



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

POSIBLE PROCESO PRODUCTIVO DE ETANOL CON RESIDUOS DE BANANO Y SUS IMPACTOS EN EL VALLE DEL CHIRA

Marirros Oliva-Moretti

Piura, julio de 2014

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas

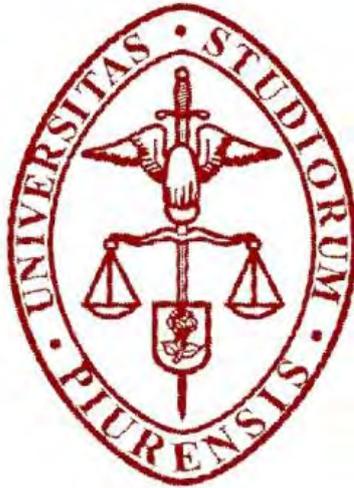
Oliva, M. (2014). *Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira*. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Lima, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Posible proceso productivo de etanol con residuos de banano y sus impactos en el Valle del Chira”

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Industrial y de Sistemas

Marirros Oliva Moretti

Asesor: Dr. Gastón Cruz Alcedo

Piura, julio 2014

Dedicatoria

Dedico la presente tesis a mi papá que con su ejemplo, esfuerzo y dedicación hace que todos los días sea una mejor persona, alentándome a lograr mis metas y a alcanzar mis sueños; y a mi mamá que desde el cielo, me guía en cada uno de los pasos que doy.

Prólogo

La creciente demanda de energía, la escasez de petróleo y el interés por el medio ambiente a nivel mundial, han hecho que aumenten las investigaciones para encontrar fuentes de energía limpias y renovables. Es así, que empezaron a producirse biocombustibles a partir de materia prima sembrada y cultivada específicamente para este fin, los llamados combustibles de primera generación. A pesar del gran desarrollo de esta industria, estos combustibles han traído consigo oposición, debido a que ocupan grandes cantidades de terreno para los cultivos generadores de las materias primas, que podrían ser destinados al cultivo de alimentos.

Como consecuencia de la imparable búsqueda de nuevas alternativas, países industrializados empezaron hace algunos años a hacer estudios y análisis de materias primas orgánicas sin utilidad aparente y no comestibles que pudieran servir de materia prima. Así es como se inició la producción de los biocombustibles de segunda generación. Las materias primas más utilizadas a nivel mundial son la paja de trigo, la hierba de campo y los residuos forestales.

Ya que nuestro país ya cuenta con dos grandes industrias productoras de bioetanol de primera generación, a partir de la caña de azúcar, se decidió evaluar en la presente tesis la posibilidad de contar con una nueva planta de bioetanol de segunda generación, a partir de residuos de la cosecha del banano. Se eligió este material debido a su abundancia en la región, la cual alcanza niveles de generación de 713,9 toneladas diarias considerando solo las dos centrales más grandes del valle del Chira. Se incluye también en la presente tesis un análisis de la viabilidad de la planta, evaluando aspectos importantes como la disponibilidad de materia prima, la disponibilidad de terrenos para la ubicación de la planta, la aceptación de la población y la disponibilidad de tecnología necesaria para llevar a cabo el proceso industrial. Así como también aspectos sociales y económicos importantes.

Expreso mi agradecimiento a todas las personas que han colaborado conmigo en el desarrollo de la presente tesis, como lo son: mi asesor de tesis el Dr. Ing. Gastón Cruz, los profesores informantes de la tesis; las asistentes del Laboratorio de Química de la UDEP y mis amigos de CEPIBO.

Resumen

Materiales lignocelulósicos vienen siendo utilizados por algunos países en la producción de bioetanol de segunda generación. Analizando la posibilidad de seguirles los pasos, encontramos que los residuos de la cosecha del banano son abundantes en el valle del Chira y podrían ser usados para este fin. Por ello, en la presente tesis se desarrolla la opción, iniciando con un marco teórico de los biocombustibles a nivel nacional y mundial, para luego plasmar las características del valle del Chira, las actividades económicas que en él se realizan, y la actividad bananera generadora de la materia prima en estudio. Se calculó que anualmente se generan cerca de 254 000 t de residuos de banano de CEPIBO y REPEBAN.

Se llegó a la conclusión que los mejores pretratamientos para estos residuos son el *Liquid Hat Water* y el *Steam Explosion*. Además se encontró que el pseudotallo es el residuo más idóneo para la producción de etanol debido al mayor rendimiento hallado en estudios experimentales precedentes a esta tesis. Así mismo se presenta información sobre la tecnología utilizada de forma experimental en la transformación de material lignocelulósico.

Finalmente, se analiza la viabilidad de una planta industrial dentro de un marco socioeconómico, evaluando los aspectos más importantes; las ventajas y desventajas del proyecto; así como también la generación de empleo en la zona y los impactos ambientales que tendría debido a los residuos, emisiones y efluentes que generaría.

Índice

Prólogo	I
Resumen	II
Índice general	III
Introducción	1
Capítulo 1 Marco teórico de los biocombustibles	3
1.1. Los biocombustibles	3
1.2. El bioetanol.....	7
1.3. Materias primas utilizadas para la producción de bioetanol.....	10
1.4. Procesos de obtención de bioetanol.....	11
1.4.1. Producción de bioetanol a partir de caña de azúcar	12
1.4.2. Producción de bioetanol a partir de maíz.....	14
1.5. Producción de bioetanol en el mundo.....	15
1.5.1. Estados Unidos.....	16
1.5.2. Brasil	19
1.5.3. Perú	21
1.6. Producción de etanol a partir de material lignocelulósico.....	27
Capítulo 2 Descripción de la actividad bananera en el valle del Chira.....	33
2.1. Caracterización del valle del Chira.....	33
2.1.1. Ubicación	33
2.1.2. Población.....	33
2.1.3. Geografía y clima.....	33
2.1.4. Sectoreseconómicos de la zona.....	34
2.1.4.1. Sector agrícola.....	34
2.1.4.2. Sector pecuario	35

2.1.4.3.	Sector agroindustria	35
2.1.4.4.	Sector energía	36
2.1.4.5.	Sector hidrológico	38
2.1.4.6.	Sector comercial	40
2.2.	Actividad bananera	42
2.2.1.	Proceso productivo del banano orgánico	43
2.2.1.1.	Establecimiento del cultivo	44
2.2.1.2.	Manejo de las plantaciones.....	44
2.2.1.3.	Prácticas para la protección de racimos.....	46
2.2.1.4.	Cosecha.....	48
2.2.1.5.	Manejo postcosecha.....	49
2.2.2.	Crecimiento y desarrollo de la actividad.....	52
2.2.3.	Organizaciones de banano orgánico.....	52
2.2.3.1.	CEPIBO	53
2.2.3.2.	REPEBAN	54
2.2.4.	Certificación del banano orgánico.....	55
2.2.5.	Comercio justo – Fairtrade.....	56
2.2.6.	Exportación del banano orgánico.....	57
2.3.	Residuos del cultivo de banano	60
2.3.1.	Tipos de residuos generados por la planta de banano	60
2.3.2.	Cantidad de residuos de banano en el valle del Chira.....	61
2.3.3.	Uso de los residuos del cultivo de banano	64
2.3.4.	Consecuencias de la descomposición de los residuos.....	66
2.4.	Glosario.....	69
Capítulo 3	Conversión de residuos del cultivo de banano a etanol.....	71
3.1.	Resultados de estudios de bioconversión de residuos de banano	71
3.2.	Etapas del proceso de obtención de etanol de residuos de banano	73
3.2.1.	Manejo básico de la biomasa	74
3.2.2.	Acondicionamiento de la materia prima	74
3.2.3.	Pretratamiento	74
3.2.3.1.	Pretratamientos físicos.....	74
3.2.3.2.	Pretratamientos químicos	75
3.2.3.3.	Pretratamientos físico químicos	76

3.2.3.4. Pretratamiento biológico	80
3.2.4. La hidrólisis de la celulosa.....	81
3.2.4.1 Hidrólisis ácida.....	81
3.2.4.2 Hidrólisis enzimática.....	81
3.2.5. Fermentación alcohólica	83
3.2.6. Destilación	84
3.2.7. Deshidratación	85
3.3. Tecnologías ensayadas para la conversión de residuos de banano a etanol	86
3.4. Resultados de ensayos previos de conversión de residuos de banano a etanol. ...	89
Capítulo 4 Aspectos sociales, económicos y ambientales de una posible planta industrial productora de etanol a partir de residuos del banano	95
4.1 Mercado de bioetanol en el marco de la ley	95
4.2 Ventajas y desventajas de una posible planta industrial de etanol en el valle del Chira	97
4.3 Perspectivas de viabilidad	97
4.4 Generación de empleo de la posible planta industrial	101
4.5 Ahorro por desplazar combustibles fósiles en la actividad	102
4.6 Impactos ambientales generados por la posible planta industrial.....	103
4.6.1 Consumo de agua y emisiones de vapor de agua.....	103
4.6.2 Emisiones de CO ₂	103
4.6.3 Residuos sólidos.....	103
4.6.4 Vinaza	104
Conclusiones	107
Bibliografía.....	109
Anexos.....	115

Introducción

Las consecuencias de la contaminación ambiental, producida por los medios de transporte, junto con la escasez de la principal fuente de energía en el mundo, el petróleo, y el excesivo precio de los derivados de este último; han hecho que investigadores de todo el mundo busquen fuentes de energía alternativas, entre las que se encuentran la biomasa lignocelulósica, como los restos agrícolas de la cosecha del banano, lo cual es materia de estudio en la presente tesis.

El objetivo principal de la tesis, es describir las fases de un posible proceso de producción de etanol, a partir de los residuos de la cosecha del banano de las dos centrales de productores agrícolas más grandes del valle del Chira y la evaluación de la viabilidad, analizando la disponibilidad de materia prima, disponibilidad de terrenos, disponibilidad de tecnología y aceptación de los productores de banano. Para ello, se realizó un cálculo de la cantidad de residuos generados por CEPIBO y REPEBAN promediando los resultados obtenidos del pesaje de los residuos de plantas de banano. Además se realizaron entrevistas a 20 presidentes de las asociaciones que forman las dos centrales de bananeros y se entrevistó a profesionales dedicados al rubro del banano.

En el primer capítulo, se presenta el marco teórico de los biocombustibles, poniendo énfasis en el bioetanol y en los procesos más usados para su obtención. Además, se expone el desarrollo de la industria del bioetanol en el Perú y en los principales países productores; y los avances en el uso de material lignocelulósico como materia prima de biocombustibles.

En el segundo capítulo, se realiza una recopilación de datos del valle del Chira y de sus principales sectores económicos. También se plasma el proceso productivo del banano, desde la siembra hasta la cosecha; se hace un análisis del mercado de este producto y se calcula la cantidad de residuos generados luego de la cosecha del fruto, a partir de datos proporcionados por CEPIBO y REPEBAN.

En el tercer capítulo, se describen las distintas alternativas que se tienen en cada fase del proceso de conversión de los residuos a etanol y se muestra la tecnología usada a nivel experimental para la obtención del biocombustible.

En el cuarto y último capítulo se presenta información sobre la viabilidad de una posible planta productora, las ventajas y desventajas del proyecto y algunos impactos que podría traer consigo.

Capítulo 1

Marco teórico de los biocombustibles

En este capítulo se presenta información general sobre los biocombustibles. Luego, se plasma información sobre el bioetanol, así como también de las ventajas y desventajas de su uso, las materias primas y los procesos más usados para su obtención; y finalmente el desarrollo de la producción de este biocombustible a nivel mundial.

1.1. Los biocombustibles

Hoy en día, las fuentes de energía tales como el petróleo, el gas y el carbón; representan el 90% de las fuentes utilizadas. El incremento de actividades económicas que dependen de la quema de estos combustibles, ha hecho que estos recursos sean cada vez más escasos.

Países privilegiados con petróleo y gas como Venezuela, Ecuador y países del Medio Oriente; han visto en la alta demanda de los combustibles fósiles, una oportunidad para obtener beneficios económicos y hacer crecer sus capitales. Sin embargo, los precios elevados de estos productos han impactado significativamente las economías mundiales. A esto, se suma el problema ambiental, el cual es quizá el punto más importante y el más preocupante de todos, debido a que cada día el medio ambiente se ve más afectado por los cambios climáticos y el calentamiento global.

Esta situación ha llevado a muchas naciones a desarrollar proyectos de investigación para producir combustibles de fuentes renovables y así limitar el uso de combustibles fósiles.

Muchas de esas investigaciones son hoy realidades que producen combustibles a gran escala, no solo para el abastecimiento de sus propias naciones, sino también para la exportación, logrando así el ingreso de divisas.

Estos nuevos combustibles provenientes de fuentes renovables son los llamados biocombustibles, combustibles producidos a partir de biomasa.

La biomasa se define como la materia orgánica de origen animal o vegetal, la cual puede ser clasificada según se indica en la tabla 1.

La biomasa es creada a partir de la energía del sol, en un proceso conocido como fotosíntesis. Mediante este proceso las plantas transforman el dióxido de carbono y el agua, en materiales orgánicos con valor energético. La energía almacenada en el proceso fotosintético, puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, como es el caso de los biocombustibles. En la figura 1 se muestra un diagrama del proceso de obtención de biomasa.

Tabla 1. Tipos de biomasa

Tipo de biomasa	Descripción
Natural	Producida por la naturaleza sin intervención del hombre.
Residual	Procedente de la actividad humana, principalmente de los procesos agrícolas, ganaderos y los del propio hombre, tales como basura doméstica y aguas residuales.
Producida	Cultivada con el propósito de obtener biomasa transformable en combustible.

Fuente:[1] La biomasa. Construible (Recuperado el 04 de julio de 2013).

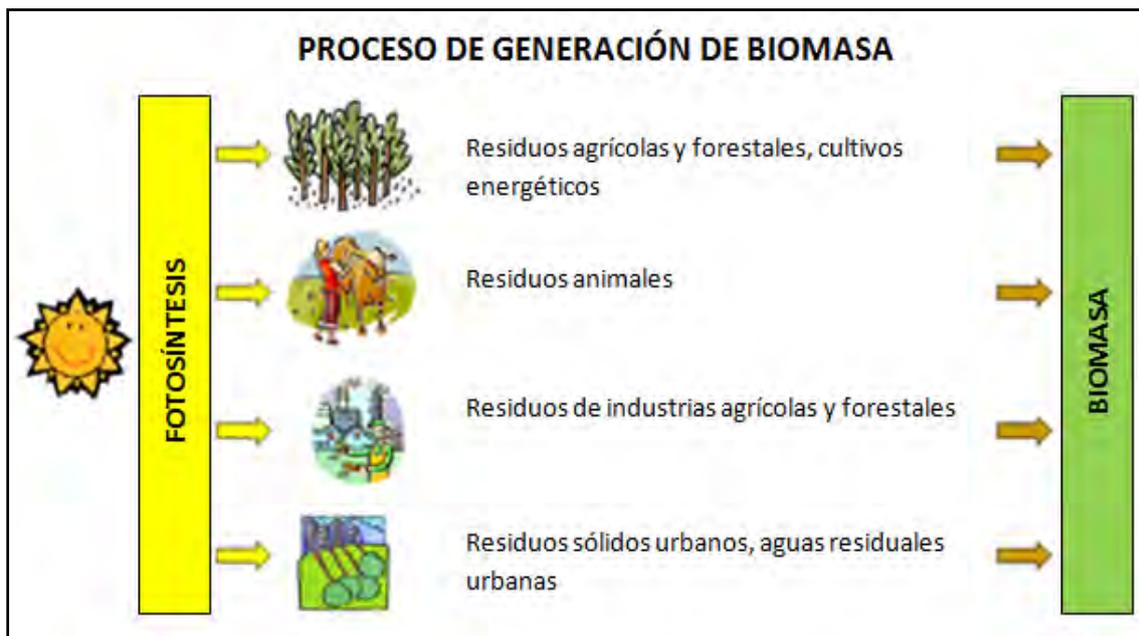


Figura 1. Proceso de generación de biomasa.

Fuente: [1] La biomasa. Construible (Recuperado el 04 de julio de 2013).

Se ha clasificado a los biocombustibles, según su estado físico. Así se tienen combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Se presenta más detalle en la tabla 2.

Además se puede clasificar a los biocombustibles según la materia prima de la que provienen. Según esta clasificación tenemos biocombustibles de primera, segunda y tercera generación.

