *et al*, (1998), obtuvo residuos de naranja con un 20,98% y de residuos de papa un 17,82%, esto significa que los resultados obtenidos son similares o es tan dentro del rango de los descritos en la literatura.

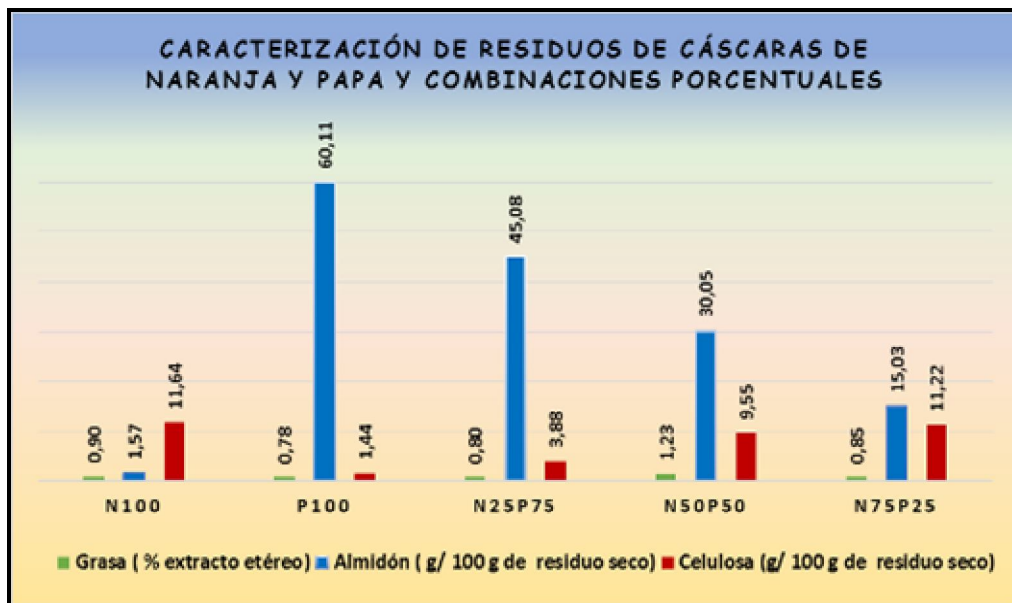


Figura 18: Caracterización de residuos de cáscaras de naranja y papa y combinaciones porcentuales, Grasa (% extracto etéreo), Almidón (g/100g de rs) y Celulosa (g/100g rs).

Al analizar los resultados de Grasa, los tratamientos exhiben un comportamiento heterogéneo en los valores de la variable (Coeficiente de variación, CV, en promedio fue de 38.62), es decir, que los datos guardan mayor dispersión entre sí (dispersión entre tratamientos pero entre réplicas de un mismo tratamiento). La grasa es el componente en cáscaras de naranja y papa que puede afectar los resultados, ya que son insolubles en agua, sobre todo en la obtención de la celulosa de las cáscaras de naranja, sin embargo son porcentajes (%) muy mínimos que no afectan los resultados. Según los datos de la figura 18, los residuos que poseen mayor cantidad de cáscaras de naranja son los que registran el mayor porcentaje de extracto etéreo, esto es debido a la composición de aceites presentes en las cáscaras de naranja y ausentes en los residuos de papa. En los

resultados para N100 y las combinaciones N50P50 y N75P25, los resultados son similares a lo expuesto por Cerón Salazar, *et al*, (2011) (1,55%).

Para el análisis del porcentaje de almidón, los resultados exhiben un comportamiento homogéneo (Coeficiente de variación, CV, en promedio fue de 8.345), es decir, que los datos guardan relación entre sí. El contenido de almidón en los residuos de cáscaras de papa (P100) y sus combinaciones (N25P75, N50P50) porcentuales son los que registran los mayores contenidos de almidón en relación a N100 y N75P25; estos resultados van en concordancia con la composición química de estos residuos, ya que en las cáscaras de naranja no se encuentran este tipo de polisacárido, mientras que en la composición de la papa, es el componente mayoritario. Mahmood *et al*, (1998) hace diferencia entre contenido de almidón en residuos de naranja el cual es menor al 1,0% y para los residuos de papa están alrededor del 66.78%, para Arapoglou *et al*, (2009) con un 52,14 % de almidón en residuos de papa, menos cantidad que los registrados en P100. Comparando estos resultados con otros vegetales agrícolas, se encuentra almidón en cáscaras de banano y yuca con porcentajes de 39,89% y 76,43% respectivamente, Monsalve G, *et al*, (2006), esto significa que las cáscaras de papa tienen mayor contenido de almidón, que otros residuos vegetales agrícolas como los de banano y yuca.

En la figura 18, se presentan los resultados para el contenido de celulosa, se observa que el tratamiento N100 es quien presenta mayor contenido (11,63%). Sí se observa el contenido de este polisacárido en N25P75 es de 3,8%, N50P50 es de 9,54% y N75P25 es de 11,21%, se analiza que a medida que va aumentando el contenido de residuo de naranja, lo hace el porcentaje de celulosa de cada tratamiento. El contenido de celulosa para N100 se encuentra en un promedio similar al de Grohmann, *et al*, (1995) y Mahmood *et al*, (1998), con un 10,59% de celulosa en cáscaras de naranja, estos resultados se relacionan con la composición química de las cáscaras de naranja (estructuras lignocelulósicas de la pared celular), que al ser hidrolizadas se rompe dicha estructura y se libera la celulosa de la lignina y hemicelulosa. Teóricamente en la composición de la cáscaras de papa no hay celulosa, sin embargo en P100 se encuentra

el 1,4% de celulosa y este dato concuerda con el reportado por Mahmood *et al*, (1998), con 2,20% de celulosa en residuo de papa. Estos resultados exhiben un comportamiento homogéneo (Coeficiente de variación, CV, en promedio fue de 15,43), es decir, que los datos guardan relación entre sí y son precisos.

Se encontró que la celulosa es un componente abundante en otros residuo vegetales comparado con el promedio obtenido en las cáscaras de naranja, para tal estudio Monsalve, *et al*, (2006), extrae celulosa de las cáscaras de banano con un 13,2% y yuca 76,43%, Mussatto *et al*. (2006), obtiene del bagazo de malta hasta el 90,5% de celulosa y Bahcegul, *et al*, (2011) de tallos de algodón obtiene hasta 57.4% de celulosa.

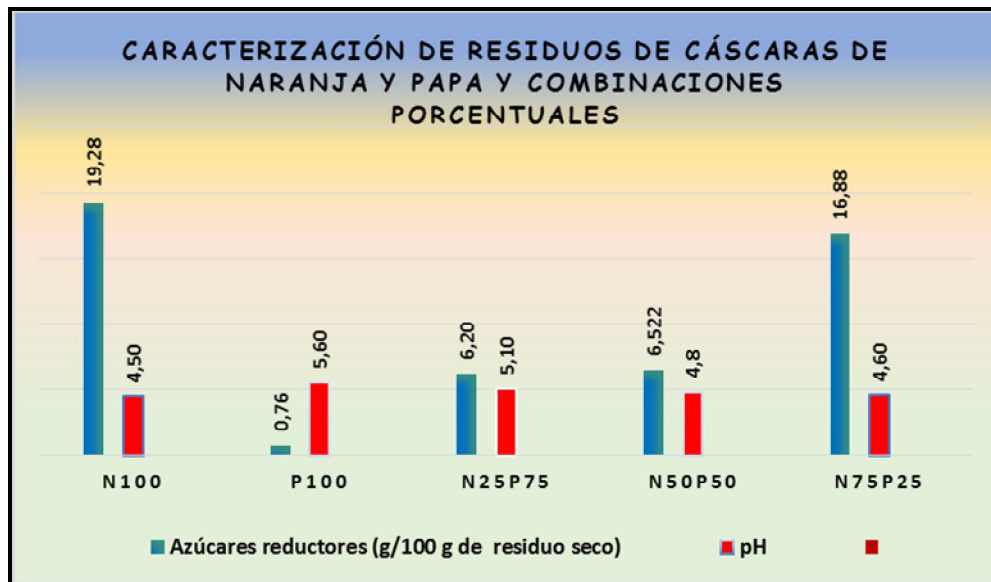


Figura 19: Caracterización de residuos de cáscaras de naranja y papa y combinaciones porcentuales  
Azúcares reductores (g/100g rs), pH

Los azúcares reductores de las cáscaras de naranja (*Citrus sinensis l var valencia*) y papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12), son obtenidos antes de la hidrólisis química. Los tratamientos exhiben un comportamiento homogéneo (Coeficiente de variación, CV, en promedio fue de 21.97), es decir, que los datos guardan relación entre sí y son confiables. En la figura 19, se presentan los resultados de azúcares reductores; en N100 se tiene 19,27(g/100 g de residuo seco) y N75P725 con un 16,87(g/100 g de residuo seco) son los contenidos más altos, después de medir azúcares



reductores por el método de DNS, mientras que en las combinaciones P100 con un 0,757%, N25P75 con un 6,199% y N50P50 con un 6,522% dan bajos contenidos de azúcares reductores. Los anteriores resultados son similares a los reportados por Mahmood *et al*, (1998), en donde se registró para residuos de naranja un 9,16 %, dando a entender que los residuos de cáscaras de naranja poseen mayor cantidad de azúcares tipo reductores, este mismo autor presentó para residuos de papa 0,91% de azúcares reductores, resultado que indicó que el almidón como componente mayoritario en estos residuos debe ser degradado hasta azúcares reductores. Otros autores como Mejía Giraldo *et al*, (2007). Arapoglou *et al*, (2010) y Arapoglou *et al*, (2009) relacionan un 0,61 % para azúcares reductores de cáscaras de papa, lo que confirma que los resultados obtenidos se relacionan con otras investigaciones.

Mahmood, *et al*, (1998), calcula un 10% de azúcares reductores extraídos de la celulosa de cáscaras de naranja, antes de hidrólisis química. En consecuencia a los anteriores resultados se observa la necesidad de hidrolizar los residuos de cáscaras de naranja y papa y sus combinaciones porcentuales, ya que por medio de la hidrólisis se degradan la celulosa y el almidón liberando azúcares tipo glucosas, permite mejores resultados (porcentajes %) de azúcares reductores en cada tratamiento.

Los resultados de pH de cada tratamiento guardan relación a la composición química de los residuos de cáscaras de naranja y papa, en el caso de cáscaras de naranja por componente lignocelulósico y en cáscaras de papa por almidón. Cerón Salazar, *et al*, (2011) toma de las cáscaras de naranja una lectura de un pH 3,93 menor de las combinaciones de N100 con 4,5 y N75P25 con 4,6. Los anteriores resultados son los más bajos comparados con P100, N25P75 y N50P50, rangos entre 5,6; 5,10 y 4,8 respectivamente, Mahmood *et al*, (1998), obtiene resultados muy parecidos o dentro del promedio a los obtenidos, para residuos de naranja pH de 4,3 y para residuos de papa, pH de 5,9.

