

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades del Bioetanol

El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo o biomasa. Estos azúcares están combinados en forma de sacarosa, almidón, hemicelulosa y celulosa.

Las plantas crecen gracias al proceso de fotosíntesis, en el que la luz del sol, el dióxido de carbono de la atmósfera, el agua y los nutrientes de la tierra forman moléculas orgánicas complejas como el azúcar, los hidratos de carbono y la celulosa, que se concentra en la parte fibrosa la planta.

El alcohol etílico es inflamable e incoloro, de densidad menor que la del agua, y se emplea en la elaboración de bebidas alcohólicas. Otro de sus usos es como desinfectante, preparaciones farmacéuticas, disolvente, y sirve para la elaboración de lociones y perfumes.

La graduación alcohólica se determina con el alcoholímetro de Gay Lussac (°G.L.), donde la graduación 0° corresponde al agua pura y 100° a alcohol puro o absoluto.

En Bolivia las diferentes denominaciones de los tipos de etanol son las siguientes:

- Alcohol medicinal desinfectante de 68° a 72°G.L.
- Alcohol de quemar, de entre 83° a 85°G.L.
- Alcohol rectificado, de 96°G.L.
- Alcohol neutro, rectificado, extrafino, potable, o sin desnaturalizar de 96°G.L.
- Alcohol carburante mínimo 99°G.L., llamado igualmente como absoluto, anhidro, mal gusto, desnaturalizado, sin rectificar.

El etanol empleado como combustible se los denomina como bioetanol. Es un biocombustible utilizado como sustituto de la gasolina o como oxigenante de ésta. Es uno de los biocombustibles líquidos más empleados a nivel mundial. Su empleo se realiza en motores que funcionan a explosión, reemplazando a la gasolina elaborada de hidrocarburos, o combinándose con éstas en proporciones específicas.

Dependiendo de su contenido de agua, el bioetanol puede ser:

- Alcohol hidratado, (conteniendo hasta un 5% de agua)
- Alcohol anhidro (conteniendo menos de 1% de agua)

Para obtener el alcohol anhidro se deshidrata el alcohol hidratado. Su almacenamiento debe realizarse en tanques metálicos, lejos de fuentes de calor, puede ser bajo tierra y protegido contra descargas atmosféricas. Su periodo de vida útil en condición de anhidro es estimado en 24 meses.

Existen distintas razones por las cuales se debe desarrollar el bioetanol como combustible:

- *Energía:* Sustituir combustibles basados en petróleo para aumentar la seguridad energética, disminuir la dependencia frente a la volatilidad de los precios de petróleo, bajar los costos de combustibles o de las importaciones, disminuir la dependencia de países políticamente inestables.
- *Medio Ambiente:* Disminuir daños ambientales relacionados con la cadena del petróleo, como por ejemplo los derrames de petróleo, además de reducir la contaminación. Es importante mencionar que el etanol contamina un 60% menos que la gasolina, una cifra que algunos expertos consideran que podría ser todavía mayor.

El etanol es también utilizado para el aprovechamiento de sus propiedades desinfectantes, sin embargo, el principal mercado a futuro se encuentra enfocado en su aplicación como combustible debido a las grandes ventajas que ofrece en esta rama.

1.2. Bioetanol como Biocombustible

El etanol puede utilizarse como combustible para automóviles sin mezclar o mezclado con gasolina en cantidades variables para reducir el consumo de derivados

del petróleo. El combustible resultante se lo conoce como gasohol (en algunos países alconafta).

E5: El biocombustible E5 significa una mezcla del 5% de bioetanol y el 95% de gasolina normal. Esta es la mezcla habitual y mezcla máxima autorizada en la actualidad por la regulación europea, sin embargo, es previsible una modificación de la normativa europea que aumentará este límite al 10% (E10) ya que diferentes estudios constatan que los vehículos actuales toleran sin problemas mezclas hasta el 10% de bioetanol y los beneficios para el medioambiente son significativos.

E10: El biocombustible E10 significa una mezcla del 10% de bioetanol y el 90% de gasolina normal. Esta mezcla es la más utilizada en EEUU ya que hasta esta proporción de mezcla los motores de los vehículos no requieren ninguna modificación e incluso produce la elevación de un octano en la gasolina mejorando su resultado y obteniendo una notable reducción en la emisión de gases contaminantes.

E95 y E100: Mezclas hasta el 95% y 100% de bioetanol son utilizados en algunos países como Brasil con motores especiales.

E-DIESEL: El bioetanol permite su mezcla con gasoil utilizando un aditivo solvente y produciendo un biocombustible diesel el E-Diesel, con muy buenas características en cuanto a combustión y reducción de contaminación ofreciendo así otras alternativas al bioetanol en el campo de los vehículos diesel. El E-Diesel ya se comercializa con éxito en EEUU y Brasil y pronto hará su aparición en España y Europa.

ETBE: No se comercializa como un biocombustible, sino que se utiliza como un aditivo de la gasolina. El ETBE (etil-terbutil éter) se obtiene por síntesis del bioetanol con el iso-butileno, subproducto de la destilación del petróleo. El ETBE posee las ventajas de ser menos volátil y más miscible con la gasolina que el propio etanol y, como el etanol, se aditiva a la gasolina en proporciones del 10-15 %.

La adición de ETBE o etanol sirve para aumentar el índice de octano de la gasolina, evitando la adición de sales de plomo.

1.2.1. Condiciones de Mercado (Perspectiva Mundial)

Los biocombustibles, a pesar de su gran expansión en los últimos años, cubren apenas al 1% del consumo total de combustibles para el transporte.

Sin embargo, algunos países han llegado a porcentajes más altos de sustitución. Brasil llega a casi 50% en gasolina y EE.UU., segundo productor de etanol, al 2.5 %.

En Brasil, el total de la sustitución de los combustibles en base a petróleo llega actualmente a un poco más del 20% mientras que en EE.UU. es apenas del 1.8 %.

Muchos países han establecido metas ambiciosas para la sustitución como:

- Japón: 20% de la demanda de petróleo con biocombustibles y gas licuado hasta 2030 (mandato previsto).
- Canadá: mezcla de 10% etanol en 45% de la gasolina hasta 2010.
- Unión Europea: mezcla de 5.75% en todos los combustibles (diesel y gasolina) hasta 2010 en todos los países miembros.
- Estados Unidos: El "Renewable Fuels Standard (RFS)", exige el uso de 28.4 billones de litros de etanol en 2012.
- Brasil: mezcla de biodiesel de 2% hasta 2008, y 5% hasta 2013 (mandato).
- Colombia: Mezcla de 10% en gasolina en ciudades mayores de 500.000 habitantes en 2006 (mandato).
- Venezuela: Mezcla de 10% en gasolina.
- China: Mezcla de 10% en gasolina en cinco provincias.

1.2.2. Condiciones de Mercado (Perspectiva Nacional)

El consumo de energía en Bolivia hacia el año 2005 presenta la composición mostrada en la siguiente tabla.

Tabla I-1. Bolivia: Estructura de Matriz Energética 2005

<i>FUENTE</i>	<i>PORCENTAJE (%)</i>
Petróleo	51
Gas Natural	37
Hidroeléctrica	12
Renovables	0.8

Fuente: Biocombustibles Sostenibles en Bolivia, 2008

Esta distribución muestra una matriz energética mayoritariamente concentrada en los hidrocarburos (88%). En esta distribución estadística, se integra a la calificación de fuentes renovables las geotérmicas, eólicas, solares y biomasa.

En lo concerniente al etanol, las estadísticas de exportación de alcohol (desnaturalizado y sin desnaturalizar) de origen boliviano muestran una evolución ascendente de las mismas. Tal como se indica en la siguiente tabla.

*Tabla I-2. Bolivia: Exportación de Alcohol Desnaturalizado y sin Desnaturalizar
(En millones de \$)*

<i>AÑOS</i>	<i>VALORES</i>
2000	3.8
2001	5.0
2002	4.4
2003	8.9
2004	12.6
2005	12.8
2006	20.2
2007	22.8

Fuente: Biocombustibles Sostenibles en Bolivia, 2008

Tabla I-3. Bolivia: Mercados Externos de Alcohol Desnaturalizado y sin Desnaturalizar (gestiones acumuladas 1998-2007)

<i>PAIS</i>	<i>CANTIDAD (Kg)</i>	<i>VALOR (\$)</i>
Argentina	8453975	1432712
Chile	26202034	5795168
Colombia	65124	10720
Países Bajos	247743568	69886331
Perú	86878762	15600399
Reino Unido	5361154	1238567
Suecia	2637111	639354
Suiza	4001700	1583400

Fuente: Biocombustibles Sostenibles en Bolivia, 2008

La materia prima para la elaboración de estos alcoholes es la caña de azúcar de la cual se extrae como producto principal el azúcar consumido en el mercado interno; estos alcoholes, por tanto, son el resultado del procesamiento de los jugos y melazas resultantes del proceso azucarero. Este se dice que debiera ser una de las primeras modificaciones en la fuente de origen del bioetanol a producirse en el país: basarse esencialmente en el proceso de industrialización de la caña de azúcar para obtener este producto. Esto significa que la materia prima para la obtención de bioetanol debería ser la caña de azúcar y ya no las melazas señaladas, que provienen del proceso de fabricación de azúcar.

La razón fundamental de esta condición, es que actualmente la capacidad instalada de producción de azúcar del país excede las necesidades del mercado interno en alrededor de un 30% y los mercados preferenciales de exportación se están cerrando cada vez más y exportar el excedente a los mercados mundiales genera pérdidas para el exportador.

En lo relativo a la legislación nacional de apoyo al desarrollo del bioetanol, el 23 de julio de 2005 se promulgo la Ley 3086 que autoriza usar el alcohol anhidro como aditivo en las gasolinas, partiendo de una mezcla mínima del 10% (E10) hasta un máximo de 25% (E25), en un periodo fijado de 5 años. Esta norma no se ha hecho efectiva puesto que no se cuenta con el Reglamento Operativo de la Ley.

Pese a ser conocido el respaldo que viene ofreciendo el Banco Interamericano de Desarrollo a la producción de bioetanol, Bolivia no se ha beneficiado de esta oportunidad, mientras si lo hacen otros países latinoamericanos, principalmente de América Central.

Por otra parte, la Cámara de Industria, Comercio, Servicios y Turismo de Santa Cruz (CAINCO) y el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE) vienen aportando desde 2007 sólidos argumentos para dar respuestas a la pregunta: “¿Por qué debería apostar Bolivia por los Biocombustibles?”

Como en todas sus actuaciones institucionales, IBCE y CAINCO pretenden contribuir con argumentos técnicos a la toma de las mejores decisiones que coadyuven al desarrollo económico y social del país. Estando convencidos de la conveniencia para Bolivia de apostar por los biocombustibles, y con miras a profundizar los aportes sobre el tema, en marzo de 2008 inició el Proyecto “Bolivia: Estudio de Caso para la Mesa Redonda Global sobre Biocombustibles Sostenibles” bajo la conducción de ambas instituciones, siendo su objetivo central el propiciar la discusión de forma desapasionada sobre tan importante temática, a partir de la creación de una Plataforma Institucional a escala nacional, en función de lo cual se realizaron Foros de discusión en todos los Departamentos del país cuyos resultados fueron reportados públicamente (IBCE, 2008).

1.3. Biomasa

La utilización de fuentes de energía renovables contribuye a disminuir la dependencia energética y ayuda a la diversificación de las fuentes de energía. Las energías

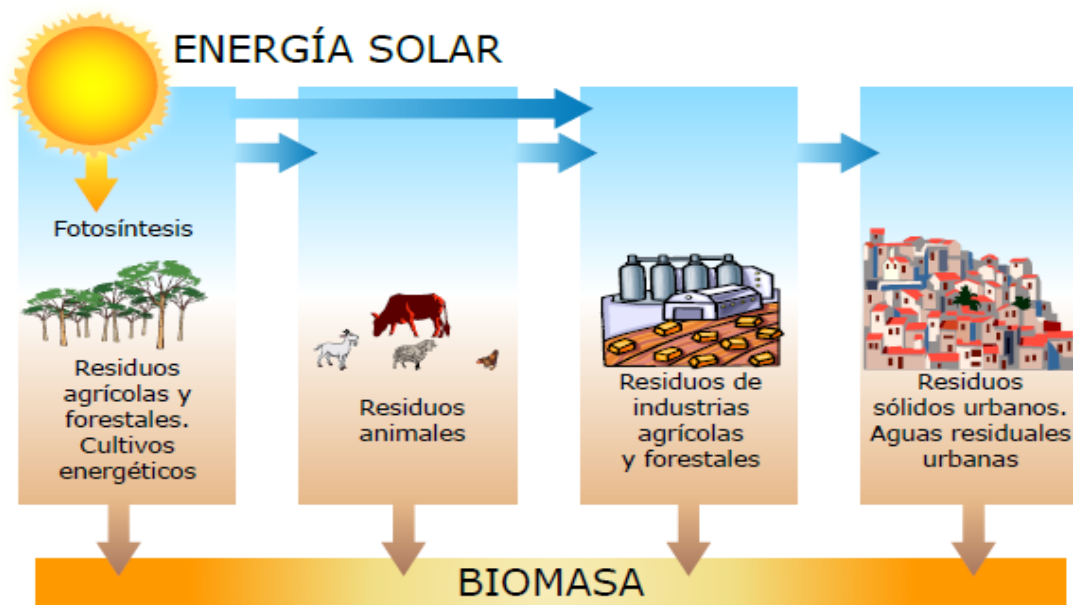
renovables no se agotan, no generan residuos de difícil tratamiento y reducen las emisiones de gases causantes del efecto invernadero.

La biomasa es una fuente de energía clave para el cumplimiento de los objetivos de utilización de energías renovables, tanto a nivel nacional como continental.

Además, la biomasa presenta beneficios añadidos ya que permite un cierto grado de almacenamiento, constituye una alternativa realista para la sustitución de los combustibles fósiles en el sector transporte a corto y medio plazo, favorece el mantenimiento y desarrollo del sector agrícola y forestal y genera beneficios adicionales en el caso de la valorización energética de residuos.

El término biomasa hace referencia a toda materia orgánica originada de forma inmediata en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. La biomasa abarca un amplio rango de materias orgánicas que se caracterizan por su heterogeneidad.

Figura 1.1. Fuentes de Biomasa



Fuente: Estado del arte de la investigación de la biomasa como alternativa energética, 2012.

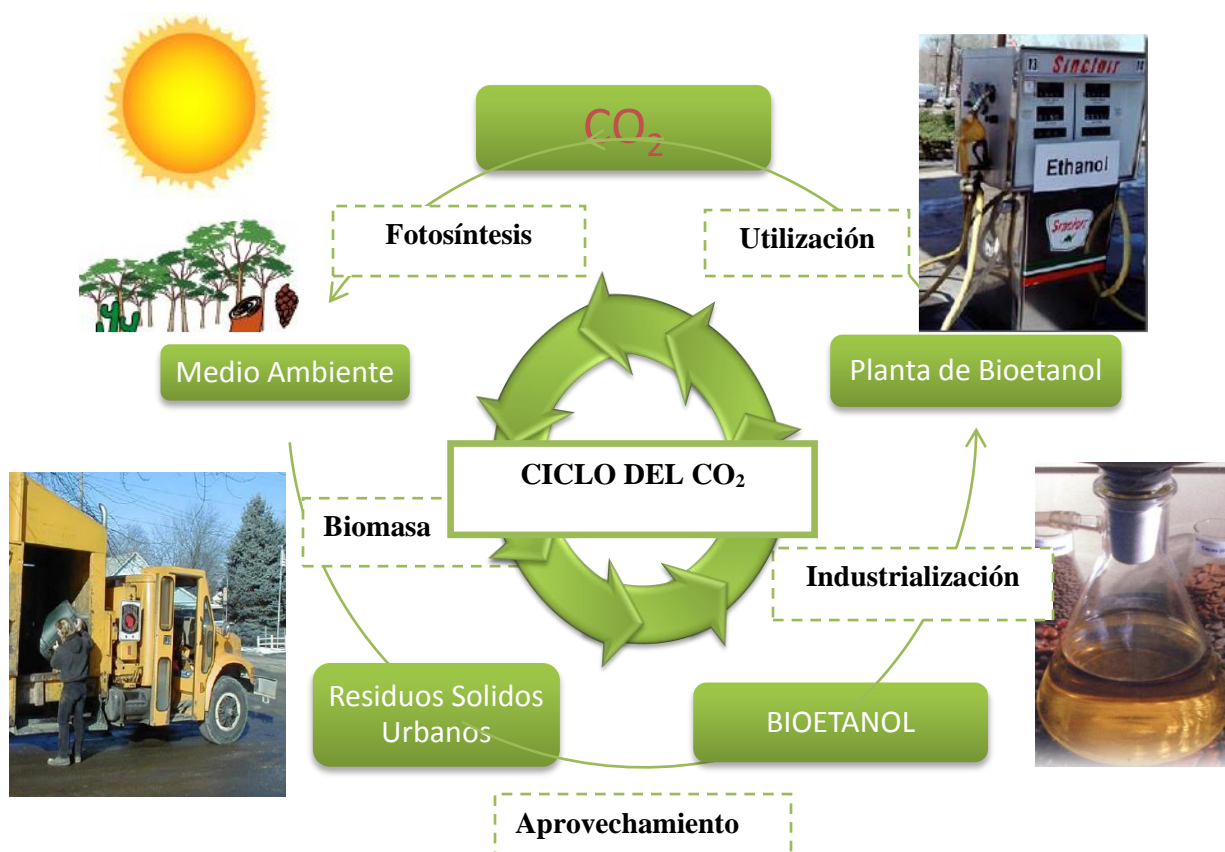
La *biomasa primaria* es vegetal, sin embargo, ésta puede ser transformada por otros seres vivos que se nutren de la misma y generan la denominada *biomasa animal* o

biomasa de los residuos animales. Así mismo, diversas actividades industriales que manejan biomasa vegetal o animal generan subproductos. Por último, los núcleos de población, fruto de la actividad cotidiana de sus habitantes, también generan residuos.

Evidentemente, la biomasa al quemarse produce anhídrido carbónico (CO_2) y agua (H_2O); ambos elementos presentes en la composición de la atmósfera terrestre. Sin embargo, los constantes ciclos a que están sometidos estos componentes les permiten volver a pasar a la materia vegetal en el proceso de crecimiento de las plantas. Es decir, se trata de un proceso cíclico en el que la composición de la atmósfera se mantiene dentro de valores constantes.

Los combustibles extraídos de la biomasa presentan un muy bajo contenido de azufre, no forman escorias en su combustión y tienen bajo contenido en cenizas.

Figura 1.2. Ciclo del CO_2



Fuente: Elaboración propia, 2012

A diferencia, los combustibles fósiles emiten grandes cantidades de CO₂, que ya no formaban parte de la dinámica de la biosfera, contribuyendo a elevar la proporción de este gas en la atmósfera y, consecuentemente, a la producción del llamado efecto invernadero (calentamiento por retención de la radiación solar reflejada), y a la generación de otros problemas ambientales, tales como la lluvia ácida o el deterioro de la capa de ozono, debido a la producción de elementos extraños a la atmósfera (óxidos de azufre, carbono y nitrógeno, partículas, hollines, metales pesados)

1.3.1. Residuos Sólidos Urbanos (R.S.U.)

Los Residuos Sólidos Urbanos son, según la definición de biomasa residual, una parte de los desechos (basura) que la humanidad genera en su domicilio (restos de alimentos, papel, etc.).

Este tipo de residuos se incluyen dentro de la denominada biomasa vegetal, sin embargo, su aprovechamiento energético presenta algunas diferencias con los del resto de la biomasa.

El tratamiento y eliminación de estos residuos constituye un problema cada día más agobiante debido a su incesante crecimiento, a medida que aumenta la población y el nivel de vida de la misma.

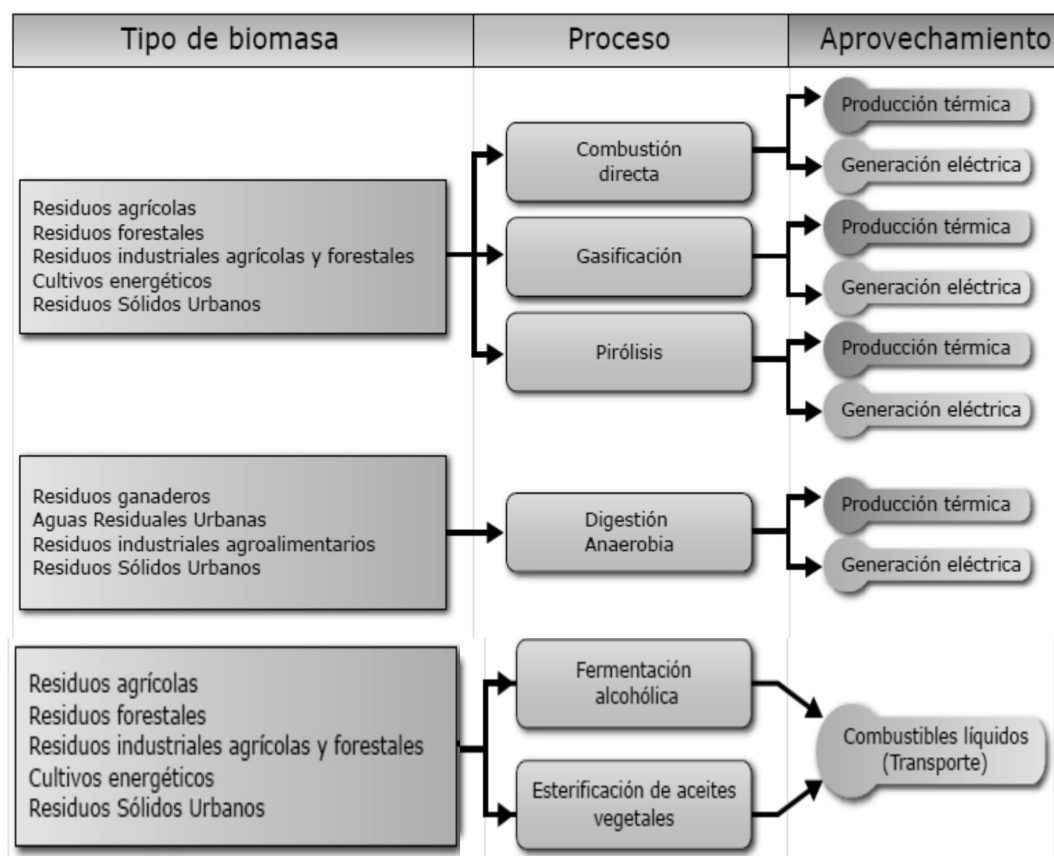
1.3.2. El Problema con los Residuos y su aprovechamiento como Biomasa

Una visión integral de los problemas ambientales y de salud pública incluye entre otros, el tema del correcto manejo de los residuos, con un concepto ecológico, no ligado exclusivamente a una pequeña minoría de amantes de la naturaleza, sino más bien a la de una ecología de todos, que involucre aspectos ambientales, sociales y económicos. Un desarrollo sustentable que además de preocuparse por la preservación de los recursos y del medio ambiente para las futuras generaciones, también se preocupe por una sociedad reorientada a la equidad en la que los servicios ambientales cumplan un importante papel.

Los residuos que fueron la materia prima de los procesos productivos y los resultados del consumo y del crecimiento, y que observamos por todos lados; hablan de una cultura del desperdicio de los recursos, de su bajo aprovechamiento y de servicios deficientes, en general, de un desentendimiento del quehacer y de adónde van a parar los residuos de nuestras casas, de la industria y toda la ciudad.

En la ciudad de Tarija se generan residuos de materia orgánica fermentable que proceden básicamente de los restos de alimentos domiciliarios, de hostelería, mercados, industrias alimenticias, mataderos, barrido y poda de parques y jardines.

Figura 1.3. Aplicaciones de la Biomasa



Fuente: Estado del arte de la investigación de la biomasa como alternativa energética, 2012.

El aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos es un tema de plena actualidad debido a la necesidad de cumplir con los requerimientos energéticos a nivel mundial. Actualmente la utilización de biomasa con fines energéticos requiere

de una activación de un mercado prácticamente inexistente y para ello es necesario conocer la producción real de biomasa, la maquinaria más adecuada para el tratamiento y aprovechamiento de la biomasa y el transporte de la misma.

Esta biomasa lignocelulosa puede ser aprovechada de diferentes maneras, y una de ellas es, como materia prima para obtención de bioetanol. Para la producción de bioetanol han sido utilizadas diferentes fuentes de carbono como materia prima; estas deben ser transformadas con facilidad en azúcar fermentable. Su uso práctico está determinado por el rendimiento en etanol, por su costo y el tipo de microorganismo que se utilice.

El bioetanol producido a partir de materias lignocelulósicas, también llamado bioetanol de segunda generación, se presenta como alternativa de futuro a los biocombustibles de primera generación. La biomasa lignocelulósica no compite con el mercado alimentario, y, al estar ampliamente distribuida, su coste es menor, lo que contribuye a disminuir el precio final del biocombustible.

La biomasa lignocelulósica puede clasificarse en seis grupos principales:

- *Residuos agrícolas* (p.ej. bagazo de caña de azúcar, bagazo de maíz, paja de trigo, paja de arroz, paja de cebada)
- *Maderas duras* (p.ej. álamo, chopo)
- *Maderas blandas* (p.ej. pino, píceas),
- *Residuos celulósicos* (p.ej. papel de periódico, lodos de papel reciclado, residuos de papel de oficina),
- *Biomasa herbácea* (p.ej. alfalfa, alpiste, limoncillo)
- “*Residuos sólidos urbanos*” (RSU).

1.3.3. Composición de los Residuos Sólidos Urbanos

Para poder disponer de los residuos eficazmente es importante distinguir los distintos tipos que hay.

Dependiendo del lugar de donde proceden o el estado físico en el que se encuentren los residuos son diferentes.

Los residuos producidos por los habitantes urbanos comprenden: basura, muebles, electrodomésticos viejos, embalajes y desperdicios de la actividad comercial, restos del cuidado de los jardines, la limpieza de las calles, etc.

El grupo más voluminoso es el de las basuras domésticas.

La basura puede estar compuesta por:

- *Residuos orgánicos*: son los restos procedentes de la preparación de todo tipo de alimentos, limpieza y restos de comidas, además de papeles y cartones.
- *Plásticos*: botellas, bolsas, embalajes, platos, vasos y cubiertos desechables.
- *Vidrios*: botellas, vasos, frascos, vajillas rotas.
- *Metales*: latas. Botes.

1.3.4. Residuos Sólidos Orgánicos y su Clasificación

Definición: Son aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables (se descomponen naturalmente).

Estos son:

- Restos de comidas
- Cascaras de frutas, verduras y hortalizas.
- Cascaron de huevo.
- Cabello y pelo.
- Restos de café y té.
- Filtros de café y té.
- Pan y su bolsa de papel.
- Tortillas.
- Bagazo de frutas.
- Productos lácteos.

- Servilletas con alimento.
- Residuos de jardín: pasto, ramas.
- Tierra, polvo.
- Ceniza y aserrín.
- Huesos y productos cárnicos.

Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Ejemplo: los restos de comida, frutas y verduras, carne, huevos, etcétera, o pueden tener un tiempo de degradación más lento, como el cartón y el papel. Se exceptúa de estas propiedades al plástico, porque a pesar de tener su origen en un compuesto orgánico, posee una estructura molecular más complicada.

Cómo se clasifican: Existen muchas formas de clasificación de los residuos sólidos orgánicos, sin embargo, las dos más conocidas están relacionadas con su fuente de generación y con su naturaleza y/o características físicas.

1.3.4.1. Clasificación según su Fuente de Generación

Los residuos sólidos orgánicos según su fuente se clasifican en:

- *Residuos sólidos orgánicos provenientes del barrido de las calles:* consideramos dentro de esta fuente a los residuos almacenados también en las papeleras públicas; su contenido es muy variado, pueden encontrarse desde restos de frutas hasta papeles y plásticos. En este caso, sus posibilidades de aprovechamiento son un poco más limitadas, por la dificultad que representa llevar adelante el proceso de separación física.
- *Residuos sólidos orgánicos institucionales:* residuos provenientes de instituciones públicas (gubernamentales) y privadas. Se caracteriza mayormente por contener papeles y cartones y también residuos de alimentos provenientes de los comedores institucionales.
- *Residuos sólidos de mercados:* son aquellos residuos provenientes de mercados de abastos y otros centros de venta de productos alimenticios. Es una buena

fuentes para el aprovechamiento de orgánicos y en especial para la elaboración de compost y fertilizante orgánico.

- *Residuos sólidos orgánicos de origen comercial:* son residuos provenientes de los establecimientos comerciales, entre los que se incluyen tiendas y restaurantes. Estos últimos son la fuente con mayor generación de residuos orgánicos debido al tipo de servicio que ofrecen como es la venta de comidas. Requieren de un trato especial por ser fuente aprovechable para la alimentación de ganado porcino (previo tratamiento).
- *Residuos sólidos orgánicos domiciliarios:* son residuos provenientes de hogares, cuya característica puede ser variada, pero que mayormente contienen restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados, podas de jardín y papeles.

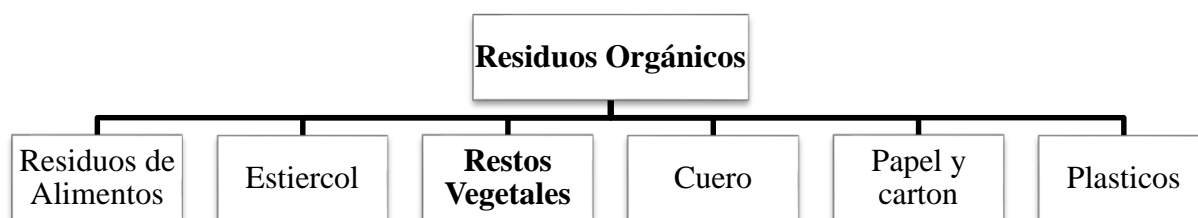
1.3.4.2. Clasificación según su Naturaleza y/o Característica Física

Los residuos sólidos orgánicos según su naturaleza y/o característica fuente se clasifican en:

- *Residuos de alimentos:* son restos de alimentos que provienen de diversas fuentes, entre ellas: restaurantes, comedores, hogares y otros establecimientos de expendio de alimentos.
- *Estiércol:* son residuos fecales de animales (ganado) que se aprovechan para su transformación en bio-abono o para la generación de biogás.
- *Restos vegetales:* son residuos provenientes de podas o deshierbe de jardines, parques u otras áreas verdes; también se consideran algunos residuos de cocina que no han sido sometidos a procesos de cocción como legumbres, hortalizas, verduras, cáscara de frutas, etc.
- *Papel y cartón:* son residuos con un gran potencial para su reciclaje pero que no materia de desarrollo en éste trabajo.
- *Cuero:* son residuos mayormente derivados de artículos de cuero en desuso.

- *Plásticos*: son considerados como residuos de origen orgánico ya que se fabrican a partir de compuestos orgánicos como el etanol (componente del gas natural), también son fabricados utilizando algunos derivados del petróleo.

Figura 1.4. Clasificación de los residuos orgánicos según su naturaleza y/o características físicas



Fuente: Elaboración Propia, 2012.

1.3.5. Propiedades Biológicas de los Residuos Sólidos Orgánicos

Excluyendo el plástico, la goma y el cuero, la fracción orgánica de la mayoría de los residuos se puede clasificar de la forma siguiente:

- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa, un producto de condensación de azúcares con cinco y seis carbonos.
- Celulosa, un producto de condensación de glucosa de azúcar con seis carbonos.
- Grasas, aceites y ceras, que son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga.
- Lignina, un material polímero presente en algunos productos de papel como periódicos.
- Lignocelulosa, una combinación de lignina y celulosa.
- Proteínas, que están formadas por cadenas de aminoácidos.

La característica biológica más importante de la fracción orgánica de los residuos de las ciudades, es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos relativamente inertes. La producción de olores y la generación de moscas están relacionadas también con la naturaleza putrefactible de los materiales orgánicos encontrados en este tipo de residuos (por ejemplo los residuos de comida).

1.3.6. Ventajas de los Residuos Vegetales

Las ventajas de los residuos vegetales alimentarios son: es materia orgánica ausente de organismos patógenos (a diferencia de los residuos urbanos), está ausente de sustancias tóxicas como metales pesados, productos químicos (proviene de alimentos regulados para consumo humano), es materia limpia carente de materiales inertes: vidrio, plástico (no se requiere separación previa) y presenta alto contenido hídrico y baja relación Carbono/Nitrogeno con facilidad de descomposición.

1.3.7. Restos de verduras, hortalizas y de frutas como fuente de bioetanol

Dentro de este grupo se incluyen gran variedad de alimentos que constituyen partes muy distintas de las plantas. Por ejemplo, las espinacas, acelgas, endibias, lechuga o perejil son hojas; las coles de Bruselas, brotes de hojas. Cuando comemos espárragos comemos el tallo y las hojas; las patatas son tubérculos; las zanahorias raíces. Ajos y cebollas son bulbos; coliflor, brécol y alcachofas, flores; pimientos, tomates y frutas son frutos y guisantes y habas son semillas. Pero a pesar de la heterogeneidad botánica del grupo, presentan en general características nutricionales muy similares.

El principal componente cuantitativo es el agua que oscila 95% en melón y sandía. Como media, frutas y verduras contienen 85% de agua. Son pobres en proteína (1-5%) y, en general, prácticamente no tienen lípidos (<1%), excepto los frutos secos y algunas frutas: nueces (12%) y aceitunas (20%), principalmente como ácidos grasos mono-insaturados. No contienen colesterol.

El contenido de fibra e hidratos de carbono es también pequeño (5%): principalmente polisacáridos en tubérculos y ajo, mono y disacáridos en verduras y frutas (en estas últimas en forma de fructosa). Hay sacarosa (glucosa + fructosa) en zanahorias, plátanos, dátiles e higos. Sin embargo, aunque en general prácticamente no tienen hidratos de carbono, existen dos excepciones: la papas que contiene un 18%, principalmente en forma de almidón y el plátano: un 20%, principalmente como sacarosa.