Los biocombustibles de primera generación también llamados agrocombustibles, son aquellos que son producidos a partir de cultivos alimenticios. Entre los que destacan la caña de azúcar, el maíz y la soya. Estos biocombustibles son viables en el corto plazo ya que el uso de tierras exclusivamente para producir materia prima generadora de biocombustibles, hace que los costos de estos alimentos se eleven; lo cual podría ocasionar crisis alimentarias y a su vez problemas sociales.

Los biocombustibles de segunda generación, son aquellos que están hechos a partir de material sin aparente utilidad, especies no comestibles, tóxicas o residuos orgánicos. Entre ellos están el aceite reciclado y los residuos de la actividad agrícola de producción de alimentos como hojas, tallos, cáscaras, etc.

Y por último, los biocombustibles de tercera generación se diferencian de los de segunda generación, por la tecnología que se emplea para obtenerlos. Aquí se usa biología molecular, la cual mejora los métodos de transformación de la biomasa a combustibles.

Aunque actualmente la mayoría de biocombustibles son de primera generación, se espera que en el largo plazo éstos sean reemplazados por combustibles de segunda y tercera generación.

Tabla 2. Clasificación de los biocombustibles

Tipo	Descripción	Imágenes
Sólido	<p>Combustibles no fósiles compuestos por materia orgánica de origen vegetal y animal o producidos mediante procesos físicos, susceptibles de ser utilizados en aplicaciones energéticas.</p> <p>Actualmente, debido a la demanda y exigencias del mercado, existe gran cantidad de combustibles sólidos comerciales. Entre ellos tenemos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pellets o briquetas, producidos de forma industrial. • Residuos agroindustriales, como huesos de aceituna, aserrín, cáscaras de frutos secos, etc. • Astillas, provenientes de la industria de la primera y segunda transformación de la madera o de podas, clareos y cultivos energéticos. • Leña, obtenida por el usuario o adquirida en el mercado. 	

Tipo	Descripción	Imágenes
Líquido	<p>Combustibles de origen orgánico, obtenidos a partir de aceites vegetales, grasas animales o cultivos con alto contenido en azúcares. Se conocen también con el nombre de biocarburantes y se obtienen a través, de procesos químicos, siendo capaces de sustituir total o parcialmente a los combustibles tradicionales procedentes del petróleo.</p> <p>Los principales biocarburantes son el biodiesel y el bioetanol, el primero se emplea en motores de gasohol y el segundo en motores de combustión de gasolina.</p>	 
Gaseoso	<p>Los biocombustibles gaseosos, son aquellos que tienen origen no fósil, obtenidos a partir de la descomposición de materia orgánica en condiciones de ausencia de oxígeno.</p> <p>El más conocido es el denominado biogás. Este se genera en dispositivos específicos (digestores) o en medios naturales, a partir de las diferentes reacciones de biodegradación que sufre la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos; así como de otros factores en ausencia de aire. El gas resultante de estas reacciones está formado por dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), y otros gases aunque en cantidades menores. La producción de biogás por descomposición sin oxígeno (descomposición anaeróbica) es un modo útil para tratar residuos biodegradables, dado que produce un combustible útil y genera un efluente que puede aplicarse como abono genérico o acondicionador de suelo.</p>	  

Fuente: [2] Clasificación de los biocombustibles. Agencia provincial de la energía de Burgos (Recuperado el 05 de julio de 2013).

Entre las ventajas de los biocombustibles se encuentra que:

Son renovables

Los biocombustibles provienen de fuentes renovables, lo que los hace ilimitados. Ésta es una gran ventaja frente a los combustibles fósiles que son cada vez más escasos en nuestro planeta. Para mantener esta ventaja es necesario llevar un uso adecuado de las fuentes, respetando en muchos casos el tiempo necesario de su renovación.

Son más limpios

El hecho de que los biocombustibles sean biodegradables, los hace menos dañinos en caso de derrames. Además, al quemarse emiten dióxido de carbono; que luego será absorbido por las plantas, creando de esta manera un ciclo. Este ciclo limita la cantidad de dióxido de carbono en el ambiente, a diferencia de los combustibles fósiles, que lo que hacen, es incrementarla.

Generan empleo

Crean oportunidades de trabajo, ya que son producto final de muchas empresas. Además, fomentan la inversión y la generación de proyectos. También ayudan a productores y cooperativas campesinas, aprovechando cultivos de baja productividad o comprándoles los residuos generados de la actividad agrícola.

Contribuyen a la limpieza y el orden

Algunos de los biocombustibles son producidos a partir de materiales que son considerados desechos de otras actividades. Esto hace que su generación contribuya a la limpieza y el orden de las plantaciones y comunidades. Evitando problemas ambientales y plagas.

En la figura 2 se aprecia el ciclo de carbono del bioetanol donde el CO_2 generado por la quema del combustible, es absorbido por las materias primas utilizadas para la producción de los mismos.

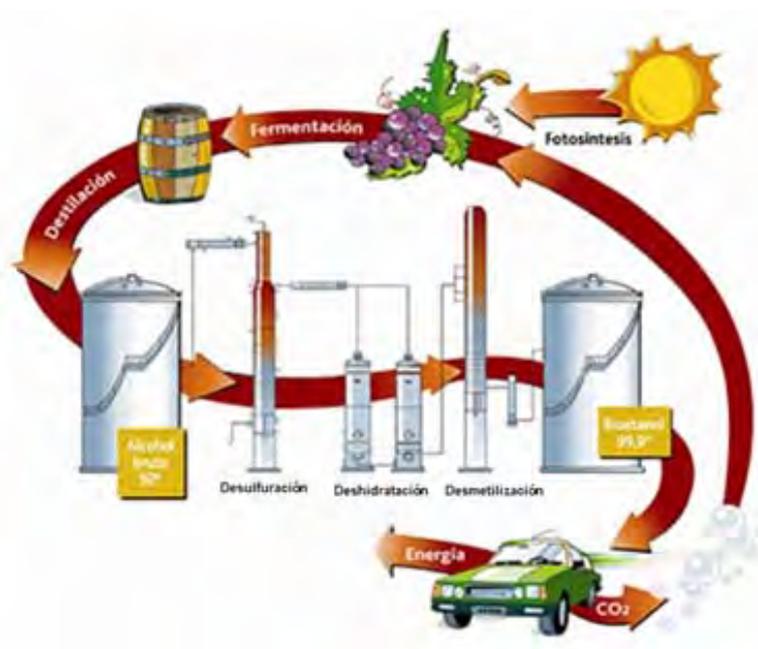


Figura 2. Ciclo del carbono de un biocombustible.

Fuente: [3] Lixiviación de jugo de caña de azúcar. J. G. Morales Vilchez (2011).

1.2. El bioetanol

El bioetanol, es el producto de la fermentación alcohólica de diversos materiales orgánicos a través de la acción de microorganismos.

Anteriormente, el etanol solo era usado para consumo humano y para la producción de bebidas alcohólicas mediante destilación. No fue sino hasta los años 70, cuando el petróleo y el gas natural empezaron a hacerse más escasos, que se pensó en el etanol como una alternativa de sustitución de los combustibles fósiles. Además de la escasez que llevaba al incremento de precios del petróleo, la preocupación medio ambiental, hizo que los países fueran pensando en formas de obtención de etanol a partir de material orgánico[4].

El uso del bioetanol como biocarburante, es el de mayor importancia en el mundo. Esto, debido al crecimiento de la demanda de automóviles a nivel mundial. Tan solo en el 2011 la cantidad de automóviles en el mundo ascendía a los mil millones[5].

El bioetanol es utilizado como combustible en motores de combustión interna, de dos maneras:

1. En mezclas de gasolina y etanol anhidro.
2. Como etanol puro, generalmente hidratado.

En la primera forma de uso, el etanol tiene una mínima cantidad de agua, por ello se le conoce también como etanol deshidratado. En este caso, funciona como un oxigenante de la gasolina, en reemplazo del éter metil tert-butílico (MTBE). Puede utilizarse en vehículos convencionales, sin necesidad de hacer cambios en el motor, ni en los sistemas de inyección del mismo[6].

En la segunda forma de uso, el etanol presenta un mayor porcentaje de agua, por ello su nombre de etanol hidratado. Para que los vehículos puedan usarlo, estos deben ser adaptados para tal uso. Pueden ser vehículos con motores exclusivos para etanol, o vehículos con motores *flex-fuel*, los cuales son capaces de utilizar cualquier mezcla de etanol hidratado y gasolina. Además del motor, los sistemas de inyección también deben ser aptos para el uso de estas mezclas de combustibles[6].

Son pocos los países que utilizan el alcohol hidratado como combustible, ya que los vehículos más comunes son los de motor y sistema de ignición convencional. Brasil, es uno de los países que si lo usan, ya que debido a su gran producción de bioetanol, los fabricantes de automóviles han diseñado vehículos especiales aptos para el uso de este biocombustible.

En la tabla 3 se muestran las modificaciones que deben hacerse en los vehículos según el porcentaje de etanol que se utilice en la gasolina. Así mismo, en la tabla 4 se puede ver las propiedades de la gasolina y del bioetanol.

Tabla 3. Modificaciones necesarias para que los motores a gasolina puedan operar con mezclas crecientes de etanol

Modificaciones necesarias para que los motores a gasolina puedan operar con mezclas crecientes de etanol combustible														
Mezcla Etanol	Carburador	Inyección de combustible	Bomba de combustible	Dispositivo de presión del combustible	Filtro de combustible	Sistema de Ignición	Sistema de evaporación	Tanque de combustible	Convertidor catalítico	Motor básico	Aceite del motor	Colector del motor	Sistema de escape	Sistema de arranque en frío
<5%	<-----Para cualquier vehículo----->													
E5-E10	<-----Para vehículos hasta 15-20 años de antigüedad----->													
E10-E25	<-----Para vehículos especialmente diseñados----->									<-----Para vehículos hasta 15-20 años de antigüedad----->				
E25-E85	<-----Para vehículos especialmente diseñados----->													
E85-E100	<-----Para vehículos especialmente diseñados----->													
	Modificaciones no son necesaria							Modificaciones probabemnte necesarias						

Fuente: [7] Gasohol. Wikipedia, Enciclopedia Libre (Recuperado el julio 05 de 2013).

Tabla 4. Propiedades de la gasolina y del bioetanol

Parámetro	Unidad	Gasolina	Etanol
Poder calorífico inferior	kJ/kg	43,5	28,225
	kJ/litro	32,18	22,350
Densidad	kg/litro	0,72-0,78	0,792
Octanaje RON	-	90-100	102-130
Octanaje MON	-	80-92	89-96
Calor latente de vaporización	kJ/kg	330-400	842-930
Relación aire/combustible estequiométrica		14,5	9,0
Presión de vapor	kPa	40-65	15-17
Temperatura de ignición	°C	220	420
Solubilidad en agua	% en volumen	~0	100

Fuente: [6] Bioetanol de caña de azúcar: Una energía para el desarrollo sostenible. DBNDES, CGEE, FAO & CEPAL (2008).

Algunas ventajas del etanol se presentan a continuación:

- ✓ El bioetanol al ser renovable mejora la seguridad energética de los países, especialmente la de los países no productores de petróleo, ya que tendrían independencia energética.
- ✓ Disminuye las emisiones de CO₂, porque a pesar de que se utiliza combustibles fósiles para su producción, la cantidad de gas eliminado puede considerarse como la misma cantidad que fue captada por las plantas durante su crecimiento. Es decir, que no supone un incremento de este gas a la atmósfera.
- ✓ Al ser el etanol un oxigenante de la gasolina, hace que ésta mejore su octanaje y que de esta manera, se reduzcan las emisiones de gases causantes del efecto invernadero.
- ✓ El etanol al mejorar el octanaje de la gasolina ha reemplazado a aditivos nocivos para la salud humana como el plomo y el MTBE.
- ✓ Aumenta el valor de los productos agrícolas de los que procede, mejorando así los ingresos de los productores, comunidades y por tanto su nivel de vida.

Entre las desventajas se encuentran:

- ✓ Presenta menor poder calorífico que la gasolina, por lo que requiere un mayor consumo.
- ✓ Presenta problemas de corrosión en partes mecánicas y sellos.
- ✓ En climas, muy fríos presenta dificultades para el encendido.

- ✓ Genera emisiones de óxidos de nitrógeno y aldehídos (contaminantes menores)[8].

1.3. Materias primas utilizadas para la producción de bioetanol

La materia prima requerida para la producción de bioetanol es aquella compuesta por carbonos capaces de transformarse en azúcares fermentables. Existen tres tipos principales de materias primas; estas se presentan a continuación:

- ✓ Azucaradas: con alto contenido en monosacáridos y disacáridos. Como: caña de azúcar, remolacha azucarera, sorgo dulce.
- ✓ Amiláceas: con alto contenido de polisacáridos y almidón. Como: trigo, maíz, cebada, yuca, papa, etc.
- ✓ Lignocelulósicas: con alto contenido en celulosa, hemicelulosa y lignina. Como: desechos agrícolas y forestales.

En la tabla 5 se presenta las materias primas más usadas para la producción de bioetanol a nivel mundial.

Tabla 5. Principales materias primas para la producción de etanol.

Fuente de carbono	Cultivo	Rendimiento (L/t de cultivo)	Rendimiento (L/ha)	Costo de producción (US\$/L)	País
Sacarosa	Remolacha	100	7000	0,48	Unión Europea
	Jugo de caña	70-85	6000	0,21	Brasil
		10	590	0,32	India
	Melaza de caña	10	730	0,23-0,37	México
	Sorgo	56-90	2500-4000		Suecia
Almidón	Maíz	400	3000	0,39-0,37	Estados Unidos
	Trigo	340	2700	0,62	Unión Europea
Celulosa	Bagazo de caña	55	3850	0,8	Chile

Fuente: [9] Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. F. Serna, L. Barrera & H. Montie. (2011).

Las materias primas más utilizadas son las azucaradas y las amiláceas, ya que su transformación a azúcares es mucho más sencilla. Además, la tecnología requerida para la producción de bioetanol a gran escala, a partir de estas materias primas, ya ha sido desarrollada y utilizada por muchos países. La transformación de las materias primas lignocelulósicas, es mucho más complicada y requiere de un proceso más largo que sigue siendo materia de estudio e investigación.

La alternativa de emplear residuos lignocelulósicos en la producción de etanol, constituye hoy día una posibilidad altamente prometedora por su amplia disponibilidad en el mundo. La existencia en los diversos países iberoamericanos de abundantes recursos lignocelulósicos, justifica la dedicación de estas naciones por el desarrollo y la adaptación de tecnologías para la utilización integral y racional de los mismos[4].

1.4. Procesos de obtención de bioetanol

Los procesos de obtención de este biocombustible, varían según el tipo de materia prima que se utilice. Es así, que existen tres maneras de obtener este producto. Ellas difieren en el modo en el que se obtienen los azúcares fermentables. Una vez conseguido los azúcares, los procesos son similares, ya que continúan la fermentación y destilación para la obtención del producto final. En la figura 3 se muestran los pasos por los que cada tipo de materia prima tiene que pasar para convertirse en etanol.

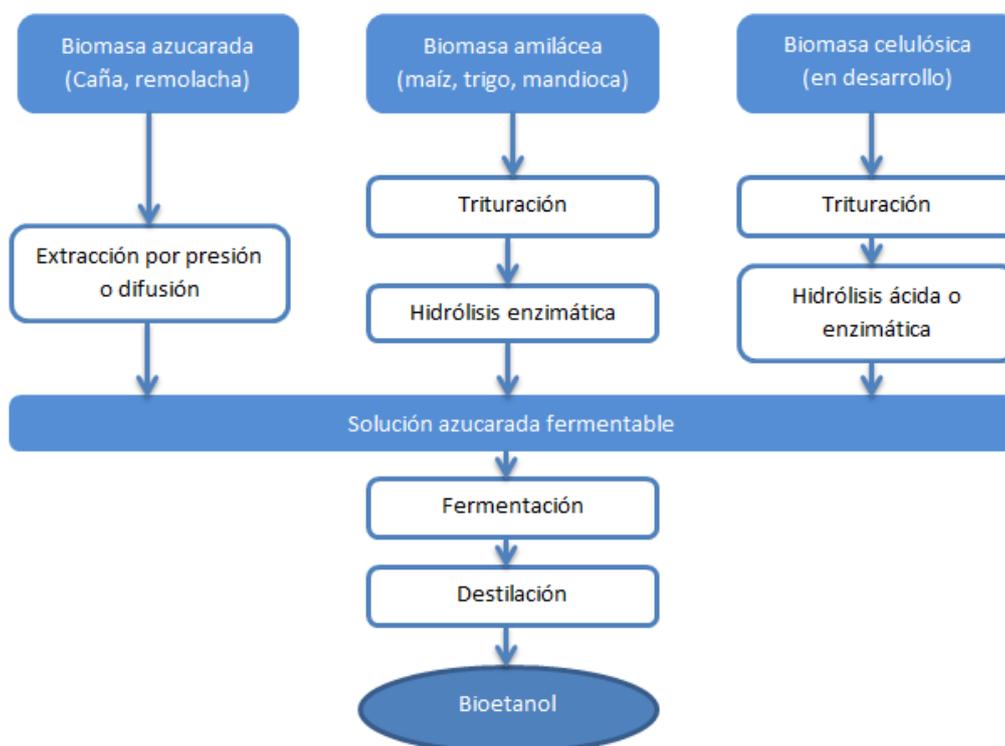


Figura 3. Rutas tecnológicas para la producción de bioetanol.