## 6.2. Hidrólisis química

Después de la hidrólisis química, se procedió a realizar la técnica de DNS para conocer la concentración de azúcares reductores, empleando la ecuación (1). Los resultados de la hidrólisis química (ácida y básica) se presentan en la tabla 12 y el estadístico del experimento (ANOVA) en la tabla 13. En el anexo 6, se presentan la matriz del diseño con los datos según número de réplicas, en el anexo 8 se presenta la curva patrón de glucosa para DNS después de la hidrólisis.

Tabla 12. Cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis (g/gramos de residuo seco).

Tratamiento	Media	Desviación estándar	Mínimo	máximo
N100	21,666 <sup>a</sup>	2,194	19,003	24,244
P100	67,259 <sup>a</sup>	22,299	47,445	97,277
N25P75	46,738 <sup>a</sup>	11,929	34,921	58,777
N50P50	57,037 <sup>a</sup>	18,798	36,180	80,180
N75P25	23,497 <sup>a</sup>	1,229	22,265	24,723

a Diferencia significativa  $p \leq 0.05$ , (n=3)

Tabla 13. Estadístico (ANOVA) Cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis (g/gramos de residuo seco)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	6122,191	4	1530,548	6,971	0,003
Intra-grupos	2854,111	13	219,547		
Total	8976,302	17			

De la hidrólisis química de los residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis l var valencia*), papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro (R-12) y combinaciones porcentuales, se obtuvo un % de azúcares reductores; de acuerdo al estudio realizado con otros autores, esta técnica permite que por medio de degradación de la celulosa y el almidón se obtengan glucosas que darán lugar a contenidos altos de azúcares reductores dependiendo de la materia orgánica vegetal tratada. En la siguiente (figura 20) se puede evidenciar los contenidos de azúcares reductores obtenidos después de haber hidrolizado la materia prima, y se puede concluir que, aunque si hubo hidrólisis se pudo haber obtenido mejores resultados en N100, N75P25.

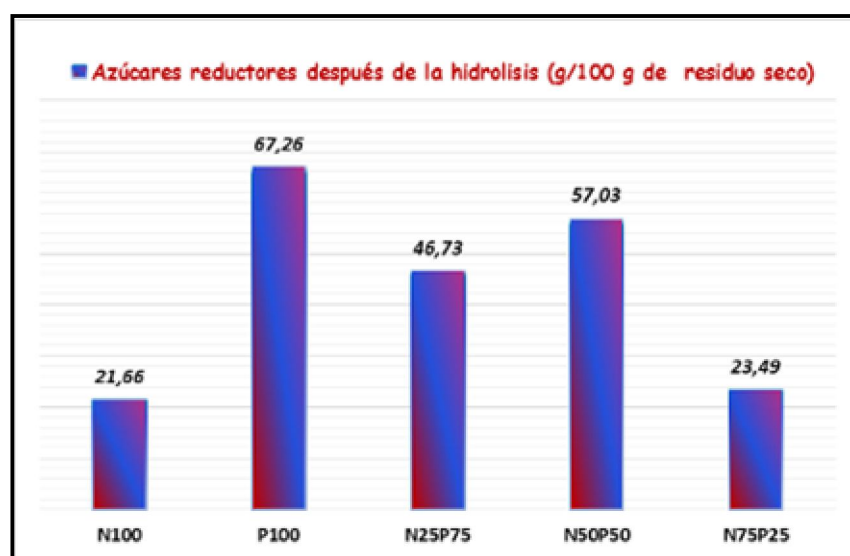


Figura 20 Cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis (g/gramos de residuo seco).

El aumento de la concentración de glucosa proveniente de la degradación de la celulosa y del almidón resultó después de ser hidrolizada estas materias primas y las combinaciones porcentuales, dio como resultado un aumento significativo para el análisis de datos. P100, reporta el mayor contenido de azúcares reductores, que al compararlo con la literatura consultada como por ejemplo Arapoglou *et al*, (2010), en donde realizó una hidrólisis ácida sobre residuos de papa, obtuvo gran cantidad de azúcares reductores expresados (19.37 g/L), pero el valor experimental obtenido para P100 en g/L es de 30.57g/L, que equivale 67.26 g/100 de residuos seco.

En los residuos de N100 (21,66 g/100 de residuos seco) y N75P25 (23,49 g/100 de residuos seco), la hidrólisis química, no fue tan efectiva como en los otros tratamientos, resultado que pudo verse afectado por el tiempo de hidrólisis de la celulosa (15min a 125°C en autoclave), ya que por la misma naturaleza química y ubicación en la pared celular se requiere separarla de la lignina para exponer los enlaces glucosídicos a la acción hidrolítica química, otra razón está relacionada en la no eliminación total de la lignina (tratamiento con sulfato de calcio), argumentos que concuerdan con Zhou N, *et al*, (2011), cuando se trabaja con ácidos diluidos como el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, el rendimiento de conversión es bajo (50-70%); se ha logrado aumentar la cantidad de azúcares hidrolizados de residuos de celulosa al usar una hidrólisis química moderada con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a 122°C/300 minutos obteniéndose 4.46 azúcares reductores (g/100g de residuo seco) de inhibidores relacionado un 55% de azúcares fermentables Gámez, *et al*, (2006), otros autores coinciden que al hidrolizar glucosa (rompimiento químico de enlaces glucosídicos) con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 0.05M/240 min a 110 y 150°C, en estas condiciones la conversión de este polisacárido es completa. En cambio en la hidrólisis de almidón fue adecuado el tiempo de hidrólisis (6 horas a 95°C baño maría) como se puede ver en los tratamientos de N50P50 (57,03 g/100 de residuos seco), N25P75 (46,7 g/100 de residuos seco) y P100 (67,25 g/100 de residuos seco) a mayor aumento de residuos de papa mayor contenido de azúcares reductores. Aun así, el cometido de azúcares reductores para N100 y N75P25 se considera altos.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, se concluye que los contenidos de azúcares reductores de los residuos de cáscaras de naranja, papa y sus combinaciones porcentuales, después de hidrolizarse químicamente, producen altos contenidos de azúcares reductores que pueden aportar altos valores de poder edulcorante para ser usados como aditivos en la industria de alimentos.

Para establecer un mejor análisis, se hace una comparación entre azúcares reductores antes y después de hidrólisis química, ver la figura 21

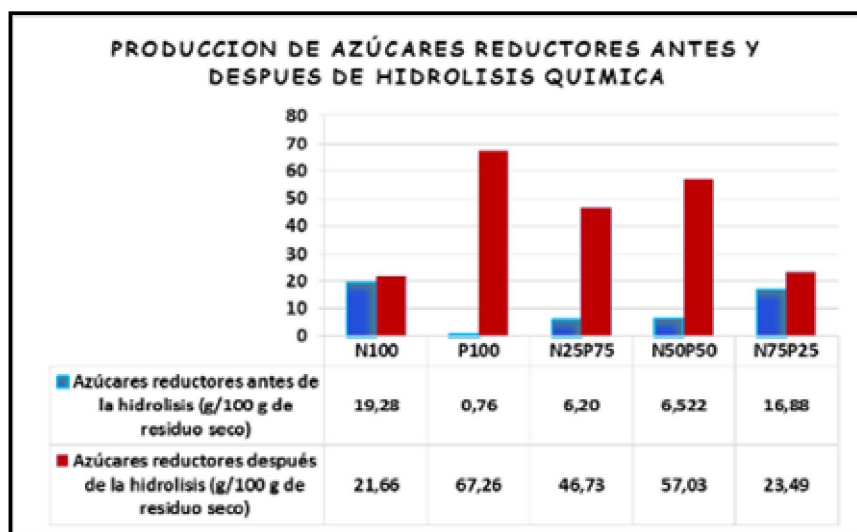


Figura 21. Producción de azúcares reductores antes y después de la hidrólisis química.

Antes de hidrolizar las cáscaras de naranja y papa y sus combinaciones porcentuales, se hizo un análisis de contenidos de glucosa en la materia para verificar que tan efectivo es el hidrolizar y en qué cantidades expresadas en porcentaje difiere el contenido de azúcares reductores antes y después de hidrólisis química. Los resultados expresan entre N100 y N75P25 mayor cantidad de azúcares reductores antes de hidrólisis en cambio donde hay mayor cantidad de residuos de papa no se evidencia ni en un 10% el contenido de azúcares reductores, aun así en residuos de naranja la cantidad de azúcares reductores, esta en una aproximación del 20% de azúcares reductores. Estos resultados indicaron que definitivamente es necesaria la hidrólisis química para obtener azúcares tipo glucosas de los residuos de naranja y papa y de sus combinaciones porcentuales.

En la figura 21 muestra el crecimiento en las barras rojas (azúcares reductores después de hidrólisis) comparado con barras azules (azúcares reductores antes de hidrólisis), significa que al hidrolizar los residuos de naranja y papa y sus combinaciones porcentuales, se obtienen gran cantidad de azúcares reductores, sobre todo en los tratamientos de P100, N25P75 y N50P50, porque en ellos hay más contenido de almidón y el almidón tuvo diferentes condiciones de hidrólisis ( $H_2SO_4$  20% en 6 horas a  $95^\circ C$ ), comparado con la hidrólisis de la celulosa, a la cual se le realizó un tratamiento diferente porque está cubierta por una gran pared celular compuesta por hemicelulosa y

lignina, y no es fácil degradarla porque no es libre como el almidón en las cáscaras de papa, por eso en N100 y N75P25, en donde hay mayor concentración de residuos de naranja se evidencia menos cantidad de azúcares reductores, para N100 y N75P25, se pudo haber modificado la hidrólisis a una hidrólisis parcial, es decir, el protocolo de hidrólisis aplicado no generó la hidrólisis total de las cadenas carbonadas de celulosa y hemicelulosa, tal como analiza Gámez *et al*, (2006), cuando usa HCl o H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en concentraciones 1-10% usando temperaturas entre 100-150°C.

Con lo anterior se puede afirmar que después de hidrólisis química los resultados suben hasta casi un 50% en N25P75 y N50P50 y en un 70% en P100, lo que hace analizar que si fue efectiva la hidrólisis química, porque lo que se deseaba era haber obtenido glucosas de residuos de celulosa y almidón contenidos en cáscaras de naranja y papa, esto con el fin de permitir con el método de DNS registrar gran cantidad de azúcares reductores, necesarios para los jarabes azucarados.