Las verduras y frutas son especialmente ricas en minerales (magnesio y potasio) y vitaminas hidrosolubles (principalmente ácido fólico y vitamina C) sobre todo cuando se consumen crudas, pues no sufren pérdidas durante el cocinado. Entre las liposolubles únicamente contienen vitamina K y carotenos (especialmente las verduras y frutas de color verde oscuro, amarillo o naranja). Algunas frutas y hortalizas contienen además gran cantidad de otros carotenoides sin actividad provitamínica A como licopenos (tomate, sandía, cerezas), luteína (acelgas, apio, brécol, espinacas) y zeaxantina (espinacas y pimiento rojo), que tienen un importante papel como factores de protección en algunas enfermedades degenerativas. Carecen de vitaminas D, B12 y retinol.

El ácido fólico, cuyo nombre procede de la palabra folium que significa hoja, está en efecto en grandes cantidades en los vegetales de hoja verde: espinacas, ensaladas, acelgas. La vitamina C se encuentra en todas las verduras y frutas y principalmente en pimientos, kiwis, fresas, naranjas o mandarinas. Ambas vitaminas pueden perderse en cantidades apreciables cuando el alimento se somete a cualquier proceso culinario o queda expuesto a la luz solar.

Las frutas desecadas (ciruelas, castañas, pasas, dátiles) se diferencian principalmente por su menor contenido de agua, concentrando el resto de los nutrientes y aumentando también el aporte calórico.

Los frutos secos como avellanas, almendras y nueces tienen poca agua (10%) y una pequeña cantidad de hidratos de carbono (4%) de los cuales un 50% aproximadamente es almidón y el resto son hidratos de carbono sencillos (las pipas

de girasol contienen principalmente almidón). Tienen una apreciable cantidad de fibra (14%) y de proteína (20%) y son especialmente ricos en grasa que es su componente mayoritario (53%). "Manual de nutrición" (Ángeles Carbajal), 2012.

Las frutas son alimentos vegetales que proceden del fruto de determinadas plantas.

Las frutas poseen un sabor y un aroma característico y presentan unas propiedades nutritivas y una composición química que las distinguen de las demás.

La composición química de las frutas depende sobre todo del tipo de fruta y de su grado de maduración:

- Agua: Más del 80% y hasta el 90% de la composición de la fruta es agua. Debido a este alto porcentaje de agua y a los aromas de su composición, la fruta es muy refrescante.
- Glúcidos: entre el 5% y el 18% de la fruta está formada por carbohidratos. El contenido puede variar desde un 20% en el plátano hasta un 5% en el melón, sandía y fresas. Las demás frutas tienen un valor medio de un 10%. El contenido de glúcidos puede variar según la especie y también según la época de recolección. Los carbohidratos son generalmente azúcares simples como fructosa, sacarosa y glucosa, azúcares de fácil digestión y rápida absorción.
- Fibra: aproximadamente el 2% de la fruta es fibra dietética. Los componentes de la fibra vegetal que podemos encontrar en las frutas son principalmente pectinas y hemicelulosa. La piel de la fruta es la que posee mayor concentración de fibra, pero también es donde se encuentran algunos contaminantes como restos de insecticidas, que son difíciles de eliminar si no es con el pelado de la fruta.
- Sales minerales: al igual que las verduras, las frutas son ricas en potasio, magnesio, hierro y calcio. Las sales minerales son siempre importantes pero sobre todo durante el crecimiento para la osificación. El mineral más importante es el potasio. Las que son más ricas en potasio son las frutas de hueso como el albaricoque, cereza, ciruela, melocotón, etc.
- Proteínas y grasa: los compuestos nitrogenados como las proteínas y los lípidos son escasos en la parte comestible de las frutas, aunque son importantes en las

semillas de algunas de ellas. Así el contenido de grasa puede oscilar entre 0.1 y 0.5%, mientras que las proteínas puede estar entre 0.1 y 1.5%.

- Aromas y pigmentos: las frutas contienen ácidos y otras sustancias aromáticas que junto al gran contenido de agua de las frutas hacen que esta sea refrescante. El sabor de cada fruta vendrá determinado por su contenido en ácidos, azúcares y otras sustancias aromáticas.

Es justamente por estas características y principalmente por el contenido de glúcidos por lo que los residuos de verduras, hortalizas, legumbres y cascareas de frutas pueden ser utilizados como fuente de obtención de etanol.

1.3.8. Biomasa Lignocelulósica

La materia orgánica o biomasa lignocelulósica, se convierten en azúcares fermentables por hidrolisis con ácidos inorgánicos principalmente. Por lo que los materiales lignocelulósicos son los que ofrecen un mayor potencial para la producción de bioetanol. Los residuos de biomasa contienen mezclas complejas de carbohidratos, llamados celulosa, hemicelulosa y lignina. Para obtener los azúcares de la biomasa, esta es tratada con ácidos o enzimas que facilitan su obtención. La celulosa y hemicelulosa son hidrolizadas por enzimas o diluidas por ácidos para obtener sacarosa, que es entonces fermentada. Tres son los principales métodos para extraer estos azúcares: la hidrolisis con ácidos concentrados, la hidrolisis con ácidos diluidos y la hidrolisis enzimática (Bioetanol, Miliarium, 2008).

1.3.8.1. Composición de la Biomasa Lignocelulósica

La biomasa lignocelulósica está formada básicamente por tres componentes principales (celulosa, hemicelulosa y lignina) junto con otros componentes minoritarios que no forman parte de la pared celular como son los extractivos y las cenizas. La celulosa y hemicelulosa son polisacáridos de alto peso molecular que representan entre el 60 - 80% del total del peso de los materiales lignocelulósicos. La

lignina es un polímero no polisacárido tridimensional de unidades fenil-propano y representa entre el 20 - 35% del total.

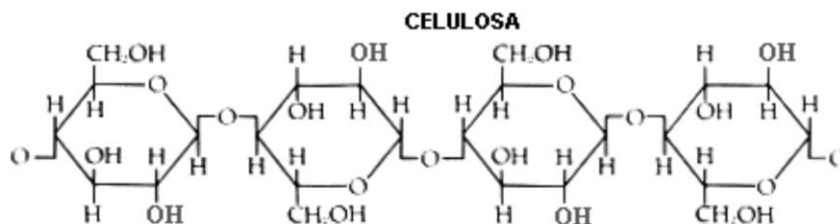
Entre los componentes minoritarios que no forman parte de la pared celular se encuentran, representando entre el 4 - 10% del peso seco, diferentes grasas, terpenos, alcaloides, proteínas, fenoles, pectinas, gomas, resinas, etc., cuyas proporciones y composición dentro de un mismo tipo de material varían en función de la edad, estado de crecimiento u otros factores. Las cenizas presentes en la biomasa contienen principalmente Ca, K y Mg y son compuestos inorgánicos que persisten después de la incineración del material. Tomas Pejo M. E. (2012).

1.3.8.2. Celulosa, Hemicelulosa y Lignina

La celulosa es parte de la pared celular. Se forma por la unión de moléculas de β -glucosa mediante enlaces β -1,4-O-glucosídicos.

A través de la hidrólisis se origina glucosa. La celulosa es una larga cadena polimérica de peso molecular variable, con fórmula empírica $(C_6H_{10}O_5)_n$, con un valor mínimo de $n=200$.

Figura 1.5. Modelo de moléculas de celulosa unidas por puentes de Hidrógeno



Fuente: VICTORIA ANDREA CORTÍNEZ V. 2010

La celulosa tiene una estructura lineal y fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, lo que hace que sea insoluble en agua. Las hemicelulosas son heteropolisacáridos (polisacárido compuesto por más de un tipo de azúcar) unido por enlaces β (1-4) (fundamentalmente xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa y

ácido glucurónico), que forman una cadena lineal ramificada. Entre estos monosacáridos destacan más: la glucosa, xilosa, galactosa y fructosa.

La hemicelulosa se caracteriza por ser una molécula con ramificaciones, tal como el ácido urónico, capaz de unirse a las otras moléculas mediante enlaces que constituyen la pared rígida que protege a la célula de la presión ejercida sobre ésta por el resto de las células que la rodea. La hemicelulosa se clasifica en pentosanos y hexosanos. Los pentosanos están constituidos fundamentalmente por aldopentosas (monosacáridos de 5 átomos de carbono) y los hexosanos están formados por aldohexosas (monosacáridos de 6 átomos de carbono).

Figura 1.6. Aldo-pentosas (*L*-arabinosa, *L*-arabinopiranososa, *L*-arabinofuranosa)

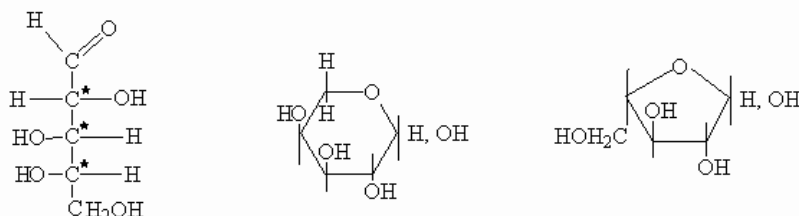
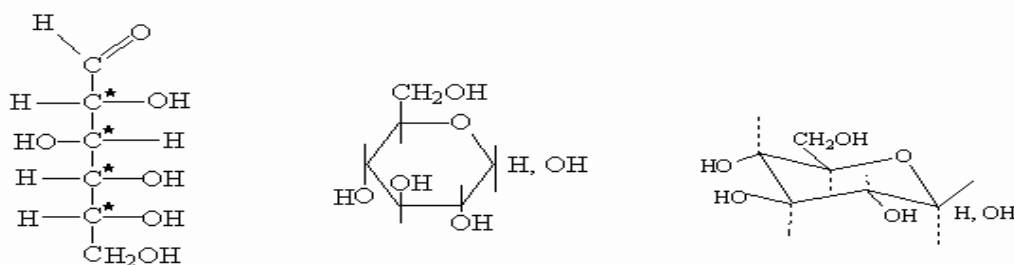


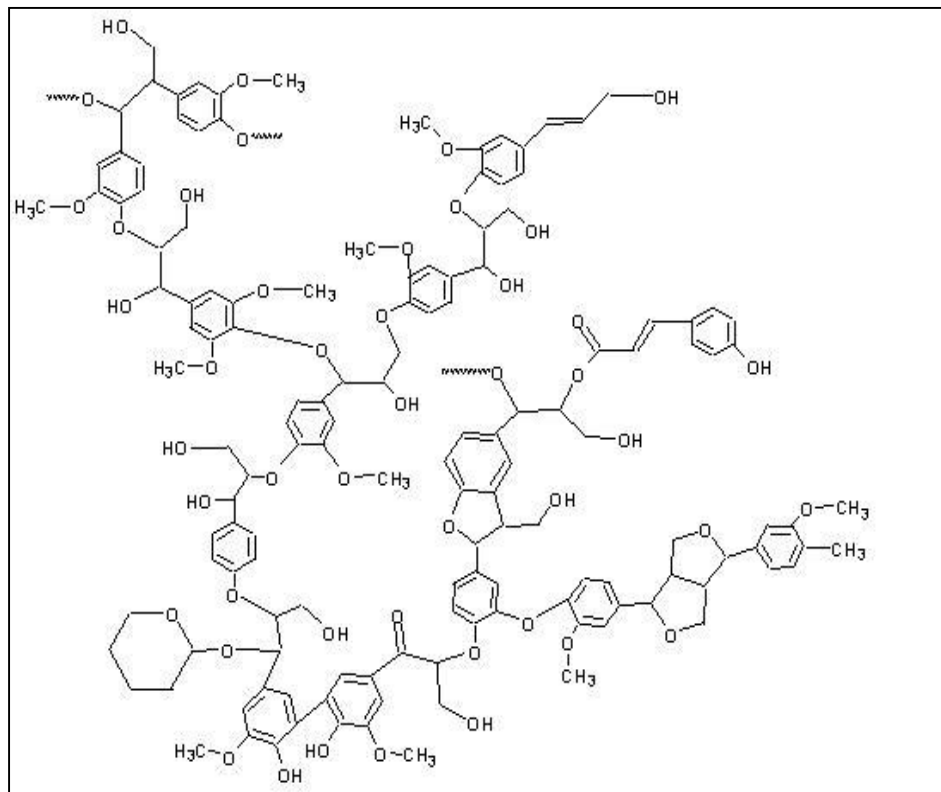
Figura 1.7. Aldo-hexosas (*D*-(+)-glucosa, *D*-(+)-glucopiranososa, *D*(+) glucopiranososa)



Fuente: VICTORIA ANDREA CORTÍNEZ V. 2010.

Por su parte, la lignina es un compuesto básicamente hidrófobo, característica frecuente en los compuestos aromáticos. Por ello, no puede ser disuelto en un medio acuoso, a no ser que se introduzcan en su estructura grupos sustituyentes polares mediante reacciones químicas, los cuales sean capaces de estabilizar la disolución de lignina en agua. Éste procedimiento se lleva a cabo en ocasiones, haciendo reaccionar la lignina con compuestos derivados del azufre, que introducen sustituyentes sulfonados en la estructura de la lignina, haciéndola entonces soluble.

Figura 1.8. Estructura General de la Lignina



Fuente: VICTORIA ANDREA CORTÍNEZ V. 2010.

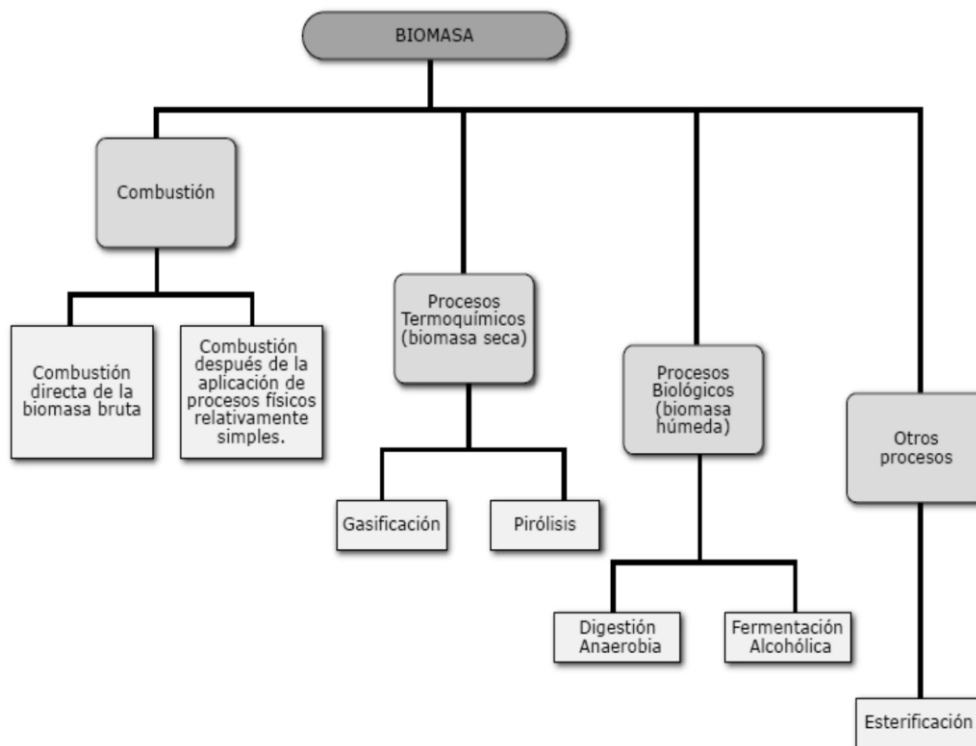
1.4. Tecnología de la Biomasa

La biomasa es un recurso que se presenta en una variedad de materiales diferentes: madera, serrín, paja, restos de semillas, estiércol, desechos de papel, desechos domésticos, aguas residuales, etc.

Las características de algunos materiales permiten que éstos puedan emplearse como combustibles directamente, sin embargo, otros requieren de una serie de tratamientos previos, que precisan distintas tecnologías antes de su aprovechamiento.

En la siguiente figura se muestra una clasificación de los procesos de extracción de energía de la biomasa, ordenados en función de la complejidad de los mismos.

Figura 1.9. Clasificación de los Procesos de Extracción de Energía de la Biomasa



Fuente: Estado del arte de la investigación de la biomasa como alternativa energética, 2012.

1.4.1. Procesos Biológicos (biomasa húmeda)

En estos procesos la biomasa húmeda se degrada gracias a la acción de microorganismos, que contiene la biomasa o que se incorporan al proceso, obteniéndose productos de alta densidad energética. Los dos procesos más conocidos son la digestión anaerobia y la fermentación alcohólica.

1.4.1.1. Procesos de Fermentación Alcohólica

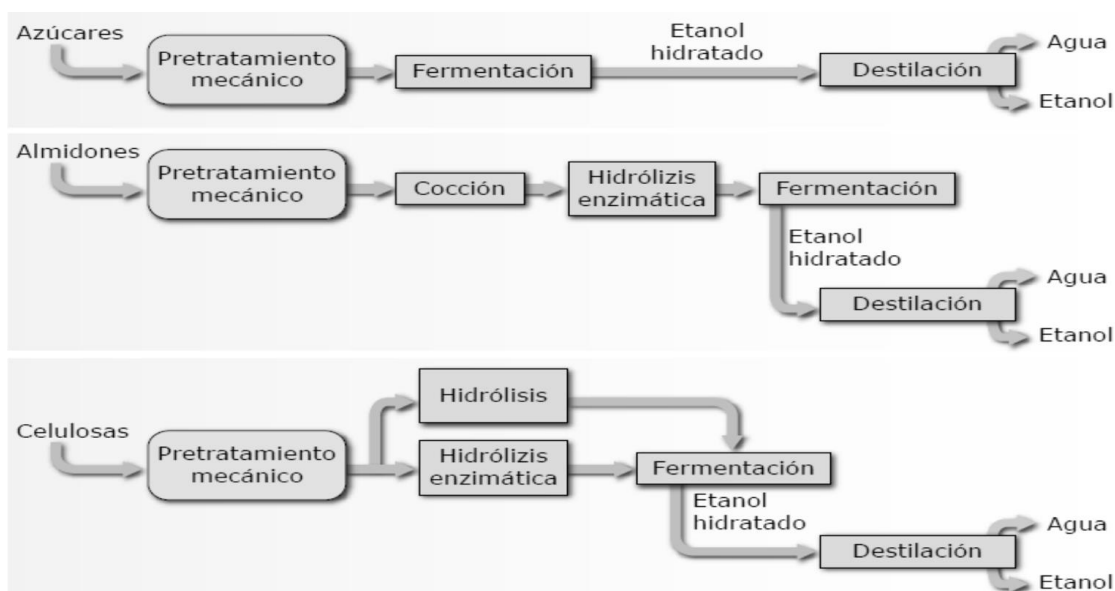
Principalmente se utilizan tres familias de productos para la obtención del alcohol:

- Materiales portadores de azúcares simples que contienen carbohidratos como fuente de azúcares, tales como: la caña, la remolacha, las melazas o el sorgo.
- Materiales amiláceos los cuales contienen almidón como: fuente de azúcares, tales como la yuca, el maíz o la papa.

- Materiales lignocelulósicos, que contienen celulosa, hemicelulosa, tales como: el bagazo, la madera, residuos agrícolas o residuos urbanos.

Normalmente, el proceso de producción involucra cuatro etapas.

Figura 1.10. Esquema Conceptual del Proceso de Fermentación Alcohólica



Fuente: Estado del arte de la investigación de la biomasa como alternativa energética, 2012.

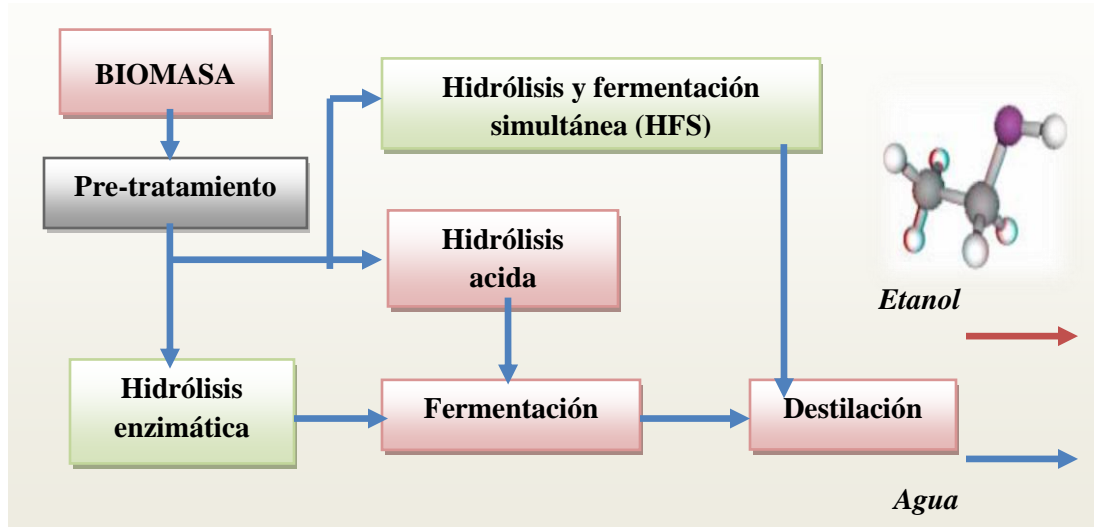
Mediante el pre tratamiento mecánico (el más usual), se pretende aumentar la superficie de contacto de la biomasa en el tratamiento. Éste comprende la trituración, molienda, etc. Los hidratos de carbono complejos se rompen mediante hidrólisis de microorganismos (hidrólisis enzimática) o mediante reactivos químicos (hidrólisis química). Mediante el proceso de fermentación alcohólica se transforman los azúcares en etanol hidratado, gracias a la intervención de determinados microorganismos (por bacterias o por levaduras, en su mayor parte de cepa de *Saccharomyces cerevisiae*). Finalmente, el etanol es destilado con el objeto de liberarlo del agua.

1.4.2. Obtención de Bioetanol a partir de Materiales Lignocelulósicos.

El proceso para la obtención de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos contempla varias etapas y cada etapa se la puede realizar de diferente manera.

Las etapas son las siguientes:

Figura 1.11. Proceso de obtención de bioetanol



Fuente: Elaboración propia, 2012.

1.4.2.1. Pre-tratamiento

Un pre-tratamiento efectivo debe disociar el revestimiento que la lignina y la hemicelulosa forman alrededor de la celulosa con el fin de aumentar la accesibilidad de ésta a las enzimas u otros agentes químicos, debe alterar las características estructurales de la celulosa, tales como la cristalinidad o el grado de polimerización, y provocar la solubilización y redistribución de la lignina. Existen diferentes tecnologías de pre-tratamiento de la biomasa lignocelulósica, que pueden ser clasificadas según su naturaleza en pre-tratamientos físicos, químicos, biológicos y físico-químicos.

Dentro de los pre-tratamientos físicos se engloba la molienda que utiliza fuerzas de impacto y cizalla para disminuir la cristalinidad de la celulosa. Los requerimientos energéticos en este tipo de pre-tratamientos dependen del tamaño final de partícula que se quiera alcanzar y de la materia prima a pre-tratar, pero en todos los casos supone altos costes energéticos y de capital.

Los pre-tratamientos químicos emplean diferentes agentes como el ozono, ácidos, álcalis, peróxido y solventes orgánicos. Entre los diferentes pre-tratamientos químicos, el pre-tratamiento con ácido diluido ha sido el más estudiado y mejora significativamente la hidrólisis enzimática.

Los pre-tratamientos biológicos implican el uso de microorganismos como los hongos de la podredumbre blanca, parda o blanda, capaces de degradar la lignina y hemicelulosa. El principal inconveniente es que dichos hongos también consumen celulosa, lo que supone un problema para el rendimiento total del proceso. Además, la lentitud a la que se desarrollan estos procesos supone una desventaja adicional.

Entre los pre-tratamientos físico-químicos la explosión por vapor (EV) ha sido el pre-tratamiento más ampliamente utilizado para la biomasa lignocelulósica. Debido a su idoneidad para un amplio rango de materias primas. El pre-tratamiento por explosión por vapor (EV) es un pre-tratamiento hidro-térmico en el que la biomasa es sometida a la acción de vapor saturado a relativamente alta presión durante un periodo determinado de tiempo (que puede variar desde unos segundos a varios minutos).

Junto a la EV, el pre-tratamiento con agua caliente en fase líquida (ACL) y la explosión por vapor con amoníaco (AFEX, del inglés “amonia fiber Explosión”) también se muestran como pre-tratamientos físico-químicos eficientes para la biomasa lignocelulósica. El ACL consiste en someter a la biomasa a agua caliente en estado líquido y alta presión durante un periodo determinado de tiempo. Con este pre-tratamiento se obtiene una gran recuperación de los azúcares hemicelulósicos y se generan concentraciones bajas de productos de degradación.

El pre-tratamiento (AFEX) es similar a la EV. La biomasa se impregna con amoníaco a alta presión y el pre-tratamiento se realiza a temperaturas por debajo de 100°C. El material se somete a una rápida descompresión, lo que modifica la estructura de la lignina, favoreciendo la accesibilidad de las enzimas a la celulosa. Este pre-tratamiento ha sido empleado con éxito con materiales herbáceos, sin embargo, no se obtienen demasiado buenos rendimientos con maderas duras y no es adecuado para las maderas blandas.

1.4.2.2. Hidrólisis

Las celulosas no pueden ser fermentadas directamente, es necesario convertirla en azúcares más sencillos para su conversión en alcohol. La hidrólisis es un proceso químico que divide la molécula de celulosa por la acción de la molécula de agua. Las complejas estructuras de la celulosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) son divididas en diferentes procesos para conseguir una solución azucarada, y eliminar productos de descomposición de los azúcares que pueden inhibir o, al menos, dificultar el proceso de fermentación. Principalmente se realizan procesos de hidrólisis de ácidos concentrados y bajas temperaturas, de ácidos diluidos y altas temperaturas y enzimáticos.

1.4.2.2.1. Hidrólisis con Ácidos Concentrados

En la hidrolisis química, ácidos, como sulfúrico (barato y eficaz), clorhídrico, nítrico y ácido fluorhídrico (proporción de 70 – 77%) puede ser utilizado para descomponer la celulosa y hemicelulosa a sus monómeros.

La hidrólisis con ácido concentrado permite utilizar temperaturas más bajas en el proceso, las que reducen la cantidad de subproductos y proporcionan mayor rendimiento en azúcar. Los ácidos concentrados llegan a atacar los puentes de hidrogeno existentes entre las cadenas de celulosa, destruyendo su cristalinidad. Con ello se puede formar el ion carbonilo intermedio de la etapa de hidrólisis y esta transcurre a temperatura moderada (20 – 50°C). Con esto se reduce la reacción de degradación, lo que permite rendimientos aceptables de glucosa en tiempos relativamente cortos. El ácido sulfúrico presenta problemas relativos a su recuperación. El uso de ácido clorhídrico tiene la ventaja de su fácil recuperación, dada su volatilidad, pero su alta corrosividad eleva los costos de mantenimiento. El fluorhídrico es también volátil, siendo fácil su recuperación, pero su peligrosidad y su alto coste juegan en su contra.

1.4.2.2.2. Hidrólisis con Ácidos Diluidos

La hidrólisis con ácido diluido es un método viejo (1819) y fue utilizado durante la Segunda Guerra Mundial en Alemania. En la actualidad, la hidrólisis con ácido diluido se usa comúnmente como un pre-tratamiento anterior a la hidrólisis enzimática. La hidrólisis química con ácido sulfúrico diluido ha sido reportada por sus altas tasas de reacción y por su efectiva hidrólisis de la celulosa. A una temperatura moderada la sacarificación tiene bajos rendimientos. A altas temperaturas el tratamiento con ácido diluido favorece la hidrólisis de la celulosa y se hidroliza cerca del 80% de la hemicelulosa. La lignina no se solubiliza pero si aumenta los rendimientos de la hidrólisis enzimática. Existen dos condiciones típicas de la hidrólisis con ácido diluido: (1) altas temperaturas (entre 160 – 200°C), en un proceso continuo con bajas cargas de sólido (5-10% peso sustrato/peso mezcla) o (2) bajas temperaturas (120 – 160°C), en un proceso con alta carga de sólidos (10-40%).

La hidrólisis con ácido diluido ha sido exitosamente probada en el pre-tratamiento de materiales lignocelulósicos como desechos de maíz, bagazo de caña, madera y astillas de álamo, paja de trigo y pasto. Ésta utiliza H₂SO₄, HCl, HNO₃ entre 1-5%. Las variables comúnmente estudiadas son la temperatura, la concentración del ácido y la razón sólido/líquido.

Los siguientes datos muestran un diseño experimental de Hidrólisis Ácida de Sustratos Residuales Agroindustriales Colombianos.

Tabla I-4. Diseño experimental de hidrólisis ácida de residuos agroindustriales

Variable	Niveles para cada variable
<i>Sustrato</i>	<i>Paja de cebada, restos de maíz, paja de trigo</i>
<i>Porcentaje de ácido sulfúrico</i>	<i>2%, 4%, 6%, 8%</i>
<i>Tiempo de reacción (Horas)</i>	<i>4, 8 y 12</i>
<i>Variable respuesta</i>	<i>% de azúcares reductores producidos</i>

Fuente: Elsa M. Fonseca S. Fundación Universitaria Manuela Beltrán, Colombia 2006.

Tablas: I-5. Tratamientos experimentales y resultados obtenidos

Tratamiento No	% H ₂ SO ₄	Tiempo de hidrólisis (horas)	% AR a partir de Restos de Maíz	% AR a partir de Paja de trigo	% AR a partir de Paja de Cebada
1	2	4	17,40	9,84	9,13
2	4	4	16,28	8,52	9,13
3	6	4	13,71	7,73	5,18
4	8	4	18,12	8,96	3,95
5	2	8	16,13	15,02	13,61
6	4	8	11,71	17,83	4,74
7	6	8	16,43	23,97	4,74
8	8	8	16,12	15,98	5,36
9	2	12	15,27	8,87	4,48
10	4	12	13,27	13,96	4,92
11	6	12	13,78	13,44	5,88
12	8	12	18,09	21,84	5,62

Fuente: Elsa M. Fonseca S. Fundación Universitaria Manuela Beltrán, Colombia 2006.

Los resultados del trabajo mencionado muestran que es factible la obtención de cantidades importantes de azúcares reductores (alrededor de 24% para el trigo y 18% para el maíz), por el método de hidrólisis con ácidos diluidos.

1.4.2.2.3. Hidrólisis Enzimática

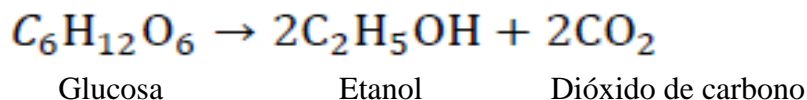
Una alternativa a la hidrólisis química es la hidrólisis enzimática que consiste en “romper” (hidrolizar) la celulosa por la adición de determinadas enzimas. La celulosa es degradada por las “celulasas” a azúcares, que pueden ser fermentados por levaduras o bacterias para producir etanol. Por lo general se utilizan “celulasas”, provenientes de diversos microorganismos (como el hongo *Trichoderma viride* y *Myrothecium verrucaria*, en menor escala).

La hidrólisis enzimática presenta ventajas frente a la hidrólisis química, como menores costos de equipamiento (debido a que se realiza a presión atmosférica y a temperatura próxima a la ambiental), mayores rendimientos y no necesita utilizar agentes químicos. La desventaja de la hidrólisis enzimática es la baja tasa de hidrólisis y el elevado costo de las enzimas.

1.4.2.3. Fermentación Alcohólica

La fermentación alcohólica (denominada también como fermentación del etanol o incluso fermentación etílica) es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de oxígeno (anaeróbico), originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbonos (por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.) para obtener como productos finales: el alcohol etílico (cuya fórmula química es: $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) y dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas y unas moléculas de ATP (adenosin tri-fosfato) que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico.

La conversión se representa mediante la ecuación siguiente:



El proceso de fermentación consta de tres fases bien diferenciadas:

- 1) *fase de inducción*, es aquella durante la cual las levaduras se multiplican y la fermentación empieza a producirse.
- 2) *fase tumultuosa*, se caracteriza por un aumento de gas carbónico y elevación de la temperatura, al mismo tiempo, la velocidad de fermentación es bastante grande, notándose en la superficie del líquido mucho burbujeo y gran cantidad de espuma.
- 3) *fase lenta*, esta comienza al terminar la fermentación tumultuosa. Durante este período, los mostos fermentan a menor velocidad, se nota menos el burbujeo, y la espuma y la temperatura comienza a descender.

1.4.2.3.1. Levaduras

Las levaduras son cuerpos unicelulares (generalmente de forma esférica) de un tamaño que ronda los 2 a 4 micrómetros y que están presentes de forma natural en

algunos productos como las frutas, cereales y verduras. Son lo que se denominan: organismos anaeróbicos facultativos, es decir que pueden desarrollar sus funciones biológicas sin oxígeno.

Figura 1.12. Levaduras Saccharomyces cerevisiae



Fuente: Wikipedia, 2012

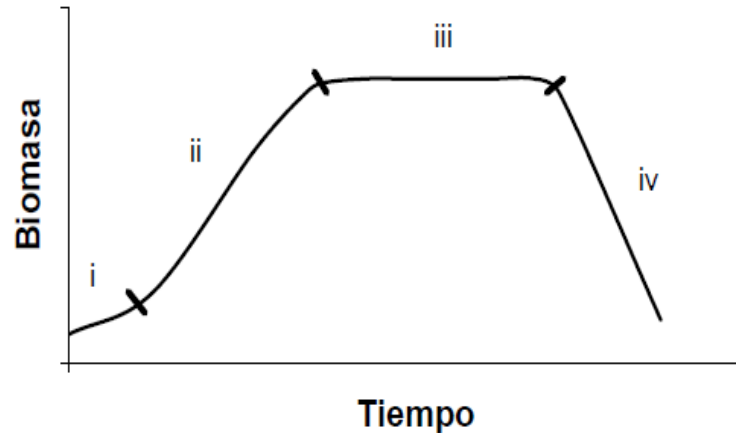
Se puede decir que el 96% de la producción de etanol la llevan a cabo microscópicos, diferentes especies de levaduras, entre las que se encuentran principalmente *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluyveromyces fragilis*, *Torulaspota* y *Zymomonas mobilis*.