Fuente: [6] Bioetanol de caña de azúcar: Una energía para el desarrollo sostenible. DBNDES, CGEE, FAO & CEPAL (2008).

Como se mencionó anteriormente, el proceso más complejo es la conversión de material lignocelulósico, debido a que los componentes de estos materiales; celulosa, hemicelulosa y lignina, son muy difíciles de descomponer y convertirse en azúcares. En este proceso, los materiales son tratados con ácidos o enzimas que facilitan la obtención de azúcares. Se tratará con más detalle en el capítulo 3.

En el año 2012, el 89% de la producción mundial de etanol fue producido en América. Este porcentaje, en su mayor parte, corresponde a Estados Unidos y Brasil, donde se usan el maíz y la caña de azúcar respectivamente, como fuentes de obtención del etanol[10].

Estos procesos serán brevemente explicados en los apartados 1.4.1 y 1.4.2.

1.4.1. Producción de bioetanol a partir de caña de azúcar

A modo de ejemplo, se expondrá el proceso que se lleva a cabo en la empresa Sucroalcolera del Chira, perteneciente al grupo Caña Brava, la cual tiene su planta en la provincia de Sullana, Piura[3].

En la figura 4 se muestra un diagrama de la producción de bioetanol en Sucroalcolera del Chira. Se podrá ver que además de la producción de bioetanol, se utiliza un coproducto del proceso para la generación de energía eléctrica.



Figura 4. Diagrama de flujo del proceso productivo de bioetanol a partir de caña de azúcar - Caña Brava.

Fuente: [3] Lixiviación de jugo de caña de azúcar. J. G. Morales Vilchez (2011).

a) Preparación y extracción de caña

Esta primera etapa del proceso, se inicia con la recepción de la caña del campo, que llega a la planta mediante camiones.

La caña se recibe en unas mesas, para ser posteriormente llevada a los transportadores metálicos, para su preparación.

El material pasa por dos juegos de cuchillas y un desfibrador. Estos tienen la función de “desmenuzar” la caña, haciendo que tome consistencia suave, uniforme y que sea manejable en el proceso de extracción.

Una vez desfibrado el material, ingresa a un difusor donde se inicia el proceso de extracción.

El sistema de extracción de jugo, posee un principio de funcionamiento moderno. Este consiste en el ingreso de agua a temperaturas elevadas en dirección opuesta al flujo de la caña. Es así, como el agua ingresa por las células de la caña y va desplazando los azúcares.

La mezcla obtenida de jugo de caña y agua, recircula por medio de una serie de bombas, logrando una elevada eficiencia en la extracción del jugo. El difusor que posee Sucroalcolera del Chira, tiene capacidad de procesamiento de 4 000 toneladas de caña al día; y garantiza una eficiencia en la extracción superior al 97%.

El bagazo obtenido del proceso anterior, pasa por un rodillo desaguador y un molino de secado. El producto seco obtenido, es quemado posteriormente en la caldera, para la producción de vapor. Además, se recupera parte del jugo que quedaba en el bagazo.

El jugo, al salir del difusor, tiene aproximadamente entre 13 °Brix y 15 °Brix. En este proceso, se busca obtener la mayor cantidad de azúcares posibles por ello, se continúa con la etapa de evaporación del agua y la concentración de azúcares.

b) Evaporación

En esta etapa, se recepciona el jugo del difusor con 13 °Brix y 15 °Brix y se ingresa a los evaporadores.

Los evaporadores, consisten en tuberías delgadas sometidas a vapor. El jugo, pasa a través de estas tuberías, haciendo que el agua en la mezcla se evapore, obteniendo así, al finalizar el proceso, un producto con 17 °Brix como mínimo.

El agua evaporada, después de un proceso previo de condensación, se reutiliza en los difusores en el proceso de extracción.

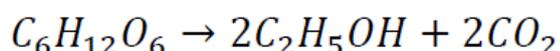
La mezcla concentrada, se enfría por medio de dos intercambiadores de calor en serie, hasta obtener una temperatura de 28 °C, temperatura ideal para el proceso de fermentación.

c) Fermentación

En esta etapa, se recepciona el mosto, proveniente del proceso de evaporación, en los tanques de fermentación, en donde entra en contacto con la levadura.

El proceso dura aproximadamente entre 7 y 9 horas. Durante este periodo, la mezcla es recirculada por un intercambiador de calor, con el fin de mantener la temperatura del tanque por debajo de 34 °C.

En esta etapa, la glucosa y fructuosa de la mezcla se convierten en etanol según la reacción:



Una vez terminada la fermentación en los tanques (y con un grado alcohólico mínimo de 8,5 °GL), se separa la levadura utilizada, del vino obtenido de la reacción. La separación se lleva a cabo en las centrifugas.

La levadura es enviada a las cubas de tratamiento, en donde se regenera, mediante la adición de ácido sulfúrico y nutrientes, para así poder ser utilizada nuevamente en el proceso. El vino obtenido ingresa a un tanque pulmón, en donde se almacena temporalmente, para garantizar un envío constante del vino hacia la destilería.

d) Destilación y deshidratación

En esta etapa del proceso se receptiona el vino entre 8,5 °GL y 10 °GL e ingresa a la columna de destilación y posteriormente a la columna de rectificación. Terminados estos dos pasos, se obtiene alcohol de aproximadamente 96 °GL. Finalmente para conseguir mayor concentración, el alcohol pasa por tamices moleculares.

Los tamices moleculares están formados por zeolitas, minerales microporosos que destacan por su capacidad de hidratarse y deshidratarse reversiblemente. Los poros retienen las moléculas de agua, dejando pasar exclusivamente el alcohol. De esta forma se consigue alcohol al 99,8% de pureza.

e) Generación de energía

Para la generación de energía eléctrica se cuenta con dos generadores y dos turbinas. Estos, son accionados por el vapor obtenido de la quema del bagazo de caña en la caldera.

Cada uno de los generadores tiene una capacidad de 8 MW y 4 MW, mediante los cuales se logra abastecer de energía eléctrica a la planta y a los sistemas de riego.

1.4.2. Producción de bioetanol a partir de maíz

El bioetanol de maíz puede producirse llevando a cabo dos procesos, molienda seca y molienda húmeda. Hasta los años 1990, el proceso de molienda húmeda era el más usado; pero en la actualidad la opción seca se ha consolidado como el proceso más utilizado, debido a costos operativos y de inversión más bajos, los que reducen el costo final del producto[6].

De la molienda seca se obtiene un coproducto denominado DDGS (*distillers dried grain with solubles*), el cual es un suplemento proteico para la alimentación animal.

El proceso de molienda seca requiere que el almidón permanezca en los reactores entre 48 a 72 horas. Debido a esto, usualmente se realiza la sacarificación y la fermentación de forma simultánea. De esta manera, se reducen los tiempos y se disminuye el riesgo de contaminación. A continuación se describe un poco más el proceso.

- a) Molienda: se utiliza un molino de martillo con el propósito de romper el grano facilitando la penetración del agua en la etapa de cocción.
- b) Licuefacción: el almidón mezclado con agua y enzimas (alfa-amilasa), es calentado para permitir la licuefacción a 83 °C. Posteriormente, se agregan componentes químicos y se esteriliza a 110 °C.
- c) Sacarificación: la solución es enfriada a 60 °C tras el agregado de otra enzima (gluco-amilasa), que convierte las moléculas de almidón en azúcares simples.
- d) Fermentación: al mosto enfriado a 35 °C se le adiciona levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Esta mezcla es fermentada por 2 días donde los azúcares simples son convertidos en etanol y dióxido de carbono.
- e) Destilación: se carga el mosto fermentado en la primera columna, aquí se separa el material sólido depositado en el fondo. Luego continúan las etapas de concentración, purificación y rectificación.

Un diagrama del proceso de molienda seca se muestra en la figura 5. En ella se puede observar los productos requeridos en el proceso y los que se obtienen como resultado.

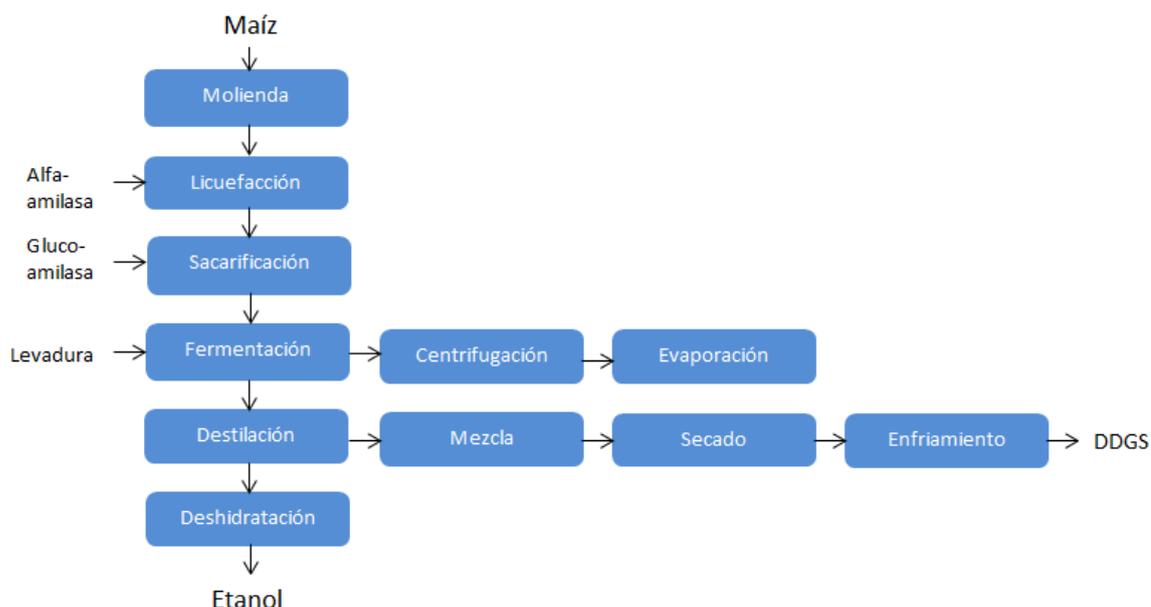


Figura 5. Diagrama de flujo de molienda seca de la producción de bioetanol a partir de maíz.

Fuente: [6] Bioetanol de caña de azúcar: Una energía para el desarrollo sostenible. DBNDES, CGEE, FAO & CEPAL (2008).

1.5. Producción de bioetanol en el mundo

“Mientras que la salud financiera del mundo sigue preocupando a los responsables políticos y los gobiernos, la industria del etanol sigue siendo un sector al alza en la economía mundial. Con casi 1,4 millones de puestos de trabajo, contribuyendo con 277,3

millones de dólares a la economía mundial en 2010, se debe reconocer la importante contribución que los biocombustibles están haciendo a la economía global reduciendo el consumo mundial de petróleo", afirmó el portavoz de la Global Renewable Fuels Alliance, Blas Baker[10].

Los Estados Unidos y Brasil siguen siendo los mayores productores de etanol con una producción continua a ritmo constante en el año 2013. Por ello, se tratará con más detalle el desarrollo de esta industria en ambos países, así como también el de nuestra nación. En la tabla 6 se muestra la producción mundial de etanol en el año 2012.

Tabla 6. Producción mundial de etanol en el año 2012.

Continente	Millones de galones
América del Norte y América Central	13 768
América del Sur	5 800
Brasil	5 577
Europa	1 139
Asia	952
China	555
Canadá	449
Australia	71
África	42

Fuente: [11] *Ethanol world production*. Renewable Fuels Association (2013).

1.5.1. Estados Unidos

En el 2007, Estados Unidos puso en vigor la Ley de Políticas Energéticas, la cual exigía que un porcentaje de la gasolina consumida por los automóviles debía ser renovable. Este mandato fue cumplido sin dificultades ya que a la fecha ya se consumía más combustibles renovables que lo exigido por la *Renewable Fuels Standard* – RFS. Sin embargo, a partir de finales del 2007, con la promulgación de la Ley de Seguridad e Independencia Energética (*Energy Independence and Safety Act* – EISA), se revisaron las metas del RFS, aumentando progresivamente la cantidad exigida de biocombustible[6].

EE.UU. se volvió el primer productor de etanol en el año 2005, alcanzando una producción de 3 904 millones de galones de etanol. Casi la totalidad del etanol estadounidense, es producido a partir de maíz, que es menos eficiente que el etanol producido a partir de caña de azúcar. En el año 2007 un 25% de la producción nacional de maíz fue destinada para la producción de etanol como combustible, lo que ha sido considerado como uno de los factores que influyeron en la crisis alimentaria mundial de 2007 a 2008[6].

En la figura 6, se muestra la producción de etanol en Estados Unidos desde el año 1980 hasta el año 2012. En ella se aprecia claramente la tendencia creciente de la curva. Así

mismo, en la tabla 7 se muestran cifras sobre la industria de bioetanol en Estados Unidos desde 1999 hasta el año 2013. Analizando el contenido de la tabla, se encuentra que la capacidad productora de bioetanol en Estados Unidos ha aumentado en más del 700% entre los años en mención, y que son 28 los estados que en el 2013 producían bioetanol.

En el año 2011, la mayor parte de la flota de automóviles de EE.UU. fue capaz de funcionar con mezclas con un mínimo de 10% de etanol. Para esa fecha fabricantes de autos ya habían diseñado sistemas capaces de utilizar mezclas con mayor porcentaje de etanol. Muchas ciudades tienen requisitos distintos de etanol debido a los estándares federales de calidad del aire. En 2007, Portland, Oregon; se convirtió en la primera ciudad de EE.UU. en exigir que toda la gasolina vendida contenga como mínimo 10% de etanol[6].

En la tabla 8 se muestra la oferta y la demanda de etanol en Estados Unidos desde el año 2011 a abril del 2013. En las cifras se aprecia que en el 2013 la demanda nacional de etanol por día ha sido menor que en los años precedentes. Los especialistas especulan que esto se debió al incremento en el precio de los combustibles y a la conciencia ecológica.

Estados Unidos importa también etanol producido a partir de caña de azúcar de Brasil y de cuatro países del Caribe: Jamaica, El Salvador, Trinidad y Tobago y Costa Rica [7].

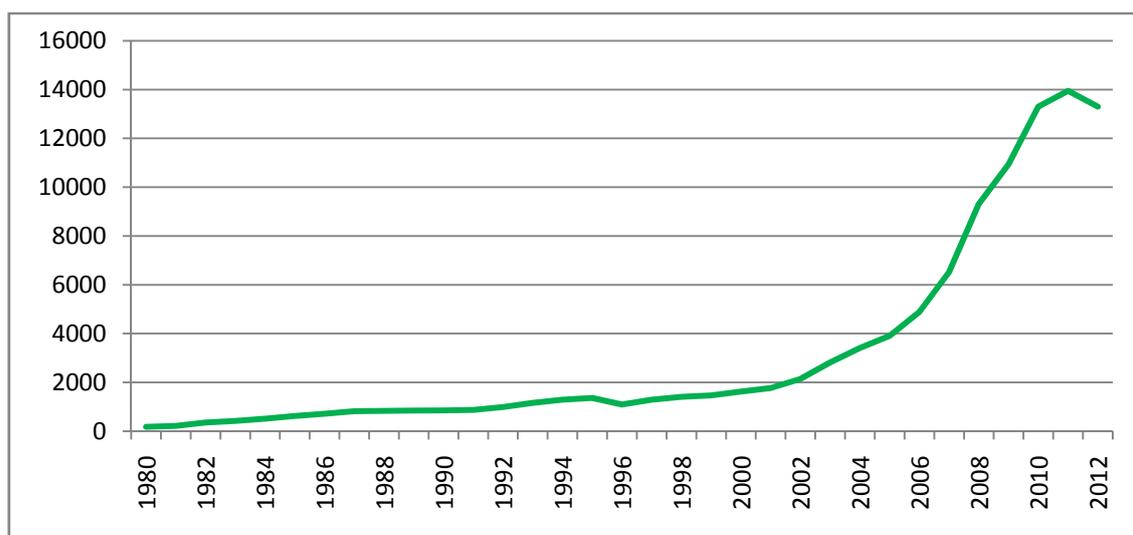


Figura 6. Producción de etanol en Estados Unidos.