El análisis de la tabla 13, describe la significancia de los resultados del modelo estadístico entre los tratamientos porcentuales de (N100, P100, N25P75, N50P50, N75P25), se debe indicar que los tratamientos son significativos a un valor de  $P < 0.05$ ; de acuerdo a esto, hay diferencias significativas entre los tratamientos en donde registró un valor de  $P = 0.003$  a un nivel de significancia del 95%, por lo tanto se afirma, la hipótesis estadística,  $H_a$ : el contenido de azúcares reductores (gramos AR/gramos de residuo seco) derivado de la hidrólisis química de los residuos de cáscara de naranja, papa y las combinaciones porcentuales de estos, difieren entre sí (presentan diferencias significativas), o por lo menos una de ellas difiere de las demás.

Tabla 14. Comparaciones múltiples (Cantidad de azúcares reductores después de la hidrólisis (g/gramos de residuo seco))

(I) Materia prima (Naranja y Papa)	(J) Materia prima (Naranja y Papa)	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
<b>N100</b>	P100	,006	-78,582218	-12,602982
	N25P75	,234	-60,705402	10,560318
	N50P50	,033	-68,360843	-2,381607
	N75P25	1,000	-37,464035	33,801685
<b>P100</b>	N100	,006	12,602982	78,582218
	N25P75	,407	-15,112802	56,152918
	N50P50	,861	-22,768243	43,210993
	N75P25	,014	8,128565	79,394285
<b>N25P75</b>	N100	,234	-10,560318	60,705402
	P100	,407	-56,152918	15,112802
	N50P50	,888	-45,931543	25,334177
	N75P25	,354	-14,851763	61,334496
<b>N50P50</b>	N100	,033	2,381607	68,360843
	P100	,861	-43,210993	22,768243
	N25P75	,888	-25,334177	45,931543
	N75P25	,069	-2,092810	69,172910
<b>N75P25</b>	N100	1,000	-33,801685	37,464035
	P100	,014	-79,394285	-8,128565
	N25P75	,354	-61,334496	14,851763
	N50P50	,069	-69,172910	2,092810

Al hacer el test de Tukey (tabla 14), se puede deducir: entre N100, N75P25 y P100 existe diferencias significativas, P100 es quien genera más azúcares reductores; dentro de las combinaciones porcentuales N25P75 y N50P50 no hay diferencias significativas, esto indica que la cantidad de azúcares reductores que se genera es similar entre ellos y exhiben un comportamiento igual que hidrolizar P100, es decir, que tomar residuos de cáscara al 100% , N50P50 o N25P75, en las mismas condiciones de experimentación pueden generar igual cantidad de azúcares reductores. Para N100 y N75P25, el test de Tukey indica que no hay diferencias significativas, lo que resulta lo mismo hidrolizar cáscaras de naranja al 100% o al 75% en las condiciones dadas.

### 6.3. Caracterización de los jarabes obtenidos

Las caracterizaciones de los jarabes se obtienen según las condiciones de hidrólisis y el medio utilizado para dicha hidrólisis. En la tabla 15 se presenta los resultados para los equivalentes de dextrosa (ED).

Tabla 15. Resultados de la caracterización de los jarabes obtenidos

Parámetro	ED
N100	21,7 <sup>a</sup>
P100	67,3 <sup>a</sup>
N25P75	46,7 <sup>a</sup>
N50P50	57,0 <sup>a</sup>
N75P25	23,5 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>=media aritmética de los datos

Los jarabes de glucosa obtenidos a partir de cáscaras de naranja, cáscaras de papa y sus combinaciones porcentuales, se analizaron según los parámetros de hidrólisis química, ya que debido al grado de hidrólisis se obtendrá un valor de equivalente de dextrosa ED. Díaz García, *et al*, (2003), afirma que cuando el ED tiene valores superiores a 20 se



encuentra dentro de jarabes tipo glucosas líquidas, este valor también indica, el grado de conversión logrado en la hidrólisis, así:

- ED entre 20 y 37 es de baja conversión.
- ED 42 es de conversión media o estándar
- ED 55 o superior es de alta conversión.

De acuerdo con lo anterior los jarabes obtenidos se encuentran en los siguientes grados de conversión de ED; N100 (21,70) y N75P25 (23,50) se encuentran en un rango superior a 20 ED, lo que significa que se clasifican como glucosas líquidas de baja conversión, lo que ratifica los resultados obtenidos y analizados mediante la ANOVA y la prueba de Tukey. Para N100 y N75P25, hay que resaltar que la hidrólisis química realizada a las cáscaras de naranja y sus combinaciones porcentuales, ajustando el protocolo de hidrólisis (eliminación de lignina, tiempo y temperatura de hidrólisis) deben dar mejores resultados en el contenido de azúcares reductores, tal como se analizó en el ítem 6.2.

Para N25P75 (46,70), se clasifica como glucosa líquida de conversión media o estándar, N50P50 (57,00) y P100 (67,30) se clasifica como glucosa líquida de alta conversión. De acuerdo a los resultados de ED, según Chávez Páez, (2002), clasifica a los ED 40-50 aptos para la industria de Pastelería, Helados, Alimentación Dietética, Galletas, Farmacéutico. ED 51 a 70 son aptos para caramelos, chicles, confitería. Mayores ED a 70 son aptos para cerveza, gaseosas, jugos, mermeladas, carnes, etc. De acuerdo a esto los jarabes obtenidos, deben ser sometidos a un proceso de purificación y desintoxicación como las que recomienda Castellanos, D. *et al.*, (2004), para poder ser empelados en: ver tabla 16.

Tabla 16. Clasificación de jarabes de glucosa y su aplicación en la industria de alimentos.

Jarabe	Tratamientos	ED	Aplicación
ED entre 20 y 37 es de baja conversión.	N100 N75P25	21,70 23,50	No aplica
ED 42 es de conversión media o estándar	N25P75	46,70	Industria Pastelera, Helados, Alimentación Dietética, Galletas, Farmacéutico.
ED 55 o superior es de alta conversión.	N50P50 P100	57,00 67,30	Caramelos, chicles, confitería.

Fuente: autor del proyecto

Los jarabes obtenidos por hidrólisis química son clasificados según su grado de conversión y este grado de conversión es analizado con los resultados de ED (equivalente de dextrosa) obtenidos, de acuerdo a esto los tratamientos, P100, N50P50 y N25P75, están entre los rangos de conversión media y superior, la aplicación de equivalentes de dextrosa en la industria de alimentos es de gran interés por tal razón los ED de conversión media se encuentran en un rango de 42, y para ED de alta conversión es superior a 55.

Los tratamientos (P100, N50P50 y N25P75), tienen mayor contenido de residuos de papa, estos fueron hidrolizados obteniendo almidón, componente libre y rico en glucosas permitiendo la conversión de ED clasificados como jarabes de glucosa de conversión media y alta.

## 7. CONCLUSIONES

En el desarrollo del proyecto se hizo un pre ensayo en el que se realizaron pruebas preliminares con diferentes concentraciones de ácido (0,5; 0,75; 1; 2,5; 5%), se determinó que la concentración de ácido sulfúrico  $H_2SO_4$ , a 5%, es la más eficiente en la hidrólisis de cáscaras de naranja, papa y sus combinaciones, en cuanto a producción de azúcares reductores.

Se realiza una comparación entre azúcares reductores antes de hidrólisis y después de hidrólisis, comprobando que es necesaria la hidrólisis química de los residuos de cáscaras de naranja y papa, materia prima rica en glucosas obtenida por medio de hidrólisis química, logrando un valor agregado, por medio de productos como edulcorantes, aditivos esenciales en la industria de alimentos.

Para llevar a cabo la hidrólisis química de las cáscaras de naranja y sus combinaciones porcentuales se procede a la degradación de la lignina, con el fin de obtener la celulosa libre, aparte del material lignocelulósico en las cáscaras de naranja, también hay pectina, se considera que este último componente pudo haber afectado los resultados de estos tratamientos (N100, N25P75, N50P50 y N75P25).

De acuerdo a los resultados de la hidrólisis química, los sustratos N100 y N75P25 son los sustratos que menos azúcares reductores poseen (21,66% y 23,49% respectivamente); estos valores pueden mejorar con una reestructuración del diseño del protocolo de hidrólisis de celulosa, hemicelulosa y lignina

Para mayor aprovechamiento de los residuos de cáscara de naranja, en una hidrólisis química, se debe ajustar el tiempo del proceso, el cual se considera que no fue el

suficiente, lo que contribuyó a que los residuos N100 y N75P25, presentaran una baja concentración de azúcares reductores frente a los demás tratamientos.

De acuerdo a los resultados de la hidrólisis química, los mejores sustratos para la producción de azúcares reductores son de P100, con un ED de 67,30 y 60,26 en azúcares reductores, le siguen los tratamientos de N50P50 y N25P75, con 46,70; 57,00 de ED y 57,03; 46,7 en azúcares reductores, respectivamente; estos sustratos tienen en común una alta cantidad de residuos de papa Diacol Capiro (R-12), esto indica que hubo mejor hidrólisis en el almidón por ser una glucosa libre. Estos resultados confirman que los jarabes obtenidos son competitivos como edulcorantes para la industria de alimentos.

La glucosa pura tiene una equivalente de dextrosa (ED) de 100 y el almidón tiene una ED igual a cero, al hidrolizar el almidón, el ED indica que tanto almidón ha sido desdoblado, esto nos confirma los resultados de P100 y sus combinaciones antes de hidrólisis química, en el cual no se obtuvo azúcares reductores por parte del almidón.

El equivalente de dextrosa ED de los jarabes obtenidos son clasificados como jarabes de glucosa líquida, concentrada ya que son mayores al mínimo de ED 20 según el Código Alimentario, Artículo 778 - (Dec. 1013, 29.3.74).

Se considera que los jarabes obtenidos son sustancias naturales, que provienen de componente polisacárido de residuos de cáscaras de naranja y cáscaras de papa, tienen alto poder edulcorante ya que se adhieren a los alimentos aportando gran cantidad de azúcar, gracias a sus altos contenidos de ED pueden ser empleados en la industria alimentaria como confitería, panadería, elaboración de helados.

## **8. RECOMENDACIONES.**

De las cáscaras de naranja se obtiene pectina aparte del componente lignocelulósico, la pectina presente en las cascaras de naranja afecto los resultados de los tratamientos, por lo tanto se debe generar dentro de la hidrólisis química la degradación de este componente para obtención de glucosa en los jarabes.

Ajustar los protocolos de hidrólisis química para eliminación de la lignina.

Realizar seguimiento de formación de compuestos tóxicos como furfurales, HMF y ácido acético, que pueden actuar como contaminantes de los jarabes azucarados.

Realizar procesos de clarificación, purificación, filtración y ultrafiltración a los jarabes obtenidos para continuar con futuras investigaciones de caracterización, aplicación como auxiliares tecnológicos y evaluación del comportamiento en sistemas alimentarios (reología y propiedades funcionales).