Los microorganismos responsables de la fermentación son de tres tipos: bacterias, mohos y levaduras. Cada uno de estos microorganismos posee una característica propia sobre la fermentación, que son capaces de provocar. En algunos casos son capaces de proporcionar un sabor característico al producto final (como en el caso de los vinos o cervezas).

1.4.2.3.2. Crecimiento Microbiano

El comportamiento del crecimiento de la levadura en el tiempo se representa por una curva de crecimiento, la cual consiste en cuatro fases (*Anabel Sánchez, 2011*):

Figura 1.13. Curva de crecimiento de levaduras



Fuente: Anabel Sánchez, 2011.

(i) Fase lag. Representa el periodo de adaptación de la levadura a las nuevas condiciones nutricionales y ambientales. En esta fase no existe aumento en el número de células debido a que la levadura utiliza la energía disponible para sintetizar las enzimas que requiere para su desarrollo en el nuevo medio.

(ii) Fase logarítmica o exponencial. En esta fase las células se multiplican de manera exponencial. La velocidad de crecimiento puede ser cuantificado con base al número de células que se producen por unidad de tiempo. La fase termina cuando los nutrientes se agotan, las condiciones ambientales se modifican ó cuando la célula produce metabolitos tóxicos que inhiben su reproducción.

(iii) Fase estacionaria. En esta fase la velocidad de crecimiento de la levadura es igual a la velocidad de muerte. Una vez que se obtiene la máxima concentración de células, la producción de etanol disminuye.

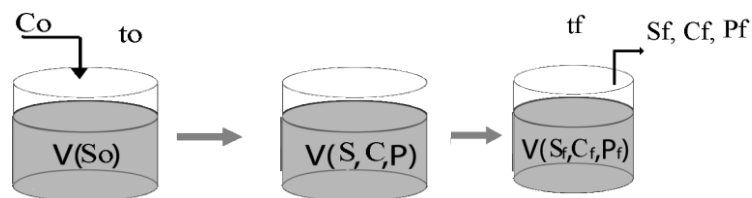
(iv) Fase de muerte. Es la fase en la que el número de muertes es mayor al número de nuevas células formadas. Esta fase continúa hasta que la población disminuye a una pequeña fracción de células resistentes o hasta que todas las células mueren.

1.4.2.3.3. Cinética de Fermentación

En un medio de azucarado el desarrollo de un microorganismo viene acompañado de la degradación o consumo de nutrientes y de la formación de productos. El estudio de los cambios de concentración con respecto al tiempo, en estos tres tipos de elementos (células, sustrato y producto) se les denomina cinética de fermentación.

La cinética de fermentación consiste en seguir en función del tiempo (t) la concentración celular (C), del nutriente limitante (sustrato) (S) y del producto formado (P). Las consideraciones de ingeniería son tan importantes como los factores químicos y biológicos involucrados.

Figura 1.14. Sistema de fermentación en discontinuo



Fuente: elaboración propia, 2012.

Donde:

Co: concentración celular inicial

Cf: concentración celular final

So: sustrato inicial

Sf: Sustrato final

to: tiempo inicial

tf: tiempo final

P: producto formado

Pf: producto formado final

V: volumen del sistema

- Crecimiento de la levadura: En un cultivo sumergido, la velocidad específica de crecimiento de la levadura se puede presentar con la ecuación cinética general para los microorganismos unicelulares:

Acumulación total = Crecimiento – Desaparición o muerte

$$\left(\frac{dC}{dt}\right) = \mu C - \alpha C \quad (1)$$

Donde:

μ = Velocidad específica de crecimiento microbiano (h^{-1}).

α = Tasa de mortalidad específica (h^{-1}).

C = concentración de levaduras (peso seco celular g/l).

En la fase de crecimiento exponencial no hay muerte celular por tanto la ecuación se reduce a:

$$\left(\frac{dC}{dt}\right) = \mu C \quad (2)$$

- Consumo del sustrato: La velocidad de consumo de sustrato limitante (fuente de carbono) está ligada directamente a la velocidad de crecimiento de la levadura. Al entrar en la célula, el sustrato tiene tres destinos: para funciones de mantenimiento, para crecimiento microbiano y para la formación de productos excretados. En un cultivo sumergido discontinuo, la cinética de consumo de sustrato limitante se representa así:

Acumulación de (S) = - crecimiento – formación de (P) – mantenimiento

$$\left(-\frac{dS}{dt}\right) = -\frac{\mu C}{y_{cs}} - \frac{q_p C}{y_{ps}} - mC \quad (3)$$

Donde:

S = Concentración del sustrato (g/l).

y_{cs} = Coeficiente de conversión de sustrato en levaduras.

y_{ps} = Coeficiente de conversión de sustrato en producto.

m = Requerimiento de Mantenimiento.

q_p = Velocidad específica de formación del producto.

Factorizando:
$$-\frac{1}{C} \left(\frac{dS}{dt}\right) = -\frac{\mu}{y_{cs}} - \frac{q_p}{y_{ps}} - m \quad (4)$$

Si se define que:
$$q_s = \frac{1}{C} \left(\frac{dS}{dt}\right) \quad (5)$$

Entonces:
$$-q_s = -\frac{\mu}{y_{cs}} - \frac{q_p}{y_{ps}} - m \quad (6)$$

$$q_s = \frac{\mu}{y_{cs}} + \frac{q_p}{y_{ps}} + m \quad (7)$$

q_s = Velocidad específica de consumo del sustrato.

- Formación de etanol: La velocidad de formación de etanol y dióxido de carbono están ligadas directamente a la de crecimiento de la levadura; de este modo, la cinética de cada producto puede representarse en un cultivo discontinuo de la siguiente manera:

Velocidad de acumulación de producto = Formación – Destrucción

$$\left(\frac{dP}{dt}\right) = q_p C - KP \quad (8)$$

Donde:

K = Velocidad de destrucción del producto (h^{-1}).

P = Concentración del producto (g_p/l).

q_p = Velocidad específica de formación del producto.

Los productos se pueden formar durante la fase de crecimiento, en cuyo caso la rapidez de síntesis de producto se relaciona con la rapidez de crecimiento.

- Rendimientos de levaduras y producto: Tanto (y_{cs}) como (y_{ps}), son parámetros que representan la eficacia de conversión de sustrato en levaduras y productos. Se define como la masa de levaduras o producto formado por unidad de masa de sustrato consumido:

$$\frac{dC}{dt} = -y_{cs} * \frac{dS}{dt} \quad (9)$$

$$\frac{dP}{dt} = -y_{ps} * \frac{dS}{dt} \quad (10)$$

- Medición de rendimientos: se debe medir la masa de levaduras formada o el producto y sustrato consumido en un periodo y calcular:

$$y_{cs} = \frac{\Delta C}{\Delta S} \quad (11)$$

$$y_{ps} = \frac{\Delta P}{\Delta S} \quad (12)$$

Los coeficientes de rendimientos no son constantes durante la fase de crecimiento.

Para el mantenimiento (m), Pirt dedujo una ecuación que relaciona (m) con el rendimiento en masa de levaduras (y_m) medido.

$$\frac{1}{y_m} = \frac{m}{\mu} + \frac{1}{y_g} \quad (13)$$

y_m = Rendimiento medido.

y_g = Rendimiento real.

La energía de mantenimiento es una constante específica de rapidez, generalmente son muy pequeñas.

El rendimiento teórico de formación de etanol máximo es:

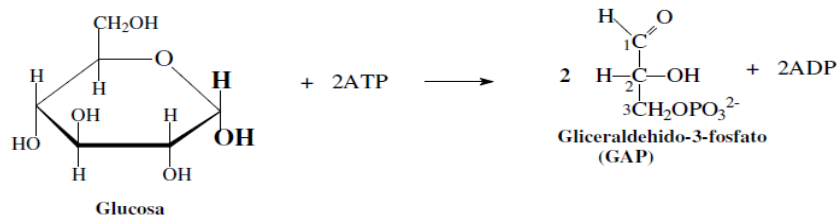
$$Y_T = 0.51 \text{ g etanol/g glucosa.}$$

1.4.2.3.4. Bioquímica de la Reacción

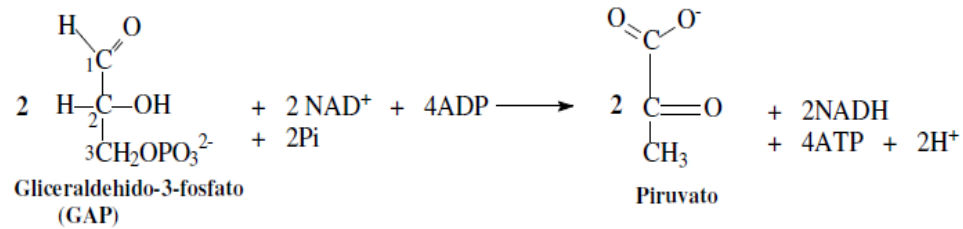
El principal camino metabólico implicado en la fermentación del etanol *con Saccharomyces cerevisiae*, es la glicólisis (ruta de Embden-Meyerhof-Parnas), por la cual una molécula de glucosa es metabolizada, y se producen dos moléculas de piruvato.

La ruta de Embden – Meyerhof Parnas es la más común para el metabolismo de la glucosa y procede a través de una serie de transformaciones involucrando reacciones de fosforilación, las cuales son importante en la producción de energía para el crecimiento celular. Esta ruta consiste de dos fases:

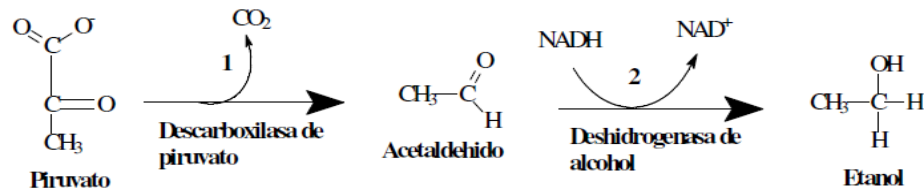
- Fase preparatoria (fase de inversión de energía). La glucosa tras su activación y transformación en otras hexosas, se descompone en dos moléculas de *gliceraldehído-3-fosfato*, es decir, en dos moléculas de tres átomos de carbono. Para ello se necesita la energía aportada por dos moléculas de ATP (adenosín trifosfato).



- Fase productiva (fase de generación de energía). Las dos moléculas de *gliceraldehído-3-fosfato* se oxidan después, a través de una serie de reacciones, hasta rendir dos moléculas de piruvato. En esta oxidación se necesita NAD^+ (Nicotinamida adenina dinucleótido), que se reduce a NADH . La energía liberada en el proceso es utilizada para fabricar cuatro moléculas de **ATP**.



- Bajo condiciones anaeróbicas el piruvato se descarboxila para formar acetaldehído por acción del piruvato descarboxilasa; éste a su vez es reducido a etanol por acción del alcohol deshidrogenasa.



1.4.2.3.5. Limitaciones del Proceso de Fermentación

La determinación de los factores que limitan la glicólisis fermentativa del etanol son complejos debido a la interrelación existente y a la naturaleza de los parámetros intervinientes durante el proceso de fermentación.

En las limitaciones que surgen durante el proceso se pueden enumerar algunos de los más importantes son:

- *Concentración de etanol resultante.*- Una de las principales limitaciones del proceso, es la resistencia de las levaduras a las concentraciones de etanol (alcohol) que se llegan a producir durante la fermentación, algunos

microorganismos como la *saccharomyces cerevisiae* pueden llegar a soportar hasta el 20% de concentración en volumen.

- *Acidez del substrato.*- El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación ya que las levaduras se encuentran afectadas claramente por el ambiente, bien sea alcalino o ácido. Por regla general el funcionamiento de las levaduras está en un rango que va aproximadamente desde 3.5 a 5.5 pH. Se procura mantener los niveles óptimos de acidez durante la fermentación usualmente mediante el empleo de disolución.
- *Concentración de azúcares.*- Las levaduras fermentativas necesitan los azúcares para su *catabolismo*, es decir para obtener la energía necesaria para sus procesos vitales. El principal nutriente de las levaduras es el carbono, el cual es suministrado por los azúcares contenidos en la materia prima, siendo la concentración de azúcar un valor que se debe considerar ya que afecta la velocidad de la fermentación, el comportamiento y el desarrollo de las células de la levadura. Suele ser satisfactoria una concentración de azúcar del 10 al 18%, el valor más corriente es del 12%. Cuando se trabaja con concentraciones de azúcar muy altas, del orden de 22%, se observa una deficiencia respiratoria en la levadura y un descenso de la velocidad de fermentación; por el contrario, al trabajar con concentraciones muy bajas, el proceso resulta antieconómico ya que requiere un mayor volumen para la fermentación.
- *Oxígeno.*- Las levaduras son organismos anaeróbicos facultativos, que significa que pueden vivir sin oxígeno. Sin embargo, una aireación al comienzo de la fermentación asegura una buena cantidad de levaduras que se multiplicarán, de igual manera las levaduras normalmente utilizan la respiración aeróbica para oxidar la glucosa y así procesar su alimento, obteniendo ATP.
- *La temperatura.*- Se debe tener en cuenta que para cada levadura existe una temperatura óptima de desarrollo, en la cual se muestra activa. Además, se tiene una zona independiente de la temperatura óptima en la cual la levadura aún presenta actividad; a medida que se aleja de la temperatura óptima su actividad disminuye notablemente. Por debajo de la temperatura señalada como mínima y por encima de la máxima, las levaduras continúan viviendo en estado latente, sin

embargo, al exponer cualquier levadura a una temperatura de 55 °C por un tiempo de 5 minutos se produce su muerte. En el caso de la *saccharomyces cerevisiae* se tiene un desarrollo óptimo entre 28–35 °C, recomendable 30 °C.

- *Ritmo de crecimiento de las cepas.*- Crecimiento y fermentación alcohólica están íntimamente relacionados, ya que durante la fermentación se da un paralelismo entre la desaparición del azúcar y la evolución de la población de levaduras en el tiempo.

La pauta de crecimiento de las levaduras durante la fermentación alcohólica es similar al ciclo de crecimiento clásico de microorganismos, pero prácticamente se reduce a tres fases.

- 1) Fase de crecimiento con multiplicación activa de levaduras (las células alcanzan su máxima velocidad de duplicación y llevan a cabo un metabolismo fermentativo del que se produce etanol).
- 2) Fase estacionaria, donde se mantiene la viabilidad de las levaduras presentes pero no hay multiplicación (se presenta cuando los nutrientes del medio se han agotado).
- 3) Fase de declive, donde comienza la mortandad celular y avanza paulatinamente.

1.4.2.4. Hidrólisis y Fermentación Alcohólica Simultánea (HFS)

En los procesos de hidrólisis y fermentación simultánea (HFS), las etapas son las mismas que en los sistemas de fermentación e hidrólisis por separado, excepto que ambos se desarrollan en el mismo reactor.

La levadura junto con la enzima celulolítica reduce la acumulación de azúcares en el reactor, incrementa la tasa de hidrólisis y por ende el rendimiento con respecto a la fermentación e hidrólisis por separado. Los procesos de HFS requieren condiciones similares de pH, T° y concentración óptima de sustrato, tanto para la hidrólisis como para la fermentación.

Uno de los problemas asociados a la HFS es la diferencia de temperatura óptima para cada proceso; sin embargo, para disminuir este problema en los procesos HFS se están empleando levaduras termotolerantes, como la *Kluyveromices fragilis*, para aumentar aún más el rendimiento con respecto a la levadura convencional; esta última fue utilizada en el estudio sin modificar y modificada genéticamente.

La tasa de sacarificación en el proceso de hidrólisis y fermentación por separado se ve fuertemente afectada por la inhibición del producto final. En la HFS la inhibición disminuye debido a que la glucosa es consumida por el organismo fermentativo tan pronto como este se desarrolla.

Otras ventajas de la HFS es que disminuye los costos del proceso debido a la eliminación de una etapa, y presenta menor riesgo de contaminación, ya que la concentración de glucosa es reducida.

1.4.2.5. Destilación

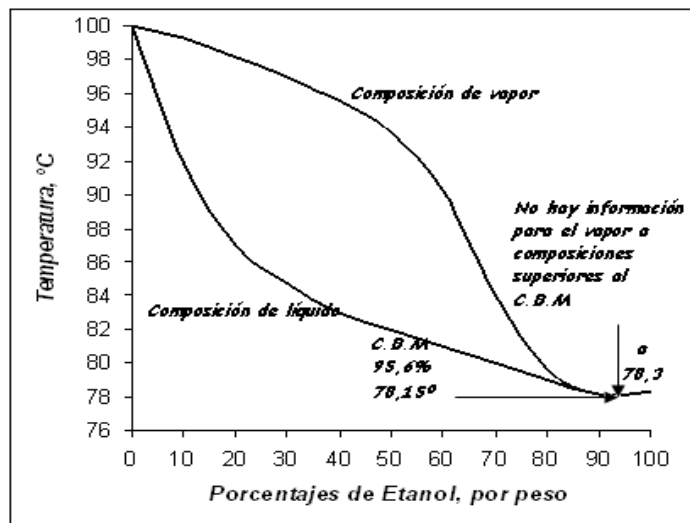
El bioetanol se obtiene por fermentación de medios azucarados hasta lograr un grado alcohólico, después de fermentación, en torno al 10-15%, concentrándose por destilación para la obtención del "alcohol hidratado" o llegar hasta el alcohol absoluto tras un proceso específico de deshidratación. Esta última calidad es la necesaria si se quiere utilizar el alcohol en mezclas con gasolina en vehículos convencionales

La destilación es una de las más importantes operaciones unitarias empleadas en los procesos de separación. Los sistemas modernos de destilación son multi-etapa, continuos, en contracorriente y de contacto vapor-líquido que operan dentro de las leyes físicas que establecen que materiales distintos bullen a distintas temperaturas.

El alcohol producido por fermentación contiene una parte significativa de agua, que debe ser eliminada para su uso como combustible.

La destilación convencional separa la mayor parte del agua, llegando a una concentración máxima de 95,6% de etanol en peso, cuyo punto de ebullición a 1 atm es de 78.2°C; este es el límite de separación para esta operación, ya que este es el punto donde la mezcla etanol-agua alcanza la composición isotrópica.

Figura 1.15. Diagrama de punto de ebullición de mezclas etanol-agua. Azeotropo



Fuente. Grupo de Investigación INMECNAR, 2010.

En el azeotropo, la mezcla etanol-agua alcanza un valor de composición constante; en términos prácticos, esto significa que, en condiciones normales, el vapor rico en etanol en la cima de la torre de destilación tiene la misma composición del líquido del cual se generó por ebullición, haciéndose imposible una separación mayor.

1.4.2.5.1. Destilación Extractiva Combinada con Efecto Salino

Para lograr una concentración mayor de etanol y deshidratarlo totalmente, es necesario romper el azeotropo y, por lo tanto, emplear otros métodos de separación utilizando un tercer compuesto a la mezcla etanol-agua.

Para romper o desplazar el azeotropo también se puede aprovechar el efecto salino, el cual se presenta cuando una sal se disuelve en una solución de líquidos y altera el equilibrio termodinámico, e incluso puede afectar la solubilidad del sistema.

Generalmente, dado que la sal es un componente no volátil, sólo está presente en la fase líquida mientras que el vapor en equilibrio tiene la mayor concentración del componente en el cual la sal es menos soluble.

Los iones de la sal tienen tendencia a aglomerarse preferencialmente con moléculas de los componentes más polares, por eso la selectividad y la magnitud del efecto de la

sal sobre la composición de la fase vapor depende de la diferencia de solubilidades individuales de la sal con los componentes líquidos.

La destilación extractiva con una combinación de sal y solvente como agente de separación (estudio que se inició en los años sesentas) permite obtener productos de alta pureza; este proceso integra destilación extractiva tradicional con el principio del efecto salino, en donde la disolución de la sal, la reutilización y el transporte son mejorados por el solvente, con la ventaja adicional de que la cantidad de agente de separación necesario se reduce en un 50%, lo cual disminuye los requerimientos energéticos de manera sustancial.

Actualmente, se conocen varios procesos que usan sales disueltas en etilenglicol, sin embargo, considerando las restricciones que se deben tener por seguridad industrial con relación al manejo del etilenglicol dada su alta toxicidad, se está investigando otro tipo de solventes como agentes de separación que permitan desarrollar procesos factibles técnicamente, menos riesgosos y más rentables.

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Materia Prima

Como materia prima se utilizó residuos sólidos vegetales generados en el Comedor Universitario de la U.A.J.M.S.

Figura 2.1. Residuos Sólidos Vegetales



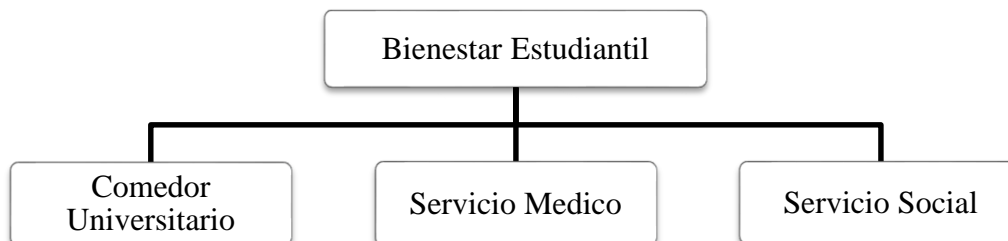
Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.2. Bienestar Estudiantil

La División de Bienestar Estudiantil es un órgano administrativo cuyas políticas sociales están relacionadas directamente con el bienestar del Universitario y la planificación y ejecución de programas en las áreas de salud, alimentación, asistencia social y otros. Proporciona a la Comunidad Universitaria una serie de servicios fundamentales que sirvan de soporte, a través del logro de mejorar el grado de bienestar y satisfacción tanto a nivel individual como colectivo, para contribuir a alcanzar los fines académicos propuestos por la comunidad. Esta unidad busca satisfacer al máximo las necesidades básicas de los miembros de la comunidad universitaria, permitiéndoles a través de la elevación de la calidad de vida, mejorar las condiciones de trabajo y fortalecer su desempeño académico.

Tiene como objetivo brindar al estudiante el apoyo integral a través de la promoción, prevención, educación, orientación, tratamiento, rehabilitación, mediante acciones que garanticen un estado de salud Bio-psicosocial del estudiante, y de esa manera contribuir a mejorar su calidad de vida.

Figura 2.2. Estructura del Bienestar Estudiantil



Fuente: Elaboración Propia, 2012.

En la actualidad se encuentra bajo la administración del Lic. Eliezer Guevara.

2.2.1. Comedor Universitario

El comedor universitario es una dependencia de Bienestar Estudiantil de la Universidad que tiene por objeto prestar alimentación diaria a los estudiantes provenientes de familias de menores ingresos económicos y que demuestren idoneidad académica.

Se encuentra bajo la administración de la Lic. Elizeth Vides. Está conformado por dos turnos, cada turno está compuesto por un grupo de ocho cocineras y dos coperos (denominación que se les da a las personas encargadas de la elaboración de los refrescos y de la limpieza de los ambientes del comedor), la rotación de los grupos se realiza semanalmente en los turnos mañana y tarde.

En cuanto a los insumos adquiridos, las compras de los alimentos se la realizan dos veces a la semana, los lunes y los jueves. A continuación se muestra la hoja de menú de la segunda semana de noviembre de 2012 (del 5 al 11), ver Anexo A.

Tabla II-1. Hojas de Menú del Comedor Universitario

Lunes 5 de noviembre de 2012			
Almuerzo		Cena	
Sopa: Ojuela de Quinoa	Segundo: Asado en Olla	Sopa: Panitela	Segundo: Carbonada
53 kg Puchero	200 Kg Carne Camba	1 Arroba de Maicena	115 Kg Carne Picada
1 Arroba de hojuelas de Quinoa	4 (½) Arrobas de Cebolla Cabeza	25 Unidades de Gelatina	7 Arroba de Zanahoria
1/2 Arroba de Zanahoria	3 Arrobas de Zanahoria	20 Kg Azúcar	8 Arroba de Papa
1/2 Arroba de Cebolla Verde	11 Arrobas de Papa	4 Onzas Canela	3 Arroba de Cebolla Cabeza
1/2 Arroba de Nabo	1 Caja Tomate		1 (½) Kg Ají Colorado
1 Arroba de Arveja	1 (½) Kg Ají Colorado		52 Kg Arroz
36 Unidades de Morrón	50 Kg Arroz		12 Litros Aceite
6 Ramos Perejil	12 Litros de Aceite		15 Unidades Caldo
6 Ramos Acelga	3 Ramos Laurel		1 (½) Arroba de Arveja
3 Arrobas de Papa	(¼) Onza Pimienta		4 Onzas Comino
15 Unidades de Caldo	15 Unidades Caldo		(¼) de Caja Tomate
17 Unidades de Sal			
Refresco			
120 Unidades de Limón			
50 Kg Azúcar			

Martes 6 de noviembre de 2012			
Almuerzo		Cena	
Sopa: Fideo	Segundo: Escabeche Pollo	Sopa: Toddy con Pan	Segundo: Hamburguesa
53 Kg Puchero	249 Kg Pollo	4 Botes Toddy	130 Kg Carne Molida
10 Kg Fideo	4 (½) Arrobas de Cebolla Cabeza	10 Kg Azúcar	600 Unidades de Huevo
½ Arroba de Cebolla Verde	3 Arrobas de Zanahoria	850 Unidades de Pan	1 Arroba de Pan Molido
½ Arroba de Zanahoria	½ Kg Ajo		1 Arroba de Cebolla Cabeza
½ Arroba de Nabo	4 Onzas Pimienta		8 Ramos Perejil
1 Arroba de Arveja	10 Ramos Perejil		4 Onzas Pimienta
36 Unidades de Morrón	10 Litros de Vinagre		½ Kg Orégano
36 Unidades de Zapallito	12 Litros de Aceite		52 Kg Arroz
6 Ramos de Perejil	50 Kg Arroz		2 Arrobas de Arveja
6 Ramos de Acelga	11 Arrobas de Papa		3 Arrobas de Zanahoria
3 Arrobas de Papa	15 Unidades de Caldo		1 Arroba de Cebolla Verde
15 Unidades de Caldo	Postre		20 Litros de Aceite
17 Unidades de Sal	600 Unidades de Plátano		
Refresco			
1 Arroba de Cebada			
50 Kg Azúcar			
4 Onzas Canela			

Miércoles 7 de noviembre de 2012			
Almuerzo		Cena	
Sopa: Chairo	Segundo: Tallarín	Sopa: Te	Segundo: Sándwich de pollo
53 Kg Puchero	180 Kg Blando	1 (½) Kg Te	249 kg Pollo
1 Arroba de Trigo	4 (½) Arroba de Cebolla	4 Onzas Canela	2 Cajas de Tomate
1 Arroba de Chuño	Cabeza	20 Kg Azúcar	4 Botes de Mayonesa
½ Arroba de Cebolla Verde	1 (½) Caja de Tomate	600 Unidades de Pan	1 Bote de Kétchup
½ Arroba de Maíz Pelado	12 Unidades de Salsa Tomate		600 Unidades de Pan
½ Arroba de Zanahoria	4 Onzas Pimienta		
½ Arroba de Nabo	3 Ramos Laurel		
1 Arroba de Arveja	75 Kg Fideo Tallarín		
36 Unidades de Morrón	15 Unidades de Caldo		
3 Arroba de Papa	15 Kg Queso		
6 Ramos de Perejil	15 Litros de Aceite		
6 Ramos de Acelga	Refresco		
15 Unidades de Caldo	1 Arroba de Linaza		
7 Unidades de Sal	100 Unidades de Limón		
	50 Kg Azúcar		

Jueves 8 de noviembre de 2012			
Almuerzo		Cena	
Sopa: Verduras	Segundo: Picante Mixto	Sopa: Té de Manzanilla	Segundo: Guiso de Fideo
53 Kg Puchero	249 Kg Pollo	10 Ramos de Manzanilla	130 Kg Carne Blanda
10 Kg Fideo Letritas	95 Unidades de Lengua	20 Kg Azúcar	52 Kg Fideo Clavito
½ Arroba de Cebolla Verde	4 (½) Arrobas de Cebolla Cabeza	850 Unidades de Pan	7 Arrobas de Papa
½ Arroba de Zanahoria	3 Kg Ají Colorado		3 Arrobas de Cebolla
½ Arroba de Nabo	15 Unidades de Caldo		1 (½) Arrobas de Arveja
1 Arroba de Arveja	2 Kg Azúcar		1 (½) Kg Ají Colorado
3 Arroba de Papa	50 Kg Arroz		4 Onzas Comino
24 Unidades de Morrón	11 Arrobas de Papa		15 Unidades de Caldo
24 Unidades de Zapallito	2 Arroba de Chuño		12 Litros de Aceite.
24 Unidades de Brócoli	12 Litros de Aceite		
24 Unidades de Coliflor	8 Kg Maní		
6 Ramos de Acelga	Ensalada		
6 Ramos de Perejil	2 (½) Caja de Tomate		
15 Unidades de Caldo	1 (½) Arroba de Cebolla		
17 Unidades de Sal	Refresco		
Postre	1 Arroba de Cacha		
600 Unidades de Plátanos	4 onzas Canela		
	50 Kg Azúcar		

Viernes 9 de noviembre de 2012			
Almuerzo		Cena	
Sopa: Pollo	Segundo: Pastel de Fideo	Sopa: Café con Leche	Segundo: Lomito en pan
53 Kg Puchero	175 Kg Carne Molida	4 Kg Café	130 Kg Carne Blanda
½ Arroba de Zanahoria	3 Arrobas de Cebolla Cabeza	170 Litros de Leche	480 Unidades de Huevo
½ Arroba de Cebolla Verde	3 Kg Pasas de Uva	20 Kg Azúcar	2 Canastas de Lechuga
1 Arroba de Arveja	120 Unidades de Morrón		1 (½) Cajas de Tomate
3 Arrobas de Papa	15 Unidades de Caldo		50 Unidades de Limón
6 Ramos de Acelga	600 Unidades de Huevo		4 Botes de Mayonesa
6 Ramos de Perejil	75 Kg Fideo		1 Bote de Kétchup
15 Unidades de Caldo	15 Kg Queso		12 Litros de Aceite
17 Unidades de Sal	15 Litros de Aceite		850 Unidades de Pan
Refresco	40 Litros de Leche		
54 Kg Azúcar	5 Kg Aceituna		
25 Unidades de Manzana			
4 Onzas de Canela			
4 Onzas de Clavo de olor			

Sábado 10 de noviembre de 2012			
Almuerzo		Cena	
Sopa: Triguillo	Segundo: Lomo Borracho	Sopa: Anchi con Pelón	Segundo: Arroz a la Valenciana
53 Kg Puchero	180 Kg Blando	1 Arroba de pelón	130 Kg Carne Molida
10 Kg Triguillo	5 Arrobas de Cebolla Cabeza	20 Kg Sémola	52 Kg Arroz
½ Arroba de Cebolla Verde	2 Cajas de Tomate	20 Kg Azúcar	1 (½) Arroba de Arveja
½ Arroba de Zanahoria	216 Unidades de Morrón	4 Onza Canela	3 Arroba de Zanahoria
½ Arroba de Nabo	11 Arroba de Papa		144 Unidades de Morrón
1 Arroba de Arveja	50 Kg Arroz		8 Ramos de Perejil
3 Arroba de Papa	15 Unidades de Caldo		12 Litros de Aceite
36 Unidades de Morrón	1 Damajuana Vino		1 Litros de Vinagre
6 Ramos de Acelga	¼ Arroba de Locoto		½ Kg de Ajo
6 Ramos de Perejil	15 Litros de Aceite		15 Unidades de Caldo
15 Unidades de Caldo			
17 Unidades de Sal			
Refresco			
1 Arroba de Linaza			
Tostada			
50 Kg Azúcar			
4 onza Canela			

Domingo 11 de noviembre de 2012			
Almuerzo		Cena	
Sopa: Maní con Pollo	Segundo: Pique Macho	Sopa: Refresco	Segundo: Postre
53 Kg Pollo	180 Kg Carne Camba	1 Arroba de Pelón	Gelatina
10 Kg Fideo	120 Paquetes de	25 Kg Azúcar	
½ Arroba de Cebolla Verde	Salchicha	4 Onzas de Canela	
½ Arroba de Zanahoria	6 Arrobas de Cebolla Cabeza		
1 Arroba de Arveja	3 Cajas de Tomate		
3 Arroba de Papa	180 Unidades de Morrón		
15 Unidades de Caldo	10 Frascos Salsa Soya		
7 Ramos de Perejil	4 Onzas Ají Nomoto		
17 Unidades de Sal	½ Arroba de Locoto		
10 Kg Maní	30 Arroba de Papa		
	80 Litros de Aceite		
	4 Onzas de Pimienta		
	850 Unidades de Pan Francés		
<p><i>Se muestran con negrillas los insumos de origen vegetal de los cuales se obtendrán los residuos necesarios para la obtención de bioetanol.</i></p>			

Fuente: Administración del Comedor Universitario, 2012

El Comedor atiende a aproximadamente 900 estudiantes y les brinda almuerzo de lunes a domingo y cena de lunes a sábado. Colaborando de esa forma a facilitar el

estudio de los jóvenes dentro de la Universidad y brinda raciones alimentarias que ayudan a contribuir el buen estado nutricional de la población universitaria a fin de preservar la salud y mejorar su calidad de vida.