Fuente: [11] *Ethanol world production*. Renewable Fuels Association (2013).

Tabla 7. Industria del etanol en Estados Unidos¹

Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Plantas industriales de etanol.	50,0	54,0	56,0	61,0	68,0	72,0	81,0	95,0	110,0	139,0	170,0	189,0	204,0	209,0	211,0
Capacidad de producción de etanol (MG/año).	1 701,7	1 748,7	1 921,9	2 347,3	2 706,8	3 100,8	3 643,7	4 336,4	5 493,4	7 888,4	10 569,4	11 877,4	13 507,9	14 906,9	14 712,4
Plantas bajo construcción/expansión.	5,0	6,0	5,0	13,0	11,0	15,0	16,0	31,0	76,0	61,0	24,0	15,0	10,0	2,0	4,0
Capacidad bajo construcción/expansión (MG/año).	77,0	91,5	64,7	390,7	483,0	598,0	754,0	1 778,0	5 635,5	5 536,0	2 066,0	1 432,0	522,0	140,0	158,0
Estados con plantas industriales de etanol.	17,0	17,0	18,0	19,0	20,0	19,0	18,0	20,0	21,0	21,0	26,0	26,0	29,0	29,0	28,0

Fuente: [11] *Ethanol world production*. Renewable Fuels Association (2013).

Tabla 8. Oferta y demanda de etanol combustible en Estados Unidos (2011-Abril 2013).

Año	Producción		Stock		Importaciones	Oferta bruta	Cambios de stock	Exportaciones	Demanda nacional	Demanda total	
	(1000s BI/día)	MG	1000s BI	Días en reserva	MG	MG	MG	MG	MG	MG	(1000s BI/día)
2011	910	1 162,375	19 388	21,3	11,732	1 174,107	8,322	99,589	1 066,195	1 165,784	912
2012	865	1 108,328	21 029	23,6	40,789	1 149,117	8,373	61,796	1 078,948	1 140,744	893
2013	824	1 038,692	19 181	22,8	29,621	1 068,312	-31,836	51,629	1 048,520	1 100,148	845

Fuente: [11] *Ethanol world production*. Renewable Fuels Association (2013).

¹ MG: Millones de galones

1.5.2. Brasil

En Brasil, se usa la caña de azúcar como materia prima ya que cuentan con el clima y el terreno necesario para el buen desarrollo de este cultivo. El rendimiento de la caña, ha permitido que se pueda ir utilizando más etanol en la mezcla del combustible para automóviles. Esta mezcla ha ido desde el 5% de etanol en el año 1931 hasta un 25% en la actualidad[6].

En el año 1931, se determinó en el decreto 19.717, la mezcla obligatoria de 5% de bioetanol anhidro en la gasolina. Este decreto fue contemporáneo a la introducción de los automóviles como medio de transporte en el país. Así, mientras en otros países se habla del consumo obligatorio de biocombustibles hace menos de 10 años, Brasil lo utilizaba regularmente hace más de 7 décadas[6].

En las décadas siguientes debido a los efectos de la primera crisis del petróleo, la mezcla llegó a ser 7,5% en el año 1975. La elevación de los precios internacionales del petróleo, el aumento de los gastos de importación y la dependencia energética que tenía Brasil, llevó a que empresarios propongan el uso de la capacidad ociosa de las azucareras para la producción de etanol[6].

En 1975 el gobierno federal instituyó el Programa Nacional del Alcohol (Proálcool) y más tarde en ese año el Decreto 76.593 estableció la creación de la Comisión Nacional del Alcohol (CNA), responsable de la gestión del programa, y determinó una paridad de precio entre el azúcar común estándar y el bioetanol, estimulando la producción de este biocombustible, que había sido hasta entonces un subproducto menos valorado. En este contexto, se establecieron como metas la producción de 3 mil millones de litros de bioetanol para el año 1980, y de 10,7 mil millones de litros para 1985[6].

Entonces, la dependencia de petróleo importado en Brasil era de 85%, lo que equivalía al 32% del total de las importaciones brasileñas, con impactos aún más graves sobre la economía nacional, lo que justificaba la meta ambiciosa de producir 10,7 mil millones de litros de bioetanol en el año 1985. Con ese objetivo, mediante el Decreto 83.700 de 1979, el gobierno federal reforzó el apoyo a la producción de alcohol, creando el Consejo Nacional del Alcohol (CNAL), al cual se le asignó la conducción general del Proálcool, y la Comisión Ejecutiva Nacional del Alcohol (CENAL), al que se responsabilizó de la implementación del programa. En tales condiciones, la producción de bioetanol alcanzó 11,7 mil millones de litros en 1985, excediendo en un 9% la meta propuesta[6].

Posterior a esto llegó la reducción del precio del combustible y la recuperación de los precios del azúcar, lo que causó desmotivación en la producción de etanol. Además de esto, el desinterés gubernamental con respecto al bioetanol y a la ausencia de políticas específicas para este biocombustible, llevó a que en el año 1989 los consumidores de bioetanol comenzaron a enfrentar discontinuidad en la oferta. Los mecanismos de formación de stocks de seguridad no funcionaron y fueron necesarias medidas de emergencia, como la reducción de la concentración de bioetanol en la gasolina, la importación de bioetanol y el uso de mezclas de gasolina con metanol como sustituto de bioetanol[6].

La desconfianza del consumidor brasileño, llevó a que las ventas de los autos que utilizaban exclusivamente etanol, disminuyeran. De representar el 85% de las ventas de

autos en 1985, pasaron a representar solo el 11,4% en 1990. No fue hasta mediados del 2003, con el lanzamiento de los vehículos flexibles, que el consumo de bioetanol hidratado volvió a crecer de modo significativo[6].

En el año 2003 surgieron los automóviles *flex-fuel*, con gran aceptación por parte de los consumidores. Este éxito se debió a que el propietario del vehículo podía elegir entre usar gasolina (con un 25% de bioetanol anhidro) y/o bioetanol hidratado, dependiendo del precio, autonomía, desempeño o disponibilidad. Gracias a eso, se recuperó el consumo del bioetanol hidratado en el mercado interno y surgieron nuevas perspectivas para la expansión de la agroindustria de caña. Desde entonces, la agroindustria brasileña de caña ha crecido a tasas elevadas, consolidándose económicamente y presentando indicadores positivos de sostenibilidad ambiental[6].

Brasil tiene grandes ventajas en el mercado internacional de energía renovable. La disponibilidad de terreno para el cultivo bioenergético, los múltiples cultivos, las múltiples cosechas al año y su ubicación en la zona ecuatorial; lo hace un gran competidor en el mercado.

Como se aprecia en la figura 7, en el año 2011 la producción de etanol de Brasil se redujo debido a una pobre cosecha de caña de azúcar. La necesidad de Brasil de importar etanol, hizo que las exportaciones de etanol de Estados Unidos lograran un récord. Estas, ascendieron de 10 000 barriles por día en el 2010 a 133 000 barriles por día al finalizar el 2011. Esto se ve reflejado a su vez en la tabla 8, ya que la demanda diaria de etanol aumentó significativamente.

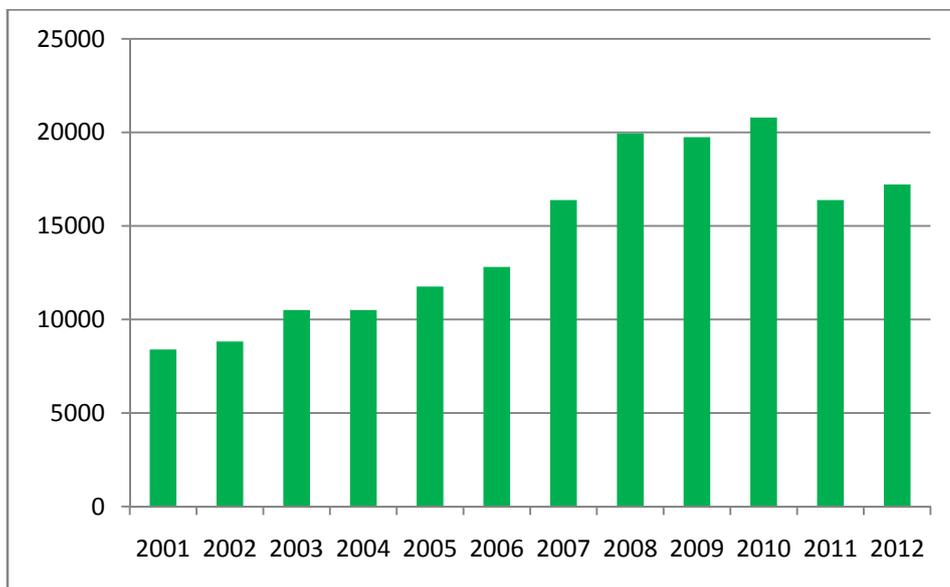


Figura 7. Producción de etanol de Brasil 2001-2012 en miles de galones por día.

Fuente: [12] *Record U.S. ethanol exports in 2011 help offset Brazil's production decline.*
U.S Energy Information Administration (2013).

En la tabla 9 se presenta una comparación entre la industria de etanol brasilera a base de caña de azúcar y la industria estadounidense de etanol a base de maíz.

Tabla 9. Comparación de la industria de etanol entre Brasil y Estados Unidos.

Brasil – Caña de azúcar	Estados Unidos - Maíz
El azúcar de la caña puede convertirse directamente en etanol.	El almidón del maíz es convertido en azúcar. Luego el azúcar es convertida a etanol.
La caña de azúcar es plantada cada 6 años usando cortes.	El maíz es sembrado todos los años usando semillas.
La caña de azúcar se puede cosechar 5 veces en los seis años y luego es replantada.	El maíz es cosechado una vez al año.
Las plantaciones de caña tienen una cosecha aproximadamente de 35 t por ha.	Las plantaciones de maíz tienen una cosecha aproximadamente de 8,4 t por ha.
Las plantaciones de caña contienen aproximadamente 4,2 t de sacarosa por ha.	Las plantaciones de maíz contienen aproximadamente 2,4 t de almidón por ha.
Una hectárea de caña de azúcar produce aproximadamente 560 galones de etanol.	Una hectárea de maíz produce aproximadamente 410 galones de etanol.
La producción de caña de azúcar es más barata que la del maíz por galón de etanol.	La producción de maíz es más cara que la de caña de azúcar por galón de etanol.
El etanol de caña puede ser producido con menos dinero que el de maíz.	El etanol de maíz es más caro de producir que el de caña.
El coproducto de la producción de etanol es el bagazo.	El coproducto de etanol es el DDGS. Producto para la alimentación animal.
El combustible usado es el bagazo de caña.	El combustible utilizado es gas, carbón o diesel.
Aproximadamente 9 millones de hectáreas son usadas para la producción de etanol.	Aproximadamente 28 millones de hectáreas son usadas para la producción de etanol.
No hay subsidios al etanol.	Subsidios reducen de \$0,51 por galón a \$0,45.
No hay impuestos por importaciones de etanol.	Impuestos de \$0,54 por galón importado de etanol.

Fuente: [13] *Brazil's ethanol industry*.

Iowa State University Extension and Outreach (2009).

1.5.3. Perú

En el Perú, con el Decreto Supremo N° 021-2007-EM se estableció que el porcentaje en volumen de alcohol carburante en la mezcla gasolina - alcohol carburante que podría comercializarse en el país sería de 7,8% y se le denominaría gasohol. Este decreto se promulgó después de saberse que dos grandes proyectos de industrias de etanol se desarrollarían en el país.

A continuación se presenta información sobre los proyectos, que ahora ya son grandes empresas competitivas en el mercado mundial de etanol: Caña Brava y Maple.

Caña Brava, es el conjunto de 3 empresas del Grupo Romero que se dedican exclusivamente a la producción de etanol a partir de la caña de azúcar. Poseen 7 000 ha de cultivo de caña de azúcar, ubicadas sobre terreno desértico, las cuales son irrigadas por un sistema de goteo que permite utilizar eficientemente el agua del valle del Chira.

Caña Brava está conformada por: Agrícola del Chira S.A. encargada de la plantación y cosecha de la caña de azúcar, Sucroalcolera del Chira S.A. encargada de la molienda y de

la producción industrial del etanol, y Bioenergía del Chira S.A. responsable de la generación de energía eléctrica a partir del bagazo.

El ingenio de etanol produce 350 mil litros por día, con una molienda de 4 000 t diarias de caña. La cosecha se realiza con modernas máquinas que hacen innecesaria la quema de caña. El transporte del campo a la fábrica es realizado por el operador logístico Ransa y se opera mediante camiones especialmente diseñados para este fin[14].

En el año 2006, Caña Brava se adjudicó 7 000 ha de terrenos eriazos en las provincias de Sullana y Paita. El año siguiente firmó contrato con el PECHP (Proyecto Especial Chira-Piura), quien inició la nivelación de los terrenos y la construcción de infraestructura hidráulica. En marzo del mismo año se inicia la instalación del sistema de riego por goteo, el tendido de redes y la instalación del sistema eléctrico. Asimismo, se inició la producción de insectos benéficos para el control de plagas. En noviembre del 2007, se inicia la siembra de caña de azúcar en los principales fundos. En el año 2008, se dio inicio al montaje de la planta productora de etanol, la primera de Latinoamérica con sistema de extracción directa, con una inversión de 60 millones de dólares, y una capacidad de producción de 350 mil litros diarios de etanol al 99,9%. En julio del 2009, la empresa empieza a producir su propia energía, la cual llegaría a los 12 MW. El 12 de agosto se realizó la primera cosecha de caña de azúcar y tres días después se dio inicio a la producción de etanol anhidro. En diciembre del mismo año se llevó a cabo la primera exportación, la cual fue de 6 320 toneladas de etanol con destino a Rotterdam Holanda, desde el puerto de Paita. Al finalizar el año 2009, ya se habían concretado las primeras ventas de alcohol a Petroperú y REPSOL[3].

Maple es una empresa integrada de energía independiente, con activos y operaciones en nuestro país. Participa en numerosos aspectos de la industria energética, donde se incluye la planta productora de etanol, la exploración y producción de petróleo crudo y gas natural, y la refinación junto con la comercialización y distribución de productos de hidrocarburos.

El gran proyecto de Maple Etanol S.R.L. inició sus operaciones a finales de marzo del 2012, con la cosecha y procesamiento de caña de azúcar para la producción de etanol. Este gran proyecto agro industrial está constituido por 5 partes, las cuales se detallan a continuación:

1. Plantación de caña de azúcar que provee a la planta industrial de materia prima para su conversión en etanol.
2. Una planta productora de etanol con capacidad mayor de 5 000 toneladas al día de caña de azúcar y con una producción mayor de 35 millones de etanol por año.
3. Una central eléctrica de 37 MW para abastecer las necesidades de energía del proyecto de etanol, con la venta de cualquier exceso de energía. Se espera llegar a inyectar aproximadamente 17 MW, a la red eléctrica nacional peruana.
4. Una línea de transmisión eléctrica de 60 kV para conectar las instalaciones del proyecto de etanol a la red eléctrica y sistemas de distribución eléctrica 33/22,9 kV para la plantación y estaciones de bombeo.
5. Centro de almacenamiento de etanol, carga y servicio de envío cerca del puerto de Paita.

Maple Etanol posee importantes ventajas competitivas en relación con algunos de sus competidores. Una de ellas es el uso de la caña de azúcar como materia prima, que es ampliamente considerada como la materia prima más eficiente para la producción de etanol. Por otra parte, la ubicación estratégica del proyecto es favorable ya que tiene un clima agrícola que permite plantar durante todo el año. Además, el proyecto de etanol utiliza técnicas modernas de cultivo y automatización como el amplio uso de riego por goteo, la recolección mecánica, que mejora la eficiencia operativa del proyecto y la reducción de costos, y la automatización significativa dentro de la planta de etanol. Por último, la ubicación del proyecto de etanol cerca del puerto de Paita permite tener costos de transporte relativamente bajos, para acceder a los mercados internacionales clave[15].