Proponer un proceso más limpio de hidrólisis (hidrólisis enzimática), ya que a pesar que se usa ácido sulfúrico diluido, las altas temperaturas y tiempos de exposición no dejan de generar corrosión en los equipos y formación de inhibidores de crecimiento.

Desarrollar modelos cinéticos para evaluar la optimización y viabilidad económica de la hidrólisis química sobre los residuos de cáscara de naranja y papa, como lo propone en su investigación Gámez *et al*, (2006).

## 9. REFERENCIAS

- Acevedo Berger , V., & Ramirez Diaz, D. M. (2001). Analisis tecnico y economico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (*Citrus sinensis*). *Universidad de san Buenaventura Cali*, 12-75.
- Alvarez Castillo, A., Salgado Delgado, R., Garcia Hernandez, E., Dominguez, M., Granados, J., Aguirre Cruz, A. Mendoza Martinez, A. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de Polimeros*, 140-150.
- Alvis, A., Vélez, C., Villada, H., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Informacion Tecnologica*, 19-28.
- Apiario los Citricos. (29 de Diciembre de 2010). <http://www.apiarioloscitricos.com>. Recuperado el 2013 de Febrero de 26, de [http://www.apiarioloscitricos.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=67:cristalizacion-de-la-miel&catid=37:apinoticias&Itemid=56](http://www.apiarioloscitricos.com/index.php?option=com_content&view=article&id=67:cristalizacion-de-la-miel&catid=37:apinoticias&Itemid=56)
- Arapoglou, D., Varzakas, T., Vlyssides, A., & Israilides, C. (2010). La producción de etanol a partir de piel de patata de residuos. *Gestion de residuos*, 1898-1902.
- Armenta, E. I., & Rodriguez, C. (2004). Diseño construcción y montaje de dos bio-reactores para una planta a escala piloto destinada a la producción de jarabes de glucosa. *Proyecto de grado, Facultad de Ingenieria Mecanica, Universidad Nacional de Santander*, 1-178.
- Bahcegul , E., Toraman, H. E., Ozkan, N., & Bakir, U. (2011). Evaluación de la temperatura de tratamiento previo alcalino sobre una base multi-producto para la co-producción de películas de glucosa y la hemicelulosa basados a partir de biomasa lignocelulósica. *Bioresource Technology*, 440–445.
- Barroso Casillas, M. (2010). Pretratamiento de biomasa celulósica para la obtencion de etanol en el marco de una biorrefineria. *Universidad Politécnica de Madrid; Escuela Universitaria de Ingenieria Tecnica Forestal*, 1-112.

- Bian, J., Peng, F., Xu, F., Cang Sun, R., & Kennedy, J. (2010). Fracciones de aislamiento y la caracterización estructural de las hemicelulosas de *Caragana korshinskii*. *Carbohydrate Polymers*, 753-760.
- Cardona, C. A. (2004). Biodegradación de residuos orgánicos en plazas de mercado. *Revista colombiana de biotecnología, Vol VI. No 2.* , 78-89.
- Castellanos Dominguez, O. F., Cruz Guerrero, G. T., Gonzales, G., & Renteria Ayala, A. Y. (2004). Alternativas para clarificación del jarabe de glucosa obtenido por hidrólisis enzimática del almidón. *Ingeniería de Investigación*, 8-21.
- Cerón Salazar, I., & Cardona Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 65-86.
- Chávez Paez, D. E. (2002). Elaboracion de jarabe de glucosa partiendo del almidon de camote (*Ipomoea batata*L.). *Zamorano*, 1-36.
- Chávez Torres, J. R. (2011). Hidrólisis de polisacáridos. *Manual del laboratorio de Bioquímica, "Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo"*, 9-17.
- Chávez Torres, J., Ríos Chávez, P., & Mendoza Olivares, R. S. (2011). Hidrólisis de polisacáridos. *Manual del laboratorio de Bioquímica, "universidad michoacana de san nicolas de hidalgo"*, 22-37.
- Chiaramonti, D., Prussi, M., Ferrero, S., Oriani, L., Ottonello, P., Torre, P., & Cherchi, F. (2012). Revisión de los procesos de pre-tratamiento para la producción de etanol lignocelulósico, y el desarrollo de un método innovador. *Bio mass and Bio energy*, 1-11.
- Cruz Ruiz, K. A. (2012). Modelado del proceso de hidrólisis enzimática de almidones gelatinizados del fruto de la planta de banano. *Grupo de Investigación de Bioprocesos y Flujos Reactivos (BIO-FR)*, 1-78.
- CODEX STAN. (1999). Norma del codex para los azúcares. 1-5.
- CODEX Codigo Alimentario. (Artículo 778 - (Dec 1013, 29.3.74)). Alimentos azucarados. *Capitulo X*, 1-5.
- CORPOICA. (03 de 12 de 2009). *Corpoica.org.co*. Obtenido de [http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Noticias/vernoticia.asp?id\\_noticia=978](http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Noticias/vernoticia.asp?id_noticia=978)

- Davies, C., Ferreyra, M., Schwab, M., Gerard, L., Zapata, L., & Hours, R. (2009). Fermentación alcohólica de jugo de naranja con *S. Cerevisiae*. *Facultad de ciencias de la alimentación*, 143-157.
- Díaz García, A., Ricardo, L., Zaldiv, B., & Suárez, G. (2003). Análisis de la viscosidad de la glucosa cubana de la fábrica de hidrolizados de almidón de cienfuegos. *Tecnología Química*, 12-18.
- Domínguez Domínguez, M. M., Álvarez Castillo, A., Castrejón Rosales, T., Granados Baeza, M. J., Hernández Campos, F. J., Alcalá Octaviano, V., & Tapia Picazo, J. C. (2011). Estudio de la cinética de la hidrólisis ácida del bagazo de caña de azúcar sin pre tratamiento para la obtención de azúcares reductores. *Departamento de Ingeniería Química y Bioquímica*, 153-159.
- Echavarría-Almeida, S., & Velasco-González, O. (2012). Edulcorantes utilizados en alimentos. *Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional*, 1-8.
- Espinosa Cajas, F. J. (2013). Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad musa paradisiaca. *Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química*, 1-87.
- Galanakis, C. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Food Science y Technology*, 68-87.
- García Garibay, M., Quintero Ramírez, R., & Munguía, A. L. (2004). Biología alimentaria "edulcorantes". *LIMUSA Noriega Editores*, 519-550.
- Gil-Horan, R. E., Domínguez-Espinosa, R. M., & Pacho-Carrillo, J. D. (2008). Bioproducción de ácido láctico a partir de residuos de cáscara de naranja: procesos de separación y purificación. *Tecnol. Ciencia*, 79-90.
- Gómez, P. P. (1994). Edulcorantes naturales y derivados. *Conferencia pronunciada en el Curso sobre Alimentos de Origen Vegetal*, 66-109.
- Gregg, D., Boussaid, A., & Saddler, J. (1997). Evaluaciones tecno-económicas de un proceso de etanol genérico de madera reciclada: efecto del aumento de la enzima y rendimientos de celulosa. *Bioresource Technology*, 7-12.
- Grimson, M., Haigler, C., & Blanton, R. (1996). Microfibrillas de celulosa, motilidad celular, y proteínas de la membrana plasmática cambio organizacional en paralelo durante



culminación en *Dictyostelium discoideum*. *Department of Biological Sciences, Texas Tech University*, 3079-3087.

Grohmann, K., Cameron, R., & Buslig, B. (1995). Fraccionamiento y tratamiento previo de cáscara de naranja por hidrólisis ácida diluida. 129-141.

Guevara, C., Arenas, H., Mejía, A., & Peláez, C. (2012). Obtención de etanol y biogás a partir de banano de rechazo. *Universidad de Antioquia, Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares (GIEM)*, 19-29.

Guevara Lozano, A., & Marulanda Molina, A. F. (2012). Evaluación de la factibilidad de producción de etanol a partir de los desechos de musáceas (plátano y banano) comerciales. *Universidad de San Buenaventura*, 1-57.

Hamelinck, C., Hooijdonk, G., & Faaij, A. (2004). El etanol a partir de biomasa lignocelulósica: rendimiento tecno-económico a corto, medio y largo plazo. *Biomass and Bioenergy*, 384-410.

Ian P. Wood, A. E. (2012). Rápida cuantificación de azúcares reductores en la biomasa, hidrolizados: Mejora de la velocidad y la precisión del ensayo de ácido dinitrosalicílico. *biomass and bioenergy 44 (2012)*, 117-121.

Jaramillo Henao, G., & Zapata Márquez, L. M. (2008). aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. *Monografía de Especialistas en Gestión Ambiental*. Medellín, Antioquia-Colombia.

Jiayang Cheng, Y. (2002). Hydrolysis revision lignocellulosic materials for ethanol production. *Bioresource Technology*, 1-11.

Jimenez Martin, P. (2012). Reciclando la materia orgánica: Biometanización y compostaje. *Moleola, Revista de química de la Universidad Pablo de Olavide*, 24-26.

Mahmood, A., Greenman, J., & Scragg, A. (1998). Extractos de cáscaras de naranja y papa: Análisis y producción del uso de enzimas en cultivo extracelulares de *Bacillus* continuo como sustratos. *Elsevier Science Inc.*, 130-137.

Marcano, E., Padilla, A., & Calderón, D. (17 de Julio de 2010). Obtención de azúcares a partir de Celulosa kraft mediante hidrólisis con Ácido sulfúrico diluido. *Agricultura Andina*, págs. 33-42.

Martín-Viaña, N. d., García Peña, C. M., Menéndez, A. B., Salomón, S., & González Sanabria, M. L. (2011). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 267-278.