Figura 2.3. Comedor Universitario



Fuente: Elaboración propia 2012.

2.3. Clasificación y Cuantificación de los Residuos Generados en el Comedor

Para poder realizar la clasificación y cuantificación de los residuos generados en el comedor, se realizó el método de cuarteo establecido en la Norma Boliviana NB 743 (Residuos sólidos – Determinación de parámetros de diseño sobre residuos sólidos municipales), que permitió determinar los parámetros mencionados.

El cuarteo se realizó utilizando bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos recogidos del comedor. La cantidad de bolsas de polietileno utilizadas fueron 20 con un peso aproximado de 10 Kg cada una, el contenido de las bolsas se vació formando un montículo en un área techada y plana de 4 m por 4 m de cemento como indica la Norma.

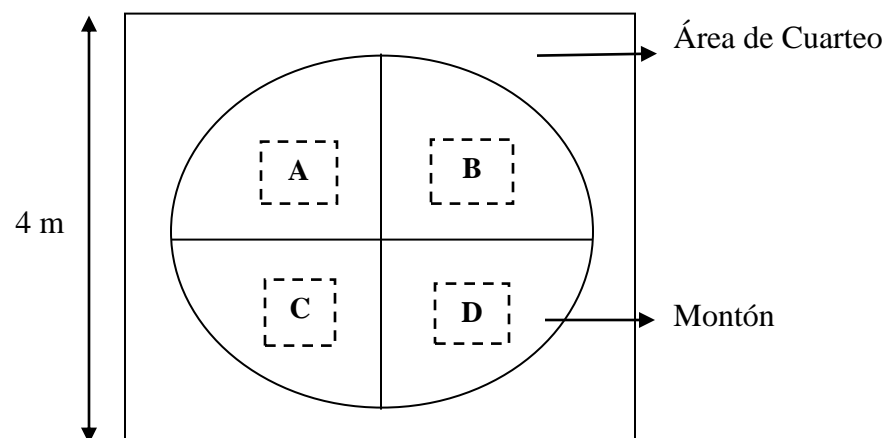
Figura 2.4. Cuarteo de los residuos sólidos del Comedor



Fuente: Elaboración propia, 2012.

El montículo de residuos sólidos se mezclaron con la ayuda de una pala hasta homogeneizarlos, a continuación, se dividió el montículo en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D (ver Figura 2.5.) y se eliminaron las partes opuestas B y C, esta operación se repitió dos veces hasta quedar aproximadamente 50 kg de residuos sólidos para la Clasificación y Cuantificación de Subproductos.

Figura 2.5. Método de Cuarteo



Fuente: Norma Boliviana de Residuos Sólidos, 1996.

Al finalizar el cuarteo se realizó el Informe de Campo indicado en la Norma (ver Formulario de Campo Anexo B).

2.3.1. Selección y Cuantificación de Subproductos (Norma Boliviana NB 743)

Se tomaron los 50 Kg del resultado del método de cuarteo y se procedió a la selección de subproductos depositándolos en sacos de polipropileno separadas de acuerdo a la siguiente clasificación según la Norma.

Tabla II-2 Clasificación de Subproductos

Algodón	Pañal desechable y toallas sanitarias
Áridos	Plástico rígido
Cartón	Polietileno baja densidad
Cuero	Polietileno alta densidad
Envase tetrapak y tetrabric	Otros plásticos tipo película
Ficha sintética	Residuo fino
Hueso	Residuos alimenticios
Goma	Residuos de jardinería
Lata	Trapo
Losa y cerámica	Vidrio ámbar
Madera	Vidrio verde
Material de construcción	Vidrio transparente
Metales ferrosos	Vidrio plano
Metales no ferrosos	Medicinas caducas
Papel periódico y revistas	Baterías y pilas
Papel blanco	Latas de pintura
Papel de color	Envases productos de limpieza y de agroquímicos

Fuente: Elaboración propia en base a la Norma Boliviana 743 de Residuos Sólidos, 1996.

Los subproductos ya clasificados se pesaron por separado se anotaron los resultados en el formulario de campo (ver Anexos C)

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calculó con la siguiente expresión:

$$\% = \frac{PS}{PT} \cdot 100 \quad (14)$$

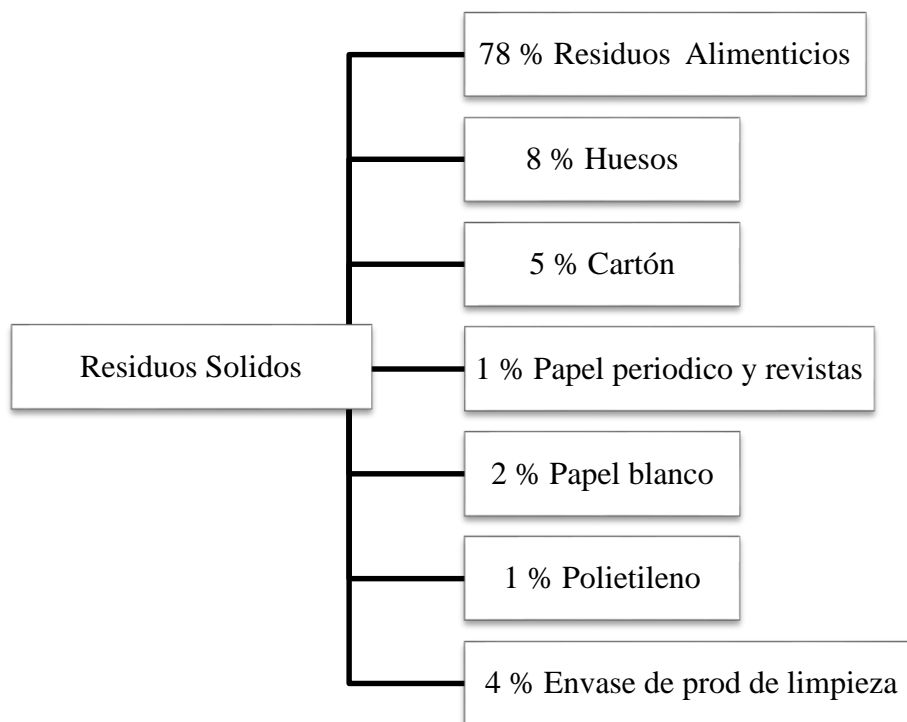
Donde:

% = porcentaje del subproducto considerado

PS = peso del subproducto considerado en Kg, descontando el peso de la bolsa empleada.

PT = peso Total de la muestra (mínimo 50 Kg)

Figura 2.6. Clasificación y Cuantificación de los Residuos Generados en el Comedor



Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.3.1.1. Breve Descripción de los Residuos Generados en el Comedor

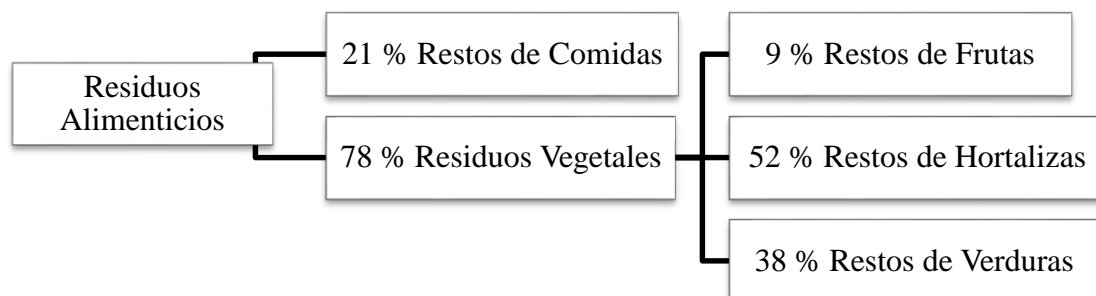
De la figura (2.6.) se puede observar que los residuos generados en el Comedor Universitario son generalmente residuos sólidos de origen orgánicos compuestos principalmente por: residuos vegetales, residuos alimenticios, papeles y envases plásticos; estos residuos se generan en mayor cantidad en el turno de la mañana.

De acuerdo a los tipos de residuos generados, estos son depositados en diferentes contenedores. Estos contenedores son turriles, tachos medianos y ollas grandes. El turno de la mañana genera, 2 turriles y 2 tachos de residuos vegetales, 2 ollas grandes de restos alimenticios y 1 tacho de plásticos, papeles y otros. En el turno de la tarde la generación es mucho menor alcanzando a llenar 2 tachos de residuos.

2.3.2. Residuos Alimenticios generados en el Comedor

Para poder obtener una más detallada clasificación de los residuos sólidos de origen orgánico se procedió de igual forma al método que establece la Norma Boliviana, sin embargo esta vez se utilizó el porcentaje de residuos alimenticios de los residuos sólidos generados en el comedor universitario, que equivale a 39 kg de los 50 kg de muestra inicial. (Ver anexo D).

Figura 2.7. Clasificación y cuantificación de los Residuos Alimenticios



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Dentro del porcentaje de los restos de comidas de igual forma se encontraron residuos vegetales, los cuales no fueron tomados en cuenta dentro de la clasificación de los residuos vegetales debido a la dificultad para separarlos de los restos de comidas.

Los residuos vegetales tomados en cuenta en la clasificación son solamente los generados durante la elaboración de las comidas y no así los generados por los estudiantes después de servirse el almuerzo o la cena.

2.3.2.1. Residuos Sólidos Vegetales

Figura 2.8. Residuos Sólidos Vegetales Generados en el Comedor



Fuente: Elaboración propia 2012.

Dentro de los residuos vegetales que se generan en el comedor se puede mencionar:

- Frutas: se generan cascaras de plátano, naranja, piña, limón, manzana y papaya. Utilizadas para la elaboración de refrescos y postres.
- Hortalizas: lo que más se genera es la cascara de papa ya que se utiliza una gran cantidad para la elaboración de casi todas las comidas, además de restos de cebolla, tomate, zanahoria, nabo, morrón y remolacha.
- Verduras: se generan tallos de cebollas, restos de acelga, perejil y cascaras de arveja.

Estos residuos son los que comúnmente se generan a mediados de primavera, pero estos residuos pueden variar de acuerdo a la época del año en la que se encuentren.

Para una mejor identificación de los residuos de origen vegetal se realizó un seguimiento de la generación de dichos residuos en el comedor, durante un periodo de una semana, de lunes a domingo.

Tabla II-3. Generación de Residuos Vegetales del Comedor (turno mañana)

Nº	FECHA	DIA	RESIDUOS GENERADOS	OBSERVACIONES
1	05/11/12	Lunes	Restos de zanahoria, cebolla, tomate, morrón, perejil, acelga, cascaras de papa, cascaras de arveja y cascaras de limón.	
2	06/11/12	Martes	Restos de zanahoria, cebolla, morrón, nabo, perejil, acelga, zapallito, remolacha, cascaras de papa, cascaras de arveja.	No se generó restos de frutas.
3	07/11/12	Miércoles	Restos de zanahoria, cebolla, tomate, morrón, nabo, perejil, acelga, cascaras de papa, cascaras de arveja, cascaras de manzana y limos.	
4	08/11/12	Jueves	Restos de zanahoria, cebolla, tomate, morrón, nabo, perejil, acelga, zapallito, brócoli, coliflor, cascaras de papa, cascaras de arveja y cascaras de plátano.	
5	09/11/12	Viernes	Restos de zanahoria, cebolla, morrón, perejil, acelga, cascaras de papa, cascaras de arveja y cascaras de naranja.	
6	10/11/12	Sábado	Restos de zanahoria, cebolla, tomate, morrón, nabo, perejil, acelga, remolacha, cascaras de papa.	No se generó restos de frutas.
7	11/11/12	Domingo	Restos de zanahoria, cebolla, tomate, morrón, perejil, cascaras de papa, cascaras de arveja.	No se generó restos de frutas.

Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.3.3. Eliminación de los Residuos Vegetales del Comedor Universitario

Estos residuos son recogidos a diario por un encargado y son destinados a la elaboración de abono mediante compostaje y para la alimentación de animales de crianza.

2.3.4. Análisis Microbiológico de los Residuos Vegetales

Para la determinación del análisis microbiológico de los residuos se recogió una muestra un día martes elegido al azar.

Tabla II-4. Detalles de la Muestra para Análisis Microbiológico

Nº	Tipo de Muestra	Cantidad (g)	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Observaciones
1	R.S.V.	1000 Aprox.	06/11/12	17:00 hrs.	

Fuente: Elaboración propia, 2012.

La muestra se la tomo en envase plástico estéril, aproximadamente 1 kg y posteriormente se la llevó al Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID).

Figura 2.9. Toma de Muestra para el Análisis Microbiológico



Fuente: Elaboración propia 2012.

El Análisis se lo realiza para la determinación de Parámetros Microbiológicos como ser: Coliformes Fecales y Totales que pudieran influir negativamente en el proceso de obtención de bioetanol, a partir de ello, la Metodología de Estudio planteada establece en el proceso un pre-tratamientos con calor que permite la eliminación de estos microorganismos, además de posteriormente someterlos a las duras condiciones en la etapa de Hidrólisis Ácida. Los resultados se detallan en el punto (3.2.) página 106, ver Anexo E.

Figura 2.10. Muestra



Fuente: Elaboración propia 2012.

2.4. Caracterización de los Residuos Sólidos Vegetales

Para la caracterizaran de la materia prima se tomó en cuenta los tres tipos de residuos de origen vegetal que se muestra en la Figura (2.7.), estos son los que más se generan en el Comedor Universitario y poseen similares características, son los siguientes:

1. Restos de frutas
2. Restos de verduras
3. Restos de hortalizas

Posteriormente se estableció mezclas base de acuerdo a los tres tipos de residuos vegetales y las cantidades generadas de estos en el comedor. A través de información en bibliografía se procedió a la selección y cuantificación de las mezclas base según

el contenido de materia orgánica, carbohidratos y glúcidos en general; para establecer las cantidades a utilizar dentro de una mezcla base de cada uno de estos tipos de residuos vegetales para la posterior Obtención de Bioetanol.

Tabla II-5. Caracterización de los Residuos Vegetales

MEZCLA BASE		
Restos de Hortalizas (H)	Restos de Verduras (V)	MIX de frut/verd/hort (F/V/H)
- Cascaras de Papa 25%	- Restos de Acelga 25%	- Cascaras de Zanahoria 25%
- Cascaras de Zanahoria 25%	- Restos de Perejil 25%	- Cascaras de Plátano 25%
- Cascaras de Remolacha 25%	- Tallos de Cebolla 25%	- Cascaras de Manzana 25%
- Restos de Tomate 25%	- Cascaras de Arveja 25%	- Cascaras de arveja 25%

Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.4.1. Determinación de los Parámetros Físicos y Químicos de los Residuos Sólidos Vegetales

Se determinaron parámetros básicos de cada una de las mezcla base, tales como contenido de humedad y determinación de azúcares totales y reductores, para ello se realizó la obtención, selección y tratamiento de los residuos que se detallan a continuación en el punto (2.6).

Se determinó el contenido de humedad en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la U.A.J.M.S.

Se utilizaron cajas petri, previamente lavadas con agua destilada y secadas. En las mismas cajas se pesaron 35 gramos de cada muestra sin compactar; enseguida, se pesaron las cajas con la muestra y se introdujeron en el secador Euroterm a 105 °C, el secador muestra datos iniciales y finales de; % de residuo sólido, % de humedad y masa, así también como el tiempo de secado. Los resultados obtenidos se detallan en el punto (3.3.).

Figura 2.11. Secador Euroterm



Fuente: Elaboración propia, 2012.

La determinación de azúcares totales y reductores se las realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID).

Figura 2.12. Muestras para la Determinación de Azúcares



Fuente: Elaboración propia, 2012.

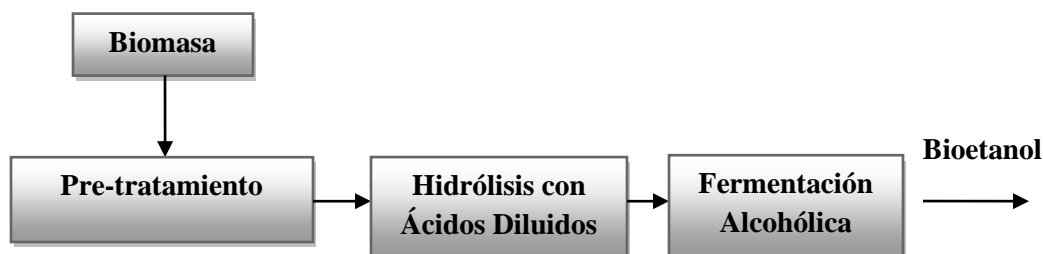
Previo a los análisis las muestras en el CEANID se pesaron 50 gr de cada mezcla y se colocaron en recipientes plásticos para su respectiva determinación de azúcares totales y reductores. Los resultados obtenidos se detallan en el punto (3.4.) página 115.

2.5. Descripción del Método de Investigación

2.5.1. Fundamentación General de la Selección del Proceso

Para el caso de producción, vía fermentativa, de bioetanol se seleccionó el siguiente fundamento teórico de acuerdo con la disponibilidad de recursos y material. El esquema se presenta en la Figura (2.13.)

Figura 2.13. Proceso de Obtención de Bioetanol



Fuente: Elaboración propia, 2012

Esta selección está fundamentada en las siguientes consideraciones:

- El proceso utiliza como materia prima biomasa lignocelulósica.
- La etapa de pre-tratamiento con vaporización a presión es el más adecuado debido a que utiliza vapor saturado que ayudará con el rompimiento de la lignina y hemicelulosa dentro de la biomasa para permitir el ataque del ácido sulfúrico a la celulosa.
- La hidrólisis con ácidos diluidos se puede llegar a cabo gracias a la disponibilidad de los reactivos y materiales a utilizar.
- El proceso de fermentación alcohólica es posible llevarla a cabo en los laboratorios de la universidad mediante la activación de la levadura fresca de *Saccharomyces cerevisiae*.
- El proceso no contempla la etapa de destilación para la obtención de bioetanol como biocombustible, debido al limitante de los objetivos propuestos.

2.5.2. Diseño Factorial

Se presentan dos diseños factoriales, uno para la etapa de Hidrolisis con Ácidos Diluidos y otro para la etapa de Fermentación Alcohólica. Las cuales se especifican a continuación.

2.5.2.1. Diseño Factorial (Etapa de Hidrolisis Acida)

La Hidrolisis Acida se realizará a una temperatura de 85°C y una velocidad de agitación de 450 rpm. Empleando ácido sulfúrico en concentraciones de 2 y 4 % y tiempos de reacción de 4 y 8 hrs. Se utilizará 10 gr de sustrato y 100 ml de ácido sulfúrico. Los tipos de mezclas base a utilizar son: resto de frut/verd/hort, restos de verduras y restos de hortalizas y la variable respuestas son los sólidos solubles totales (°Brix) definida por su fácil, rápida y menos costosa realización. Por tanto se tienen un diseño experimental factorial de $3 \times 2 \times 2$ para un total de 12 experimentaciones elementales con su repetición respectivamente.

Diseño experimental de: $3 \times 2 \times 2 = 12$ Total de experimentaciones = 24

La descripción de cada uno de los tratamientos aplicados a los sustratos en estudio se presenta en la siguiente tabla.

Tabla II-6. Diseño Experimental de la Etapa de Hidrólisis Acida

<i>VARIABLES</i>	<i>NIVELES Y CODIGOS</i>
- Tipo de residuo	- MIX de frut/hort/verd (F/H/V) (-1) - Restos de verduras (V) (0) - Restos de hortalizas (H) (+1)
- Concentración del ácido (%)	- 2 % (C ₁) (-1) - 4 % (C ₂) (+1)
- Tiempo de reacción (horas)	- 4 h (t ₁) (-1) - 8 h (t ₂) (+1)
<i>VARIABLE RESPUESTA</i>	- Sólidos Solubles Totales (°Brix)

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Tabla II-7. Combinación de las Variables de la Hidrolisis Acida

<i>Residuos</i>	<i>Nº</i>	<i>Tiempo (h)</i>		<i>% H₂SO₄</i>		<i>Respuesta (1)</i>	<i>Respuesta (2)</i>
MIX DE (F/H/V) -1	1	t ₁ = 4	-1	C ₁ = 2	-1	R ₁ (t ₁ , C ₁)	R ₂ (t ₁ , C ₁)
	2	t ₁ = 4	-1	C ₂ = 4	+1	R ₁ (t ₁ , C ₂)	R ₂ (t ₁ , C ₂)
	3	t ₂ = 8	+1	C ₁ = 2	-1	R ₁ (t ₂ , C ₁)	R ₂ (t ₂ , C ₁)
	4	t ₂ = 8	+1	C ₂ = 4	+1	R ₁ (t ₂ , C ₂)	R ₂ (t ₂ , C ₂)

<i>Sustratos</i>	<i>Nº</i>	<i>Tiempo (h)</i>		<i>% H₂SO₄</i>		<i>Respuesta (1)</i>	<i>Respuesta (2)</i>
Restos de verduras (V) 0	1	t ₁ = 4	-1	C ₁ = 2	-1	R ₁ (t ₁ , C ₁)	R ₂ (t ₁ , C ₁)
	2	t ₁ = 4	-1	C ₂ = 4	+1	R ₁ (t ₁ , C ₂)	R ₂ (t ₁ , C ₂)
	3	t ₂ = 8	+1	C ₁ = 2	-1	R ₁ (t ₂ , C ₁)	R ₂ (t ₂ , C ₁)
	4	t ₂ = 8	+1	C ₂ = 4	+1	R ₁ (t ₂ , C ₂)	R ₂ (t ₂ , C ₂)

<i>Sustratos</i>	<i>Nº</i>	<i>Tiempo (h)</i>		<i>% H₂SO₄</i>		<i>Respuesta (1)</i>	<i>Respuesta (2)</i>
Restos de hortalizas (H) -1	1	t ₁ = 4	-1	C ₁ = 2	-1	R ₁ (t ₁ , C ₁)	R ₂ (t ₁ , C ₁)
	2	t ₁ = 4	-1	C ₂ = 4	+1	R ₁ (t ₁ , C ₂)	R ₂ (t ₁ , C ₂)
	3	t ₂ = 8	+1	C ₁ = 2	-1	R ₁ (t ₂ , C ₁)	R ₂ (t ₂ , C ₁)
	4	t ₂ = 8	+1	C ₂ = 4	+1	R ₁ (t ₂ , C ₂)	R ₂ (t ₂ , C ₂)

Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.5.2.2. Diseño Factorial (Etapa de Fermentación Alcohólica)

Las variables elegidas como independientes en el diseño experimental factorial son: la concentración de sólidos solubles (°Brix) obtenidos de la etapa de hidrólisis (B₁ y B₂) y la temperatura de fermentación de 28 y 32°C.

Se utilizara la *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de pan fresca) para la inoculación de 500 ml del sustrato a un pH de 4.5. La variable de respuesta de interés es la producción de bioetanol (grados Gay Lussac °GL).

Por tanto se tiene un diseño experimental factorial de 2^2 para un total de 4 experimentaciones elementales con su repeticiones de cada uno.

Diseño experimental de: $2^2 = 4$

Total de experimentaciones = 8

Tabla II-8. Diseño Experimental de la Etapa de Fermentación.

VARIABLES	NIVELES Y CODIGOS	
	-1	+1
- Concentración de sólidos solubles (°Brix)	(B ₁)	(B ₂)
- Temperatura (°C)	28°C	32°C
VARIABLES RESPUESTA	- Grados Gay Lussac (°GL)	

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Tabla II-9. Combinación de las Variables de la Fermentación

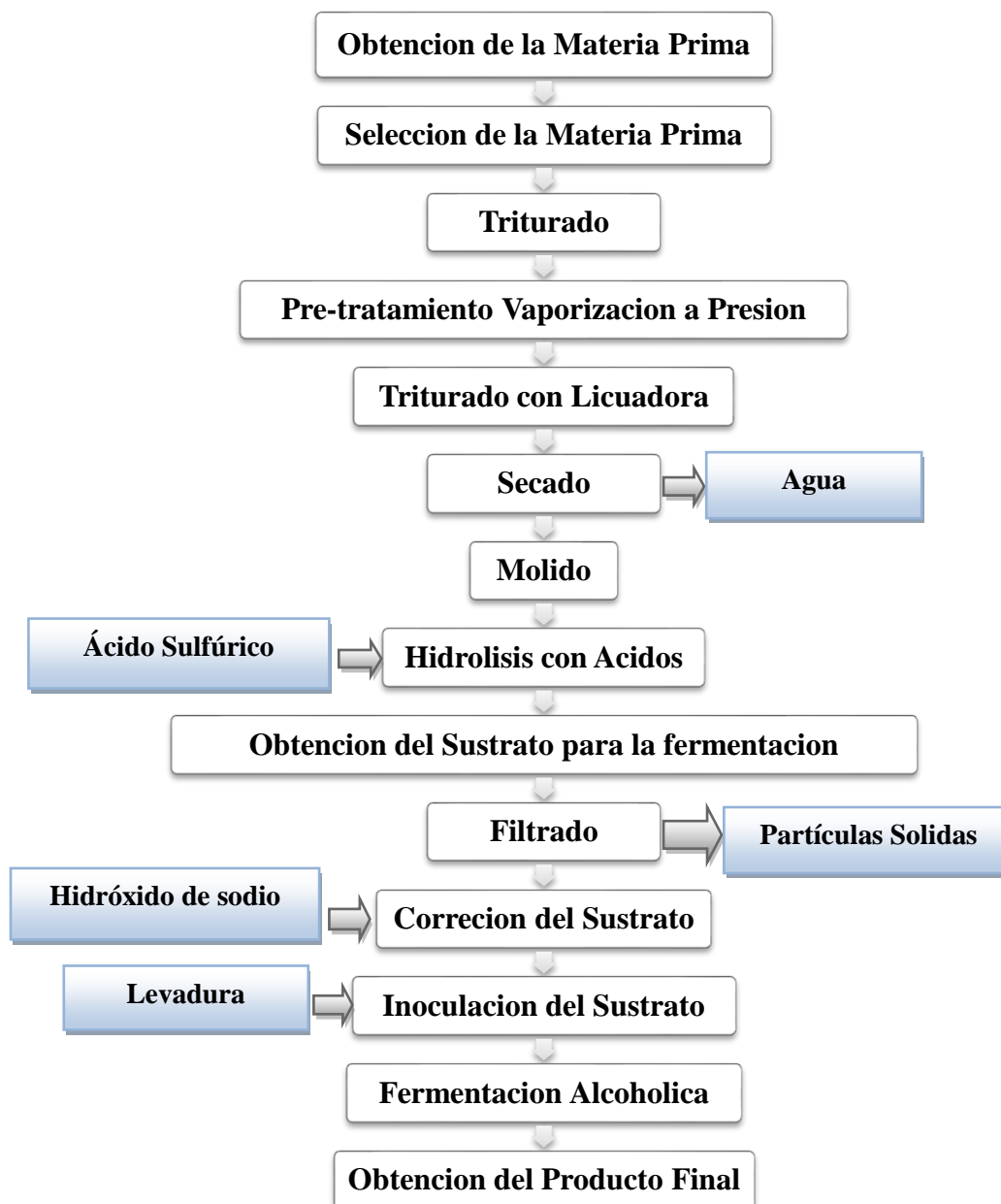
Nº	(°Brix)		T (°C)		Respuesta 1	Respuesta 2
1	(B ₁)	-1	28	-1	R ₁ (B ₁ , T ₁)	R ₂ (B ₁ , T ₁)
2	(B ₁)	-1	32	+1	R ₁ (B ₁ , T ₂)	R ₂ (B ₁ , T ₂)
3	(B ₂)	+1	28	-1	R ₁ (B ₂ , T ₁)	R ₂ (B ₂ , T ₁)
4	(B ₂)	+1	32	+1	R ₁ (B ₂ , T ₂)	R ₂ (B ₂ , T ₂)

Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.6. Obtención de Bioetanol a Escala de Laboratorio

La figura 2.14 muestra cada una de las etapas realizadas en el proceso de obtención de bioetanol a escala de laboratorio usando como materia prima residuos vegetales.

Figura 2.14 Diagrama de Bloques del Proceso de Obtención de Bioetanol



Fuente: Elaboración Propia, 2012.

2.6.1. Obtención de la Materia Prima

Se utilizó residuos sólidos vegetales recogidos del comedor universitario, de acuerdo a lo establecido en el punto 2.4. (Ver tabla II-5). Los residuos fueron recogidos en bolsas de polietileno de baja densidad y llevados al laboratorio de Operaciones Unitarias de la U.A.J.M.S. para su posterior selección y utilización como biomasa en la obtención de Bioetanol.

2.6.2. Selección de la Materia Prima

Para la selección de los residuos sólidos vegetales se tomó en cuenta el color, tamaño, aspecto, que no presenten deterioros ni alteraciones, para que la mezcla base sea aproximadamente homogénea y con un mínimo de contaminantes externos.

Figura 2.15. Selección de Residuos Vegetales



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Después de la selección de los residuos se los separo de acuerdo a lo establecidos en la mezclas bases.

2.6.3. Triturado

Los residuos seleccionados y separados fueron triturados con la ayuda de tijeras en pedacitos de 1 cm² aproximadamente para facilitar la siguiente etapa del pre-tratamiento con vaporización a presión.

Figura 2.16. Triturado de los Residuos Vegetales



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Posteriormente se pesaron en la balanza analítica (GIBERTINI) aproximadamente 200 gr de cada uno de los componentes de cada mezcla base.

Tabla II-10 Cantidad para cada Componentes de las Mezclas Base

<i>Restos de Hortalizas (H)</i>		<i>Restos de verduras (V)</i>		<i>MIX de (F/V/H)</i>	
<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>
Restos de papa	200.052	Restos de acelga	200.213	Restos de arveja	200.01
Restos de zanahoria	200.114	Restos de perejil	200.611	Restos de zanahoria	200.015
Restos de tomate	200.084	Restos de cebolla	200.155	Restos de manzana	200.007
Restos de remolacha	200.102	Restos de arveja	200.239	Restos de plátano	200.015
<i>TOTAL</i>	<i>800.352</i>	<i>TOTAL</i>	<i>801.218</i>	<i>TOTAL</i>	<i>800.047</i>

Fuente: elaboración propia, 2012.

2.6.4. Pre-tratamiento con Vaporización a Presión.

Antes de iniciar el pre-tratamiento se pesaron y separaron en envases plásticos 10 gr de cada componente para la determinación de la humedad y no ser alteradas con el vapor. Las tablas siguientes muestran las cantidades.

Tabla II-11. Cantidad destinada a la determinación de Humedad

Restos de Hortalizas (H)		Restos de verduras (V)		MIX de (F/V/H)	
<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>
Restos de papa	10.002	Restos de acelga	10.021	Restos de arveja	10.009
Restos de zanahoria	10.015	Restos de perejil	10.005	Restos de zanahoria	10.003
Restos de tomate	10.009	Restos de cebolla	10.008	Restos de manzana	10.017
Restos de remolacha	10.014	Restos de arveja	10.011	Restos de plátano	10.006
TOTAL	40.040	TOTAL	40.045	TOTAL	40.035

Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la determinación de humedad se mezclaron los componentes y se utilizaron 35 gr, como ya se mencionó en el punto (2.4.1.), de los 40 gr separados de cada mezcla.

Tabla II-12. Cantidad destinada al Pre-tratamiento

Restos de Hortalizas (H)		Restos de verduras (V)		MIX de (F/V/H)	
<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>
Restos de papa	190.050	Restos de acelga	190.192	Restos de arveja	190.001
Restos de zanahoria	190.099	Restos de perejil	190.606	Restos de zanahoria	190.012
Restos de tomate	190.075	Restos de cebolla	190.147	Restos de manzana	190.053
Restos de remolacha	190.088	Restos de arveja	190.228	Restos de plátano	190.009
TOTAL	760.312	TOTAL	761.173	TOTAL	760.012

Fuente: Elaboración propia, 2012.

El pre-tratamiento con vapor se lo realizo con la finalidad de facilitar la accesibilidad del ácido sulfúrico a la celulosa que se encuentra generalmente recubierta por la lignina y la hemicelulosa, gracias a la disociación de estas dentro de la biomasa

lignocelulósica. Cada componentes de las mezclas base fueron introducidos en un recipiente (vaporera) y sometidos a vapor saturado en una olla de presión a aproximadamente 3 atm durante un tiempo estimado de 5 min.

Figura 2.17. Pre-tratamiento con vaporización a Presión



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Estos componentes, de igual forma, fueron pesadas como indica la tabla (II-13.) para determinar la cantidad de humedad que absorbieron y poder establecer los parámetros de control dentro del proceso de secado.

Tabla II-13. Cantidad obtenida después del Pre-tratamiento con Vapor

<i>Restos de Hortalizas (H)</i>		<i>Restos de verduras (V)</i>		<i>MIX de (F/V/H)</i>	
<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>
Restos de papa	192.487	Restos de acelga	196.639	Restos de arveja	199.734
Restos de zanahoria	191.592	Restos de perejil	199.348	Restos de zanahoria	191.380
Restos de tomate	197.825	Restos de cebolla	192.982	Restos de manzana	191.568
Restos de remolacha	195.666	Restos de arveja	198.339	Restos de plátano	198.888
<i>TOTAL</i>	<i>777.570</i>	<i>TOTAL</i>	<i>787.308</i>	<i>TOTAL</i>	<i>781.570</i>

Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.6.5. Triturado con Licuadora

Las cantidades obtenidas del pre-tratamiento fueron sometidas al triturado con licuadora, esto con la finalidad de obtener partículas más pequeñas que faciliten el proceso de secado.

Figura 2.18. Triturado con Licuadora



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Durante el triturado se produjeron pérdidas en la cantidad de cada componente, por lo cual se procedió al pesarlos nuevamente.