Además de establecer el porcentaje de etanol que debería de llevar el gasohol, en el Decreto Supremo N° 021-2007-EM se estableció el cronograma para iniciar la venta obligatoria de gasohol en algunas ciudades del país. El cronograma fue modificado dos veces desde su emisión original en dos Decretos Supremos; los que se presentan a continuación.

1. Decreto Supremo N° 091-2009-EM, publicado el 29 de diciembre de 2009.
2. Decreto Supremo N° 061-2010-EM, publicado el 28 de septiembre de 2010.

El cronograma final es el que se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Cronograma de implementación del gasohol DS N° 061-2010-EM.

Departamento	Fecha de inicio
Piura y Lambayeque	01 de abril del 2010
Tumbes y Cajamarca	01 de mayo del 2010
La Libertad y Ancash	01 de junio del 2010
Huánuco	01 de julio del 2010
Pasco	01 de agosto del 2010
Junín	01 de septiembre del 2010
Lima y Callao Ica Huancavelica Ayacucho Apurímac Cusco Arequipa Puno Moquegua Tacna	01 de junio del 2011

Fuente: [16] Biocombustibles.
OSINERGMIN (2014).

La tabla 11 muestra la demanda trimestral de gasohol en el Perú desde el año 2010 hasta el tercer trimestre del año 2012. Analizando las cifras, se encuentra que la demanda ha aumentado en casi un 300% desde el primer hasta el último trimestre considerado; lo que

se debe en gran parte a las mejoras económicas de nuestro país durante estos años y al mayor poder adquisitivo de la población.

Tabla 11. Demanda trimestral de gasohol en el Perú 2010 – 2012 (miles de galones).

GASOHOL	2010				2011				2012		
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III
Gasohol 84	2 021,04	9 425,22	14 868,42	16 331,70	14 700,00	14 889,84	20 167,98	27 094,20	35 314,44	34 504,26	35 367,78
Gasohol 90	1 349,04	4 517,52	8 981,28	11 080,44	10 444,98	11 368,56	35 283,78	44 721,18	52 998,54	51 604,56	53 101,44
Gasohol 95	138,60	383,88	784,56	839,16	901,32	856,38	7 472,64	9 879,66	11 521,86	10 902,78	11 863,32
Gasohol 97	0	6,30	57,96	124,32	120,96	133,56	3 948,42	4 976,58	5 368,86	4 687,20	4 847,22
Gasohol 98	0	5,04	16,80	23,94	18,06	12,18	2 283,96	2 855,16	2 902,20	2 812,74	2 959,74
TOTAL GASOHOL	3 508,68	14 338,00	24 709,00	28 399,60	26 185,70	27 260,50	69 156,80	89 526,80	108 106,00	104 512,00	108 140,00

Fuente: [16] Biocombustibles. OSINERGMIN (2014).

En la actualidad son solo cuatro departamentos los que no utilizan gasohol, estos son Amazonas, Loreto, Madre de Dios y Ucayali; los cuales se incorporarán al programa según lo indique el Ministerio de Energía y Minas. En la tabla 12 se muestra el uso del etanol en el mes de julio del 2013 de los 24 departamentos del Perú.

Los precios del gasohol (en planta de ventas) han tenido algunas variaciones considerables durante los tres últimos años. En la figura 8 se aprecia que las variaciones más significativas han sido en los primeros meses del año 2011 y los primeros meses del 2012. En general podemos ver que los precios tienden al alza.

A pesar de que el país cuenta con dos grandes empresas productoras de etanol, se deben de evaluar algunos puntos del abastecimiento de la demanda nacional de este biocombustible.

Las capacidades de Caña Brava y Maple son de 350 000 y 400 000 litros de etanol por día respectivamente, sin embargo las plantas vienen produciendo al 50% de su capacidad, información hallada en la entrevista que se realizó a Ari Loeb Hleap, director Gerente General de LS Andina S.A., la cual se encuentra en el anexo A[17].

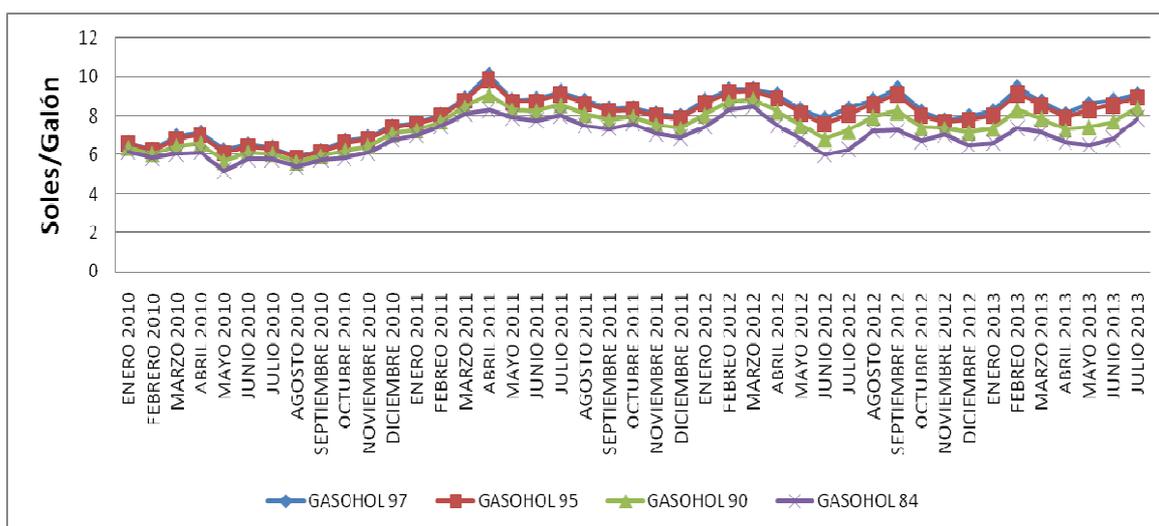
La demanda de etanol en el Perú en el 2013 fue de aproximadamente 390 mil litros al día[16] y la oferta peruana fue de 375 mil litros al día. Es decir, que aun si se hubiera utilizado todo el etanol que se produce en el país; hubiera quedado parte de la demanda insatisfecha.

Ahora, no toda la producción nacional de etanol es destinada al mercado interno; esto debido a dos razones. La primera de ellas es que el etanol nacional adquiere un mejor precio en el mercado europeo, por lo que Maple y Caña Brava prefieren colocar sus productos en ese mercado. De ahí que la segunda razón sea que las empresas productoras de gasohol, como Petroperú y Repsol, opten por importar el insumo a menor precio que la oferta nacional. El Perú importa etanol principalmente de Bolivia, Ecuador y México[18].

Tabla 12. Demanda nacional de gasohol por departamento; julio 2013 (galones por día).

Departamento	Gasohol 84	Gasohol 94	Gasohol 95	Gasohol 97	Gasohol 98	Total gasohol
Amazonas						
Ancash	7 667	17 360	2 449	739	161	28 376
Apurímac	4 900	4 071	171			9 142
Arequipa	50 553	62 989	3 907	281		117 730
Ayacucho	5 202	13 686	556			19 444
Cajamarca	20 996	16 377	1 044			38 417
Cusco	43 411	24 298	387			68 096
Huancavelica	565	2 804				3 368
Huánuco	2 597	7 936	48	161		10 742
Ica	18 449	27 977	5 891	611	274	53 202
Junín	15 239	29 196	666	1 314	47	46 462
La Libertad	22 949	32 627	5 365	177	65	61 183
Lambayeque	37 279	16 797	1 794	113		55 982
Lima	62 130	327 389	132 184	52 400	32 025	606 127
Loreto						
Madre de Dios						
Moquegua	5 248	2 859	2 255			10 362
Pasco	2 868	5 532	90			8 490
Piura	37 835	43 315	2952	129		84 231
Puno	33 405	4 653				38 058
San Martín	468	484				952
Tacna	8 195	7 141	4 131			19 467
Tumbes	1 689	1 394	236			3 319
Ucayali						
Total	381 645	648 885	164 126	55 925	32 572	1 283 150

Fuente: [16] Biocombustibles. OSINERGMIN (2014).

**Figura 8.** Variación precio del gasohol 2010 – Julio 2013 (en planta de ventas).

Fuente: [16] Biocombustibles. OSINERGMIN (2014).

Esto deja en claro que el país debe promover mayor inversión en proyectos de etanol; con el principal objetivo de cubrir la demanda nacional ofreciendo un precio competitivo con respecto al mercado mundial.

Las exportaciones de Caña Brava y Maple se muestran en las figuras 9 y 10. Además, se puede observar los países compradores del insumo. En la primera imagen se aprecia que hay meses sin exportación; esto es debido que en esos meses se produce y se acumula para exportar los siguientes meses. De la segunda imagen apreciamos que los Países Bajos son el destino más frecuente.

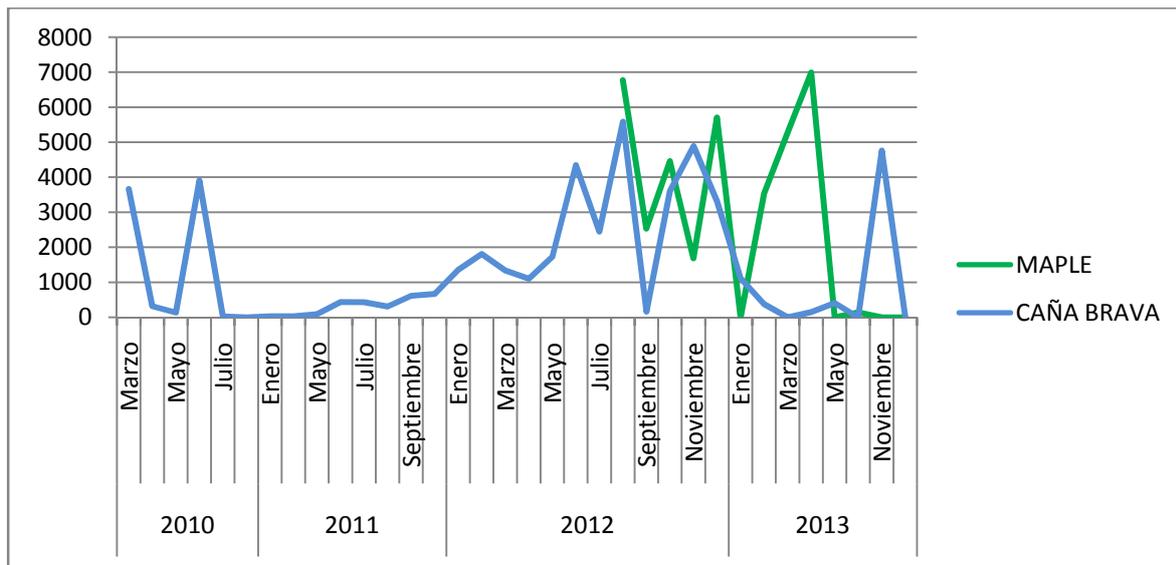


Figura 9. Exportaciones peruanas de etanol 2010 – 2013 en miles US\$ FOB.
Fuente: [18] ADUANET (2013).

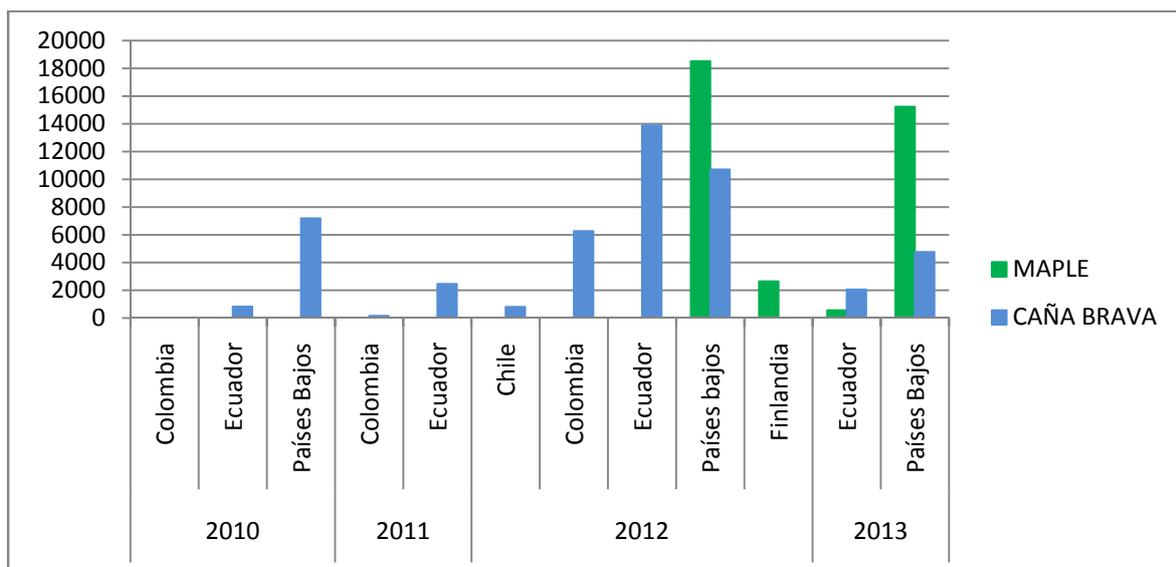


Figura 10. Exportaciones peruanas de etanol 2010 – 2013 en miles US\$ FOB.
Fuente: [18] ADUANET (2013).

En la figura 11 se muestra de manera resumida las exportaciones nacionales de etanol junto al precio de etanol en dólares FOB por kilogramo vendido. Analizando el eje principal, se ve que en el año 2012 se exportó más etanol. Así mismo, del eje secundario se abstrae que en el año 2011 se tuvo el precio más alto de etanol y que en los dos últimos años el precio del producto se ha mantenido en aproximadamente 0,95 US\$/kg.

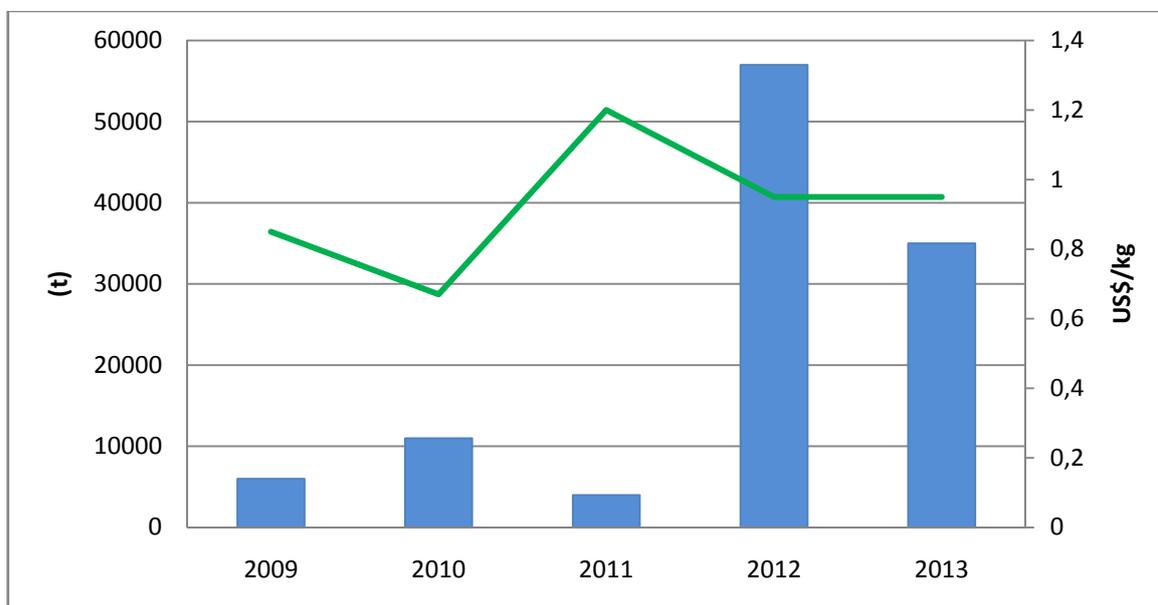


Figura 11. Exportaciones peruanas de etanol y precio FOB 2009 – 2013.

Fuente: [18] ADUANET (2013).