- Mejia Giraldo, L. F., Martinez Correa, H. A., Betancourt Gutierrez, J. E., & Castrillon Castaño, C. E. (2007). Aprovechamiento de Residuo agroindustrial del mango comun (*Mangifera indica* L.) en la obtencion de azúcares fermentables. *Ingenieria y Ciencia*, ISSN 1794-9165, Volumen 3, numero 6, Diciembre de 2007, pag. 41-62.
- Molina, L., Franco, L., Lemus, B., & Morales, F. (2012). Obtencion de jarabe rico en glucosa y fructosa a partir de jugo de caña de sorgo dulce. *Universidad del Valle de Guatemala, Grupo Sorgo*. Obtenido de <http://prezi.com/age43qzjsa8/obtencion-de-jarabe-rico-en-glucosa-y-fructosa-a-partir-de-jugo-de-cana-de-sorgo-dulce/>
- Monsalve G., J., Medina de Perez, V. I., & Ruiz Colorado, A. A. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Revista de la Facultad de minas DYNA. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*, Vol 73. No 150, 21-27.
- Mussatto, S., Dragone, G., Fernandes, M., Rocha, G., & Roberto, I. (2006). Efecto de los tratamientos de hidrólisis ácida e hidrólisis alcalina en la estructura del bagazo de malta para liberación de fibras de celulosa. *Escola de Engenharia de Lorena – Departamento de Biotecnologia*, 1-10.
- Navarro, M. (2012). *Aspectos Bromatológicos y toxicológicos de los edulcorantes*. Recuperado el 24 de Febrero de 2013, de [http://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=kjhUmrnxnS38C&oi=fnd&pg=PA475&dq=el+poder+de+los+edulcorantes&ots=iOK0npY91o&sig=oBxkWFh\\_lOtzXNY6VqIBKbK879U&redir\\_esc=y#v=onepage&q=el%20poder%20de%20los%20edulcorantes&f=false](http://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=kjhUmrnxnS38C&oi=fnd&pg=PA475&dq=el+poder+de+los+edulcorantes&ots=iOK0npY91o&sig=oBxkWFh_lOtzXNY6VqIBKbK879U&redir_esc=y#v=onepage&q=el%20poder%20de%20los%20edulcorantes&f=false)
- Norma técnica colombiana NTC 4355. (1998). Azúcar. Metodo para determinar el contenido de azúcares reductores en azúcar blanco y en azúcar refinado por el metodo Knigth y Allen. *INCONTEC*, 1-4.
- Paneque, D. (2011). Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en Chile. *Organizacion de las Naciones Unidas pra la Alimentacion y la Agricultura*, 3-89.
- Pérez, LA. Hernández, S Sanchez. Moren, ED. Vazquez, JF. Laboratorio de escala de maltodextrina y jarabe de glucosa de almidon de platanos. 2002. (En línea). Consultado el 18 de agosto del 2010. Disponible en: [http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-55042002000100008&lng=es&nrm=iso](http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-55042002000100008&lng=es&nrm=iso)
- Pertuz Cruz, S. L. (2012). La papa (*Solanum Tuberosum* L), Composición química y valor nutricional del tubérculo. *Instituto de Estudios Ambientales IDEA*, 1-5.

- Quintero Ramírez, R. (12 de Marzo de 2008). Uso de Biomasa: Hidrólisis Paso fundamental. *Unidad Cuajimalpa*, págs. 1-57.
- Quintero Suárez, J. A. (2008). *Deshidratación de etanol con materiales adsorbentes de origen amiláceo y celulósico*. Manizales.
- Rincón , A., Vásquez, A., & Padilla, F. (2005). Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 1-8.
- Riquelme Gyimesy, L. F. (2010). Desarrollo por ultrafiltración de un concentrado proteico a partir de lactosuero. *Programa interfacultades, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1-48.
- Rodriguez Reinoso, C. E. (2011). Estudio comparativo entre los métodos de hidrólisis ácida y enzimática de banano (musa cavendish) para la obtención de jarabe de glucosa. *Colegio de Agricultura, Alimentos y Nutricion*, 1-39.
- Ruiz Camacho, M. I. (2009). Obtencion de jarabes de glucosa a partir de almidon de yuca por medio de hidrólisis enzimatica para ser usados como sustrato en la produccion de bioetanol. *Universidad Industrial de Santander*, 2-81.
- Salcedo Mendoza , J., Galán López , J., & Pardo Flórez , L. M. (2012). Hidrólisis enzimática de residuos de la cosecha de caña de azúcar. *rev. colomb. biotecnol .vol. XIV No 1*, 171-181.
- Salazar Chamba, M. L., & Villares Dorado, J. E. (2012). Obtención de biogás y biofertilizante a partir de la fermentación de desechos orgánicos domésticos de la ciudad de Guaranda. *facultad de ciencias agropecuarias recursos naturales y del ambiente*, 4-130.
- Salcedo, J., Montes, E., Zapata, J., Márquez, D., & Diaz A, M. (2009). Obtención de jarabes de fructosa a partir de Hidrolizados enzimáticos de almidón de ñame (*Dioscorea alata* y *Dioscorea rotundata*). *VITAE, revista de la facultad de química farmacéutica*, 243-251.
- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro. *Biotecnología y Bio ingeniería A.C.*, 14-46.
- Suárez Agudelo, J. M. (2012). Aprovechamiento de los residuos sólidos provenientes del beneficio del café, en el municipio de betania antioquia: usos y aplicaciones. *Corporacion Universitaria la Sallista, Facultad de Ingenierias.*, 12-56.
- Subovsky, M. J., Sosa López, A., Castillo, A., & Cano, N. (2012). Evaluación del contenido de hidroximetilfurfural en mieles del NEA. *Facultad de Cs. Agrarias - UNNE.*, 1-3.

- Tejada Benitez, L. (GIPIQ). Obtencion de acido polilacticos a partir de la glucosa extraida de cáscaras de piña y naranja (*Ananás sativus*, *Citrus sinensis* Osbeck). *Encunetro institucional Semilleros de Investigacion*.
- Tejada, L., Tejada, C., Villabona, A., Alvear, M., Castillo, C., Henao, D., . . . Taron, A. (2010). Produccion de bioetanol a partir de la fermnatacion alcoholica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Educacion en Ingenieria*, 121-125.
- Tejeda, L., Quintana, J., Pérez, J., & Young, H. (2011). Obtención de etanol a partir de residuos de poda, mediante hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 111-116.
- Universidad de Guadalajara . (2008). *Lignina y sus derivados*. Obtenido de <http://www.docstoc.com/docs/3180749/LIGNINA-Y-SUS-DERIVADOS---DOC>
- Wikipedia. (7 de Agosto de 2013). *Licencia Creative Commons Atribución Compartir Igual 3.0*. Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Enlace\\_glucos%C3%ADdico](http://es.wikipedia.org/wiki/Enlace_glucos%C3%ADdico)
- Wood, I., Adam Elñiston A., Ryden, P., Bancroft, I., Roberts, I., Waldron, K. (2012). Rapid quantification of reducing sugars in biomass hydrolysates: Improving the speed and precision of the dinitrosalicylic acid assay . *Biomass and Bioenergy*, 44, 117-121.
- Xian Zhu, G., & Xueliang Wan, Q. (2011). Recuperacion de residuos de biomasa por hidrólisis en agua critica. *Resources, Conservation and Recycling*, 409-416.
- Zhou, N., Zhang, Y., Wu, X., Gong, X., & Wang, Q. (2011). Hydrolysis of Chlorella biomass for fermentable sugars in the presence of HCl and MgCl<sub>2</sub>. *Bioresource Technology*, 102, 10150-10161

## ANEXOS

### ANEXO 1. PROTOCOLOS DE LABORATORIO PARA LA CARACTERIZACIÓN MATERIA PRIMA

#### 1.1. DETERMINACION DE HUMEDAD Y MATERIA SECA (AOAC, 1990)/ 964.22.

**Materiales:** Crisoles o cápsulas de porcelana: se deben desecar a 100°C x2h, tomar con pinzas de crisol y registrar el peso vacío.

**Procedimiento:** Para la determinación de la humedad se pesan aproximadamente 5.0 g de muestra en una balanza de precisión dentro de una cápsula previamente tarada, desecándose a 110°C en estufa, hasta alcanzar un peso constante. La pérdida de peso se considera como el contenido de humedad y el residuo desecado del alimento se considera la materia seca. Los resultados obtenidos se expresan porcentualmente.

#### **Cálculos:**

$$\%H = (\text{gramos de agua}/b)*100$$

Donde b la masa (g) de la muestra tomada para el análisis

$$\text{Gramos de agua} = m(\text{alimentos})_{\text{inicial}} - m(\text{alimentos})_{\text{seco}}$$

Porcentaje de Materia Seca:

$$\%MS = m(\text{alimentos})_{\text{seco}}*100/b$$

#### 1.2. DETERMINACION DE GRASA (AOAC 1990/ 920.39)

##### **Materiales**

- Equipo de extracción Soxhlet
- N-hexano
- Papel filtro
- Balanza
- horno

**Procedimiento:** Para la determinación de grasa, por este método, se debe usar muestras deshidratadas. El solvente orgánico, por ebullición, asciende a la parte superior del extractor del equipo soxhlet. Allí se condensa por refrigeración con agua y cae sobre la muestra, regresando posteriormente al matraz por sifón, arrastrando consigo la grasa.

- Pesar el papel filtro, pesar 5 gramos de grasa, colocarlas en el papel filtro.
- Colocar la muestra en el extractor del equipo soxhlet.
- En el balón agregar 250 ml de n-hexano, previamente se ha pesado.
- Calentar suavemente hasta 68-70°C
- El solvente se evapora y luego se condensa y cae sobre la muestra
- Cuando el extractor se llene de n-hexano, retornará al balón, es un primer ciclo o sifón.
- Realizar 4 ciclos, aproximadamente 4 horas.
- Realizar una destilación simple para separar el solvente de la grasa
- Evaporar el residuo de n-hexano en estufa y pesar el balón.

Cálculos:

$$\% \text{grasa} = \frac{\text{peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz vacío}}{\text{Gramos de muestra}} * 100$$

### 1.3. DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN MÉTODO VON ASBOTH (Quintero, J., 2008).

**Materiales:** Balones aforados de 125 ml, Estufas, Morteros, Probetas, Agitadores, Vasos de precipitado de 100 ml, Buretas

#### Reactivos

Hidróxido de bario libre de carbonatos.

HCl 0.1 Valorado

Fenolftaleína

Etanol al 45%

#### Procedimiento

1. Preparar una solución de hidróxido de bario así: 0.05 M 60 ml en agua destilada hervida y fría. Pesar el soluto a la mayor brevedad, para evitar contaminación por carbonatos. Pesar para 60 ml 0.945 gramos y diluirlos en 60 ml.
2. Tomar 25 ml de hidróxido de bario y valorarla con HCL 0.1N (verificado). Este será el volumen del blanco: tomar los 25 ml de hidróxido de bario en un vaso de

precipitado y adicionarles 5 gotas de fenolftaleína. en una bureta, colocar HCl 0.1 N, y titular gota a gota a hasta que desaparezca el color. Anotar le volumen de ácido gastado.

3. En un mortero pesar 1.5 gramos de muestra desengrasada, triturar con la adición de pequeñas porciones sucesivas de agua hirviente hasta completar un volumen de 50 ml.
4. Calentar durante 30 minutos en un baño María hirviente con agitación intermitente toda la solución anterior.
5. Dejar enfriar, añadir 25 ml de solución valorada de hidróxido de bario y agitar durante dos minutos.
6. Dejar en reposo 10 minutos hasta obtener sedimentación,
7. Adicionar 50 ml etanol al 45% hasta para un volumen total 125 ml
8. Si el líquido sobrenadante no es claro se debe filtrar con lana de vidrio contenida en un tubo.
9. Tomar 25 ml de filtrado claro y titular el exceso de hidróxido de bario con ácido clorhídrico 0.1 N y fenolftaleína como indicador; el volumen de ácido consumido será el volumen requerido para la muestra. Realizar cálculo para determinar el porcentaje de almidón.