Tabla II-14. Cantidad Obtenida del Triturado con Licuadora

<i>Restos de Hortalizas (H)</i>		<i>Restos de verduras (V)</i>		<i>MIX de (F/V/H)</i>	
<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>
Restos de papa	190.565	Restos de acelga	192.793	Restos de arveja	195.163
Restos de zanahoria	191.281	Restos de perejil	191.238	Restos de zanahoria	190.032
Restos de tomate	190.406	Restos de cebolla	192.896	Restos de manzana	190.512
Restos de remolacha	193.934	Restos de arveja	192.021	Restos de plátano	194.124
<i>TOTAL</i>	<i>766.186</i>	<i>TOTAL</i>	<i>768.948</i>	<i>TOTAL</i>	<i>769.831</i>

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Al finalizar los componentes fueron mezclados según cada mezcla base para obtener una masa homogénea y someterla al proceso de secado.

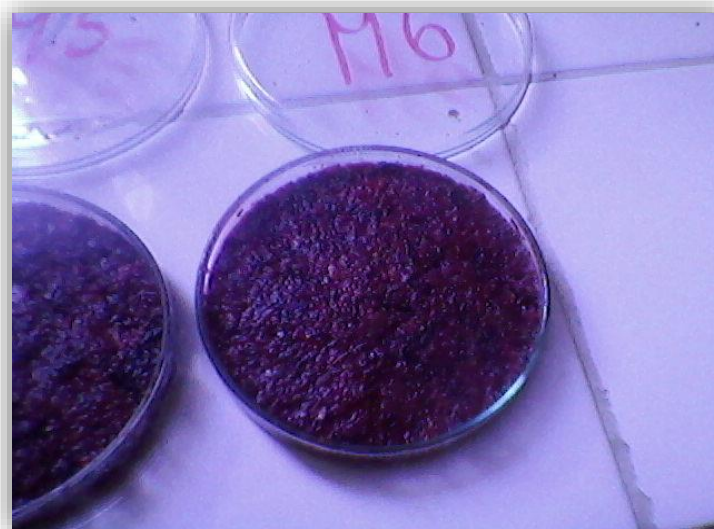
2.6.6. Secado

En la etapa de secado se utilizaron cajas petri. Se empleó una estufa a presión atmosférica. Para realizar la determinación de los pesos se utilizó una balanza analítica GIBERTINI.

Las cajas petri perfectamente limpias se secaron en estufa a 105°C durante dos horas. Después de este tiempo se enfriaron en desecador hasta temperatura ambiente.

A continuación se pesaron 35 gr. en cada caja sin compactar, se utilizó todas las cajas petri disponibles para proceder primero con el secado de los restos de hortalizas, luego restos de verduras y por último el MIX.

Figura 2.19. Capsulas utilizadas para el Secado



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Posteriormente se introdujo las cajas en la estufa a 105°C y se tomó como referencia el tiempo de secado encontrado en la determinación de humedad que son: para restos de hortalizas 3.13 horas, para restos de verduras 3.16 horas y para el MIX 2.78 horas.

Figura 2.20. Secado en Estufa.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Transcurrido el tiempo para cada mezcla, se sacaron las cajas de la estufa y se dejaron en un desecador, para proceder a pesar cuando se alcance la temperatura ambiente. El secado y pesada se repitieron cada 30 min hasta que dos pesadas consecutivas fueron constantes.

Una vez obtenidos los pesos constantes los restos ya secos de cada mezcla fueron raspados de las cajas y colocados en recipientes plásticos, se procedió nuevamente al pesado para la obtención de las cantidades totales obtenidas de cada mezcla.

Tabla II-15. Cantidades obtenidas del Secado

Restos de Hortalizas (H)		Restos de verduras (V)		MIX de (F/V/H)	
<i>Inicio (gr)</i>	<i>Final (gr)</i>	<i>Inicio (gr)</i>	<i>Final (gr)</i>	<i>Inicio (gr)</i>	<i>Final (gr)</i>
766.186	96.838	768.948	93.811	769.831	101.467
12,579 % Residuo solido		12, 199 % Residuo solido		13,180 % Residuo solido	
87,42 % Humedad		87,8 % Humedad		86,819 % Humedad	

Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.6.7. Molido

Para obtener partículas más finas de tamaño mucho menor a las obtenidas en el triturado se realizó la operación de molienda, para lo cual se utilizó la misma licuadora del triturado.

Figura 2.21. Materia seca Molida



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Estas partículas más pequeñas son favorables para la etapa siguiente de hidrolisis ya que mientras más pequeñas sean estas partículas más efectivo será el ataque del ácido sulfúrico en la celulosa para la obtención de los azúcares.

De igual forma que en el triturado se produjeron pérdidas en la molienda por lo cual se procedió al pesado nuevamente.

Tabla II-16. Cantidades obtenidas de la Molienda

Restos de Hortalizas (H)		Restos de verduras (V)		MIX de (F/V/H)	
<i>Inicio (gr)</i>	<i>Final (gr)</i>	<i>Inicio (gr)</i>	<i>Final (gr)</i>	<i>Inicio (gr)</i>	<i>Final (gr)</i>
96.838	94.353	93.811	92.587	101.467	99.852

Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.6.8. Hidrólisis con Ácidos Diluidos

En el proceso de hidrólisis con ácidos diluidos, la fracción rica en celulosa se hidroliza a glucosa mediante ácidos diluidos, La hidrólisis ácida consiste en un proceso químico que, mediante el empleo de catalizadores ácidos, transforma las cadenas de polisacáridos que forman la biomasa en sus monómeros elementales (azúcares fermentables o reductores).

Antes de iniciar la etapa de hidrolisis se pesaron y separaron en envases plásticos 10 gr aproximadamente como se indica en el punto (2.4.1.) de cada mezcla los cuales fueron destinados al CEANID para la determinación de los azúcares totales y reductores. Resultados ver Anexo F. Las cantidades son:

Tabla II-17. Cantidades destinadas a la Determinación de Azúcares

<i>Restos de Hortalizas (H)</i>	<i>Restos de verduras (V)</i>	<i>MIX de (F/V/H)</i>
10.002 gr	10.005 gr	10.004 gr

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Tabla II-18. Cantidades destinadas a la Hidrolisis Acida

<i>Restos de Hortalizas (H)</i>	<i>Restos de verduras (V)</i>	<i>MIX de (F/V/H)</i>
84.351 gr	82.582 gr	89.848 gr

Fuente: Elaboración propia, 2012.

De acuerdo a lo establecido en el diseño factorial solo se necesitan 80 gr de cada mezcla para la etapa de hidrolisis, por lo tanto se cuenta con la biomasa suficiente para la realización de esta etapa.

Se pesaron 10 gr de mezcla y se diluyo en 100 ml de ácido sulfúrico en un vaso precipitado de 250 ml, la dilución se la coloco en un agitador magnético a una temperatura de 85°C, 450 rpm y el tiempo estimado de 4 y 8 horas mencionadas en el diseño factorial, se selló el vaso precipitado con bolsas de polietileno para evitar la

salida de vapor y no obtener resultados erróneos, para ello además se colocó un vidrio reloj en la parte superior de vaso llenado con agua fría para condensar el vapor, también se perforo un pequeño orificio en la bolsa para sacar una muestra cada hora con la ayuda de una jeringa y poder observar el incremento de los °Brix de la dilución, con la ayuda del refractómetro marca IVYMEN disponible en el laboratorio.

Figura 2.22. Hidrolisis Acida en Agitador Magnético



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Durante la hidrolisis se determinaron parámetros como el volumen de la dilución y su densidad, la metodología se indica a continuación.

2.6.8.1. Determinación del Volumen de la Dilución

Como son tres las mezclas bases y dos las concentraciones del ácido sulfúrico a utilizar, se determinó el volumen de las 6 combinaciones, los datos se indican en el punto (3.5.2.1.) (Ver Tabla III-13) pagina 120.

Se pesaron los 10 gr mezcla y se midieron los 100 ml de ácido en una probeta de 250 ml, a continuación se diluyeron los 10 gr en la probeta y se procedió a la observación directa del volumen.

Figura 2.23. Determinación del Volumen de la Dilución



Fuente: Elaboración propia, 2013.

2.6.8.2. Determinación de la Densidad de la Dilución

De igual manera se determinó la densidad de las 6 combinaciones. Los datos se muestran en el punto (3.5.2.2.) (Ver Tabla III-14) pagina 120.

Figura 2.24. Determinación de la Densidad (Peso de 100 ml de ácido sulfúrico 4%).



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Se determinó el peso de los 100 ml de ácido como se indicó en la figura (2.24.) y se sumó con los 10 gr de mezcla para determinar el peso total de la dilución, al peso total se lo dividió entre el volumen de la dilución observado anteriormente para obtener su densidad, se calcula de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{(m \text{ de } 100 \text{ ml de ácido}) + (10 \text{ gr de mezcla})}{\text{Volumen de la Dilución}}$$

2.6.8.3. Determinación de los Grados Brix

Como ya se mencionó anteriormente los °Brix se determinaron con la ayuda de refractómetro marca IVYMEN cuyo rango de medida de °Brix es de 0 a 95%, la mediciones se las realizo al iniciar la hidrolisis, cada hora durante esta etapa y al culminarla, esta medición se la realizo para las 24 experimentaciones del diseño establecido. Fue necesario calibrar en cada medición el refractómetro con agua destilada a temperatura ambiente para minimizar los errores.

Figura 2.25. Medición de los Grados Brix



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Los resultados obtenidos de las 24 experimentaciones de la etapa de Hidrolisis realizadas se muestran en el punto (3.5.2.) (Ver Tablas III-10, III-11, III-12) paginas 117 - 118. Las dos que alcanzaron mayor °Brix se muestran en la tabla II-19.

Tabla II-19. Experimentaciones de mayor °Brix Obtenidos en la Hidrolisis

N°	Mezcla Base	Concentración de H ₂ SO ₄	Tiempo	°Brix
1	Restos de Hortalizas (H)	4%	8 horas	13.7
2	MIX de (F/V/H)	4%	8 horas	12.2

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Como estas dos experimentaciones son las de mayor °Brix obtenidas son las que se utilizaran como sustrato en la siguiente etapa que es la Fermentación Alcohólica.

2.6.9. Obtención del Sustrato para la Fermentación

Para la realización de la etapa de fermentación se requiere de aproximadamente 2,5 litros de cada sustrato, 2 litros para fermentar y 500 ml para la determinación de los azúcares reductores, es por eso que nuevamente se realizarán todos los pasos anteriormente mencionados para la obtención de la cantidad requerida de los dos sustratos seleccionados para la fermentación alcohólica.

A partir de los datos obtenidos anteriormente se puede realizar una estimación de la cantidad de materia prima inicial que es necesaria para la obtención de dicha cantidad de sustrato.

Si de 800 gr aproximadamente de materia prima inicial triturada se obtienen alrededor de 90 gr de materia prima seca para hidrolizar, la cantidad de materia inicial necesaria para obtener 250 gr de materia seca se obtiene mediante una regla de tres simple.

$$800 \text{ gr (materia inicial)} \longrightarrow 90 \text{ gr (materia seca)}$$

$$X \longrightarrow 250 \text{ gr (materia seca)}$$

$$X = 2222.2 \text{ gr} = 2.22 \text{ kg (Materia prima inicial)}$$

Asumiendo las pérdidas de materia que ocurren en cada etapa se tomara como base de materia prima inicial de 2.4 kg.

En las tablas II-20 y II-21 se muestran de manera resumida los datos de las cantidades obtenidas de cada etapa, siguiendo el mismo procedimiento anteriormente mencionado en cada una de las etapas.

Tabla II-20. Cantidad de materia obtenida de cada etapa de la Mezcla (H).

<i>Materia Triturada</i>		<i>Materia Pre tratada</i>		<i>Materia Triturada con licuadora</i>		<i>Materia Seca</i>	<i>Molido</i>
<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Cantidad Inicial</i>	<i>Cantidad Inicial</i>
R. de papa	600.02	R. de papa	605.04	R. de papa	602.56	2412.7 gr	286 gr
R. de zanahoria	600.03	R. de zanahoria	603.12	R. de zanahoria	600.94		
R. de tomate	600.01	R de tomate	611,25	R. de tomate	603.71	<i>Cantidad Final</i> 286 gr	<i>Cantidad Final</i> 284 gr
R. de remolacha	600.02	R. de remolacha	608.78	R. de remolacha	605.49		
<i>TOTAL</i>	<i>2400.08</i>	<i>TOTAL</i>	<i>2428.19</i>	<i>TOTAL</i>	<i>2412.7</i>		

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tabla II-21. Cantidad de materia obtenida de cada etapa de la Mezcla (F/V/H).

<i>Materia Triturada</i>		<i>Materia Pre tratada</i>		<i>Materia Triturada con licuadora</i>		<i>Materia Seca</i>	<i>Molido</i>
<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Componente</i>	<i>Peso (gr)</i>	<i>Cantidad Inicial</i>	<i>Cantidad Inicial</i>
R. de arveja	600.01	R. de arveja	612.35	R. de arveja	609.31	2415.2 gr	294 gr
R. de zanahoria	600.02	R. de zanahoria	602.88	R. de zanahoria	601.01		
R. de manzana	600.01	R de manzana	601.99	R. de manzana	600.24	<i>Cantidad Final</i> 294 gr	<i>Cantidad Final</i> 291 gr
R. de plátano	600.01	R. de plátano	610.64	R. de plátano	604.69		
<i>TOTAL</i>	<i>2400.05</i>	<i>TOTAL</i>	<i>2427.86</i>	<i>TOTAL</i>	<i>2415.25</i>		

Fuente: Elaboración propia, 2014.

A partir de las cantidades de materia seca obtenida se utilizó 280 gr de cada una para realizar la hidrolisis.

Siguiendo la misma metodología se realizó cuatro hidrolisis para cada sustrato, esto debido a que la dificultad para utilizar un recipiente más grande donde hidrolizar directamente los 280 gr. Se pesó 70 gr y se adicióno a 700 ml de ácido sulfúrico al 4%, para ello se utilizó un Erlenmeyer de 1 litro de capacidad, se selló con una bolsa de polietileno y se colocó a las mismas condiciones de trabajo, 85°C, 450 rpm y 8 horas, utilizando igualmente un agitador magnético.

Figura 2.26. Hidrolisis acida (obtención del sustrato)



Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.6.10. Filtrado

Una vez terminado la etapa de hidrolisis se procedió a filtrar el sustrato obtenido, con la ayuda de coladores y gasas para eliminar todo restos de partículas que hayan precipitado y que puedan obstaculizar la etapa de fermentación.

Figura 2.27. Filtrado y Eliminación de Partículas del Sustrato



Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.6.10.1. Determinación de Azúcares Reductores del Sustrato

Una vez realizado el filtrado se midió 500 ml de cada sustrato y se colocó en envase plásticos de medio litro de capacidad para realizar la determinación de la cantidad de azúcares reductores que se encuentra en cada sustrato.

Los análisis se los realizo en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID).

Los resultados se muestran en el Capítulo III (tabla III-18) página 124, ver Anexo G.

2.6.11. Corrección del Sustrato

Para corregir el sustrato obtenido se procedió a realizar el ajuste de pH del mismo, para que de esta manera tengan las condiciones necesarias para ser sometido a la fermentación alcohólica.

Se llevó el pH del sustrato hasta niveles en los que la levadura pueda actuar apropiadamente; en el caso de los sustratos obtenidos su acidez es muy alta debido a la utilización de ácido sulfúrico en la etapa de hidrólisis por lo que se utilizó hidróxido de sodio sólido para corregir su pH y lograr que el mismo sea de 4.5.

Figura 2.28. Ajuste del pH



Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.6.12. Inoculación del Sustrato

Antes de iniciar la etapa de fermentación se procedió a la activación de la levadura de panificación de tipo *Saccharomyce cerevisiae* con la cual se inoculara el sustrato.

Figura 2.29. Saccharomyce cerevisiae.



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Para la activación se midió 50 ml de agua destilada, se calentó hasta una temperatura de 32°C, luego se le agregó 5 gr de azúcar y 0.2 gr de urea y se procedió a agitar hasta disolver por completo los insumos, manteniendo la temperatura se le adiciono 1 gr de levadura y nuevamente se agito por un momento para luego dejarlo reposar durante unos 20 minutos aproximadamente y se confirmó la activación de la levadura observando la formación de burbujas, posteriormente se le adiciono 50 ml del sustrato a utilizar, se agito y se dejó reposar 10 minutos más, esto para acondicionar la levadura al sustrato y se observó de igual manera la formación de burbujas, todo esto se realiza bajo condiciones de esterilidad para evitar posible contaminación de la levadura.

Figura 2.30. Activación de la Levadura.



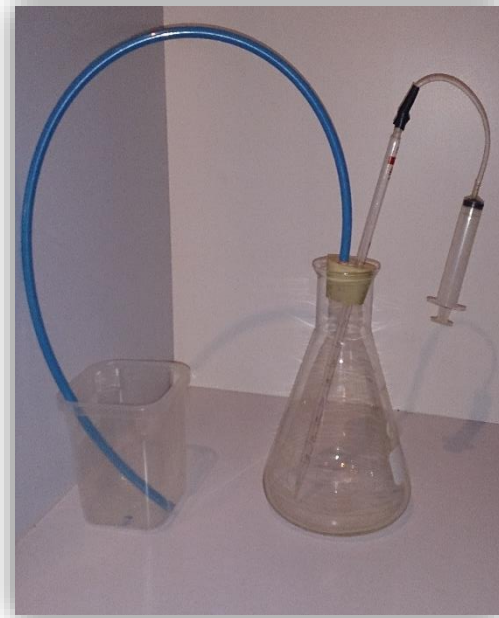
Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.6.13. Fermentación Alcohólica

Para llevar a cabo la fermentación alcohólica se acondiciono dos Erlenmeyers de 1 litro de capacidad que fueron utilizados como fermentadores los cuales fueron esterilizados en autoclave a una temperatura de 120°C durante 10 minutos, igualmente se acondiciono dos tapones con dos orificios por los cuales se insertaron un tubo de vidrio con manguera para la toma de muestra que está conectada a una jeringa previamente esterilizada y el otro orificio una manguera cuyo extremo debe

estar dentro de un recipiente con agua para observar la salida de CO_2 por la formación de burbujas en el agua y además para evitar el ingreso de aire al medio de fermentación.

Figura 2.31. Accesorios utilizados en la Fermentación Alcohólica



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Posteriormente se procedió a la fermentación. Se midieron 500 ml de sustrato y se vertieron en el Erlenmeyer, se calentó el sustrato a una temperatura de 80°C y se dejó reposar durante 15 minutos esto con el fin de eliminar microorganismos que podrían perjudicar el proceso, luego se lo enfrió hasta alcanzar una temperatura de 32 o 28°C , según el diseño, para proceder a la inoculación del sustrato con la levadura ya activada.

Hay que tener en cuenta que tanto la levadura activa como el sustrato deben estar a la misma temperatura al momento de adicionarla, en este caso a 32 o 28°C , para evitar un shock térmico que pueda eliminar las levaduras y ocasionar que la fermentación no se lleve a cabo.

Una vez adicionada la levadura se selló el Erlenmeyer con los tapones para evitar el ingreso de aire (anaerobio) al medio de fermentación y se introdujo en baño maría a las temperaturas ya mencionadas.

Figura 2.32. Fermentación Alcohólica



Fuente: Elaboración propia, 2014.

El proceso de fermentación se lo realizo durante 5 a 6 días por muestra, tiempo durante el cual se realizó el control diario de los °Brix,

2.6.13.1. Consumo del Sustrato.

Se realizó mediciones cada 24 horas del consumo del sustrato, es decir el consumo de los azucares, por parte de las levaduras, a través de la medición de los grados Brix en cada muestra.

Las mediciones se las realizo con el refractómetro marca IVYMEN cuyo rango de °Brix es de 0 – 95%. De igual forma para cada lectura el refractómetro fue de nuevo calibrado previamente con agua destilada para minimizar errores y obtener datos más precisos.

2.6.13.2. Fermentación con levadura activa (crema) de I.A.B.S.A. (Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima)

Según la Tabla II-9 del diseño factorial de la fermentación, la experiencia número 4 se la realizo con la Crema obtenida de la destilería de I.A.B.S.A.

Figura 2.33. Destilería I.A.B.S.A. (Industrias Agrícolas de Bermejo Sociedad Anónima)



Fuente: Elaboración propia, 2014.

En la destilería, para obtener la crema, se tuvo que esperar que finalice el proceso de fermentación en unos de los 6 tanques de fermentación cuya capacidad son de 75000 litros cada uno.

Una vez finalizado el proceso, el vino obtenido es filtrado y alimentado a una centrifuga, cuya capacidad es de 30 m³/h a una velocidad de 1500 rpm, la cual separa el vino de la crema. El vino es destinado a las torres de destilación y la crema a tratamiento para su acondicionamiento en pre-fermentadores y poder utilizarlas nuevamente en la fermentación.

Figura 2.34. Centrifuga de la Destilería



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Durante el centrifugado se tomó una poca de crema y se la coloco en vasitos para muestra médica obtenidos en una farmacia, se llenó los vasitos con crema y se los coloco en una conservadora con hielo para su conservación y posterior utilización.

Figura 2.35. Toma de Muestras de Crema



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Figura 2.36. Conservado de la Crema



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Para llevar a cabo la fermentación de las dos últimas experiencias se procedió en principio a reacondicionar a la crema, se midieron en dos probetas 50 ml de sustrato, y se adiciono 10 y 20 ml de crema a cada una, luego se agito con varilla hasta diluir a toda la crema dentro del sustrato, posteriormente se los llevo a baño maría y de forma gradual se fue aumentando la temperatura hasta alcanzar los 32°C para evitar un shock térmico. Una vez alcanzada la temperatura se adiciono 0.2 gr de urea y se dejó reposar a la crema durante 1 hora, al finalizar se observó su activación con la formación de burbujas.

Figura 2.37. Activación de la Crema

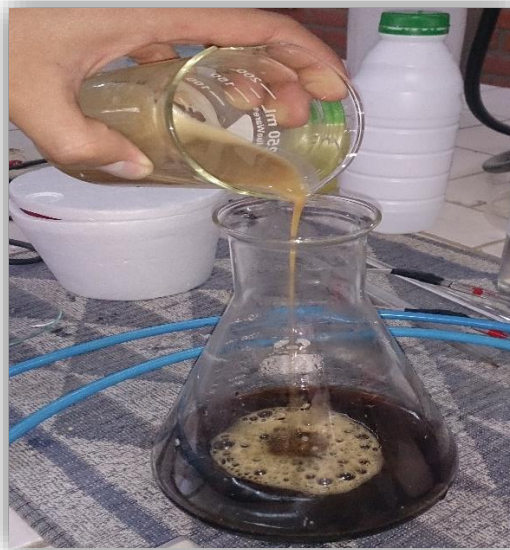


Fuente: Elaboración propia, 2014.

Una vez activada la crema se realizó a la fermentación, para estas dos fermentaciones se procedió a la determinar la densidad del sustrato al inicio y al final del proceso, para ello se midieron 200 ml de sustrato en dos probetas, se atemperaron a 20°C y con ayuda de un densímetro se procedió a la determinación de su densidad.

Posteriormente se vertió el sustrato a dos erlenmeyers y se calentó hasta los 32°C, temperatura a la cual se le adiciono la crema ya activada, se tapó y se dejó fermentar a baño maría a la temperatura indicada.

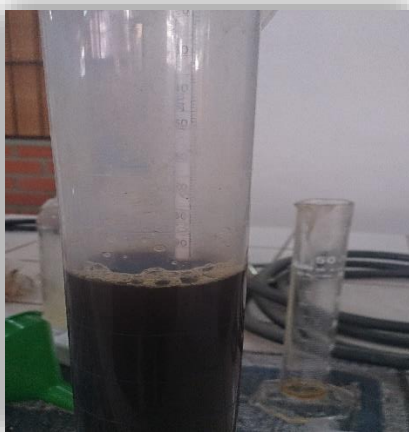
Figura 2.38. Adición de la Crema al Sustrato



Fuente: Elaboración propia, 2014

Durante el proceso de igual forma se procedió a la determinación de los grados brix cada 24 horas y a la determinación de la densidad al finalizar la fermentación de la misma manera que al principio atemperando el vino obtenido a 20°C

Figura 2.39. Determinación de la densidad del vino.



Fuente: Elaboración propia, 2014.

2.6.14. Obtención del Producto Final

Una vez concluida la fermentación alcohólica se procedió a la determinación del grado alcohólico (°GL) del vino obtenido por densimetría con la ayuda de un alcoholímetro.

Se midió 200 ml de vino en una probeta y con la ayuda de rota-vapor marca HEIDOLPH con generación de vacío, se procedió a una destilación simple.

En la destilación simple se fue aumentando la temperatura gradualmente hasta alcanzar el punto de ebullición de vino a los 50°C debido al vacío generado por la bomba. Se observó la formación del condensado, gracias al sistema de refrigeración y el destilado se almaceno en un balón montado.

Se procedió con la destilación hasta observar que el vino haya culminado su ebullición quedando en el vino los compuestos menos volátiles cuyos puntos de ebullición son más elevados.

Figura 2.40. Destilación Simple del Vino.



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Posteriormente, al destilado obtenido se lo vació en la misma probeta que se midió el vino y se completó al volumen inicial de 200 ml con agua destilada para luego enfriarlo hasta alcanzar los 20°C de temperatura.

Al finalizar se introduce el alcoholímetro y se determinó mediante observación el grado alcohólico obtenido.

Figura 2.41. Medición de Grado Gay Lussac (°GL) del vino.



Fuente: Elaboración propia, 2014.

El producto final obtenido es una mezcla cristalina agua etanol cuya concentración máxima en alcohol obtenida es de 6°GL, la cual mediante una serie de procesos de destilación se puede concentrar hasta alcanzar los 99°GL y utilizarlo como biocombustible.

Figura 2.42. Producto Final Obtenido



Fuente: Elaboración propia, 2014.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUCIONES

3.1. Resultados Obtenidos de la Selección y Cuantificación de los Residuos

Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla (III-1).

Tabla III-1. Resultados de la Selección y Cuantificación de los Residuo

<i>Material Inicial</i>			<i>Tipos de residuos</i>			<i>Residuos alimenticios</i>			<i>Residuos vegetales</i>		
<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>% Peso</i>	<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>% Peso</i>	<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>% Peso</i>	<i>Material</i>	<i>Peso (kg)</i>	<i>% Peso</i>
Muestra	50	100	Polietileno baja densidad	0,5	1	Residuos vegetales	30,4	78	Restos de frutas (RF)	2,7	9
			Envase prod. De limpieza	2	4						
			Residuos alimenticios	39	78						
			Huesos	4	8	Restos de Alimentos	8,2	21	Restos de hortalizas (RH)	16	52
			Cartón	2,5	5						
			Papel periódico y	0,5	1						

			revistas						Restos de verduras (RV)	11,5	38
			Papel blanco	1	2						

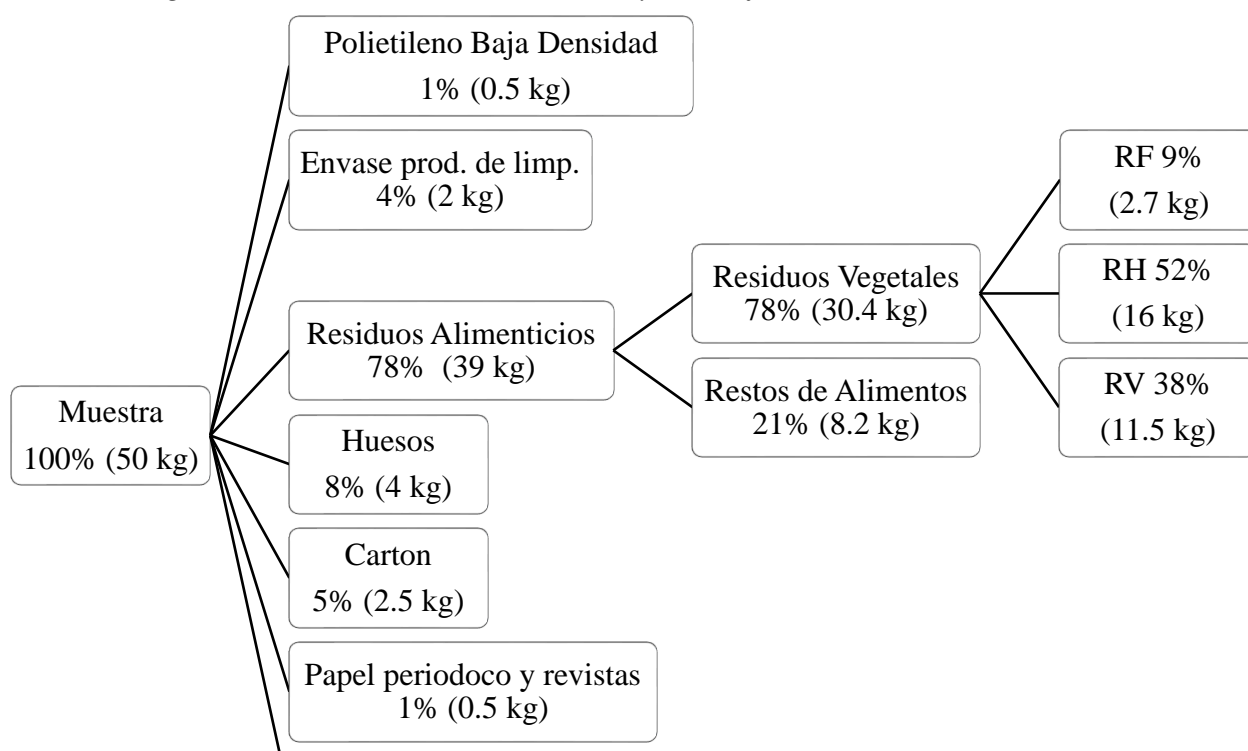
Fuente: Elaboración propia, 2012.

Se puede observar que la generación de residuos en el comedor universitario es en su mayor parte de origen orgánico, no se encontraron otros tipos de residuos, como metales, desechos químicos u otros.

Los residuos alimenticios, ya sean los de origen vegetal o restos de alimentos son los que en mayor cantidad se generan en el comedor con un 78 % de la muestra inicial y dentro de los residuos vegetales, se seleccionó la materia prima para la realización del presente proyecto, por su importante cantidad y peso en los residuos generados.

Es muy importante resaltar lo mencionado anteriormente, ya que en lugares parecidos al comedor como mercados, restaurantes, unidades educativas y hasta en los propios hogares, se generan estos tipos de residuos, indicando la gran cantidad de materia prima disponible para la obtención de bioetanol a escala industrial o para la realización de un proyecto de pre-factibilidad. Los residuos generados en otras áreas distintas al procesado de alimentos, no son considerados por cuanto tienen disposición diferenciada. En la figura (3.1.) se muestran nuevamente las cantidades generadas para una mejor visualización.

Figura 3.1. Resultados de la Selección y Cuantificación de los Residuos



RF = Restos de Frutas: RH = Restos de Hortalizas: RV = Restos de Verduras

Fuente: Elaboración Propia, 2012.

3.2. Resultados Obtenidos del Análisis Microbiológico de los Residuos

El resultado de los Análisis Microbiológicos realizados en el CEANID a los residuos de origen vegetal recogidos del comedor universitario, se muestra a continuación en la tabla III-2 (ver Anexo D).

Tabla III-2. Resultado del Análisis Microbiológico de los residuos

<i>Parámetro</i>	<i>Método</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra-I</i>	<i>Fecha de ejecución</i>
Coliformes totales	NB 32005	NMP/g	1.6x10 ⁹	Del 6 al 13/11/12
Coliformes fecales	NB 32005	NMP/g	2.1x10 ⁷	Del 6 al 13/11/12

NB: Norma Boliviana; NMP/g: Método de Numero Más Probable para la determinación del número de células que pueden crecer en un gramo de muestra.

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), 2012.

Los resultados indican que hay una gran cantidad de microorganismos en los residuos del comedor, pero gracias a las duras condiciones establecidas en la metodología, tanto el pre-tratamiento con vapor saturado que somete a los residuos a esa condición bajo una presión de 3 atmosferas y 5 minutos de duración; y al proceso de secado durante aproximadamente 3 horas a 105°C, bajo estas condiciones los coliformes fecales y coliformes totales no tienen posibilidad de sobrevivencia por lo que no se consideraron sus posibles alteraciones en las personas, ni en la etapa de fermentación.

3.3. Resultados Obtenidos de la Determinación de Humedad

Se realizó la determinación de humedad de las tres mezclas base de MIX (F/V/H), restos de verduras (V) y restos de hortalizas (H).

Los resultados se obtuvieron del secador EUROTERM disponible en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la U.A.J.M.S.;

El secador EUROTERM posee una pantalla digital que indica los datos de Residuo sólido (%RS), Humedad (%UM), Peso (gr) que conforme al tiempo transcurrido se fueron tabulando, se trabajó a una temperatura de 105°C.

A continuación se detallan los resultados obtenidos.

3.3.1. Determinación de Humedad de MIX restos de (F/V/H)

El secado se realizó en el secador EUROTERM como ya se mencionó, los datos obtenidos se indican a continuación en la tabla III-3.