1.6. Producción de etanol a partir de material lignocelulósico

Los biocombustibles de primera generación, producidos principalmente de maíz, caña de azúcar y semillas oleaginosas, tienen capacidades limitadas para sustituir enteramente a los combustibles fósiles. Entre las razones, se encuentran la gran cantidad de materia prima que sería necesaria para poder producir biocombustibles que cubran la demanda mundial, se requerirían millones de hectáreas para la siembra de estas materias primas, lo que generaría problemas de suministro de alimentos y el aumento de precios de ellos en todo el mundo. Además, las plantaciones de productos alimenticios serían reemplazadas por plantaciones destinadas a la producción de biocombustibles ya que el aumento de la demanda y el valor de éstos, las harían más atractivas.

Sumado a esto, se requiere grandes inversiones de dinero para la siembra, mantenimiento y cosecha de las plantaciones destinadas a la producción de biocombustibles, lo que hace que el precio final de éstos sea más elevado.

Estas preocupaciones, han hecho que aumente el interés en el desarrollo de biocombustibles de segunda generación, elaborados a partir de biomasa e insumos lignocelulósicos, como paja de cereales, bagazo, residuos forestales, cultivos energéticos, subproductos de la cosecha de plantaciones y bosques de corta rotación. Estos biocombustibles, podrían evitar muchos de los problemas que enfrentan los de primera generación, y a su vez podrían reducir el costo de éstos en el largo plazo.

En Dinamarca, en el año 2007 se inició la construcción de la primera biorefinería, ubicada en Kalundborg. Una vista de ella se presenta en la figura 12. A finales del año 2009, la refinería ya estaba terminada y lista para iniciar la producción de bioetanol. Esta refinería es de la empresa INBICON.

INBICON, produce bioetanol a partir de paja de cereales, utilizando vapor y enzimas (Novozymes y DuPont Danisco) en una planta de demostración. Recogen la paja de los campos, la cocinan a presión y la someten a un tratamiento enzimático. Por último, la fermentan y la destilan. Además de etanol, obtienen lignino, un material que puede sustituir al carbón en las centrales eléctricas; y melaza, que puede ser usada como refuerzo en la producción de biogás. Su producción anual es de 1,4 millones de galones de “nuevo etanol”, como ellos lo han denominado.

Además de esta primera refinería, INBICON tiene proyectos en Malasia, donde se planea producir entre 5 y 10 millones de galones al año. Ya tiene un proyecto en marcha en Estados Unidos el cual producirá en sus primeras fases 20 millones de galones al año[19].



Figura 12. Planta de demostración INBICON en Dinamarca.
Fuente:[19] INBICON (Recuperado el 20 de septiembre de 2013).

En Dinamarca, también se encuentra BioGasol, empresa que desde el 2006 ha venido desarrollando tecnología para la producción de etanol, a partir de material lignocelulósico. Cuenta con una planta piloto, la cual produce 5 mil litros al año de etanol a partir de paja de cereales. Brindan distintos productos y servicios al público. Entre estos están: servicios de análisis de laboratorio y pruebas en la planta piloto, venta de equipos como pequeñas plantas piloto de pre tratamiento, estudios de factibilidad de negocios y asesoramiento para la integración de procesos. Además, tiene un proyecto el cual ya se encuentra en su segunda fase para la producción de bioetanol en mayores proporciones[20].

Sumado a INBICON y BioGasol, en Dinamarca hay un gran proyecto denominado Maabjerg Energy, el cual consiste en la construcción de una planta de bioetanol de segunda generación, una planta de producción de hidrógeno y una planta de tratamiento de residuos en Mabjerg. Producirá 73 millones de litros de bioetanol y cerca de 99 millones de metros cúbicos de biogás al año. Convertirá 400 000 toneladas de paja en bioetanol, biogás y energía. La reducción de CO₂ será de 384 000 toneladas o de 434 000 toneladas si se le suma la planta de biogás que ya se encuentra en funcionamiento. Además proporcionará calefacción a 20 000 hogares y producirá energía equivalente al consumo de 24 900 hogares. Se espera que este gran proyecto inicie su funcionamiento a comienzos del año 2016[21]. En la figura 13 se muestra un diagrama básico de los productos que se generaran en la futura planta.

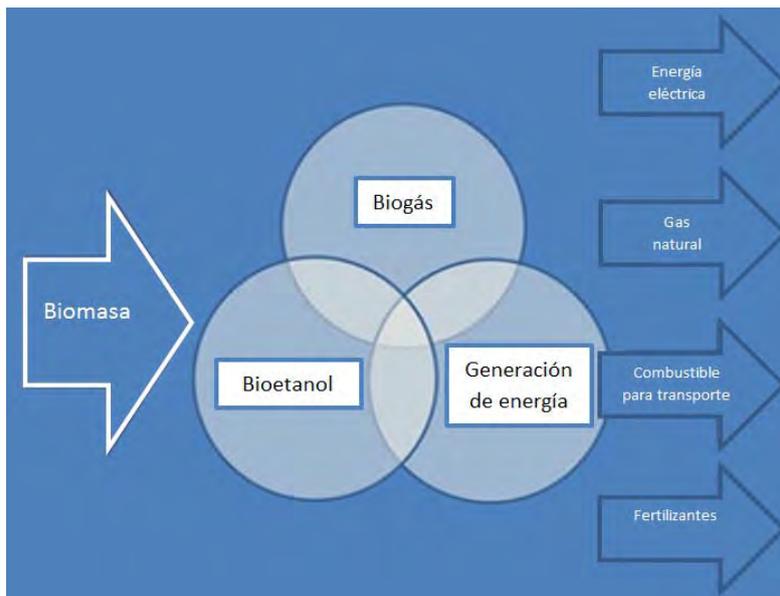


Figura 13. Diagrama básico de productos de la futura planta de Maabjerg Energy.

Fuente: [21] Maabjerg Energy (Recuperado el 20 de septiembre de 2013).

En Italia se encuentra Beta Renewables, primera empresa en el mundo que produce bioetanol lignocelulósico a escala comercial. Sus operaciones iniciaron en octubre del 2012 en Crescentino, Italia. Esta consume alrededor de 60 000 toneladas de biomasa al año, compuesta por carrizo y bagazo de caña, que se reflejan en 20 millones de galones anuales de etanol[22]. En la figura 14 se muestra una vista panorámica de la planta.



Figura 14. Planta comercial de Beta Renewables en Crescentino, Italia.

Fuente: [22] Beta Renewables (Recuperado el 20 de septiembre de 2013).

Estados Unidos ha venido desarrollando desde hace varios años, tecnologías necesarias para la conversión de material lignocelulósico en biocombustibles. Es así que hoy en día ya cuentan con plantas productoras de bioetanol a nivel comercial, a escala y para demostraciones. Muchas más se encuentran bajo construcción. En la figura 15 se muestran los distintos proyectos de plantas de bioetanol en Estados Unidos.

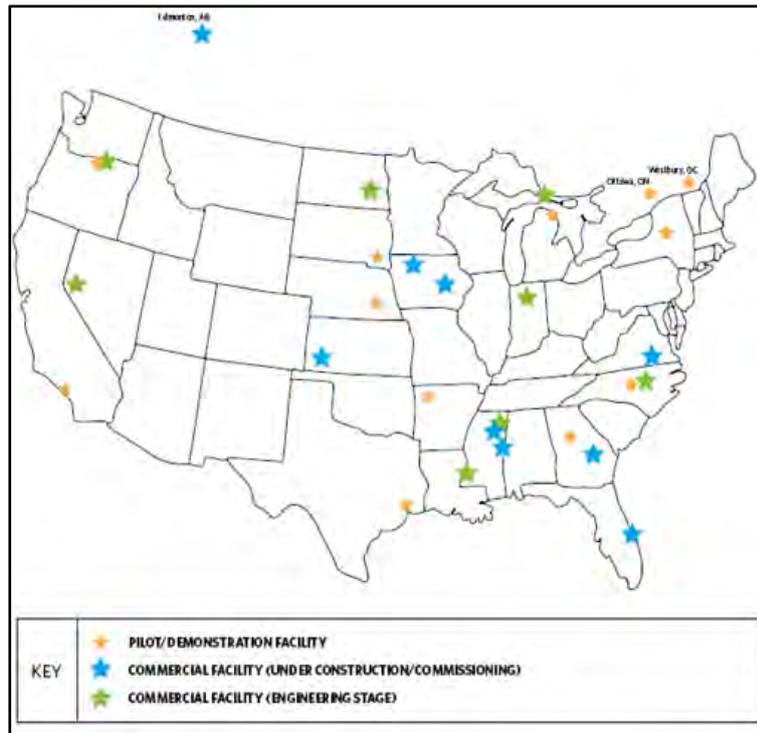


Figura 15. Ubicación de proyectos de conversión de biomasa a bioetanol en Estados Unidos.

Fuente: [23] *Cellulosic Biofuels: Industry progress report 2012-2013*. Advanced Ethanol Council (AEC) (2013).

INEOS Bio, anunció en julio del 2013 que su centro Indian River Bio Energy había empezado la producción a nivel comercial de bioetanol. Este centro se encuentra ubicado en la costa de Florida y está diseñado para producir 8 millones de galones anuales de bioetanol a partir de biomasa renovable como hierba, madera y residuos vegetales. La instalación también genera energía limpia, la cual es vendida al mercado local [24]. En la figura 16 se muestra una vista panorámica de la planta.



Figura 16. Indian River Bio Energy Center.

Fuente: [24] Ineos Bio (Recuperado el 20 de septiembre de 2013).

A continuación se nombran algunos de los proyectos en desarrollo en Estados Unidos [23] En la tabla 13, al final del capítulo, se muestra un resumen de algunos de ellos.

Abengoa Bio Energy.

Abengoa cuenta ya con una planta piloto en Nueva York, USA y con una planta de demostración en Salamanca, España. Actualmente se encuentra en la etapa final del proyecto de construcción y puesta en marcha de su primera planta comercial en Hugoton, Kansas. Se espera que a inicios del 2014 se haya concluido la construcción. La planta tendrá una capacidad aproximada de 24 millones de galones al año. En la figura 17 se muestra lo que será la planta al finalizar su construcción.



Figura 17. Planta comercial de Abengoa en construcción.

Fuente: [23] *Cellulosic Biofuels: Industry progress report 2012-2013*. Advanced Ethanol Council (AEC) (2013).

Beta Renewables

Beta Renewables, empresa que ya cuenta con su primera planta comercial productora de bioetanol a partir de biomasa en Italia, tiene en construcción un proyecto en el condado de Sampson, Carolina del Norte, que planea iniciar su producción el 2014 con 20 millones de galones por año. Además Beta Renewables planea construir una planta similar en Brasil junto a la compañía brasilera General Bio. Esta última planta tendría una capacidad de 21,6 millones de galones al año. Se espera que su construcción inicie el año 2014.

Azul Sugars Corporation

Compañía antes conocida como KL Energy, ha desarrollado un proceso para convertir la celulosa y la hemicelulosa en azúcares y etanol utilizando un pretratamiento térmico – mecánico combinado con química, seguido de una hidrólisis enzimática y fermentación de azúcares. Esta compañía tiene un acuerdo con Petrobras América Inc., en la que Petrobras ha invertido considerables sumas de dinero, tanto en la planta piloto que tiene como en la planta de demostración que se encuentra en Upton, Wyoming. A pesar de sus esfuerzos y resultados, la empresa se ha declarado en banca rota con un plan de reingeniería previsto.

Blue Fire Renovables Blue Fire Inc.

Esta empresa opera una planta de demostración en Anaheim, California, y está construyendo una planta comercial en Fulton, Mississippi. Se estima que la construcción de la planta comercial finalice en el 2014, con una capacidad prevista de 19 millones de

galones por año. La tecnología utiliza residuos agrícolas, residuos de madera, residuos sólidos urbanos y los cultivos energéticos cultivados propósito.

Dupont Biofuel Solutions

Dupont ha estado operando una planta piloto en Vonore, Tennessee y comenzó la construcción de una planta de etanol celulósico comercial en Nevada, Iowa, el 30 de noviembre de 2012. Se espera que esta instalación, se termine a mediados del 2014. Será una de las primeras y más grandes refinerías de celulosa a escala comercial en el mundo. Se espera que esta planta genere 30 millones de galones de etanol al año producido a partir de tallos y hojas de maíz.

Bio Energy Fulcrum

Fulcrum opera una planta de demostración en Durham, Carolina del Norte. Un centro comercial de etanol celulósico está previsto en McCarran, Nevada, el cual utilizará residuos de cosechas para producir etanol. La capacidad estimada de esta planta es de 10 millones de galones al año, iniciando operaciones en el 2014.

INBICON

INBICON tiene previsto una planta comercial en EE.UU. de una capacidad de más de 10 millones de galones al año. La planta estará ubicada en Spiritwood, Dakota del Norte y se espera que su construcción termine en el tercer trimestre del 2015.

Tabla 13. Plantas comerciales de bioetanol bajo construcción en Estados Unidos

Empresa	Posible año de inicio	Capacidad por año	Materia prima	Productos
ABENGOA BIOENERGY	2014	25 MG	Hierba de pradera.	Etanol, energía eléctrica.
FULCRUM	2014	10 MG	Sólidos municipales.	Etanol.
INBICOM	2016	20 MG	Paja de trigo.	Etanol, biogás, energía eléctrica renovable, fertilizantes renovables, biocombustibles sólidos.
KIOR	2014	40 MG	Residuos forestales.	Gasolina celulítica y biodiesel.
LANZATECH	2014	4 MG	Biomasa de desecho.	Etanol, bioquímicos, biocombustible de avión.
MASCOMA	2014/2015	10 MG	Pulpa de madera.	Etanol
POET	2014	20 MG	Residuos de cosecha de maíz.	Etanol y biogás.
ZEACHEM	2015	25 MG	Paja de trigo.	Etanol y bioquímicos.

Fuente: [23] *Cellulosic Biofuels: Industry progress report 2012-2013*.
Advanced Ethanol Council (AEC) (2013).

Capítulo 2

Descripción de la actividad bananera en el valle del Chira

En este capítulo se presenta información de la actividad bananera en el valle del Chira, así como también de actividades relacionadas a esta, como el sector energía, transporte y las fuentes de agua que la abastecen.

Se ha escogido tratar la actividad bananera ya que la cadena productiva del banano genera gran cantidad de residuos lignocelulósicos inutilizados, que pueden ser una potencial materia prima para la producción de bioetanol a gran escala.

2.1. Caracterización del valle del Chira

2.1.1. Ubicación

El valle del Chira se encuentra ubicado en el departamento de Piura y está integrado por los terrenos agrícolas a ambos lados del río Chira, en las provincias de Sullana y Paita, y los del territorio del bosque seco de las comunidades campesinas de Amotape, San Lucas de Colán, Tamarindo y Miramar – Vichayal[25].

2.1.2. Población

En su ámbito se asientan 396 215 habitantes (el 8,55% es población rural) de seis distritos de la provincia de Paita (Amotape, San Lucas de Colán, La Huaca, El Arenal, Tamarindo y Vichayal) y ocho distritos de la provincia de Sullana (Querecotillo, Bellavista, Marcavelica, Ignacio Escudero, Sullana, Salitral, Miguel Checa y Lancones)[25].

2.1.3. Geografía y clima

El valle presenta un clima de trópico seco durante todo el año, posee una temperatura media anual de 23,6 °C y una humedad relativa entre 66% y 81%.

Sus tierras prodigiosas se originan debido al río Chira el cual las irriga a través del sistema hidráulico Chira Piura, por los canales Daniel Escobar, Miguel Checa, Canal Norte y Canal Sur. El río presenta caudales con un promedio mensual de 75% y una persistencia de 13,7 m³/s a 96,3 m³/s[25].

2.1.4. Sectores económicos de la zona

Dentro del valle del Chira se desarrollan actividades económicas como la agricultura, la ganadería y la pesca. A continuación se expondrá cada una de ellas.

2.1.4.1. Sector agrícola

La buena calidad de los suelos, la disponibilidad de agua y el clima favorable, hacen del valle del Chira uno de los más adecuados para la actividad agrícola.

En el año 2011 existían aproximadamente un total de 41 930,97 ha., 76,13% más que las áreas sembradas en el año 2001.