#### - CÁLCULOS

Cálculo para determinar el porcentaje de almidón en la muestra analizada.

$$\% \text{Almidón} = \frac{(V \text{ Blanco} - V \text{ Muestra}) \times N \text{ Acido} \times 401,16}{M \text{ Muestra} \times 10}$$

El resultado se da en gramos de almidón por cada 100 gramos de residuo seco.

#### 1.4. DETERMINACIÓN DE CELULOSA (Mussatto *et al.* 2006).

**Materiales:** Vasos de precipitado, Agitadores de vidrio, Probetas, Autoclave, Centrifuga, pH metro, bomba al vacío, estufa, balanza.

##### **Reactivos**

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado
- NaOH al 2%

**Procedimiento:** Este procedimiento tiene como objetivo la liberación de la celulosa del material vegetal.

##### **Hidrólisis ácida:**

100 mg de ácido/g de material seco; una relación sólido: líquido de 1:8 g: g,  
Prepara una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> así: para 5 gramos de muestra: 0.27 ml y llevarlos 40 ml de agua por muestra.

Tomar 5 grs de material vegetal deshidratado en polvo.

Agitar hasta total impregnación

Colocar en autoclave por 120°C durante 17 minutos.

Centrifugar para separar el material sólido

Reservar el material sólido.

### **Hidrólisis Básica:**

Adicionar sobre la muestra de la hidrólisis ácida 100 ml de NaOH al 2%

Agitar hasta total impregnación

Colocar en autoclave por 120°C durante 90 minutos.

Elaborar filtros en lana de vidrio, desecarlos y pesarlos (se prefiere filtros tejido 100% poliéster).

Filtrar en lana de vidrio en bomba al vacío

Tomar pH del sólido

Lavar con agua destilada hasta pH neutro.

Secar en estufa hasta 50°C hasta alcanzar 50% de humedad.

Determinar el contenido de celulosa por pérdida de peso.

## **1.5. DETERMINACION DE AZÚCARES REDUCTORES POR EL MÉTODO DE DNS 3,5-ÁCIDO DINITROSALISILICO (Miller, G. 1959).**

### **Reactivos**

100 ml de solución de hidróxido de calcio 5%.

1000 ml de agua destilada hirviendo

1.25 grs de DNS

37.5 grs de tartrato de sodio y potasio

2 gramos de NaOH y disolverlos en 125 ml de agua destilada

100 ml Patrón de glucosa 1.0 g/L

Muestras problema

Papel milimetrado

### **Preparación de reactivos:**

**Preparación reactivo DNS (hacerlo en la oscuridad):** Preparar una solución de NaOH (2 gramos de NaOH y disolverlos en 125 ml de agua destilada) y adicionar 1.25 grs de DNS + 37.5 grs de tartrato de sodio y potasio, disolver delicadamente hasta completa disolución.



En un balón aforado de 250 ml, verter lentamente y con agua destilada aforar hasta la marca. Mezclar bien y envasar el reactivo en un frasco oscuro ámbar. Marcar con el nombre, fecha de elaboración. Dejar almacenado en la oscuridad.

**Preparación patrón de glucosa:** En un balón aforado, preparar 100 ml de un patrón de glucosa 1g/L. Pesar la cantidad requerida y almacenar en refrigeración, Marcar con el nombre, fecha de elaboración.

**Procedimiento:**

**Elaboración de la curva patrón**

A partir de la solución de 1 g/L de glucosa se preparan 7 tubos con diferentes concentraciones, tal como se indica en la tabla 1: Previamente se debe tener agua en ebullición para el baño maría.

Se debe presentar de la siguiente forma:

Tubo	Abs 1	Abs 2	Promedio de Abs	Concentración de glucosa (mg/L)*
0 (blanco)				
1...				

tubo	ml de solución de glucosa a 1 g/L	ml agua destilada	Volumen final (ml)	De cada tubo del Volumen final tomar: Se recomienda hacerlo por duplicado	ml de DNS	Tapar los tubos con papel aluminio. Calentamiento a 100°C * 5 min+ baño de hielo.	10 ml Agua destilada +agitar completamente.	Dejar en reposo 15 min y leer a 540 nm como longitud de onda.
0 (blanco)	0	10	10	1 ml	1 ml +agitar completamente.			
1	1.5	8.5	10	1 ml	1 ml +agitar completamente.			
2	2	8	10	1 ml	1 ml +agitar completamente.			
3	3	7	10	1 ml	1 ml +agitar completamente.			

4	5	5	10	1 ml	1 ml +agitar completamente.			
5	7	3	10	1 ml	1 ml +agitar completamente.			
6	8	2	10	1 ml	1 ml +agitar completamente.			
7	10	0	10	1 ml	1 ml +agitar completamente.			

**Concentración de glucosa (mg/L):** Se debe calcular la concentración de glucosa que hay en los tubos 1 al 6, teniendo en cuenta que parte de 100 ml a 1g/L d glucosa, además se debe tener en cuenta que los tubos del 1-6 se diluyen a 10 ml con agua destilada .

Una vez determinada la concentración de glucosa en cada tubo, se debe graficar en Excel usando el gráfico de dispersión (y la ecuación de la recta), los siguientes valores:

tubo	Concentración de glucosa (mg/L)* Eje X	Promedio de Abs Eje y.

La ecuación generada es la que se usa para determinar la concentración de azúcares reductores en las muestras problema, así:

$$Y = a \cdot x + b$$

Dónde:

Y= las absorbancias de la muestra problema.

a= pendiente de la recta, se obtiene de la recta (3,2255)

b= es el corte en el eje y, se obtiene de la recta (0,00209)

x= es la concentración de azúcares reductores de la muestra expresada en mg/L.

### **Determinación de azúcares reductores en la materia prima:**

**Preparación de la muestra:** Determinar el tamaño de la partícula de la muestra.

En frascos limpios, secos y bien identificados pesar 100 grs de material deshidratado y molido: N100%, P100%, N25P75, N50P50, N75P25, mezclar bien, tapar y almacenar en un lugar fresco y libre de la luz.

**Extracción de azúcares:** Alistar la siguiente secuencia de Erlenmeyers de 100 o 150 ml y adicionar en cada uno de ellos 5 gramos de muestra:

Replica	N100%,	P100%,	P100%,	N25P75	N50P50,	N75P25,
R1	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos
R2	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos
R3	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos
R4	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos	5 gramos

A cada uno de los Erlenmeyers

- Agregar a cada Erlenmeyer poco a poco agua destilada hirviendo. Agitar y volver a adicionar agua hirviendo.
- Filtrar en tela
- Clarificar y purificar el filtrado: adicionar lentamente una solución fresca de Hidróxido de calcio hasta obtener un pH de 8-8.5.
- Calentar a ebullición con suave y continua agitación
- Dejar enfriar, sedimentar y filtrar al vacío. Al residuo final lavar con 10 ml de agua destilada caliente.
- El filtrado obtenido de cada replica, se le determinará la cantidad de azúcares reductores así:

Recuerde que se debe realizar un blanco (1 ml de agua destilada + 1 ml de DNS) y se somete a lo demás tratamientos.

15 min y leer a 540 nm como	Tomar del filtrado	ml de DNS	Tapar los tubos con papel aluminio. Calentamiento a 100°C * 5 min+ baño de hielo.  10 ml Agua destilada +agitar completamente.  Dejar en reposo 15 min y leer a 540 nm como longitud de onda.
R1	1ml	1 ml +agitar completamente.	
R2	1ml	1 ml +agitar completamente.	
R3	1ml	1 ml +agitar completamente.	
R4	1ml	1 ml +agitar completamente.	

**Presentación de resultados:** Presentarlos de la siguiente forma: Usar el formato del anexo de Excel para el registro de laboratorio. Presentar los datos en forma tabulada y el análisis de los mismos según el estado del arte consultado (Artículos científicos). Anexar fotografías.

## **ANEXO 2. PROTOCOLO HIDRÓLISIS QUÍMICA** (Monsalve, *et al.*, 2006 y Sun, *et al.*, (2002))

### **Materiales**

Erlenmeyer 100 ml o 150 ml

Pipetas

Probeta 100 ml

Agitadores de vidrio

Autoclave

Centrifuga

Balanza

Vidrio reloj

Espátula

Vasos de vidrio 600 ml

Material de vidrio empleado en el protocolo de Azúcares Reductores por el método del ácido 3,5- Dinitrosalicílico (DNS).

### **Reactivos**

Solución de NaOH al 0.1 N (2000ml o 2 L)

Solución de NaOH al 5 N (500 ml)

CaSO<sub>4</sub> (Sulfato de Calcio).

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5% y 20% (200 ml de cada uno)

Reactivos del protocolo de Azúcares Reductores por el método del ácido 3,5- Dinitrosalicílico (DNS).

**Procedimiento:** Se realiza mediante dos etapas:

### **Etapas 1: Eliminación de lignina**

Tomar 5 grs de material vegetal deshidratado en polvo. Tomar pH.

En un Erlenmeyer sumergir totalmente la muestra con NaOH 0.1 N por 15 minutos (aproximadamente 97,5 ml de base por replica).

Adicionar a cada muestra 0.816 grs de CaSO<sub>4</sub> (Sulfato de Calcio). Disolver hasta verificar que se disuelve. Dejar en reposo 3 horas.

Separar en un embudo de decantación, colocando lana de vidrio para evitar que se tapone la salida del embudo. (No filtrar en papel filtro).

Eliminar el líquido resultante, es la lignina separada.

Recoger el sólido y trabajar la etapa 2.

### **Etapas 2: Hidrólisis ácida de la celulosa**

Adicionar sobre el sólido la concentración de ácido correspondiente, de acuerdo a la siguiente relación:

Por cada 100 gramos de muestra adicionar 50 ml de ácido sulfúrico (5%):2.5 ml por replica.

Colocar la muestra en la autoclave a 1 atm (15 Psi), 125°C y 15 minutos.

Dejar enfriar

Centrifugar para separar el jarabe (sobrenadante o líquido).

Tomar pH del jarabe.

Neutralizar al pH de la materia prima con NaOH 5 N.

Aplicar el protocolo para la determinación de Azúcares Reductores por el método del ácido 3,5- Dinitrosalicílico (DNS).

Se pueden dejar en refrigeración a 8°C, para la posterior utilización.

### **Etapa 3: Hidrólisis del almidón**

Tomar el precipitado del centrifugado de la etapa 2.

Preparar una solución de ácido sulfúrico al 20%.

Adicionar a cada muestra la cantidad de ácido hasta que el pH este entre 1.0-2.0

Levar a ebullición a baño María y con varilla de vidrio por 6 horas con agitación permanente.