Tabla III-3. Determinación de Humedad de los Restos de MIX (F/V/H)

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Residuo solido (gr)</i>	<i>Agua evaporada conforme al tiempo (gr)</i>	<i>Agua evaporada total (gr)</i>
0	35.508	0	0
10	34.421	1.087	1.087
20	31.820	2.601	3.688
30	28.940	2.880	6.568
40	26.160	2.780	9.348
50	23.538	2.622	11.970
60	21.090	2.448	14.418
70	18.740	2.350	16.768
80	16.480	2.260	19.028
90	14.380	2.100	21.128

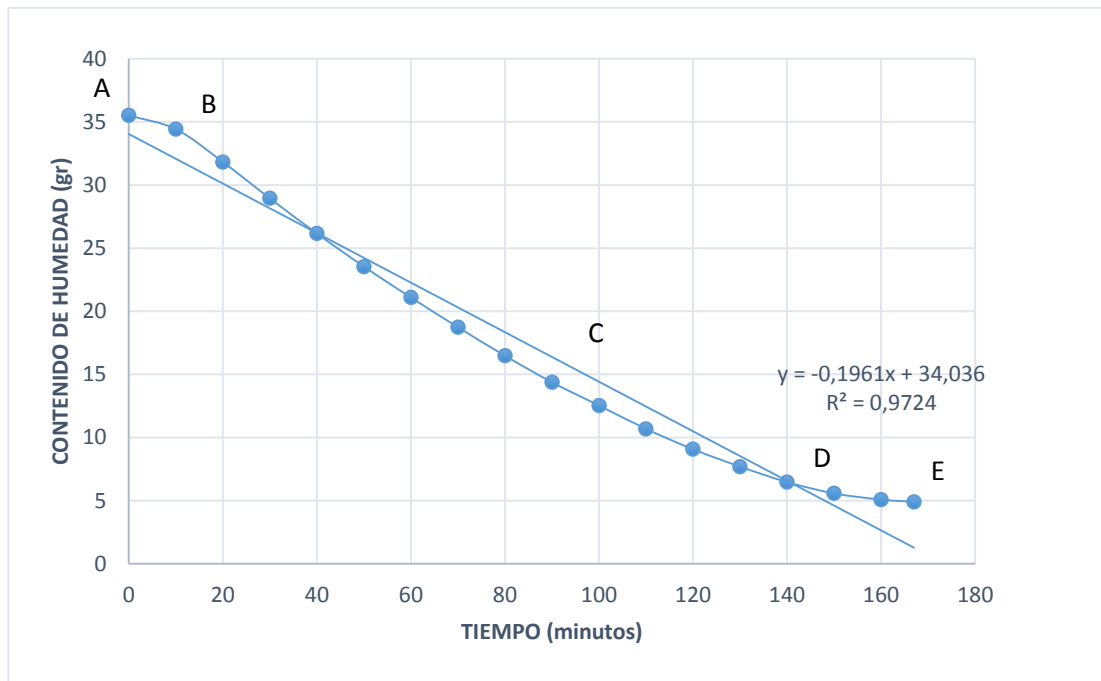
100	12.540	1.840	22.968
110	10.690	1,850	24.818
120	9.076	1.884	26.702
130	7.700	1.376	28.078
140	6.475	1.225	29.303
150	5.580	0.895	30.198
160	5.085	0.495	30.693
167	4.911	0.174	30.867

Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la tabla (III-3) se detallan los datos que fueron tomados del secador EUROTERM. En la cual se indica el tiempo de secado transcurrido, la variación de la cantidad de residuo sólido, la variación de la cantidad de agua evaporada y la cantidad de agua evaporada en cada intervalo de tiempo, tomados precisamente cada 10 minutos del secador y tabulados, como ya se mencionó anteriormente.

La figura (3.2.) muestra la curva de secado de (Humedad vs Tiempo).

Figura 3.2. Curva de secado de restos de (F/V/H), (Humedad vs Tiempo)



Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la curva indicada en la figura (3.2.) se puede observar una etapa de calentamiento inicial del sólido de poca duración en la cual la evaporación del agua no es significativa (A-B).

Luego pasa a un período de velocidad de secado constante, donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas (B-C).

Después se observa que la curva ingresa a un período de velocidad de secado decreciente, donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas y externas simultáneamente (C-D).

Por último ingresa a una etapa donde la evaporación ocurre desde el interior del sólido y ocurre hasta que no existe secado adicional (D-E).

Los resultados obtenidos de la determinación de la humedad se muestran a continuación en la tabla (III-4).

Tabla III-4. Datos Obtenidos de la Determinación de Humedad de MIX (F/V/H)

<i>Datos Obtenidos</i>			
<i>Peso inicial: 35.508 gr</i>			
<i>Hora de inicio:</i>	<i>09:40 am</i>	<i>Hora de culminación:</i>	<i>12:27 pm</i>
<i>Peso de agua evaporada:</i>	<i>30.867 gr</i>	<i>Peso seco final:</i>	<i>4.911 gr</i>
<i>Contenido de humedad:</i>	<i>86.17%</i>	<i>Residuo sólido:</i>	<i>13.83%</i>
<i>Fecha de realización:</i>	<i>30/11/12</i>	<i>Tiempo de secado:</i>	<i>167 min = 2h y 47min</i>

Fuente: Elaboración propia, 2012.

De la tabla (III-4) se puede observar que de los 35,508 gr iniciales de MIX (F/V/H) se obtuvieron solamente 4,911 gr de materia seca, correspondiendo al 13,83% de la cantidad inicial y se logró evaporar 30,867 gr de agua, el cual corresponde a un 86,17% de la cantidad inicial.

Con estos resultados obtenidos se puede indicar que los residuos de MIX (F/V/H) presenta un 86,17% de contenido de humedad y 13.83% de residuo sólido y un tiempo de secado de 167 minutos.

Estos datos del contenido de humedad, residuo sólido y tiempo de secado obtenidos de residuos de MIX (F/V/H) son importantes para poder realizar el secado en estufa de estos residuos para la obtención de la biomasa seca para poder llevar a cabo la hidrólisis acida.

3.3.2. Determinación de Humedad de Restos de Verduras (V)

De igual forma se tomaron los datos cada 10 minutos del secador EUROTERN, indicando los parámetros mencionados y tabulándolos.

Tabla III-5. Determinación de Humedad de los restos de Verduras (V)

<i>Tiempo (min)</i>	<i>Residuo solido (gr)</i>	<i>Agua evaporada conforme al tiempo (gr)</i>	<i>Agua evaporada total (gr)</i>

0	35.685	0	0
10	33.575	2.110	2.110
20	30.640	2.935	5.045
30	27.550	3.090	8.135
40	24.640	2.910	11.045
50	21.905	2.735	13.780
60	19.631	2.274	16.054
70	17.370	2.261	18.315
80	15.890	1.480	19.795
90	13.610	2.280	22.075
100	11.870	1.740	23.815
110	10.360	1.510	25.325
120	9.050	1.310	26.635
130	7.920	1.130	27.765
140	6.920	1.000	28.765
150	6.128	0.792	29.557
160	5.520	0.608	30.165
170	5.042	0.478	30.643
180	4.664	0.378	31.021
190	4.401	0.263	31.284

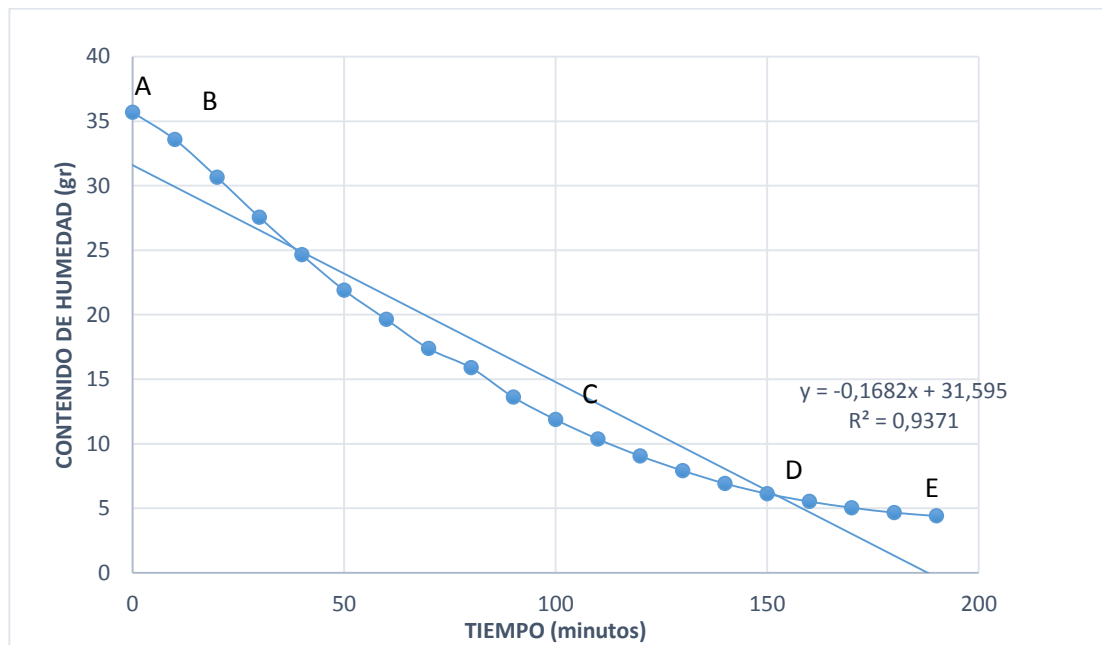
Fuente: Elaboración propia, 2012.

De igual forma en la tabla (III-5) se detallan los datos que fueron tomados del secador EUROTERM. En la cual se indica el tiempo de secado transcurrido, la variación de la cantidad de residuo sólido, la variación de la cantidad de agua evaporada y la

cantidad de agua evaporada en cada intervalo de tiempo, tomados precisamente cada 10 minutos del secador y tabulados.

La figura (3.3.) muestra la curva de secado de (Humedad vs Tiempo).

Figura 3.3. Curva de secado de restos de Verduras (Humedad vs Tiempo)



Fuente: Elaboración Propia, 2012.

De igual manera en la curva indicada en la figura (3.3.) se puede observar una etapa de calentamiento inicial del sólido de poca duración en la cual la evaporación del agua no es significativa (A-B).

Luego pasa a un período de velocidad de secado constante, donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas (B-C).

Después se observa que la curva ingresa a un período de velocidad de secado decreciente, donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas y externas simultáneamente (C-D).

Por ultimo ingresa a una etapa donde la evaporación ocurre desde el interior del sólido y ocurre hasta que no existe secado adicional (D-E).

Los resultados de la determinación de humedad de restos de verduras (V) que se obtuvieron del secador EUROTERM se indica en la continuación en la tabla (III-6).

Tabla III-6. Datos Obtenidos de la Determinación de Humedad de Restos de (V)

Datos Obtenidos	
<i>Peso inicial: 35.685 gr</i>	
<i>Hora de inicio: 11:15 am</i>	<i>Hora de culminación: 14:25 pm</i>
<i>Peso de agua evaporada: 31.284 gr</i>	<i>Peso seco final: 4.401 gr</i>
<i>Contenido de humedad: 87.67 %</i>	<i>Residuo sólido: 12.33 %</i>
<i>Fecha de realización: 13/12/12</i>	<i>Tiempo de secado: 190 min = 3h y 10min</i>

Fuente: Elaboración propia, 2012.

A diferencia del secado de MIX de (F/V/H) se puede observar que el secado de restos de verduras tuvo un tiempo más prolongado para su conclusión y su porcentaje en humedad es un poco más elevado.

De la tabla (III-6) se puede observar que de los 35,685 gr iniciales de restos de verduras (V) se obtuvieron solamente 4,401 gr de materia seca, correspondiendo al 12.33% de la cantidad inicial y se logró evaporar 31.284 gr de agua, el cual corresponde a un 87.67% de la cantidad inicial.

Con estos resultados obtenidos se puede indicar que los residuos de verduras (V) presentan un 87.67% de contenido de humedad y 12.33% de residuo sólido y un tiempo de secado de 190 minutos.

3.3.3. Determinación de Humedad de los Restos de Hortalizas (H)

Nuevamente se tomaron los datos cada 10 minutos del secador EUROTERN, indicando los parámetros mencionados y tabulándolos.

Tabla III-7. Determinación de humedad de los restos de Hortalizas (H)

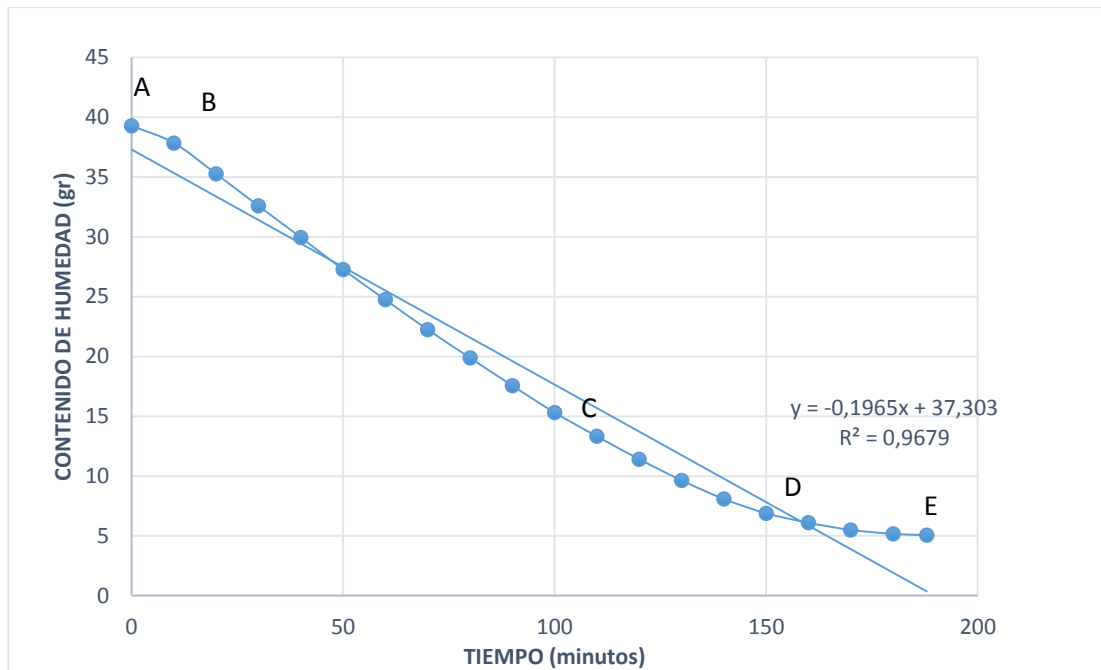
<i>Tiempo (min)</i>	<i>Residuo solido (gr)</i>	<i>Agua evaporada conforme al tiempo (gr)</i>	<i>Agua evaporada total (gr)</i>
0	39.278	0	0
10	37.840	1.438	1.438
20	35.258	2.582	4.020
30	32.580	2.678	6.698
40	29.950	2.630	9.328
50	27.270	2.680	12.008
60	24.740	2.530	14.538
70	22.240	2.500	17.038
80	19.890	2.350	19.388
90	17.560	2.330	21.718
100	15.311	2.249	23.967
110	13.320	1.991	25.958
120	11.410	1.910	27.868
130	9.640	1.770	29.638
140	8.090	1.550	31.188
150	6.890	1.200	32.388
160	6.100	0.790	33.178
170	5.500	0.600	33.778
180	5.172	0.328	34.106
190	5.071	0.101	34.207

Fuente: Elaboración propia, 2012.

De igual forma en la tabla (III-7) se detallan los datos que fueron tomados del secador EUROTHERM. En la cual se indica el tiempo de secado transcurrido, la variación de la cantidad de residuo sólido, la variación de la cantidad de agua evaporada y la cantidad de agua evaporada en cada intervalo de tiempo, tomados precisamente cada 10 minutos del secador y tabulados.

La figura (3.4.) muestra la curva de secado de (Humedad vs Tiempo).

Figura 3.4. Curva de Secado de restos de Hortalizas (Humedad vs Tiempo)



Fuente: Elaboración propia. 2012.

De igual manera en la curva indicada en la figura (3.4.) se puede observar que presenta las mismas características que las anteriores curvas indicadas, una etapa de calentamiento inicial del sólido, luego pasa a un período de velocidad de secado constante, después se observa que la curva ingresa a un período de velocidad de secado decreciente y por último ingresa a una etapa donde la evaporación ocurre desde el interior del sólido.

Los resultados de la determinación de humedad de restos de hortalizas (H) que se obtuvieron del secador EUROTHERM se indica en la continuación en la tabla (III-8).

Tabla III-8. Datos Obtenidos de la Determinación de Humedad de Restos de (H)

<i>Datos Obtenidos</i>	
<i>Peso inicial 39.278 gr</i>	
<i>Hora de inicio:</i> 08:55 am	<i>Hora de culminación:</i> 12:03 pm
<i>Peso de agua evaporada:</i> 34.207 gr	<i>Peso seco final:</i> 5.071 gr
<i>Contenido de humedad:</i> 87.09 %	<i>Residuo sólido:</i> 12.91 %
<i>Fecha de realización:</i> 06/12/12	<i>Tiempo de secado:</i> 188 min = 3h y 8min

Fuente: Elaboración propia, 2012.

De igual forma se puede observar de la tabla (III-8.), que tanto el secado de restos de Hortalizas (H) como el de restos de verduras (V) son similares y poseen mayor humedad que el MIX de (F/V/H) y utilizaron mayor tiempo para su secado. Además se puede observar que de los 39.278 gr iniciales de restos de hortalizas (H) se obtuvieron solamente 5.071 gr de materia seca, correspondiendo al 12.91% de la cantidad inicial y se logró evaporar 34.207 gr de agua, el cual corresponde a un 87.09% de la cantidad inicial. Con estos resultados obtenidos se puede indicar que los residuos de hortalizas (H) presentan un 87.09% de contenido de humedad y 12.91% de residuo sólido y un tiempo de secado de 188 minutos.

En las tablas (III-4), (III-6) y (III-8), se puede observar que el contenido de humedad es similar en los tres mezclas base y su tiempo de secado no difiere demasiado entre ellas. El gran contenido de humedad en cada una de las mezclas base es notorio, contienen demasiada agua, dejando solamente una fracción pequeña de residuo solido utilizable en la etapa de hidrolisis.

3.4. Resultados de la Determinación de Azúcares Totales y Reductores

Los resultados obtenidos del CEANID (ver Anexo E), muestran un elevado contenido en azúcares totales en las tres mezclas base, en cuanto a los azúcares reductores hay una menor cantidad pero no deja de ser importante el porcentaje obtenido.

Esto significa que los residuos utilizados para la obtención de bioetanol no solamente están compuesto por cadenas de celulosa, hemicelulosa o lignina, sino también presentan un importante contenido en azúcares totales y reductores que favorecen, sin duda, al rendimiento en la obtención de azúcares en la etapa de hidrólisis ácida.

Tabla III-9. Resultado de Laboratorio (Determinación de Azúcares)

<i>Restos de Hortalizas (H)</i>				
<i>Parámetro</i>	<i>Técnica</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra</i>	<i>Fecha de Ejecución</i>
Azúcares Reductores	AOAC 923-09	%	10.80	Del 02 al 05/07/13
Azúcares Totales	AOAC 923-09	%	55.80	Del 02 al 05/07/13
<i>MIX de (F/V/H)</i>				
<i>Parámetro</i>	<i>Técnica</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra</i>	<i>Fecha de Ejecución</i>
Azúcares Reductores	AOAC 923-09	%	18.12	Del 02 al 05/07/13
Azúcares Totales	AOAC 923-09	%	59.60	Del 02 al 05/07/13
<i>Restos de Verduras (V)</i>				
<i>Parámetro</i>	<i>Técnica</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra</i>	<i>Fecha de Ejecución</i>
Azúcares Reductores	AOAC 923-09	%	11.14	Del 02 al 05/07/13
Azúcares Totales	AOAC 923-09	%	39.00	Del 02 al 05/07/13

AOAC: Association of Official Agricultural Chemists

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), 2013.

3.5. Resultados Obtenidos de la Parte Experimental del Proyecto de Investigación

A continuación se detallan los resultados obtenidos durante la realización de la parte experimental del presente proyecto de investigación.

3.5.1. Resultados obtenidos de las Etapas de Triturado, Pre-tratamiento,

Triturado con Licuadora, Secado y molido.

Durante estas etapas se obtuvieron los resultados de la cantidad de materia utilizada en cada etapa, los cuales están expresados en la tabla (III-10).

Tabla III-10. Resultados Obtenidos de cantidad de materia utilizada desde la etapa de Triturado hasta el Molido

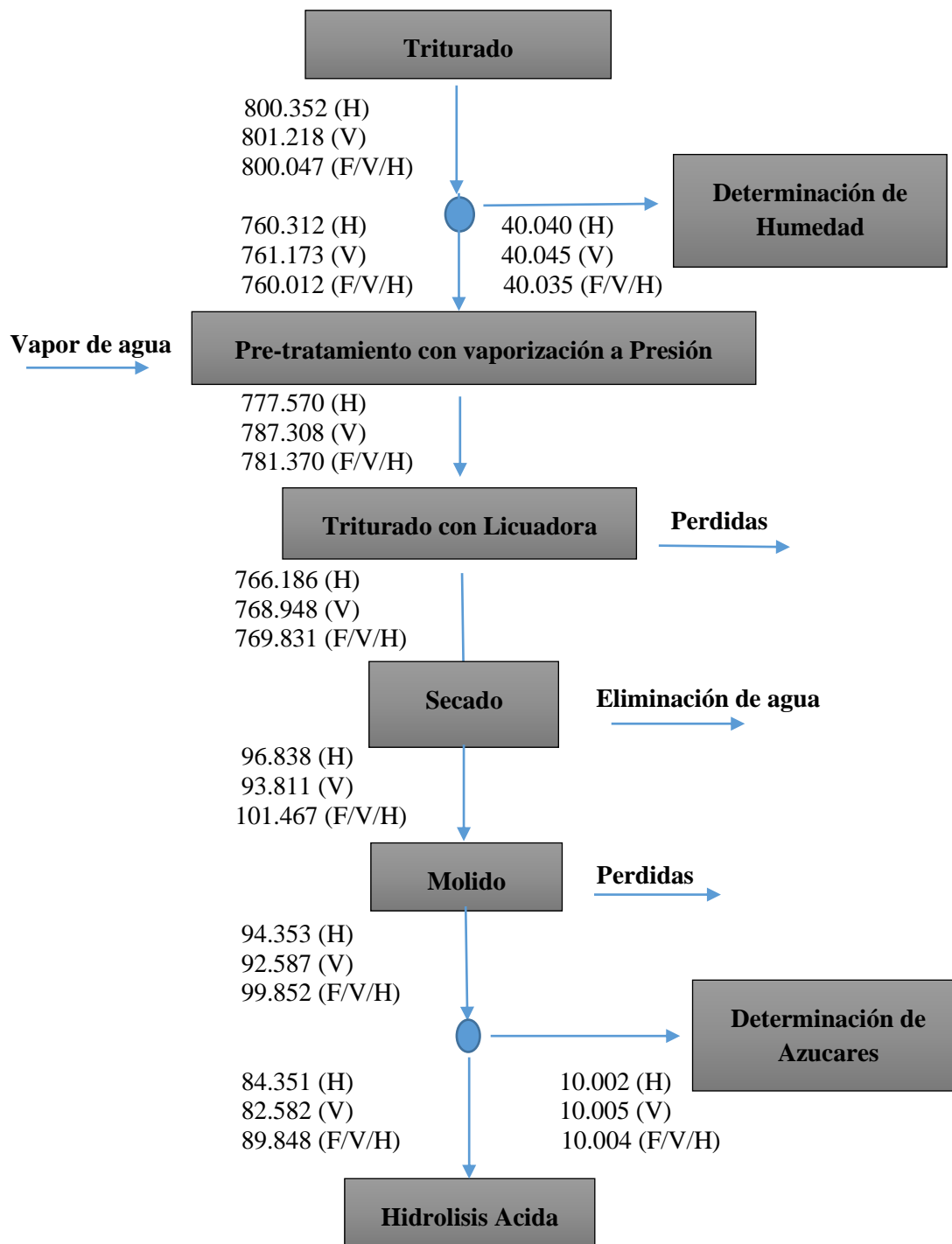
<i>Mezclas Base</i>	(H) gr	(V) gr	(F/V/H) gr
<i>Triturado</i>	800.352	801.218	800.047
<i>Destinada a Determinación de Humedad</i>	40.040	40.045	40.035
<i>Destinada a Pre-tratamiento con vapor</i>	760.312	761.173	760.012
<i>Obtenida del Pre-tratamiento</i>	777.570	787.308	781.370
<i>Obtenida del Triturado con Licuadora</i>	766.186	768.948	769.831
<i>Obtenida del Secado</i>	96.838	93.811	101.467
<i>Obtenida del Molido</i>	94.353	92.587	99.852
<i>Destinada a Determinación de Azúcares</i>	10.002	10.005	10.004
<i>Destinada para la Hidrolisis</i>	84.351	82.582	89.848

Fuente: Elaboración propia. 2013.

Los resultados obtenidos demuestran que realizando todas estas etapas mencionadas en la metodología se pudo observar que a partir de los 800 gr iniciales de cada mezcla base se puede obtener aproximadamente entre 80 y 90 gr de biomasa seca útil para la realización de la etapa de hidrolisis ácida.

Estos datos se pueden expresar en un diagrama de bloque para una mejor visualización e identificación.

Figura 3.5. Diagrama en Bloques de cantidades desde el Triturado hasta Molido (gr)



Fuente: Elaboración propia, 2013.

3.5.2. Resultados Obtenidos de la Etapa de Hidrolisis Acida

Los resultados obtenidos se indican en las tablas (III-11), (III-12), (III-13).

Tabla III-11. Resultados de MIX (F/V/H) en la Etapa de Hidrolisis Acida.

Muestra	°Brix/hora									
	N°	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
(F/V/H) 2%	M1	6,3	7,3	7,7	7,9	8,5				
	M2	6,2	7,2	7,7	7,8	8,2				
(F/V/H) 2%	M3	7,1	7,9	8,2	8,6	8,8	9,0	9,1	9,3	9,6
	M4	7,4	7,8	8,3	8,5	8,7	8,8	9,0	9,2	9,3
(F/V/H) 4%	M5	8,1	9,1	9,4	9,9	10,1				
	M6	8,9	9,4	10,1	10,5	10,8				
(F/V/H) 4%	M7	8,0	9,5	10,2	10,7	11,0	11,4	11,8	12,0	12,2
	M8	8,2	9,7	10,2	10,4	10,9	11,3	11,7	11,7	11,8

Tabla III-12. Resultados de restos de (V) en la Etapa de Hidrolisis Acida.

Muestra	°Brix/hora									
	N°	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
(V) 2%	M1	6,3	6,6	6,9	7,1	7,5				
	M2	6,2	6,5	6,7	7,0	7,3				
(V) 2%	M3	5,8	6,4	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	7,9	8,2
	M4	5,8	6,7	7,2	7,5	7,7	7,9	8,0	8,2	8,5
(V) 4%	M5	7,3	9,1	9,4	9,5	10,2				
	M6	7,2	8,9	9,2	9,4	9,9				
(V) 4%	M7	7,0	8,7	9,3	9,8	10,1	10,5	11,0	11,2	11,3
	M8	6,9	8,9	9,1	9,5	9,9	10,3	10,6	10,8	10,9

Tabla III-13. Resultados de restos de (H) en la Etapa de Hidrolisis Acida.

°Brix/hora										
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

<i>Muestra</i>	<i>N°</i>	<i>0°</i>	<i>1°</i>	<i>2°</i>	<i>3°</i>	<i>4°</i>	<i>5°</i>	<i>6°</i>	<i>7°</i>	<i>8°</i>
(H) 2%	M1	5,6	7,7	8,5	9,1	9,8				
	M2	5,3	7,4	8,2	9,0	9,5				
(H) 2%	M3	6,3	8,7	9,4	9,7	10,1	10,4	10,8	11,4	11,7
	M4	6,6	9,0	9,5	9,8	10,0	10,3	10,5	11,4	11,4
(H) 4%	M5	7,8	9,9	10,7	11,3	11,9				
	M6	7,2	9,3	10,4	10,9	11,2				
(H) 4%	M7	7,4	10,0	10,9	11,0	11,8	12,7	13,1	13,5	13,7
	M8	7,8	10,0	10,5	11,1	11,5	12,0	12,5	12,9	13,2

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Al analizar los tres tipos de residuos utilizados en la hidrolisis se pudo observar el incremento en el porcentaje de azúcares totales (°Brix) por la interacción del ácido sobre los residuos, sin embargo se encontró que, de los restos de hortalizas (H) y del MIX (F/V/H) se obtuvieron los mejores resultados, pero no hubo una diferencia significativa con los restos de verduras (V).

Además los tres tipos de residuos se vieron favorecidos por su contenido inicial en azúcares que sin duda favorecieron en los resultados obtenidos.

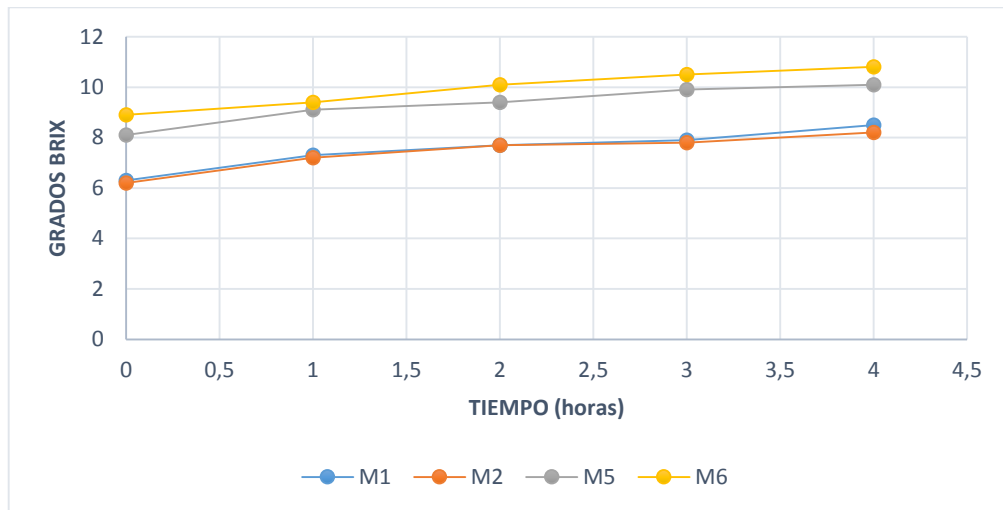
Cabe resaltar que el contenido inicial de azúcares de los residuos varía según la concentración de ácido sulfúrico utilizada, viéndose favorecidas en las que se utilizó una concentración del 4%, esto nos indica que la reacción de hidrolisis se realiza inmediatamente luego la adición del residuo al ácido y que a las condiciones a las cuales luego son sometidas, a una temperatura de 85°C y una velocidad de agitación de 450 rpm, se va incrementando el contenido de azúcares al transcurrir el tiempo.

De igual forma con la concentración del 4% se obtuvieron los resultados más elevados, en comparación a los realizados con una concentración del 2%.

En las figuras (3.6.), (3.7.), (3.8.), (3.9.), (3.10.) y (3.11.), se puede observar la

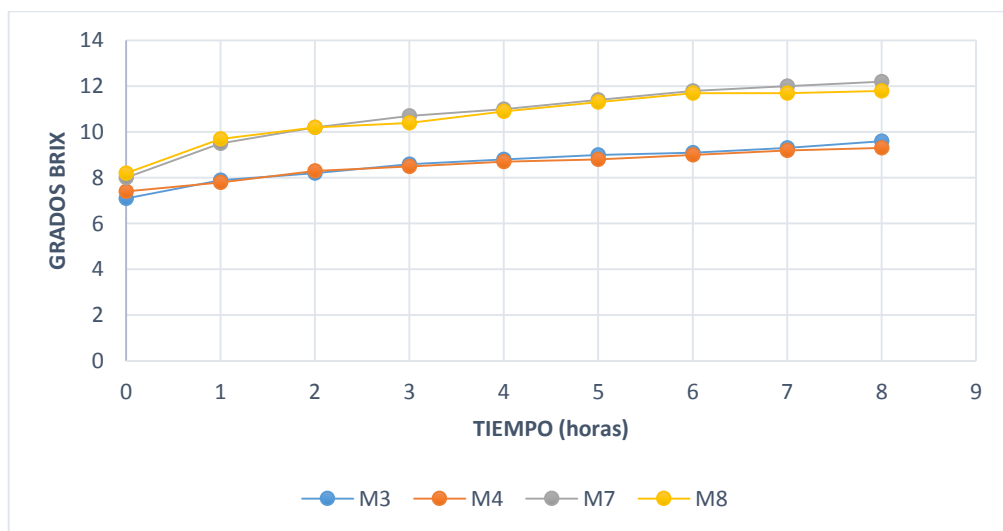
formación de azúcar conforme al tiempo con el aumento de los grados Brix de cada una de las experimentaciones realizadas.