Dentro del valle los agricultores han formado organizaciones, siendo la más representativa: la Junta de Usuarios del Chira. Además de estas organizaciones se han identificado en el valle 55 asociaciones, entre las que se encuentran las pequeñas, que desarrollan la agricultura convencional y reciben apoyo y capacitación del Programa de Capacitación y Asistencia Técnica del Gobierno Regional de Piura (PROCAT) y ONGs, y las asociaciones bananeras las cuales están agrupadas en cuatro centrales (CEPIBO, REPEBAN, ASOBAN y CENBANOR).

En la tabla 14 se muestran cuáles son los cultivos predominantes del valle. Y así mismo en la tabla 15 se aprecian los cultivos más promovidos en el año 2011.

Tabla 14. Cultivos predominantes en el valle del Chira al 2011

Cultivo	Superficie sembrada (ha)
Arroz	20 729,32
Banano orgánico	5 025,00
Limón	3 177,99
Maíz amarillo	897,93

Fuente:[25] Actualización del mapa regional del sector agrario de Piura. C. C. Vásquez (2011).

Tabla 15. Nuevos cultivos promovidos en el valle del Chira al 2011

Cultivo	Superficie sembrada (ha)
Caña de azúcar	5757
Uva	438
Limón	201
Mango	65
Maracuyá	62

Fuente:[25] Actualización del mapa regional del sector agrario de Piura. C. C. Vásquez (2011).

Hasta el 2011, se han identificado 10 empresas agrícolas, tres de ellas tienen las mayores áreas adquiridas a nivel de la región, como: Caña Brava (10 500 ha), Maple (10 000 ha) y Camposol (1 450 ha); las siete empresas restantes son medianas y pequeñas, todas ellas trabajan con alta tecnología, riego tecnificado y sus productos van al mercado exterior. Estas vienen desarrollando 6 615,36 ha de cultivos con alta tecnología; destacando la caña de azúcar para etanol (5 757 ha), uva (438 ha), limón (201 ha), mango (65 ha), maracuyá y ajíes[25].

En la tabla 16 se presentan las 10 empresas agrícolas identificadas junto con los cultivos que desarrollan y la cantidad de hectáreas por cada uno de ellos.

2.1.4.2. Sector pecuario

La actividad pecuaria en el departamento de Piura, se volvió una actividad secundaria a la agricultura, luego de la reforma agraria. El incremento de la actividad agrícola y agroindustrial han hecho que los terrenos para el pastoreo de animales se reduzca cada vez más. Debido al segundo plano donde se encuentra, la información sobre ella es escasa. Las pocas asociaciones que existen en el valle reciben asesoría del PROCAT y de las respectivas municipalidades distritales. Ellas son 5 asociaciones de productos pecuarios lecheros articulados al programa municipal vaso de leche.

2.1.4.3. Sector agroindustria

Han sido identificadas 32 empresas agroindustriales. Están clasificadas en cuatro grupos: Los molinos de arroz (17 empresas), transformación y procesamiento agrícola (10 empresas), desmotadoras de algodón (3 empresas) y empresas productoras de etanol (2 empresas). Las más importantes son: Caña Brava, Maple y Camposol [25].

Tabla 16. Cultivos predominantes en el Valle del Chira al 2011

N°	Nombre de la empresa	Sector/Distrito	Principales cultivos	Área (ha)	Observaciones
1	CAMPOSOL S.A.	Huangalá/Bellavista/Sullana	300 ha uva, 20 ha pimiento piquillo	320,00	El valle del Chira ha ampliado su área y diversificación agrícola, se cuenta con 438 ha de uva, 5 757,36 ha de caña de azúcar, 201 ha de limón, 65 ha de mango, 30 ha de marigold y 62 de maracuyá principalmente.
2	AGRICOLA SAN JOSE	Limonera/Sullana	30 ha maracuyá, 50 ha algodón, marigold, 100 ha uva	180,00	
3	LIMONES PIURANOS S.A.	Limonera/Sullana	Limón	60,00	
4	CAÑA BRAVA 1	Huangalá/Bellavista/Sullana	Caña de azúcar	96,00	
5	VALDEZ ROA, NOVARINO	Poechos Pelado/Bellavista	30 ha limón, 15 ha uva	45,00	
6	SAGADE SRL	Huangalá/Bellavista/Sullana	10 ha limón, 15 ha mango, 2 ha palto	27,00	
7	LIMAGRO	Somate/Sullana	50 ha mango, 100 ha limón, 25 ha maracuyá	175,00	
8	KAY KROGH FLORES	Santa Rosa/ Sullana	1 ha limón, 23 ha vid, 7 ha maracuyá	31,00	
9	MAPLE	La Huaca - El Arenal/Paita	Caña de azúcar	392,00	
10	CAÑA BRAVA 2	Tamarindo - La Huaca/Paita	Caña de azúcar	5 269,36	
11	AGROGRACE	Margen Derecha	20 ha pimiento piquillo	20,00	

Fuente:[25] Actualización del mapa regional del sector agrario de Piura. C. C. Vásquez (2011).

2.1.4.4. Sector energía

En el presente apartado se describen las operaciones que actualmente empresas energéticas se encuentran realizando en los alrededores del valle del Chira. Es importante conocer esta información porque permite saber cuál es la situación de la zona y el proceso de desarrollo en el que se encuentra.

Olympic Perú

Olympic Perú Inc., es una empresa petrolera constituida en el Perú el 6 de agosto de 1992. Inició sus actividades el 30 de mayo de 1996 con la exploración y explotación de hidrocarburos en el lote XIII (sección A y B), que abarca las provincias de Piura, Paita y Sechura en el departamento de Piura. Dicho contrato de concesión tiene una duración de 40 años. Produce el 10% de la producción peruana de petróleo y además desde el año 2002 extrae gas natural[26].

Los pozos petrolíferos que han explorado se encuentran en el distrito de Vice, provincia de Sechura y en la provincia de Paita (Colán), Piura. En ambos lugares, la empresa ha encontrado oposición por parte de la población. En Sechura, debido a que los pobladores afirman que la petrolera afecta los manglares de la zona y señalan que la empresa ha hecho un mal estudio ambiental del lugar; y en Paita, la población reclama puestos de trabajo y señala que la petrolera ha excavado pozos en terrenos no permitidos, perjudicando a la zona [27, 28].

A pesar del malestar de la población, la empresa continúa sus operaciones y tiene planificado en los primeros seis meses del 2014, terminar la construcción de una planta de fertilizantes en el departamento de Piura. La inversión hecha en esta planta industrial es de aproximadamente US\$ 40 millones[29].

Además de la planta de fertilizantes, están invirtiendo cerca de US\$ 30 millones en la construcción de una planta de *topping*, que servirá para transformar crudos pesados en asfalto, diésel y jet fuel. Se estima que esta inicie sus operaciones en los primeros meses del 2015 [29].

Energía Eólica S.A.

Aunque esta central o parque eólico no se encuentra dentro de los límites del valle del Chira, es importante que se mencione debido a que su cercanía a ella traerá a todo el valle crecimiento y desarrollo.

La central se encuentra ubicada en el departamento de Piura, en la provincia de Pariñas, en la pampa de “La Campana” a 10 km de la ciudad de Talara. El área total que albergará a todos los generadores es de 700 ha.

El proyecto contempla la instalación de 17 aerogeneradores, modelo V100 de 1,8 MW cada uno; formado por 3 palas de 49 m de longitud cada una y un ángulo de 120° entre ellas.

La energía generada se inyectará al sistema interconectado Talara-Piura. El concesionario espera finalizar la obra el segundo trimestre del 2014 [16].

En las figuras 18 y 19 se muestran fotografías de la instalación del parque eólico.



Figura 18. Anillos para cimentación de torres.

Fuente: [30] Informe de la importación de aerogeneradores. Neptunia (2013).



Figura 19. Transporte de torre de aerogenerador.

Fuente: [30] Informe de la importación de aerogeneradores. Neptunia (2013).

2.1.4.5. Sector hidrológico

Represa Poechos

La Presa Poechos, está ubicada en el cauce del río Chira a 40 km al Nor Este de la ciudad de Sullana. Es una presa de tierra de tipo terraplenado con una altura máxima de 48 m, y con cota en la corona de la presa de 108 m.s.n.m. La integran, el dique principal que cierra el lecho del río Chira, los diques laterales izquierdo y derecho; formando, un embalse de 1 000 millones de m³ de capacidad.

La obra fue construida por Energo Projekt y supervisada por Binnie & Partners Corporación Peruana de Ingeniería S.A. Se construyó del 24 de junio de 1972 al 04 de junio de 1976.

Actualmente la presa cuenta con una capacidad de 422 millones de metros cúbicos, 463 millones de metros cúbicos menos que la capacidad que tuvo en un inicio. Esto debido a la colmatación, la cual se genera por el arrastre de sedimentos por el río Chira provenientes de la erosión laminar, hídrica o de las prácticas culturales que se realizan en las quebradas

como La Solana. Los causantes de estos problemas han sido principalmente los Fenómenos del Niño de 1983 y 1998[31].

En la tabla 17 se muestran las características técnicas de la presa Poechos al inicio de su funcionamiento. Así mismo, en la figura 20 se aprecia la presa en 1976, tras finalizar su construcción.

En el mes de octubre del 2013 el Gobierno Regional de Piura, junto con el proyecto especial Chira-Piura ha puesto en marcha un proyecto que busca el financiamiento de 215 millones de dólares para combatir el problema que enfrenta la presa.

La restauración de la represa Poechos es de suma importancia, ya que actualmente está colmatada en un 53% de su capacidad. El escenario más peligroso es que provoque una inestabilidad en la estructura, lo que supondría la paralización y el colapso de todas las actividades que directa o indirectamente están relacionadas o dependen de Poechos[31].

Tabla 17. Características técnicas de la presa Poechos

Características técnicas de la presa Poechos	
Año de construcción	1972
Inicio de operación	1976
Vida útil	50 años
Altitud	108 m.s.n.m
Tipo	Presa de tierra
Altura	48 m
Longitud de la corona	11 km
Volumen de diseño	1 000 MMC
Cota máxima de operación	103 m.s.n.m
Volumen operativo en la cota 103	885 MMC
Superficie del espejo de agua al 100% de su capacidad original	62 km
Superficie del espejo de agua al 60%	47 km ²
Capacidad de descarga	5 500 m ³ /s
Áreabajoriego	81 800 ha

Fuente: [31] Proyecto Chira-Piura (2012).



Figura 20. Represa Poechos.
Fuente: [31] Proyecto Chira-Piura (2012).

2.1.4.6. Sector comercial

Puerto de Paita

El puerto de Paita está localizado en la provincia de Paita, a 56 kilómetros de la ciudad de Piura.

Es el principal puerto del norte peruano, movilizand o contenedores de importación y exportación (principalmente productos hidrobiológicos y agrícolas) y carga general.

El 31 de marzo de 2009, Terminales Portuarios Euroandinos se adjudica la concesión del puerto convocada por el Estado Peruano para diseñar, construir, financiar, conservar y explotar el terminal portuario de Paita. Ese mismo año, el 9 de septiembre, se suscribe el contrato con el Estado y se inician operaciones el 7 de octubre.

Actualmente se encuentra en desarrollo el proyecto de ampliación del puerto, el cual consistirá en la construcción de un muelle de contenedores con una longitud mínima de 300 m, losa de muelle de concreto armado, relleno y mejoramiento de suelos, patio de almacenamiento y área de respaldo de 12 ha, dragado a 13 m en el puesto de atraque, canal de acceso y área de maniobras. Además, se incluye la adquisición de una grúa pórtico de muelle y dos grúas pórtico de contenedores.

Las obras de la primera fase se iniciaron en junio del 2012. Esta primera etapa consiste en trabajos de dragado del fondo marino hasta 13 metros de profundidad en la zona del canal de acceso y del amarradero. Además, un relleno ganado al mar para la construcción de un patio de contenedores de 12 ha con un muelle marginal de 300 m, construido con una cubierta de concreto armado y pilotes que servirán para soportar inicialmente una grúa pórtico post panamax[32].

El puerto es además un eslabón del proyecto IIRSA Norte que se encuentra actualmente en ejecución y contempla la construcción de un corredor de transporte multimodal Oeste-Este que conecta la costa norte del Perú con Brasil a través de una carretera hasta la ciudad peruana de Yurimaguas, y luego por vía fluvial.

En la figura 21 se muestra el mapa de la carretera interoceánica Paita – Manaus.



Figura 21. Mapa de la carretera interoceánica Paita – Yurimaguas – Manaos.
Fuente: [33] IIRSA NORTE (Recuperado el 24 de octubre de 2013).

En las tablas 18 y 19 se detallan las importaciones y exportaciones de los principales puertos del país respectivamente. En lo que respecta a millones de dólares importados, Paita se encuentra en el sexto lugar y respecto a exportaciones se encuentra en el cuarto. Ambas de un total de 21 puertos.

Tabla 18. Importaciones CIF trimestrales por aduana marítima 2011-2012 en millones de dólares.

Puerto	2011					2012				
	I	II	III	IV	Total	I	II	III	IV	Total
Callao	6 307,10	7 547,80	7 557,12	7 516,76	28 928,78	7 500,87	7 790,72	8 555,62	8 048,78	31 895,98
Mollendo - Matarani	123,56	185,56	255,86	275,70	840,68	292,12	211,64	341,02	430,82	1 275,61
Tacna	162,80	175,07	188,13	217,00	742,99	195,83	245,13	300,82	977,50	977,50
Talara	139,22	192,75	156,41	143,91	732,30	120,33	152,93	205,99	622,67	622,67
Salaverry	89,36	98,36	172,35	135,91	495,98	111,11	116,74	162,37	583,39	583,39
Paita	140,46	142,81	101,34	135,64	520,25	146,48	83,08	193,46	549,94	549,94

Fuente: [18] ADUANET (2013).

Tabla 19. Exportaciones FOB trimestrales por aduana marítima 2011-2012 en millones de dólares.

Puerto	2011					2012				
	I	II	III	IV	Total	I	II	III	IV	Total
Callao	3 341,36	4 444,92	4 672,21	4 188,58	16 647,07	4 396,64	3 906,63	4 316,69	4 070,88	16 690,85
Chimbote	921,28	790,48	921,66	806,24	3 439,66	961,91	946,70	1 134,66	1 124,85	4 168,19
Ilo	743,85	700,71	757,86	738,46	2 940,88	725,58	659,56	701,68	522,82	2 609,64
Paita	572,52	650,16	850,39	856,54	2 929,60	731,91	570,55	746,42	965,45	3 014,33

Fuente: [18] ADUANET (2013).

2.2. Actividad bananera

El valle del Chira cuenta con las condiciones necesarias para la producción de banano orgánico. Estas condiciones son ventajas que lo hacen ser la zona con mayor potencial agrícola del departamento de Piura. Algunas de estas ventajas son:

- ✓ La existencia de un clima favorable (clima, temperatura, viento, suelo y agua).
- ✓ Importantes reservas de guano de isla cuyo costo es 50% más barato que en Ecuador y Colombia.
- ✓ Bajos costos de reconversión de la producción convencional a la orgánica.
- ✓ Disponibilidad de agua de riego durante casi todo el año.
- ✓ Cercanía al puerto de Paita para la exportación de productos.

En la figura 22 se muestra una planta de banano con sus partes más importantes.

Para que la producción de banano sea de calidad y cumpla con los estándares requeridos, son necesarias ciertas condiciones naturales, así como también el buen desarrollo del proceso productivo del fruto. En la tabla 20 se muestra los factores y las condiciones que permiten que el cultivo del banano se desarrolle de la mejor manera.

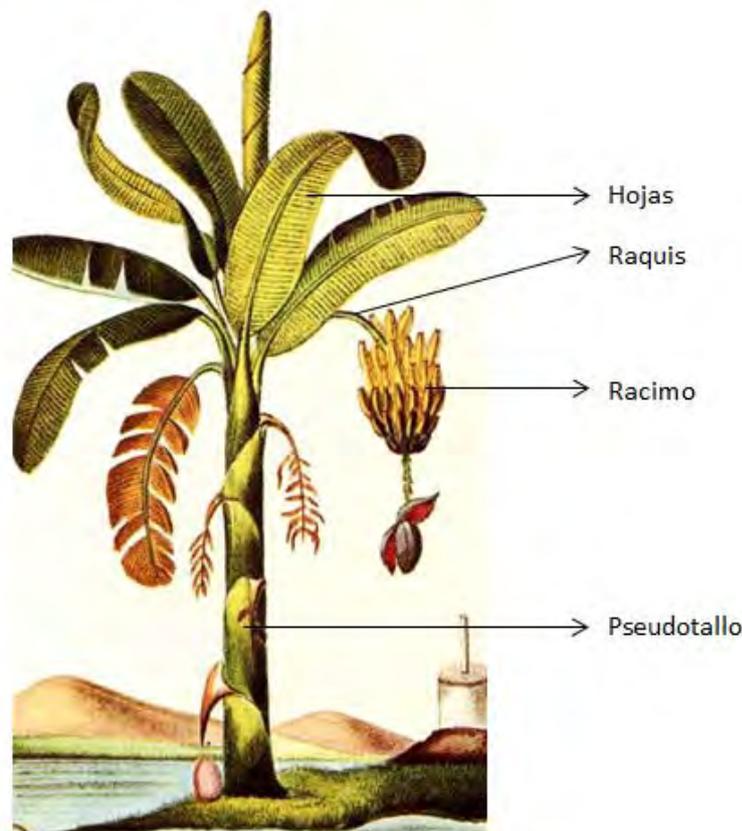


Figura 22. Planta de banano y sus partes.