Filtrar al vacío el hidrolizado del bagazo

Neutralizar con NaOH al 5N

Mezclar los filtrados (etapa 2).

Aplicar el protocolo para la determinación de Azúcares Reductores por el método del ácido 3,5- Dinitrosalicílico (DNS).

Se pueden dejar en refrigeración a 8°C, para la posterior utilización.

**ANEXO 3.**  
**MATRIZ Y DATOS DEL EXPERIMENTO CARACTERIZACIÓN QUÍMICA**

TRATAMIENTO	REPLICAS	Parámetro							
		%H base humedad	%H base seca	%MS ( materia seca)	CELULOSA (g/100 gramos de residuo seco)	AZÚCARES REDUCTORES (g/gramos de residuo seco)	pH	% ALMIDON ( gramos/100 gramos residuo seco)	GRASA (% extracto etéreo).
N100	R1	74,0467	5,6438	24,9280	11,6440	17,1892	4,5000	0,5349	2,3200
	R2	74,1800	5,2285	24,9200	10,7560	22,9675	4,5000	1,2035	1,2600
	R3	74,6333	5,7424	24,3956	12,0200	20,2506	4,5000	1,0698	1,7800
	R4	74,2533	6,3180	24,6622	12,1200	16,6988	4,5000	0,8023	0,9200
P100	R1	81,7867	2,2969	17,9743	1,2967	0,3070	5,6000	59,1042	0,4400
	R2	83,2600	1,6129	16,5857	1,0100	0,8791	5,6000	58,8368	1,3600
	R3	81,2600	2,1878	18,5057	1,7514	0,9586	5,6000	61,5112	0,6400
	R4	82,6067	1,8398	17,2333	1,7171	0,8835	5,6000	60,9763	0,6800
N25P75	R1	78,9800	1,8649	20,7400	5,9120	8,4157	5,1000	44,3282	0,8000
	R2	78,9800	1,5858	20,8200	3,9182	5,7783	5,1000	44,1276	0,1400
	R3	80,3700	1,4162	19,4314	3,2700	5,0096	5,1000	46,1334	1,2000
	R4	79,5800	1,6650	20,2160	2,4240	5,5928	5,1000	45,7322	1,0600
N50P50	R1	76,3867	1,5528	23,4300	9,4143	7,1036	4,8000	29,5521	0,9200
	R2	76,7800	1,3494	23,0633	10,3800	7,5410	4,8000	29,4184	1,2600
	R3	76,5667	1,5249	23,2100	9,0067	4,6386	4,8000	30,7556	1,0600

	R4	75,8467	1,6561	23,9533	9,3800	6,8054	4,8000	30,4882	1,6800
<b>N75P25</b>	R1	72,4467	2,1824	27,1800	10,9480	14,9627	4,6000	14,7761	0,6400
	R2	73,3733	1,9887	26,2660	11,5480	18,0970	4,6000	14,7092	0,9800
	R3	72,4467	2,1824	27,1775	11,2520	15,7777	4,6000	15,3778	0,7800
	R4	73,3733	1,9887	26,2560	11,1160	18,6669	4,6000	15,2441	0,9800



**ANEXO 4.**  
**RESUMEN ESTADISTICO CARACTERIZACIÓN QUIMICA**

<b>Resumen estadístico de las propiedades de la cáscara de naranja (N100) utilizada en el experimento</b>								
Estadístico	% de humedad en base húmeda	% de humedad en base seca	% de materia seca	% de celulosa	% de azúcar reductora	pH	% de almidón	% de grasa
Media	74,278	5,733	24,726	11,635	19,277	4,5	0,90262	1,5700
Mediana	74,217	5,693	24,791	11,832	18,720	.	0,9360	1,5200
Moda	74,047 <sup>a</sup>	5,229 <sup>a</sup>	24,396 <sup>a</sup>	10,756 <sup>a</sup>	16,699 <sup>a</sup>	.	*	*
Desv. típ.	0,252	0,449	0,253	,621	2,920	.	0,2965	0,6124
C. de variación	0,338	7,831	1,022	5,335	15,146	.	32,849	39,006
Asimetría	1,311	0,521	-0,869	-1,416	0,669	.	-0,481	0,368
Curtosis	2,172	1,420	-1,207	1,633	-2,049	.	-1,701	-1,508
a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores. * No registra moda.								

<b>Resumen estadístico de las propiedades de la cáscara de papa (P100) utilizada en el experimento</b>								
Estadístico	% de humedad en base húmeda	% de humedad en base seca	% de materia seca	% de celulosa	% de azúcar reductora	pH	% de almidón	% de grasa
Media	82,228	1,984	17,575	1,444	0,757	5,6	60,107	0,780
Mediana	82,197	2,014	17,604	1,507	0,881	5,6	60,040	0,666

Moda	81,26 <sup>a</sup>	1,613 <sup>a</sup>	16,5857 <sup>a</sup>	1,010 <sup>a</sup>	0,307 <sup>a</sup>	5,6	*	*
Desv. típ.	0,883	0,315	0,841	0,355	0,302	0,0	1,3349	0,4006
C. de variación	1,074	15,881	4,784	24,623	39,922	0,0	2,221	51,359
Asimetría	0,153	-0,326	-0,153	-0,524	-1,911		0,103	1,576
Curtosis	-2,158	-3,116	-1,850	-2,979	3,737		-5,027	2,928

Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

\* No registra moda.

<b>Resumen estadístico de las propiedades de la mezcla de cáscara de naranja al 25% y cáscara de papa al 75% (N25P75) utilizada en el experimento</b>								
Estadístico	% de humedad en base húmeda	% de humedad en base seca	% de materia seca	% de celulosa	% de azúcar reductora	pH	% de almidón	% de grasa
Media	79,477	1,633	20,302	3,881	6,199	5,100	45,080	0,800
Mediana	79,280	1,625	20,478	3,594	5,685	5,100	45,030	0,930
Moda	78,980	1,416 <sup>a</sup>	19,431 <sup>a</sup>	2,424 <sup>a</sup>	5,009 <sup>a</sup>	5,1	*	*
Desv. típ.	0659	,1863	0,639	1,486	1,514	0,0	1,001	0,4501
C. d variación	0.828	11.404	3.148	38,829	24.420	0.0	2,220	56,263
Asimetría	1,086	0,229	-1,116	1,028	1,713		0,103	-1,321
Curtosis	-0,103	0,657	0,144	1,316	3,209		-5,027	1,500

Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

\* No registra moda.

<b>Resumen estadístico de las propiedades de la mezcla de cáscara de naranja al 50% y cáscara de papa al 50% (N50P50) utilizada en el experimento</b>								
Estadístico	% de humedad en base húmeda	% de humedad en base seca	% de materia seca	% de celulosa	% de azúcar reductora	pH	% de almidón	% de grasa
Media	76,395	1,521	23,414	9,545	6,522	4,8	30,053	1,230
Mediana	76,477	1,539	23,320	9,397	6,955	4,8	30,020	1,160
Moda	75,847 <sup>a</sup>	1,349 <sup>a</sup>	23,063 <sup>a</sup>	9,007 <sup>a</sup>	4,639 <sup>a</sup>	4,8	*	*
Desv. típ.	0,399	0,127	0,389	0,586	1,292	0,0	0,667	0,330
C. de variación	0.522	8.378	1.675	6.143	19.802		2,219	26,829
Asimetría	-1,075	-,813	1,183	1,385	-1,673	0.0	0,102	1,039
Curtosis	1,342	1,654	1,147	2,598	3,015		-5,280	0,708
Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.								
* No registra moda.								

<b>Resumen estadístico de las propiedades de la mezcla de cáscara de naranja al 75% y cáscara de papa al 25% (N75P25) utilizada en el experimento</b>								
Estadístico	% de humedad en base húmeda	% de humedad en base seca	% de materia seca	% de celulosa	% de azúcar reductora	pH	% de almidón	% de grasa
Media	72,910	2,086	26,719	11,216	16,8764	4,6	15,026	0,845
Mediana	72,910	2,086	26,722	11,184	16,937	.	15,0101	0,880
Moda	72,4477 <sup>a</sup>	1,989 <sup>a</sup>	26,256 <sup>a</sup>	10,948 <sup>a</sup>	14,963 <sup>a</sup>	.	*	*
Desv. típ.	0,535	0,112	0,529	0,254	1,7867	.	0,333	0,166
C. de variación	0.734	5.684	1.983	2.263	10.580	.	2,216	19,645
Asimetría	0,000	0,000	0,000	0668	-0,090	.	0,102	-0,578

Curtosis	-6,000	-6,000	-5,998	0,472	-4,527	.	-5,027	-2,761
Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.								
* No registra moda.								

**ANEXO 5.**  
**CURVA PATRON GLUCOSA PARA DNS ANTES DE LA HIDRÓLISIS**

Curva utilizada para conocer la concentración de azúcares reductores obtenidos en la hidrólisis de las combinaciones N100, P100, N25P75, N50P50, N75P25.

Tabla. Datos absorbancias de glucosa. Promedio tres réplicas.

Concentración de glucosa (mg/L)	Absorbancia (540 nm)
0,0000	0,0000
0,0150	0,0253
0,0200	0,0336
0,0300	0,0543
0,0500	0,1098
0,0700	0,1780
0,0800	0,2025
0,1000	0,2809