Figura 3.6. Formación de azúcares a partir de MIX de (F/V/H) en 4 horas



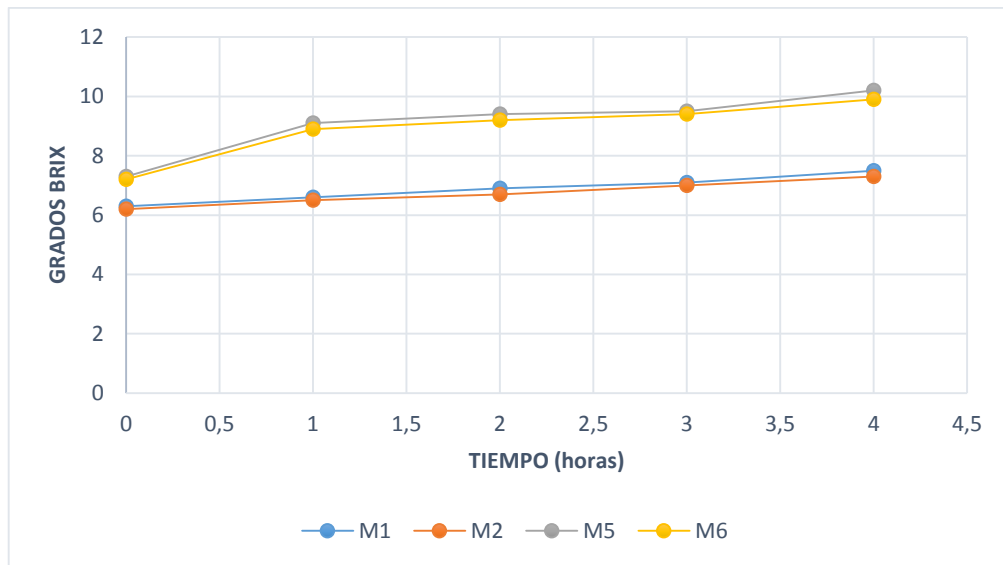
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Figura 3.7. Formación de azúcares a partir de MIX de (F/V/H) en 8 horas



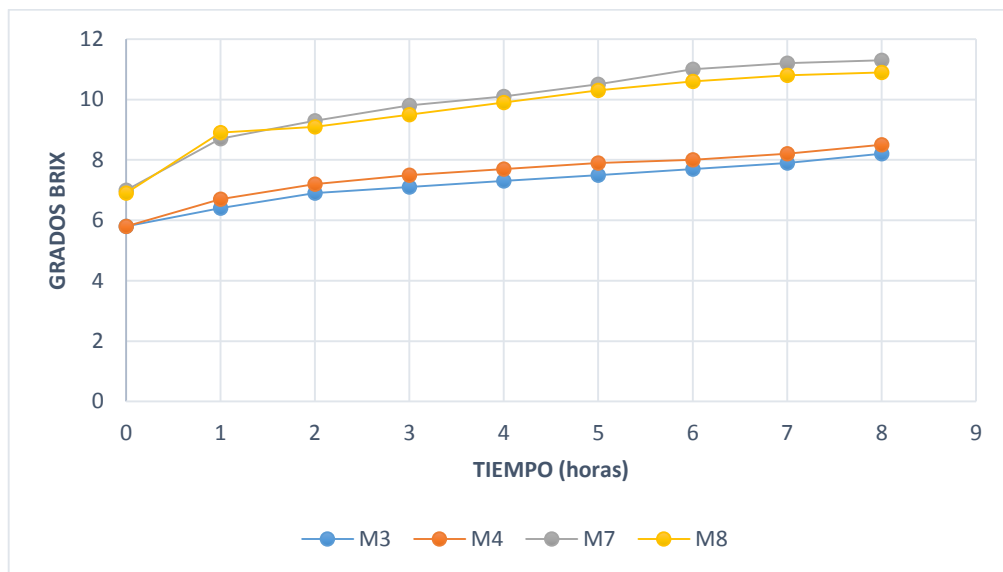
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Figura 3.8. Formación de azúcares a partir de Restos de (V) en 4 horas



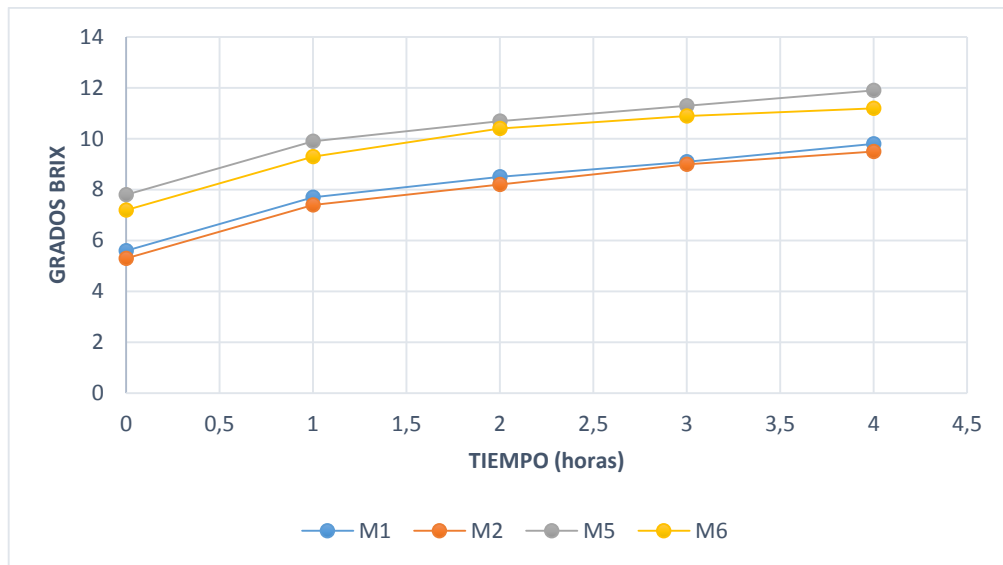
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Figura 3.9. Formación de azúcares a partir de Restos de (V) en 8 horas



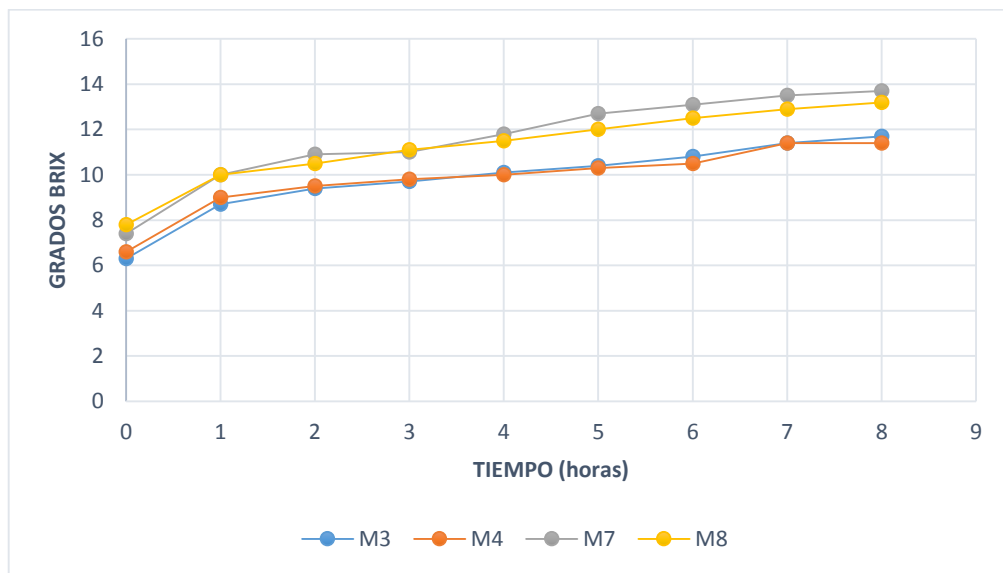
Fuente: Elaboración propia, 2013.

Figura 3.10. Formación de azúcares a partir de Restos de (H) en 4 horas



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Figura 3.11. Formación de azúcares a partir de Restos de (H) en 8 horas



Fuente: Elaboración propia, 2013.

Se puede observar el efecto de la variación del tiempo de hidrólisis en la formación de azúcares. En ellas se aprecia que al cabo de las 8 horas se obtuvo el mayor contenido de azúcares ($13,7^{\circ}$ Brix de restos de Hortalizas), no obstante a los 7 horas el valor fue $13,5^{\circ}$ Brix por lo que se puede considerar este último tiempo como el más

idóneo para la obtención de azúcares a partir de restos vegetales mediante hidrólisis ácida, por no existir gran variación en relación a los 8 horas y por razones de ahorro de energía y tiempo.

En cambio las curvas de las pruebas realizadas en 4 horas presentan un incremento de azúcares lineal e interrumpido al cabo de estas 4 horas por lo que se puede deducir que este no es el tiempo suficiente para obtener los mejores resultados, sino que, como ya se mencionó, el tiempo más idóneo son las 7 horas.

En base a lo mostrado se puede observar que M7, M8 de MIX de (F/VH) y M7, M8 de Restos de (H) son los que alcanzaron mayor grado Brix como variable respuesta durante la etapa de hidrólisis ácida, por tanto son estas las seleccionadas como sustrato para la realización de la etapa de fermentación alcohólica.

3.5.2.1. Resultados Obtenidos de la determinación del Volumen de la dilución

Los resultados obtenidos mediante visualización directa de las 6 combinaciones se las muestran a continuación en la tabla (III-14.).

Tabla III-14. Resultados de la Determinación Del Volumen de la Dilución

<i>Combinación</i>	<i>Volumen del Acido</i>	<i>Peso de la Mezcla Base</i>	<i>Volumen (ml)</i>
(F/V/H) 2%	100 ml	10,02 gr	107 ml
(V) 2%	100 ml	10,00 gr	108 ml
(H) 2%	100 ml	10,00 gr	105 ml
(F/V/H) 4%	100 ml	10,00 gr	109 ml
(V) 4%	100 ml	10,00 gr	109 ml
(H) 4%	100 ml	10,01 gr	106 ml

Fuente: Elaboración propia, 2013.

Es importante la determinación del volumen de la dilución para poder calcular la densidad de cada una de las diluciones realizadas. Además mediante la determinación del volumen se pudo utilizar el recipiente adecuado en el cual poder llevar a cabo la

reacción de hidrolisis. Es importante resaltar que para poder realizar el presente proyecto a escala industrial estos datos son necesarios para poder diseñar y calcular el volumen de los reactores que se utilizarían para la hidrolisis dependiendo de la cantidad de materia prima a utilizar.

3.5.2.2. Resultados Obtenidos de la Determinación de la Densidad de la Dilución

Los resultados que se obtuvieron de la determinación de la densidad son:

Tabla III-15. Resultados de la Determinación de la densidad de la Dilución

<i>Combinación</i>	<i>Volumen de la dilución</i>	<i>Peso del Ácido + Mezcla</i>	<i>Densidad (gr/ml)</i>
(F/V/H) 2%	104 ml	$100,850 + 10,02 = 110,870$ gr	1.06606
(V) 2%	106 ml	$100,850 + 10,00 = 110,850$ gr	1,04575
(H) 2%	103 ml	$100,850 + 10,00 = 110,850$ gr	1,07621
(F/V/H) 4%	105 ml	$102,150 + 10,00 = 112,150$ gr	1,06809
(V) 4%	107 ml	$102,150 + 10,00 = 112,150$ gr	1,04813
(H) 4%	104 ml	$102,150 + 10,01 = 112,160$ gr	1,07846

Fuente: Elaboración propia, 2013.

De igual forma la determinación de las densidades de las diluciones, es importante para poder calcular más adelante los rendimientos de etanol en la fermentación alcohólica. A escala industrial estos datos serían necesarios para poder calcular la velocidad de agitación y diseñar las aspas de los reactores para la hidrolisis.

3.5.3. Resultados de la Obtención del Sustrato para la Fermentación

Como ya se mencionó en el anterior capítulo, una vez realizada la etapa de hidrolisis y seleccionadas las dos mejores experiencias, se procedió con la obtención de las cantidades necesarias de materia, para la realización de la etapa de fermentación a partir precisamente de estas dos mejores experiencias. Debido a lo mencionado se tuvo que realizar nuevamente todas las etapas previas a la hidrolisis, desde el triturado hasta el molido, para poder realizar la etapa de fermentación. Los resultados

obtenidos se muestran a continuación en la tabla (III-16).

Tabla III-16. Resultados de la obtención de la masa del sustrato para la fermentación

<i>Mezclas seleccionadas</i>	(H 4%) gr	(F/V/H 4%) gr
<i>Triturado</i>	2400.08	2400.05
<i>Obtenida del Pre-tratamiento con Vapor</i>	2428.19	2427.86
<i>Obtenida del Triturado con Licuadora</i>	2412.7	2415.25
<i>Obtenida del Secado</i>	286	294
<i>Obtenida del Molido</i>	284	291
<i>Destinada para la Hidrolisis</i>	280	280

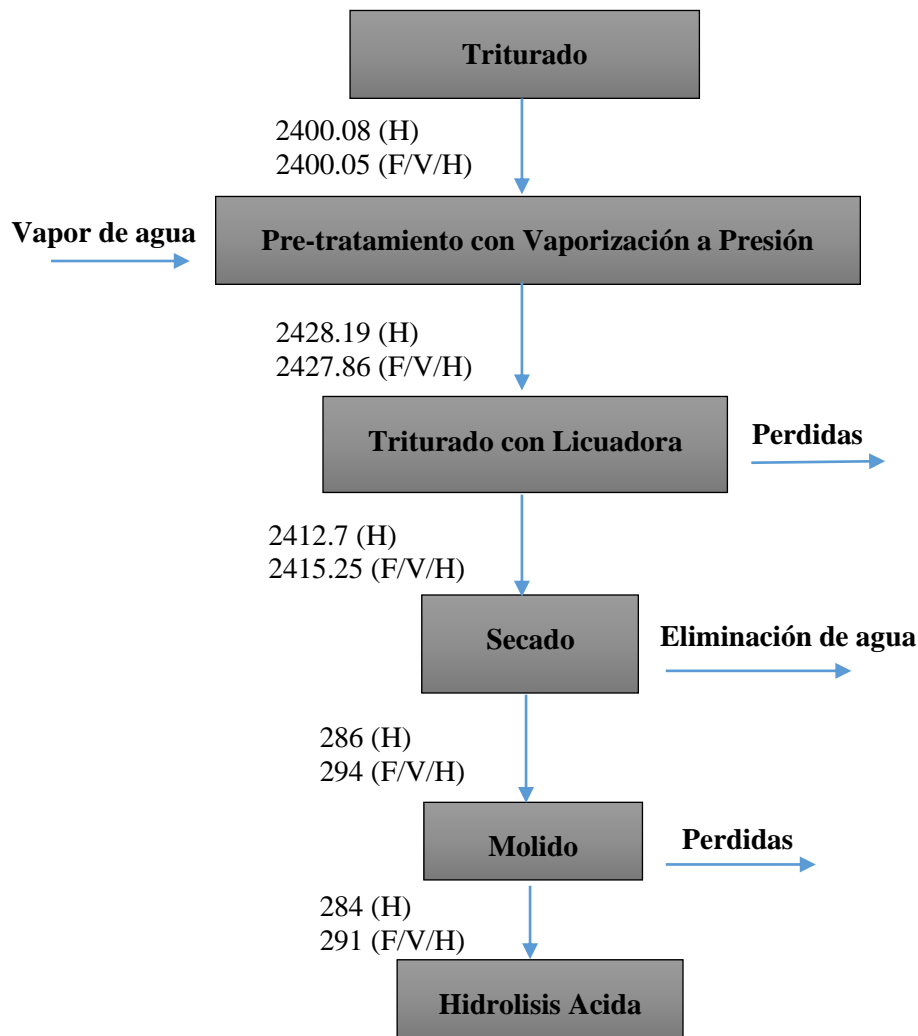
Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se puede observar que los resultados obtenidos presentan las mismas características en cuanto a relación de cantidades de materia que en las obtenidas durante la realización de la etapa de hidrolisis.

Lo más notorio durante la realización de las etapas para la obtención de la masa del sustrato es sin duda la cantidad de agua eliminada durante la etapa de secado, como ya se mostró anteriormente, es elevado el contenido de humedad en residuos utilizados por tanto solamente se obtuvo aproximadamente un poco más del 10% de materia de la cantidad inicial destinada para la obtención. A pesar de esto las cantidades de materia obtenidas de 284 gr de (H) y 291 gr de (F/V/H) fueron suficientes para llevar a cabo la etapa de hidrolisis para la obtención de la masa del sustrato.

De igual forma se puede tener una mejor visualización y comparación utilizando un diagrama de bloques el cual se muestra en la figura (3.12.).

Figura 3.12. Diagrama en Bloques de cantidades desde triturado hasta molido en la Obtención de la masas del Sustrato (gr)



Fuente: Elaboración propia, 2014.

3.5.3.1. Resultados de la Hidrolisis en la Obtención del Sustrato

Como ya se mencionó en el anterior capítulo se realizaron 4 hidrolisis para cada mezcla, cada una de 700 ml de ácido sulfúrico al 4% con 70 gr de materia seca, a las mismas condiciones, 85°C, 450 rpm y 8 horas. Una vez realizado las hidrolisis se procedió mezclar el sustrato obtenido de cada mezcla y se determinó tanto su volumen final como también sus grados Brix.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla III-17.

Tabla III-17. Resultados de la hidrolisis acida en la obtención del Sustrato para la fermentación alcohólica

<i>Mezcla (H)</i>		<i>Mezcla (F/V/H)</i>	
<i>Condiciones Iniciales</i>	<i>2800 ml H₂SO₄ al 4%</i>	<i>Condiciones Iniciales</i>	<i>2800 ml H₂SO₄ al 4%</i>
<i>°Brix = 7,6</i>	<i>280 gr Materia Seca</i>	<i>°Brix = 8,3</i>	<i>280 gr Materia Seca</i>
<i>Sustrato (H)</i>		<i>Sustrato (F/V/H)</i>	
<i>Volumen final Observado</i>	<i>2968 ml</i>	<i>Volumen final Observado</i>	<i>3052 ml</i>
<i>°Brix Corregido</i>	<i>13.9</i>	<i>°Brix Corregido</i>	<i>13</i>

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se puede observar que la cantidad de sustrato obtenido tanto de Sustrato (H) de 2968 ml y de sustrato (F/V/H) de 3052 ml es más de lo necesario ya que para realizar la fermentación alcohólica se necesita 2000 ml de cada sustrato. Sin embargo el sustrato obtenido presenta una gran cantidad de partículas precipitadas debido a la materia seca adicionada al principio, para ello se procedió a filtrar y eliminar las partículas para evitar que obstaculicen el proceso de fermentación.

En cuanto a los grados Brix, el sustrato (H) alcanzó los 13,9°Brix y el sustrato (F/V/H) alcanzó los 13°Brix, estos resultados son similares a los obtenidos anteriormente durante la realización de la etapa de hidrolisis acida, donde la mezcla de (H) alcanzaron los 13,7°Brix y la mezcla de (F/V/H) los 12,2°Brix, notándose un ligero aumento en la mezcla (F/V/H).

3.5.3.2. Volumen Obtenido después del Filtrado

El proceso de filtrado como ya se mencionó se lo realizo para la eliminación de las partículas que se encuentran en los sustratos obtenidos y para evitar que estas partículas causen efectos negativos en la etapa de fermentación. Los resultados se indican en la tabla III-18.

Tabla III-18. Volumen del sustrato obtenido después del filtrado

<i>Sustrato (H)</i>		<i>Sustrato (F/V/H)</i>	
<i>Volumen Inicial</i>	<i>2968 ml</i>	<i>Volumen Inicial</i>	<i>3052 ml</i>
<i>Volumen Final</i>	<i>2535 ml</i>	<i>Volumen Final</i>	<i>2610 ml</i>
<i>Perdidas</i>	<i>433 ml</i>	<i>Perdidas</i>	<i>442 ml</i>

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se puede observar que hay gran cantidad de partículas precipitadas en ambos sustratos, estas partículas le dan una consistencia densa y pastosa a los sustratos obtenidos, claramente la presencia de dichas partículas dificultarían el proceso de fermentación. Después del filtrado se observó que los sustratos presentaban una consistencia líquida y con muy pocas partículas precipitadas.

3.5.3.3. Resultados de la Determinación de Azúcares Reductores del Sustrato

Del volumen obtenido del filtrado se utilizaron 500 ml de cada uno de los sustratos para la determinación de sus azúcares reductores. En la tabla III-19 se indican las cantidades de sustrato destinadas para la determinación de azúcares reductores y para la realización de la etapa de fermentación

Tabla III-19 Cantidad de sustrato destinada a la Fermentación

<i>Sustrato (H)</i>		<i>Sustrato (F/V/H)</i>	
<i>Volumen Inicial</i>	<i>2535 ml</i>	<i>Volumen Inicial</i>	<i>2610 ml</i>
<i>Determinación de Azúcares</i>	<i>500 ml</i>	<i>Determinación de Azúcares</i>	<i>500 ml</i>
<i>Destinada a la Fermentación</i>	<i>2035 ml</i>	<i>Destinada a la Fermentación</i>	<i>2110 ml</i>

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Los resultados de la determinación de azúcares reductores en los sustratos se muestran a continuación en la tabla III-20.

Tabla III-20. Resultados de la Determinación de Azúcares Reductores del Sustrato

<i>Sustrato (H)</i>			
<i>Parámetro</i>	<i>Técnica</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra 1</i>
Azúcares Reductores	AOAC 923.09	%	1.17
<i>Sustrato (F/V/H)</i>			
<i>Parámetro</i>	<i>Técnica</i>	<i>Unidad</i>	<i>Muestra 2</i>
Azúcares Reductores	AOAC 923.09	%	0.86

AOAC: Association of Official Agricultural Chemists.

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), 2013.

En los resultados obtenidos se puede observar que ambos sustratos tienen presencia de azúcares reductores, el sustrato (H) con 1.17% y el sustrato (F/V/H) con 0.86%, los cuales son parte importante en la etapa de fermentación alcohólica

3.5.3.4. Resultados Obtenidos de la Corrección del Sustrato

Se ajustó el pH a 4.5 a cada sustrato, para ello se añadió las cantidades de hidróxido de sodio indicadas en la tabla III-21.

Tabla III-21. Corrección del pH del sustrato

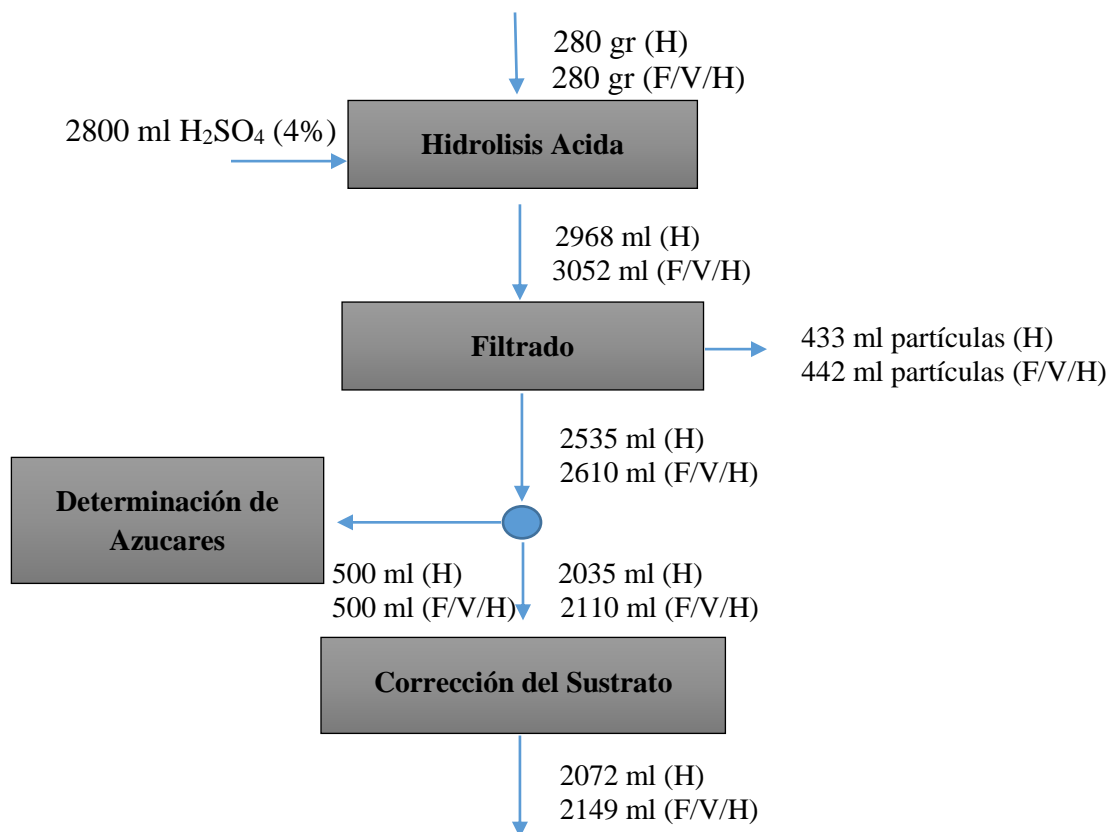
<i>Sustrato</i>	<i>Inicial</i>		<i>Cantidad de Hidróxido de Sodio Adicionada</i>	<i>Final</i>	
	<i>Cantidad</i>	<i>pH inicial</i>		<i>Cantidad</i>	<i>pH final</i>
(H)	2035 ml	0.45	79 gr = 37.09 ml ($\rho = 2.13$ g/ml)	2072 ml	4.5
(F/V/H)	2110 ml	0.47	84 gr = 39.44 ml ($\rho = 2.13$ g/ml)	2149 ml	4.5

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Debido a que el pH inicial de los sustratos es ácido, de 0.45 de sustrato (H) y 0.47 de sustrato (F/V/H), es que se tuvo que utilizar una notable cantidad de hidróxido de sodio, de alrededor de 80 gr, para aumentar su pH a 4.5, pH al cual las levaduras podrán desarrollarse favorablemente en la etapa siguiente de fermentación.

De igual forma se puede visualizar mejor los datos obtenidos en un diagrama de bloques.

Figura 3.13. Diagrama en bloques de Cantidades desde la Hidrolisis acida hasta la Corrección del Sustrato.



Fuente: Elaboración propia. 2014.

Una vez realizada la corrección de pH al sustrato, se pasó a la siguiente etapa de la fermentación alcohólica.

3.5.4. Resultados Obtenidos de la Etapa de Fermentación Alcohólica

Los resultados obtenidos del consumo de sustrato (°Brix) diario en la etapa de fermentación alcohólica se muestra en la tabla III-22.

Tabla III-22. Medición del consumo del sustrato (°Brix) en la fermentación.

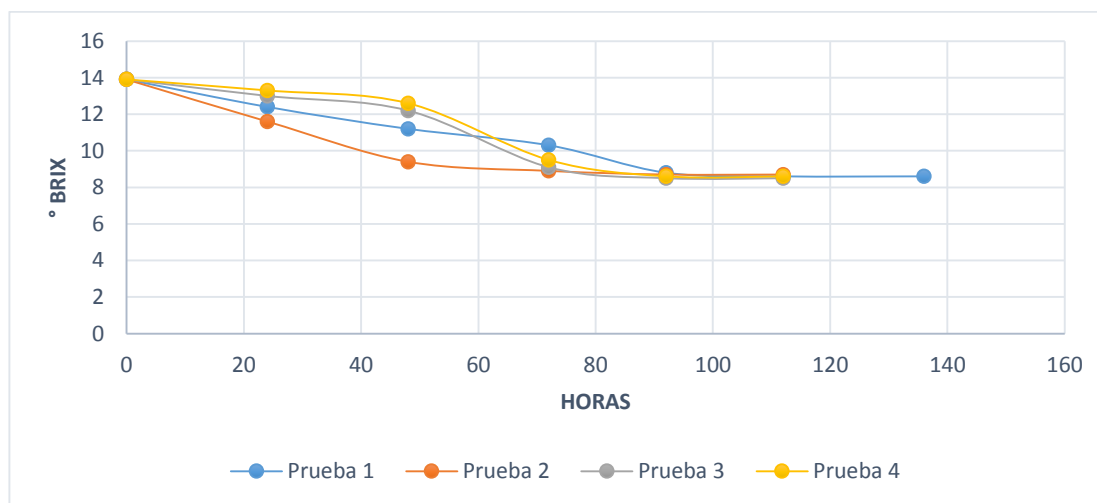
Sustrato	•Brix/día
----------	-----------

		<i>inicio</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
<i>Prueba 1</i>	(H), 28°C	13.9	12.4	11.2	10.3	8.8	8.6	8.6
<i>Prueba 2</i>	(H), 28°C	13.9	11.6	9.4	8.9	8.7	8.7	
<i>Prueba 3</i>	(H), 32°C	13.9	13.0	12.2	9.1	8.5	8.5	
<i>Prueba 4</i>	(H), 32°C	13.9	13.3	12.6	9.5	8.6	8.6	
<i>Prueba 5</i>	(F/V/H), 28°C	13.0	12.8	12.4	11.8	10.2	9.9	9.9
<i>Prueba 6</i>	(F/V/H), 28°C	13.0	12.9	12.7	11.5	10.0	9.5	9.5

Fuente: Elaboración propia, 2014.

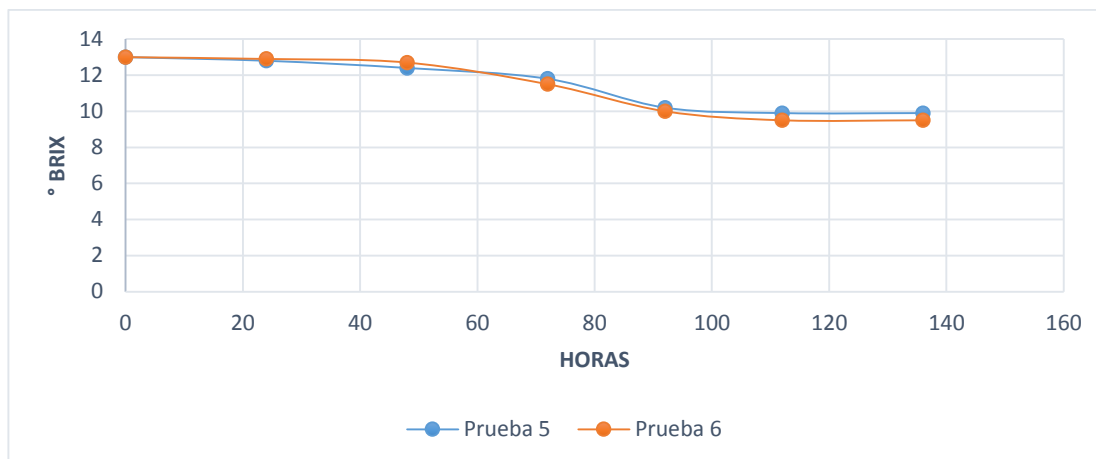
Como se mencionó anteriormente, según la fórmula $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$ durante el proceso de fermentación, los azúcares se transforman en etanol y dióxido de carbono. La Tabla III-22 indica cómo fue variando la cantidad de los grados °Brix debido al consumo de azúcares conforme al tiempo transcurrido.

Figura 3.14. Consumo de Sustrato (H) durante la Fermentación Alcohólica



Fuente: Elaboración propia, 2014.

Figura 3.15. Consumo de Sustrato (F/V/H) durante la Fermentación Alcohólica



Fuente: Elaboración propia, 2014.

En las figuras (3.14.) y (3.15.) se puede observar igualmente el consumo de sustrato durante el tiempo de fermentación, así también se puede apreciar que dicho consumo es lento tanto al principio como al final de la fermentación, esto debido a que al principio las levaduras se adaptan al medio de fermentación o sustrato y al finalizar la formación de alcohol etílico provoca la muerte de las levaduras por lo que también es lento el consumo de azúcares.

En cuanto a las temperaturas de fermentación utilizadas, se puede observar que a los 28°C las levaduras se adaptan más rápido al medio de fermentación que a la temperatura de 32°C, sin embargo con ambas temperaturas se lograron similares resultados en los mismos tiempos de fermentación empleados.

3.5.4.1. Resultados Obtenidos de la Fermentación con Crema de I.A.B.S.A.

La finalidad de la utilización de la crema de levaduras obtenidas de la destilería de I.A.B.S.A., es de evaluar el comportamiento de las levaduras en el medio de fermentación o sustratos obtenidos de los residuos y compararlas con las levaduras de pan activadas en el laboratorio.

Los resultados del consumo de los grados Brix del sustrato (F/V/H) con la utilización de la crema de I.A.B.S.A. conforme al tiempo se indican en tabla III-23.

Tabla III-23. Medición de la Densidad y del Consumo de Sustrato utilizando la

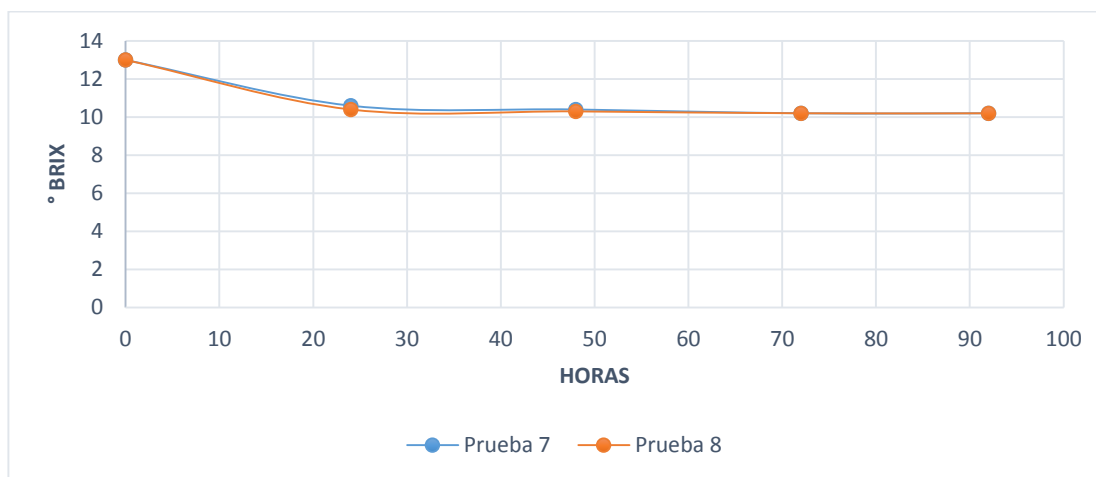
Crema de I.A.B.S.A

<i>Sustrato</i>		<i>Densidad kg/m³</i>		<i>°brix/día</i>			
		<i>Inicial</i>	<i>Final</i>	<i>inicio</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
<i>Prueba 7</i>	<i>(F/V/H), 32°C</i>	<i>1095</i>	<i>1069</i>	<i>13</i>	<i>10,6</i>	<i>10,4</i>	<i>10,2</i>
<i>Prueba 8</i>	<i>(F/V/H), 32°C</i>	<i>1095</i>	<i>1067</i>	<i>13</i>	<i>10,4</i>	<i>10,3</i>	<i>10,2</i>

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Se puede observar que el tiempo de fermentación se redujo al usar la crema de I.A.B.S.A. en comparación con la fermentación realizada con levadura activada, sin embargo los resultados en cuanto al consumo del sustrato son casi similares a los obtenidos anteriormente.