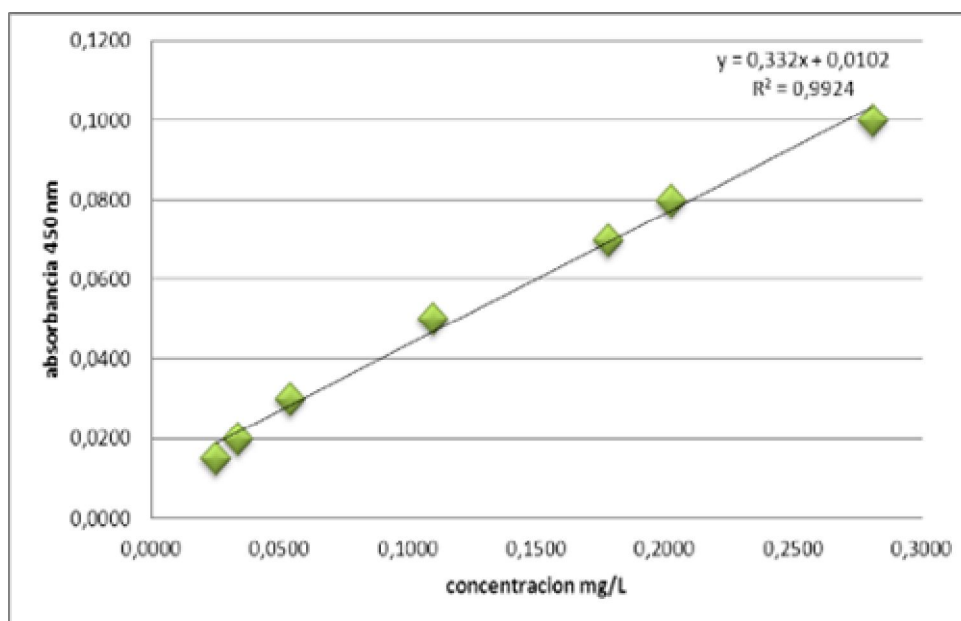
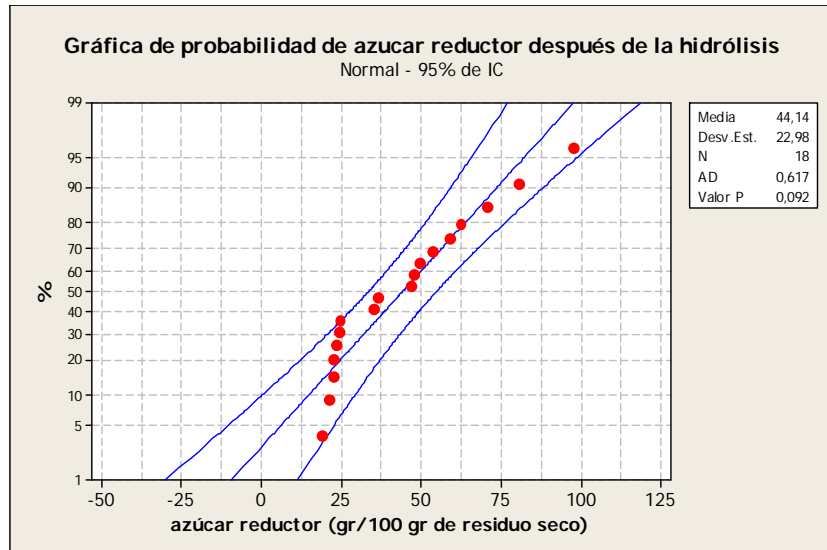


Figura. Curva patrón de glucosa y ecuación lineal.

**ANEXO 6.**  
**MATRIZ Y DATOS DEL EXPERIMENTO HIDRÓLISIS QUÍMICA**

TRATAMIENTO	REPLICAS	AZÚCARES REDUCTORES (g/gramos de residuo seco)
<b>N100</b>	R1	19,0030
	R2	21,1175
	R3	22,3012
	R4	24,2440
<b>P100</b>	R1	70,7048
	R2	47,4458
	R3	53,6084
	R4	97,2771
<b>N25P75</b>	R1	34,9217
	R2	46,5181
	R3	58,7771
	R4	
<b>N50P50</b>	R1	62,4880
	R2	36,1807
	R3	49,3012
	R4	80,1807
<b>N75P25</b>	R1	23,5042
	R2	24,7235
	R3	22,2651
	R4	

**ANEXO 7.**  
**ESTUDIO ESTADISTICO HIDRÓLISIS QUÍMICA**  
**ANÁLISIS EXPLORATORIO AZÚCAR REDUACTOR DESPUÉS DE LA**  
**HIDRÓLISIS**



**Descriptivos**

		Estadístico	
% de azúcar reductor después de la hidrólisis	Media	44,142	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	32,715
		Límite superior	55,569
	Mediana	41,349	
	C. de variación	52,055	
	Desv. típ.	22,979	
	Mínimo	19,003	
	Máximo	97,277	
	Rango	78,274	
	Amplitud intercuartil	36,501	
	Asimetría	0,827	
Curtosis	-0,019		

### Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smimov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk	
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl
% de azúcar reductor (hidrólisis)	,190	18	,086	,901	18

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Descriptivos								
% de azúcar reductor (hidrólisis)								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
N100	4	21,666425	2,1940817	1,0970409	18,175151	25,157699	19,0030	24,2440
P100	4	67,259025	22,2999375	11,1499688	31,774848	102,743202	47,4458	97,2771
N25P75	3	46,738967	11,9292336	6,8873462	17,105108	76,372826	34,9217	58,7771
N50P50	4	57,037650	18,7986888	9,3993444	27,124741	86,950559	36,1807	80,1807
N75P25	3	23,497600	1,2292133	,7096866	20,444065	26,551135	22,2651	24,7235
Total	18	44,142339	22,9786368	5,4161166	32,715332	55,569346	19,0030	97,2771

### Prueba de homogeneidad de varianzas

% de azúcar reductor (hidrólisis)

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
3,529	4	13	,037



ANOVA					
% de azúcar reductor (hidrólisis)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	6122,191	4	1530,548	6,971	,003
Intra-grupos	2854,111	13	219,547		
Total	8976,302	17			

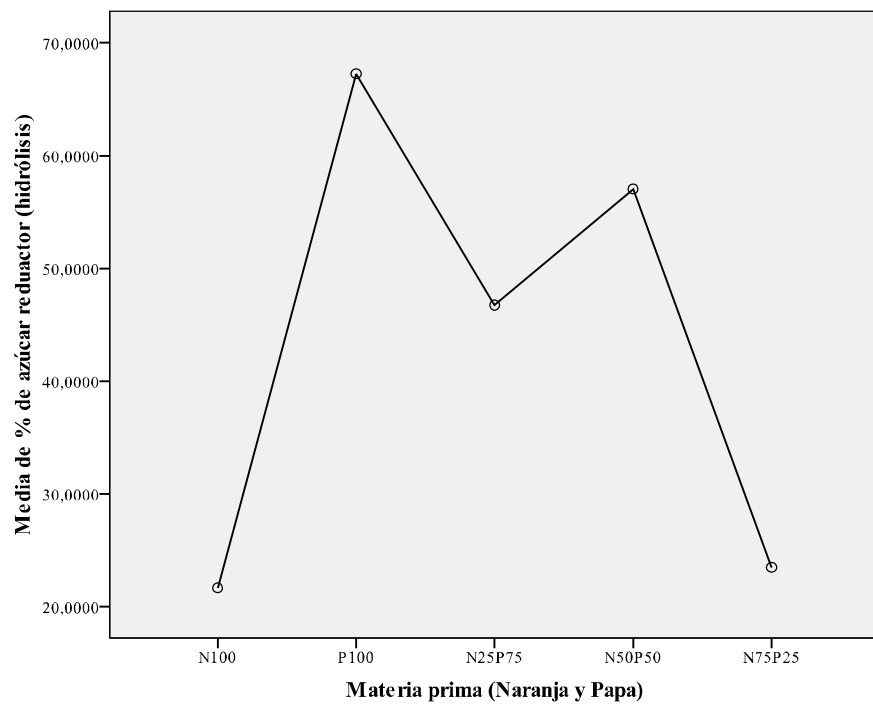
### Comparaciones múltiples

% de azúcar reductor (hidrólisis)  
HSD de Tukey

(I) Materia prima (Naranja y Papa)	(J) Materia prim (Naranja y Papa)	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
N100	P100	-45,5926000*	10,4772847	,006	-78,582218	-12,602982
	N25P75	-25,0725417	11,3167609	,234	-60,705402	10,560318
	N50P50	-35,3712250*	10,4772847	,033	-68,360843	-2,381607
	N75P25	-1,8311750	11,3167609	1,000	-37,464035	33,801685
P100	N100	45,5926000*	10,4772847	,006	12,602982	78,582218
	N25P75	20,5200583	11,3167609	,407	-15,112802	56,152918
	N50P50	10,2213750	10,4772847	,861	-22,768243	43,210993
	N75P25	43,7614250*	11,3167609	,014	8,128565	79,394285

N25P75	N100	25,0725417	11,3167609	,234	- 10,560318	60,705402
	P100	-20,5200583	11,3167609	,407	- 56,152918	15,112802
	N50P50	-10,2986833	11,3167609	,888	- 45,931543	25,334177
	N75P25	23,2413667	12,0981263	,354	- 14,851763	61,334496
N50P50	N100	35,3712250*	10,4772847	,033	2,381607	68,360843
	P100	-10,2213750	10,4772847	,861	- 43,210993	22,768243
	N25P75	10,2986833	11,3167609	,888	- 25,334177	45,931543
	N75P25	33,5400500	11,3167609	,069	-2,092810	69,172910
N75P25	N100	1,8311750	11,3167609	1,000	- 33,801685	37,464035
	P100	- 43,7614250*	11,3167609	,014	- 79,394285	-8,128565
	N25P75	-23,2413667	12,0981263	,354	- 61,334496	14,851763
	N50P50	-33,5400500	11,3167609	,069	- 69,172910	2,092810

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.



## ANEXO 8.

### CURVA PATRON GLUCOSA PARA DNS DESPUÉS DE LA HIDRÓLISIS

Curva utilizada para conocer la concentración de azúcares reductores residuales obtenidos en la fermentación de las combinaciones N100, P100, N25P75, N50P50, N75P25.

Tabla. Datos absorbancias de glucosa. Promedio tres réplicas.

Concentración (mg/L)	Absorbancia a 540 nm
0,0100	0,0109
0,0300	0,0380
0,0500	0,0701
0,0700	0,0940
0,0800	0,1130
0,1000	0,1449

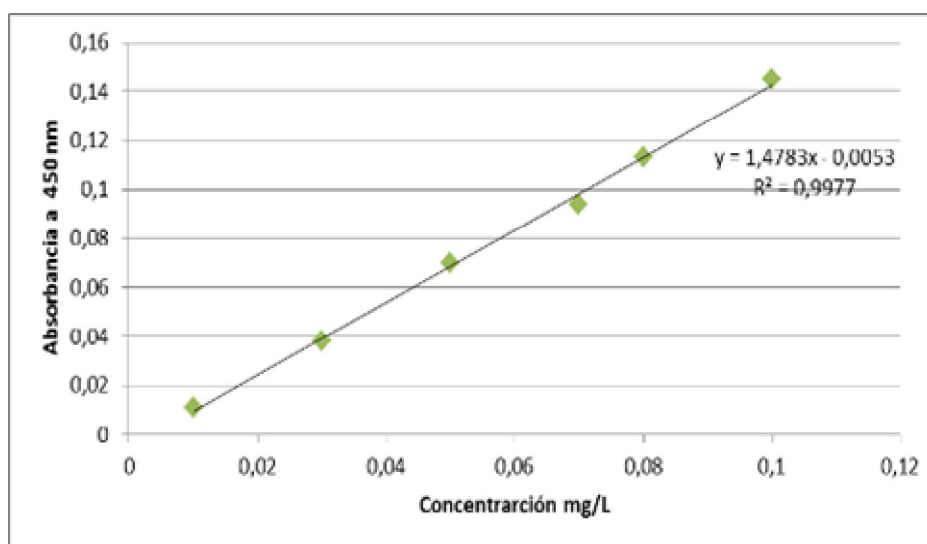


Figura. Curva patrón de glucosa y ecuación lineal.