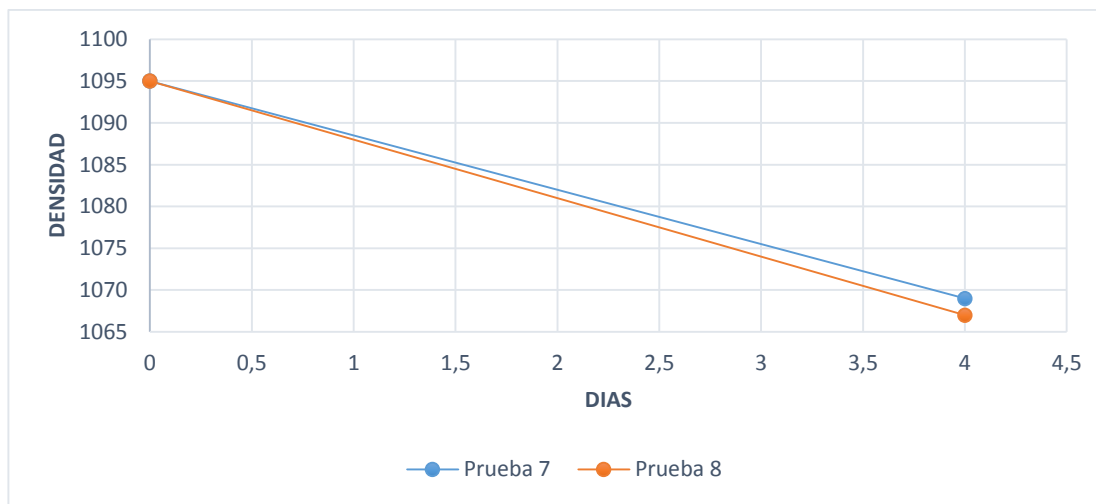
Figura 3.16. Consumo de Sustrato (F/V/H) con Crema de I.A.B.S.A



Fuente: Elaboración propia, 2014.

En la figura (3.16.) se observa que la curva es diferente a la curva de la figura (3.15.), no presenta una fase de adaptación al medio y rápidamente se inicia la fermentación alcohólica, esto debido a que las levaduras de la crema de I.A.B.S.A. están adecuadas a un medio de fermentación y no necesitan la fase de adaptación para iniciar la fermentación.

Figura 3.17. Variación de la Densidad en la Fermentación con Crema de I.A.B.S.A.



Fuente: Elaboración propia, 2014.

En cuanto a la densidad se puede observar que durante la fermentación esta va disminuyendo, esto debido a que los azúcares se van transformando en alcohol y dióxido de carbono el cual escapa del fermentador en forma de gas perdiendo de esta manera masa el sustrato y haciéndolo menos denso, por consiguiente el producto obtenido después de la fermentación presenta una densidad más baja que el sustrato inicial.

En cuanto a la temperatura, solo se llevó a cabo la fermentación con crema de I.A.B.S.A. a 32°C por lo que no se puede realizar una comparación con la temperatura de 28°C, sin embargo los resultados obtenidos indican que no hay una variación significativa en cuanto al consumo de sustrato con las fermentaciones a 28°C realizadas con levadura activada.

3.5.4.2. Resultados de la medición del (°GL) de los vinos obtenidos de la fermentación

En la Tabla III-24., se muestran de manera general los resultados obtenidos de los distintos parámetros medidos durante la etapa de fermentación alcohólica e indica el cumplimiento del objetivo general definido en el presente proyecto de investigación.

Los resultados se muestran a continuación en la tabla III-24.

Tabla III-24. Resumen de los resultados y de la medición del °GL de los vinos obtenidos de la fermentación alcohólica

<i>Muestras</i>	<i>°GL</i>	<i>•Brix Inicial</i>	<i>•Brix final</i>	<i>Densidad inicial kg/m³</i>	<i>Densidad final kg/m³</i>
<i>Prueba 1 (H)</i>	6	13.9	8.6	-----	-----
<i>Prueba 2 (H)</i>	6	13.9	8.7	-----	-----
<i>Prueba 3 (H)</i>	5	13.9	8.5	-----	-----
<i>Prueba 4 (H)</i>	6	13.9	8.6	-----	-----
<i>Prueba 5 (F/V/H)</i>	4	13	9.9	-----	-----
<i>Prueba 6 (F/V/H)</i>	5	13	9.5	-----	-----
<i>Prueba 7 (F/V/H)</i>	4	13	10.2	1095	1069
<i>Prueba 8 (F/V/H)</i>	4	13	10.2	1095	1067

Fuente: Elaboración propia, 2014.

De la tabla (III-24.) se puede observar que las pruebas (1, 2, 4) son las que presentan mayor grado alcohólico como variable respuesta, obtenidos a partir del sustrato (H), la prueba (3) presento ciertas alteraciones días después del proceso de fermentación realizado como ser: cambio de olor característico a un olor más ácido y fuerte, el cual puede ser característico de una fermentación acética, convirtiendo el vino obtenido en vinagre, además presenta un cambio de aspecto dando lugar a la formación de una capa superficial frágil de color blanco. Siendo estas afirmaciones correctas, se podría tratar de dicha fermentación acética dando como resultado la disminución del grado alcohólica a (3°GL) debido a la oxidación del etanol en ácido acético.

Sin duda de los restos de hortalizas (H) se obtuvieron los mejores resultados en todas las etapas de obtención de bioetanol del presente proyecto, sin embargo no hay diferencia significativa con los resultados obtenidos del sustrato (F/V/H), al igual que en la etapa de hidrolisis acida no hubo gran diferencia entre los azúcares obtenidos de

las tres clases residuos utilizados.

Figura 3.18. Prueba (4) Fermentación Acética



Fuente: Elaboración propia, 2014.

3.6. Determinación de Rendimientos.

Para la terminación de rendimientos, se realizó tanto de la hidrolisis acida como de la fermentación alcohólica.

3.6.1. Determinación de Rendimientos en la Hidrolisis Acida.

En la determinación de rendimientos en la hidrolisis acida se utilizó los grados Brix obtenidos durante la parte experimental del proyecto, tomando en cuenta los mejores resultados, los cuales se obtuvieron de la mezcla base (H).

Datos: Inicial °Brix₀ = 7,6 Final °Brix_F = 13,9

El rendimiento está dado por:

$$\eta = \frac{^{\circ}brix_f - ^{\circ}brix_0}{^{\circ}brix_f} * 100 \quad (15)$$

Sustituyendo los datos se obtiene:

$$\eta = \frac{13,9 - 7,6}{13,9} * 100 \quad \longrightarrow \quad \eta = 45.323\%$$

El resultado muestra que a partir de los 7,6 °Brix iniciales de la mezcla base (H), estos se incrementaron en un 45,323 % durante la realización de la etapa de hidrolisis acida, hasta alcanzar los 13,9°Brix.

Tabla III-25. Determinación de Rendimientos de la Hidrolisis Acida.

MUESTRAS	N°	°Brix o	°Brix f	Rendimiento (%)
F/V/H 2%	M1	6,3	8,5	25,882
	M2	6,2	8,2	24,390
	M3	7,1	9,6	26,042
	M4	7,4	9,3	20,430
F/V/H 4%	M5	8,1	10,1	19,802
	M6	8,9	10,8	17,593
	M7	8	12,2	34,426
	M8	8,2	11,8	30,508
V 2%	M9	6,3	7,5	16,000
	M10	6,2	7,3	15,068
	M11	5,8	8,2	29,268
	M12	5,8	8,5	31,765
V 4%	M13	7,3	10,2	28,431
	M14	7,2	9,9	27,273
	M15	7	11,3	38,053
	M16	6,9	10,9	36,697
H 2%	M17	5,6	9,8	42,857
	M18	5,3	9,5	44,211
	M19	6,3	11,7	46,154
	M20	6,6	11,4	42,105
H 4%	M21	7,8	11,9	34,454
	M22	7,2	11,2	35,714
	M23	7,4	13,7	45,985
	M24	7,8	13,2	40,909

Fuente: Elaboración propia, 2014.

En la tabla (III-25.), se muestra los resultados de los rendimientos de las 24

experimentaciones realizadas durante la hidrólisis acida en base a los resultados obtenidos de los grados Brix. Según los datos obtenidos se puede observar que en ninguna de las experimentaciones realizadas se pudo superar el 50 % de rendimiento, siendo las más elevadas de 45,985% de M23 y 46,154% de M19.

3.6.2. Determinación de Rendimientos en la Fermentación Alcohólica.

Para la determinación de rendimientos en la fermentación alcohólica, se calculó el rendimiento teórico y el rendimiento real, en base a las cantidad de etanol obtenido de los de azucars iniciales del sustrato (H), por ser los mejores resultados obtenidos como ya se mencionó.

3.6.2.1. Rendimiento teórico de la fermentación.

Los datos iniciales son:

$$V = 500 \text{ ml}; \quad \text{°Brix} = 13.9 \%; \quad \rho = 1.07845 \text{ gr/ml.}$$

Dónde: V = volumen ρ = densidad

Con el dato de la densidad de sustrato (H) se puede calcular la masa de los 500 ml.

$$\rho = \frac{m}{v} \tag{16}$$

Despejando m de la ecuación (16).

$$m = \rho * v \tag{17}$$

$$m = 1,07846 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} * 500 \text{ ml} \longrightarrow m = 539,23 \text{ gr de sustrato}$$

Según la definición de grados Brix tenemos: 13,9 gr de azucars por 100 gr de sustrato.

Entonces tenemos:

$$13,9 \text{ gr azucars} \longrightarrow 100 \text{ gr de sustrato}$$

$$X \text{ gr azucars} \longrightarrow 539,23 \text{ gr de sustrato}$$

$$x = \frac{539,23 \text{ gr de sustrato} * 13,9 \text{ gr azucars}}{100 \text{ gr de sustrato}} \tag{18}$$

$$X = 74,953 \text{ gr azucares}$$

A partir de la cantidad de azúcar presente en el sustrato (H) podemos calcular la cantidad de alcohol que se obtendría mediante estequiometria.



Entonces:

$$180 \text{ gr azucares} \longrightarrow 92 \text{ gr de etanol}$$

$$74,953 \text{ gr azucares} \longrightarrow X \text{ gr de etanol}$$

$$x = \frac{74,953 \text{ gr de azucares} * 92 \text{ gr etanol}}{180 \text{ gr de azucares}} \quad (19)$$

$$X = 38,31 \text{ gr de etanol} = \text{Rendimiento Teórico}$$

3.6.2.2. Rendimiento real de la fermentación.

Para determinar el rendimiento real se utilizó los resultados de los grados GL obtenidos. Los datos finales son:

$$^{\circ}\text{GL} = 6\%; \quad \rho_{\text{Etanol}} = 0,789 \text{ gr/ml}$$

Donde:

$^{\circ}\text{GL}$: Grado Gay Lussac

ρ : densidad

Por definición tenemos 6 ml de alcohol en 100 ml de vino (H):

Entonces:

$$6 \text{ ml alcohol} \longrightarrow 100 \text{ ml vino}$$

$$X \text{ ml alcohol} \longrightarrow 500 \text{ ml vino}$$

$$x = \frac{500 \text{ ml vino} * 6 \text{ ml alcohol}}{100 \text{ ml vino}} \quad (20)$$

$$X = 30 \text{ ml de alcohol}$$

Con el dato de la densidad del etanol se puede calcular la masa a partir del volumen obtenido.

$$m = \rho * v \quad (21)$$

$$m = 0,789 \frac{\text{gr}}{\text{ml}} * 30 \text{ ml}$$

$$m = 23,67 \text{ gr de etanol} = \text{Rendimiento Real}$$

3.6.2.3. Rendimiento de la Fermentación Alcohólica.

El rendimiento está dado por:

$$\eta = \frac{\eta_{REAL}}{\eta_{TEORICO}} * 100 \quad (22)$$

Sustituyendo los datos se obtiene:

$$\eta = \frac{23,67 \text{ gr etanol}}{38,31 \text{ gr etanol}} * 100 \longrightarrow \eta = 61,785\%$$

El resultado obtenido indica que un 61,785% de azúcares iniciales en el sustrato se convirtió en alcohol, obteniendo una cantidad de 23,67 gr de etanol en el vino (H).

Tabla III-26. Determinación de Rendimientos de la Fermentación Alcohólica.

Prueba	°brix	°GL	Rendimiento (%)
1	13.9	6	61,785
2	13.9	6	61,785
3	13.9	5	50,178
4	13.9	6	61,785
5	13	4	44,471
6	13	5	55,588
7	13	4	44,471
8	13	4	44,471

Fuente: Elaboración propia, 2014.

De los datos obtenidos se puede deducir que las pruebas 1, 2, 4 son las que

alcanzaron mayor rendimiento en la obtención de Etanol.

Según todo lo realizado, expuesto y mencionado la obtención de bioetanol a partir de residuos orgánicos vegetales se pudo lograr a partir de los residuos orgánicos generados en el comedor universitario de la U.A.J.M.S.

3.7. Determinación de las Condiciones de Operación y los Parámetros Físicos y Químicos involucrados en el Proceso de Fermentación Alcohólica Realizado.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las 24 experimentaciones realizadas en la etapa de hidrolisis acida y las 8 de la fermentación alcohólica se puede establecer un mecanismo de operación, establecer sus condiciones y parámetros físicos y químicos en base a los mejores datos y rendimientos obtenidos, teniendo en cuenta la metodología de investigación empleada y el proceso seleccionado que se muestra en la figura (2.13.) del capítulo II.

3.7.1. Descripción del Vino, Sustrato, Mezcla, Residuo y Biomasa.

A lo largo de desarrollo de la parte experimental del presente proyecto, se ha dado diferentes denominaciones a la biomasa con la cual se ha obtenido el bio-etanol. A partir de un conjunto de residuos con características orgánicas y de origen vegetal, obtenidos de un lugar específico, sea ha podido clasificarlos y desarrollarlos dentro de un proceso establecido para su transformación en alcohol etílico. Claramente de la clasificación de la biomasa realizada en el capítulo II, los residuos con los cuales se pudo obtener los más altos resultados; pasando de, residuos a mezcla base en el pre-tratamiento, de mezcla base a sustrato en la hidrolisis acida y de sustrato a vino en la fermentación alcohólica; son los “Restos de Hortalizas” denominados con la letra (H) y a partir de estos se determinaran la condiciones de operación y los parámetros mencionado.

3.7.2. Identificación de las Condiciones de Operación y Parámetros Físicos y químicos de los Restos de Hortalizas (H) involucrados en el Proceso de Fermentación.

A continuación se detallan las condiciones de operación y los parámetros físicos y químicos realizados en el presente proyecto de investigación.

3.7.2.1. Identificación en el Pre-tratamiento

Como no se estableció un diseño para esta etapa, las condiciones dadas y los parámetros en el pre-tratamiento fueron las mismas para las tres clases de residuos seleccionados.

3.7.2.1.1. Identificación en el Triturado

Materiales: tijeras, bolsas de polietileno, fuentes de plástico.

Condiciones: Cortado de los residuos hasta obtener trozos de 1 cm² de superficie.

3.7.2.1.2. Identificación en el Pre-tratamiento con Vapor a Presión.

Equipos: Olla de presión, vaporera y cocina.

Condiciones: Contacto de los residuos con vapor saturado a una presión aproximada de 3 atm durante un tiempo de 5 minutos

3.7.2.1.3. Identificación en el Triturado con Licuadora

Equipos: Licuadora de diferentes velocidades de aproximadamente 3600 rpm.

Condiciones: Triturado de los residuos para obtener partículas finas de menor tamaño.

3.7.2.1.4. Identificación en el Secado

Equipos: Estufa a presión atmosférica.

Materiales: Cajas petry, espátula.

Condiciones: Utilización de 35 gr en cada caja introducidos en estufa a 105°C durante 188 minutos para el secado de los restos de Hortalizas.

3.7.2.1.5. Identificación en el Molido

Equipos: Licuadora de diferentes velocidades de aproximadamente 3600 rpm.

Condiciones: Molido de los residuos secos para obtener partículas pequeñas y finas.

3.7.2.2. Identificación en la etapa de Hidrolisis Ácida

Las condiciones con mejores resultados son:

Dilución: Utilización de 10 gr de mezcla base (H) añadido a 100 ml de H₂SO₄ al 4% de concentración.

Equipo: Balanza analítica y agitador magnético con accesorios.

Materiales: Vasos de precipitación, Erlenmeyer, vidrio reloj, termómetro, bolsa de polietileno, probetas.

Condiciones: Hidrolisis con ácidos diluido a una temperatura de 85°C y una velocidad de 450 rpm durante un tiempo estimado de 8 horas.

3.7.2.3. Identificación en la Etapa de Fermentación Alcohólica

Las condiciones con mejores resultados son:

Equipos: Autoclave, baño maría, balanza analítica, agitador magnético.

Materiales: Erlenmeyer, termómetro, vaso de precipitación, probetas, densímetro.

Inoculo: Utilización de 1 gr levadura de panificación de tipo *saccharomyces cerevisiae* adicionado a 50 ml de sustrato (H) junto con 50 ml de agua a 32°C de temperatura con 5 gr de azúcar y 0.2 gr de urea.

Condiciones: Fermentación alcohólica con adición del inoculo a 500 ml de sustrato (H) de 13.9° Brix a una temperatura de 32°C durante aproximadamente 5 días de consumo de los azúcares del sustrato por parte de las levaduras.

3.7.2.4. Identificación en la Destilación Simple

Como no se estableció un diseño para esta etapa, las condiciones dadas y los parámetros en la destilación simple fueron las mismas para la determinación del grado alcohólico de los vinos obtenidos.

Equipos: Rota-vapor marca HEIDOLPH con generación de vacío.

Materiales: Probetas, vasos de precipitación, termómetro, alcoholímetro, agua destilada.

Condiciones: Destilación simple del vino (H) a una temperatura de 50°C con generación de vacío desde el principio de la ebullición hasta su culminación. Posteriormente enfriado del destilado a 20°C para la determinación del grado Gay Lussac.

3.8. Análisis Estadístico de la Variables del Proceso

En el análisis estadístico de las variables se utilizó el programa SPSS statistic 17.0, para realizar el análisis de varianza (ANOVA) tanto de la hidrolisis acida como de la fermentación alcohólica.

3.8.1. Análisis Estadístico de la Hidrolisis Acida.

Tabla III-27. Diseño Factorial Hidrolisis Acida

Prueba	Variables Independientes			V. Respuesta
	RESIDUO	TIEMPO	CONCENTRACION	BRUX
1	-1	-1	-1	8.5
2	-1	-1	-1	8.2
3	-1	-1	1	9.6
4	-1	-1	1	9.3
5	-1	1	-1	10.1
6	-1	1	-1	10.8
7	-1	1	1	12.2
8	-1	1	1	11.8
9	0	-1	-1	7.5
10	0	-1	-1	7.3
11	0	-1	1	8.2
12	0	-1	1	8.5
13	0	1	-1	10.2
14	0	1	-1	9.9
15	0	1	1	11.3
16	0	1	1	10.9
17	1	-1	-1	9.8
18	1	-1	-1	9.5
19	1	-1	1	11.7
20	1	-1	1	11.4
21	1	1	-1	11.9
22	1	1	-1	11.2
23	1	1	1	13.7
24	1	1	1	13.2

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A partir de la tabla III-27., se puede realizar el análisis estadístico para la etapa de hidrólisis acida la cual se muestra a continuación en la tabla III-28.

Tabla III-28. Prueba de efectos inter-sujetos (Hidrólisis Acida)

Variable dependiente: BRIX					
Origen	Suma de cuadrados Tipo III	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F	Sig.
Modelo Corregido	67.579 ^a	9	7.509	93.790	.000
Intersección	2535.870	1	2535.870	31674.813	.000
RESIDUO	22.186	2	11.093	138.558	.000
TIEMPO	31.970	1	31.970	399.333	.000
CONCENTRACION	11.900	1	11.900	148.645	.000
RESIDUO * TIEMPO	.641	2	.320	4.002	.042
RESIDUO * CONCENTRACION	.831	2	.415	5.189	.021
TIEMPO * CONCENTRACION	.050	1	.050	.630	.441
Error	1.121	14	.080		
Total	2604.570	24			
Total Corregido	68.700	23			

a. R Cuadrado = ,984 (Ajustado R cuadrado = ,973)

Fuente: Elaboración propia, 2015.

De acuerdo al Estadístico F (Fisher) las colas de significación $\leq 0,05$ indican que son variables significativas, por tanto se puede observar que las variables elegidas para el proceso son variables significativas ya que tanto para RESIDUOS, TIEMPO, CONCENTRACION su significancia ($0 \leq 0,05$), mientras que para las interacciones, (RESIDUO*TIEMPO) se tiene Sig $\leq 0,05$ ($0,042 \leq 0,05$) es una variable significativa, para (RESIDUO *CONCENTRACION) se tiene Sig $\leq 0,05$ ($0,021 \leq 0,05$) es una variable significativa y para (TIEMPO*CONCENTRACION) se tiene Sig $\geq 0,05$ ($0,441 \geq 0,05$) NO es una variable significativa. Por tanto para la determinación del modelo matemático para la ecuación Brix = f (variables) mediante regresión lineal se tomara en cuenta también las variables (RESIDUO*TIEMPO) = RESCON y (RESIDUO *CONCENTRACION) = RESTIEM.

Tabla III-29. ANOVA (Hidrolisis Acida)

ANOVA ^b						
Modelos		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	53.233	5	10.647	12.390	.000 ^a
	Residual	15.467	18	.859		
	Total	68.700	23			
a. Predictoras, (constante) RESCON, RESTIEM, CONCENTRACION, TIEMPO, RESIDUO						
b. Variable dependiente: BRIX						

Coeficientes								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% Intervalo de confianza B	
		B	Std. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	10.279	.189		54.325	.000	9.882	10.677
	RESIDUO	.744	.232	.359	3.209	.005	.257	1.231
	TIEMPO	1.154	.189	.682	6.100	.000	.757	1.552
	CONCENTRACION	.704	.189	.416	3.721	.002	.307	1.102
	RESTIEM	-.106	.232	-.051	-.458	.652	-.593	.381
	RESCON	.144	.232	.069	.620	.543	-.343	.631
a. Variable dependiente: BRIX								

Fuente: Elaboración propia, 2015

De acuerdo al estadístico t (Student) las colas de significación $\leq 0,025$ indican que son variables significativas dentro del modelo matemático. Por tanto de acuerdo a lo observado en la tabla III-29. Se puede indicar que para la variable RESIDUO se tiene $\text{Sig} \leq 0,025$ ($0,005 \leq 0,025$) es una variable significativa, para TIEMPO se tiene $\text{Sig} \leq 0,025$ ($0 \leq 0,025$) es una variable significativa, para CONCENTRACION se tiene $\text{Sig} \leq 0,025$ ($0,002 \leq 0,025$) es una variable significativa, para RESTIEM se tiene $\text{Sig} \geq 0,025$ ($0,652 \geq 0,025$) NO es una variable significativa y para RESCON se tiene $\text{Sig} \geq 0,025$ ($0,543 \geq 0,025$) NO es una variable significativa.

Por tanto las variables RESTIEM Y RESCON serán excluidas para el modelo matemático.

Tabla III-30. ANOVA (Corregido Hidrolisis Acida)

ANOVA ^b						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	52.721	3	17.574	21.997	.000 ^a
	Residual	15.978	20	.799		
	Total	68.700	23			
a. Predictoras: (Constantes), CONCENTRACION, TIEMPO, RESIDUO						
b. Variable dependiente: BRIX						

Coeficientes ^a								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% Intervalo de confianza B	
		B	Std. Error	Beta			Límite Inferior	Límite Superior
1	(Constante)	10.279	.182		56.340	.000	9.899	10.660
	RESIDUO	.744	.223	.359	3.328	.003	.278	1.210
	TIEMPO	1.154	.182	.682	6.326	.000	.774	1.535
	CONCENTRACION	.704	.182	.416	3.860	.001	.324	1.085
a. Variable dependiente: BRIX								

Fuente: Elaboración propia, 2015

El modelo matemático para Brix = f (variables) con un 95 % de confianza es:

$$^{\circ}\text{Brix} = 10.279 + 0,744 * \text{RESIDUO} + 1,154 * \text{TIEMPO} + 0,704 * \text{CONCENTRACION} \quad (23)$$

3.8.2. Análisis Estadístico de la Fermentación Alcohólica

Tabla III-31. Diseño Factorial Fermentación Alcohólica

Prueba	Variables Independientes		Variable Respuesta
	°N	BRIX	TEMPERATURA
1	-1	-1	4
2	-1	-1	5
3	-1	1	4
4	-1	1	4
5	1	-1	6
6	1	-1	6
7	1	1	5
8	1	1	6

Fuente: Elaboración propia, 2015.

A partir de la tabla III-31., se puede realizar el análisis estadístico para la etapa siguiente de Fermentación la cual se muestra a continuación en la tabla III-32.

Tabla III-32. Prueba de Efectos Inter-sujetos (fermentación Alcohólica)

Variable dependiente: GL					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5.000 ^a	3	1.667	6.667	.049
Intersección	200.000	1	200.000	800.000	.000
BRIX	4.500	1	4.500	18.000	.013
TEMPERATURA	.500	1	.500	2.000	.230
BRIX * TEMPERATURA	.000	1	.000	.000	1.000
Error	1.000	4	.250		
Total	206.000	8			
Total corregido	6.000	7			

a. R cuadrado = ,833 (Ajustado R cuadrado = ,708)

Fuente: Elaboración propia, 2015.

De acuerdo al Estadístico F (Fisher) las colas de significación $\leq 0,05$ indican que son variables significativas, por tanto se puede observar que para la variable BRIX se tiene $\text{Sig} \leq 0,05$ ($0,013 \leq 0,05$) es una variable significativa, para la variable TEMPERATURA se tiene $\text{Sig} \geq 0,05$ ($0,230 \geq 0,05$) NO es una variable significativa y para la variable BRIX*TEMPERATURA se tiene $\text{Sig} \geq 0,05$ ($1 \geq 0,05$) NO es una variable significativa. Por tanto para la determinación del modelo matemático para la ecuación $^{\circ}\text{GL} = f(\text{variables})$ mediante regresión lineal se tomara en cuenta solamente los $^{\circ}\text{Brix}$.

Tabla III-33. ANOVA (Fermentación Alcohólica)

ANOVA ^b						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	4.500	1	4.500	18.000	.005 ^a
	Residual	1.500	6	.250		
	Total	6.000	7			

a. Predictoras: (Constantes), BRIX

b. Variable dependiente: GL

Coeficientes								
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	95,0% intervalo de confianza B	
		B	Std. Error	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	5.000	.177		28.284	.000	4.567	5.433
	BRIX	.750	.177	.866	4.243	.005	.317	1.183

a. Variable dependiente: GL

Fuente: Elaboración propia, 2015.

De acuerdo al estadístico t (Student) las colas de significación $\leq 0,025$ indican que son variables significativas dentro del modelo matemático. Por tanto de acuerdo a lo observado en la tabla III-33. Se puede indicar que para la variable BRIX se tiene Sig $\leq 0,025$ ($0,005 \leq 0,025$) es una variable significativa.

Por tanto el modelo matemático para la ecuación $^{\circ}GL = f(\text{variables})$ con un 95 % de confianza es:

$$^{\circ}GL = 5 + 0,750 * BRIX$$

CAPÍTULO III

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

Después de haber realizado el presente proyecto de investigación sobre obtención de bioetanol a partir de residuos orgánicos vegetales se puede mencionar las siguientes conclusiones :

- Durante el desarrollo se pudo observar que la generación de residuos en el comedor universitario de la UAJMS es en su mayor parte de origen orgánico, siendo los de mayor porcentaje generado los de origen alimenticio (78%), correspondiendo en menor proporción e importancia a huesos (8%), restos de cartón (5%) y envases de productos de limpieza (4%).
- Dentro de los análisis microbiológicos realizados a los residuos de origen orgánico del comedor universitario, los resultados indican que existe una gran cantidad de microorganismos, pero gracias a las duras condiciones establecidas en la metodología, tanto el pre-tratamiento con vapor saturado y el proceso de secado, bajo estas condiciones los coliformes fecales y coliformes totales no tienen posibilidad de sobrevivencia por lo que no se consideraron sus posibles alteraciones en las personas, ni en la etapa de fermentación.
- Para la caracterizaran de la materia prima se tomó en cuenta los tres tipos de residuos de origen vegetal generados en el comedor, estos son los que se encuentran en mayor cantidad y poseen similares características. Los residuos son los siguientes: restos de frutas, restos de verduras y restos de hortalizas. De estas tres clases de residuos se estableció mezclas base y de acuerdo a información en bibliografía se procedió a la selección y cuantificación de las mezclas base según el contenido de materia orgánica, carbohidratos y glúcidos en general; los tres mezclas bases utilizadas fueron restos de hortalizas identificadas con la letra (H), restos de verduras identificadas con la letra (V) y un MIX de restos de frutas, hortalizas y verduras identificadas con la letras (F/V/H). para la Obtención de Bioetanol.
- Dentro de las características fisicoquímicas se puede concluir que los residuos

de origen vegetal poseen un gran contenido de humedad obteniendo, según la clasificación utilizada, que corresponde un 86,17 % de humedad para el MIX (Fruta/Verdura/Hortaliza), el 87,67 % para los restos de Verduras y el 87,09 % para los restos de Hortalizas. De igual forma su contenido de azúcares totales y reductores son elevados, indicando que el MIX (Fruta/Verdura/Hortaliza) presenta un 18,12 % de azúcares reductores (AR) y 59,60 % de azúcares totales (AT), los restos de Verduras presentan 11,14 % de AR y 39,00 % de AT y los restos de Hortalizas presentan un 10,80 % de AR y 55,80 % de AT.

- Del pre-tratamiento realizado a los residuos se pudo observar que de una gran cantidad de materia prima destinada al proceso se obtuvieron pequeñas cantidades de materia pre-tratada para la hidrólisis, esto debido precisamente al secado de la materia prima. Sin embargo el pre-tratamiento establecido fue favorable ya que se obtuvo buenos resultados de azúcares totales antes de realizar la hidrólisis ácida.
- Los azúcares obtenidos de la hidrólisis ácida varían de entre 7,3 a 13,7 °Brix siendo M7 de la mezcla (F/V/H) con 12,2 °Brix y M7 de la mezcla (H) con 13,7 °Brix los que alcanzaron mejores rendimientos, los cuales fueron los seleccionados para la etapa de Fermentación Alcohólica.
- En la obtención del sustrato para la realización de la fermentación alcohólica se pudo observar que es necesario acondicionar el sustrato para que las levaduras puedan realizar la fermentación en óptimas condiciones, por lo que se tuvo que realizar un proceso de filtrado para la eliminación de partículas y un proceso de corrección de pH para llevarlo hasta 4,5 pH óptimo para las levaduras, los sustratos obtenidos presentaron un pH muy ácido de entre 0,45 y 0,47 esto debido a la utilización del ácido sulfúrico.
- Los vinos obtenidos después de la fermentación alcohólica presentaron concentraciones de entre 4 y 6°GL, siendo las de mayor concentración las fermentaciones realizadas con el sustrato (H) con un resultado de 6°GL,

mientras que con el sustrato (F/V/H) se obtuvieron 5°GL.

- En cuanto a las fermentaciones realizadas con Crema obtenida de IABSA, se puede concluir que estas favorecieron dentro del tiempo de fermentación ya que son levaduras adaptadas a un medio fermentativo y no necesitan realizar la etapa de adaptación por lo que se reduce el tiempo, en cuanto al rendimiento no se obtuvieron grandes diferencias comparadas con las levaduras activada en el laboratorio.
- Dentro de la determinación de las condiciones de operación y los parámetros físicos y químicos involucrados en el proceso de fermentación alcohólica, se identificó aquellas a las que estuvieron sometidos los restos de hortalizas, las cuales fueron con las que mejores resultados se obtuvieron durante el desarrollo del presente proyecto de investigación.
- En cuanto a rendimientos obtenidos, en la etapa de hidrolisis acida en la conversión de celulosa a glucosa se alcanzó un máximo rendimiento de 45,985% que se obtuvo del mezcla de hortalizas (H) y en la fermentación alcohólica en la conversión de glucosa en alcohol fue de un 61,785% el mejor rendimiento precisamente del sustrato de hortalizas (H).
- Del análisis estadístico de las variables de la hidrolisis acida, se puede concluir que las tres variables seleccionadas (tipo de residuo, tiempo y concentración) son variables significativas.
- Del análisis estadístico de las variables de la fermentación alcohólica, se puede concluir que la variable (grados Brix) es la única variable significativa dentro del proceso.
- Del presente trabajo se puede concluir que se ha podido demostrado la obtención de bioetanol a partir de residuos sólidos vegetales a través del proceso seleccionado y la variables utilizadas, a pesar de que las concentraciones de etanol obtenidas no son muy altas no dejan de ser significativas. Por tanto a través de nuevos estudios que se pudieran realizar a

partir de esta investigación, con la utilización de otros parámetros o nuevas variables, se podría lograr mejores rendimientos, esto con el fin de facilitar el proceso siguiente de destilación y poder utilizarlo como biocombustible.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio con otros tipos de residuos y otras clasificaciones o selección de residuos, ya que el presente trabajo solo se limitó a la obtención de Bio-etanol a partir de residuos vegetales y existe una gran variedad de residuos orgánicos.
- Para el pre-tratamiento se recomienda realizar un mejor estudio en cuanto a molienda y tamizado de la materia prima ya que mientras más pequeñas sean las partículas, más eficiente será el ataque del ácido sulfúrico a la celulosa debido al rompimiento de la lignina.
- Para la hidrolisis con ácidos diluidos se recomienda realizar un estudio a temperaturas mayores a 100°C ya que en este trabajo por razones técnicas no fue posible ejecutar, para poder obtener mejores rendimientos. Además se recomienda realizar un estudio de la hidrolisis enzimática ya que según datos obtenidos en otras investigaciones leídas en bibliografía se obtienen mejores rendimientos.
- En cuanto a la fermentación alcohólica se recomienda realizarlo con levaduras ya adaptadas a un medio fermentativo ya que se disminuye significativamente el tiempo de fermentaciones, en cuanto a fines para un proyecto de pre-factibilidad.