Fuente: [34] Medicina natural al alcance de todos. Fitoterapia y natura (1996).

Tabla 20. Condiciones naturales del valle del Chira, favorables para el desarrollo del banano.

Variables	Condiciones
Clima	Sub – tropical – tropical
Temperatura	Óptima 22 – 25 °C
Humedad relativa	Más de 60%
Suelo	Franco, franco arenoso salinidad: no hay pH: 6.5 – 7.5
Fuente de agua	Río Chira – canales

Fuente: [35] Visita a CEPIBO (23 de marzo de 2013).

2.2.1. Proceso productivo del banano orgánico

El proceso que se describe a continuación se lleva a cabo en las asociaciones del valle del Chira que producen banano para exportación. En la figura 23 se ven las fases que lo conforman. Asimismo el resto de imágenes de este apartado fueron tomadas en una de las visitas que se realizó a un centro de tratamiento y acopio de CEPIBO. En la figura B1 del anexo B aparece el técnico Wilson Nuñez de CEDEPAS y la tesista al término de la visita.

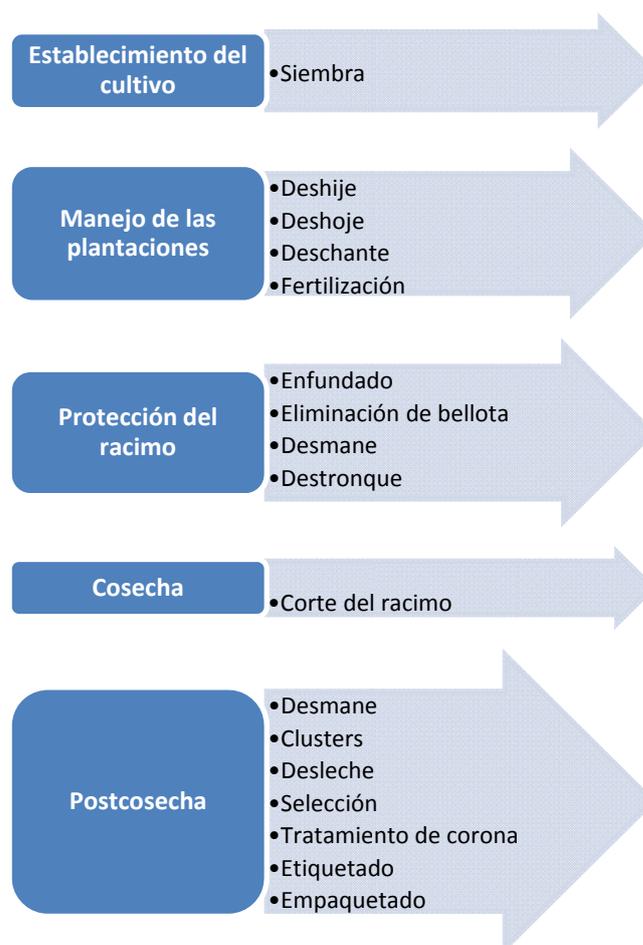


Figura 23. Proceso productivo del banano.

Fuente: [36] Visita a CEDEPAS (18 de noviembre de 2011).

2.2.1.1. Establecimiento del cultivo

Siembra

La siembra de las plantas se hace mediante “los hijos”, numerosas yemas laterales que se desarrollan a partir de los tallos subterráneos de las plantas de banano.

Se escogen los hijuelos más apropiados según su ubicación y sus características físicas para dejarlos crecer, el resto se cortan. Estos hijuelos cortados se dejan en el terreno para su descomposición natural. En la figura 24, se muestra a un grupo de agricultores sembrando plantas de banano.

El número de plantas sembradas por hectárea depende del mercado de destino y de exigencias de los compradores. En promedio el número de plantas varía entre 1 800 a 2 000 plantas por hectárea[36].



Figura 24. Siembra de banano orgánico.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

2.2.1.2. Manejo de las plantaciones

Deshije

Se le llama deshije a la poda de los hijuelos, ya sea para dejar solo uno que sea el más propenso al desarrollo, o para el mantenimiento de la planta madre durante su ciclo de vida. Este último se realiza con una frecuencia de dos meses.

En la figura 25, se muestra a un agricultor quitando un hijo de una planta de banano.



Figura 25. Deshoje de la planta de banano.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

Deshoje

El deshoje es una práctica que consiste en eliminar hojas secas, dobladas y con señas de enfermedades. De esta manera se garantiza el buen desarrollo de la planta. En la figura 26, se muestra a un agricultor deshojando una planta de banano.

Las hojas eliminadas se dejan en el terreno para su descomposición natural y reincorporación al suelo.



Figura 26. Deshoje de la planta de banano.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

Deschante

El deschante consiste en ir cortando las partes secas del pseudotallo luego de la cosecha del racimo. Se hace por partes debido a que la parte húmeda brinda nutrientes a la planta madura adyacente a este. En la figura 27 se muestra un pseudotallo cortado. Conforme se secó, el agricultor cortó las partes muertas.



Figura 27. Deschante del pseudotallo.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

Fertilización

La fertilización de las plantaciones se hace aproximadamente cada tres meses. Se utilizan elementos orgánicos para no afectar el producto. Usualmente se aplica la misma cantidad de elementos por vez.

2.2.1.3. Prácticas para la protección de racimos

Enfundado

Consiste en proteger el racimo con una funda de polietileno perforada, de dimensiones convenientes, para evitar posibles daños causados por insectos, hojas y productos químicos. Además al realizar esta práctica se asegura que los bananos al ser cosechados pesen un 10% de los que pesarían de no ser enfundados. En la figura 28 se muestra un racimo de banano enfundado.



Figura 28. Enfundado del racimo de bananos.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

Eliminación de la bellota

Consiste en la eliminación de la parte terminal del racimo llamada bellota.

Esto se hace debido a que el desarrollo de la bellota consume nutrientes que deben ser aprovechados por las manos finales de bananos del racimo.

Una vez cortada, la bellota se deja en el terreno para su descomposición natural y reincorporación al suelo.

Desmane

Consiste en eliminar la última mano y las anteriores que se estime que no llegarán a adquirir el tamaño mínimo requerido. De esta manera se favorece el desarrollo de las manos restantes.

Esta práctica se realiza también cuando se quiere cosechar en menos tiempo de lo normal, aproximadamente 3 semanas antes. Al cortar las últimas manos se consigue que el resto alcancen mayor tamaño y peso ya que hay más nutrientes para menos frutos.

Una vez cortadas, se dejan en el terreno para su descomposición natural y reincorporación al suelo.

En la figura 29 se muestran varias manos de banano dejados en el terreno. Las cuales se consideran residuo del proceso productivo.



Figura 29. Desmane del racimo.

Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

Destronque

Una vez cosechado el racimo, es necesario cortar todas las hojas de la planta, eliminándolas a medida que se va pudriendo de arriba hacia abajo. La práctica de conservar el pseudotallo, tiene como finalidad la de brindar elementos nutritivos y agua a los hijos, labor que juega un papel muy importante en épocas de sequía.

Las hojas son cortadas y dejadas en el terreno para su descomposición y reincorporación al suelo.

2.2.1.4. Cosecha

Corte del racimo

El corte del racimo es una labor de importancia fundamental por su influencia en la calidad de la fruta. Se debe tener cuidado en no maltratar el racimo y sus frutos. En la figura 30 se ve a un agricultor cortando el racimo de una planta de banano.

Lo más aconsejable es usar dos operarios, uno de los cuales tendrá la función de hacer un pequeño corte con el machete a una altura aproximada de 1,8 m del pseudotallo y el segundo operario procederá a sostener y recibir el racimo sobre una almohada, mientras que el primero finaliza el corte del racimo. El racimo una vez cortado nunca debe depositarse en el suelo, sino que el operario debe proceder a trasladarlo hasta el cable vía o al sitio de acopio.

El cable vía es un sistema que se instala en las plantaciones de banano para facilitar el traslado de los racimos de fruta desde el lugar de su corte hasta el sitio de acopio y tratamiento de los frutos. En la figura 31 se ven varios racimos colgando del cable vía en su llegada al lugar de tratamiento.



Figura 30. Cosecha del racimo.

Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).



Figura 31. Transporte de los racimos mediante el cable vía.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

2.2.1.5. Manejo postcosecha

Las labores que se presentan a continuación se llevan a cabo en el lugar de acopio. Aquí es donde se reúnen los racimos cosechados y los bananos pasan por distintos procesos, desde el desmane del racimo hasta su empaque final.

Desmane de los racimos

Este proceso consiste en cortar y separar las manos del racimo y pasarlas inmediatamente al tanque con agua para el lavado del látex o “desleche”.

Durante este desmane el operario debe tener precaución de no tomar ni levantar los frutos porque puede ocasionarse el doblamiento de los pedúnculos y causar heridas por donde pueden penetrar agentes causales de pudriciones. En la labor del desmane hay que utilizar un cuchillo bien afilado para poder hacer un corte lo más parejo posible y lo más pegado al raquis. De lo contrario se corre el riesgo de cortar la corona muy cerca de los frutos y ocasionar su desprendimiento. Esto ocasionaría el descarte de los frutos, perdiéndose así la opción de su comercialización.

Antes de empezar el corte de un racimo se hace un muestreo para ver que este no tenga virus de mosaico, ni se encuentre propenso a maduración.

Separación de “clusters”

Una vez que se han separado las manos del raquis deben depositarse en un tanque con agua para proceder a la separación y formación de los “clusters”. Estos *clusters* deberán tener entre 4 y 8 frutos como máximo. Este número depende del pedido del cliente.

En esta labor el pedúnculo (parte superior de los *clusters* donde se realizó el corte) de los frutos debe ser ligeramente emparejado con el fin de eliminar posibles áreas de infección y posterior desarrollo de hongos.

Lavado del látex o “desleche”

Una vez fraccionadas las manos en “*clusters*”, deben permanecer en el mismo tanque por 15 minutos aproximadamente con el fin de eliminar el látex o “leche”, antes de ser trasladados al siguiente tanque para su lavado final y así tratar de evitar la mancha por látex. Los tanques de lavado o desleche deben estar tratados con una solución de alumbre (sulfato de aluminio) al 5%.

En estos tanques se hace la primera selección de “*clusters*”, los que deben cumplir con todas las normas de calidad estipuladas para tal efecto:

- ✓ Longitud mínima de los frutos: 20 cm
- ✓ Frutos no excesivamente curvos ni mal formados
- ✓ Número máximo de frutos por “*clusters*” de 4 a 8.
- ✓ Coronas cortadas sin desviaciones (limpias) y uniformes.
- ✓ Daños mecánicos y cicatrices ocasionados por insectos, deben ser leves.
- ✓ Los frutos deben estar libres de manchas por látex.

Los *clusters* que no pasan los requerimientos de calidad, dependiendo de sus características, son destinados al mercado nacional o al consumo de los involucrados en el proceso post cosecha.

Clasificación de “*clusters*”

Una vez finalizado el proceso de lavado del látex, los “*clusters*” se seleccionan por el tamaño de los frutos (grandes, medianos y pequeños) y se depositan con la corona hacia arriba, en bandejas plásticas perforadas para facilitar el escurrimiento del agua.

Esto se hace para que el empacador tenga una visión completa de la fruta que va a empacar y facilitarle su labor.

Tratamiento de la corona

Después del proceso del lavado del látex y una vez que la fruta se ha depositado en las bandejas plásticas, se procede al tratamiento con citrex o limón. Estos ayudan a prevenir la pudrición de la corona. Se recomienda una solución de 20 g de ácido cítrico por litro de agua. Si no se dispone del anterior producto se puede usar jugo de limón puro. Para esta labor se utiliza una bomba de aspersión manual o una brocha de cerda fina y pequeña.

En la figura 32 se capturó a una operaria de CEPIBO tratando las coronas de los *clusters*.



Figura 32. Tratamiento de la corona.

Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

Etiquetado de la fruta

Una vez terminado el proceso de pesaje se procede a etiquetar la fruta con el sello de la empresa productora, el que debe pegarse en los frutos. El número de frutos a etiquetar es de dos por cada “*cluster*”, para un total aproximado de 30 a 40 sellos por caja.

Luego de esto se procede al empaquetado de la fruta [36].

Empaquetado de la fruta

La fruta es empacada en cajas de cartón de dimensiones 50cm x 40cm x 25 cm. En la figura 33 se muestra los *clusters* de bananos colocados en cajas listas para ser selladas. Así mismo en la figura 34 podemos apreciar las cajas listas apiladas a espera del camión recolector. Los promedios de las cajas empacadas se detallan a continuación.

Peso por caja: 18,14 kilos

Número de bananos por caja: 150 bananos/caja

Número de racimos empleados por caja: 0,8 racimos/caja

Número de cajas por pallet: 48 cajas/pallet



Figura 33. Empaque del banano.

Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).



Figura 34. Acopio de cajas antes de ser transportadas.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

2.2.2. Crecimiento y desarrollo de la actividad

Hace más de 30 años se produce banano en el valle del Chira. Sin embargo, es solo a finales de la década de 1990 que empezó la conversión hacia la producción orgánica certificada para exportación.

En el valle del Chira existen 5 025 hectáreas de banano orgánico y más de 7 413 hectáreas de plátano convencional. En el ámbito nacional esta producción ocupa 160 mil hectáreas, las cuales constituyen el 50% de la superficie sembrada de frutales en el país[38].

En el año 2000 se realizó el primer envío de banano orgánico al extranjero mediante la empresa Dole. Y a partir de este momento la actividad empezó a crecer y volverse más rentable y más llamativa para los productores de la zona.

Es aquí cuando se forman las centrales de bananeros CEPIBO, REPEBAN, ASOBAN y CENBANOR. Trataremos las dos primeras más adelante.

2.2.3. Organizaciones de banano orgánico

En la actualidad existen 33 asociaciones bananeras orgánicas en el valle las cuales se encuentran organizadas en 4 centrales (CEPIBO, REPEBAN, ASOBAN y CENBANOR). Son un total de 4 824 pequeños productores con 4 044,6 ha., y cuya producción se ha posicionado en el mercado justo. Algunas de ellas ya cuentan con asociaciones en Tumbes y el Alto Piura.

Todas ellas tienen además de la certificación orgánica, la certificación FAIR TRADE y la certificación GLOBAL GAP.

La certificación FAIR TRADE es la que garantiza que el productor consiga buenos precios y obtenga ganancias justas, y la GLOBAL GAP es la que garantiza que los alimentos cumplan con los niveles establecidos de calidad y seguridad, y de que sean elaborados

siguiendo criterios de sostenibilidad; respetando la seguridad, higiene y bienestar de los trabajadores y del medio ambiente.

A continuación trataremos las centrales más importantes: CEPIBO y REPEBAN.

2.2.3.1. CEPIBO

La Central Piurana de Asociaciones de Pequeños Productores de Banano Orgánico-CEPIBO, está conformada por 670 pequeños productores de los cuales 9,72% son mujeres. Ellos están organizados en 15 asociaciones localizadas: en las márgenes izquierda y derecha del Río Chira; en Morropón; en Simbilá – Catacaos; y en Tumbes.

CEPIBO se conformó en junio del 2003 con solo 8 asociaciones y con los siguientes objetivos:

- ✓ Representar a los bananeros en la toma de decisiones y de igual forma en las negociaciones con empresas exportadoras y clientes en el extranjero.
- ✓ Negociar con autoridades locales y regionales.
- ✓ Establecer economías de escala en la compra de insumos para la producción (abonos, fundas para plátano, etc.).

CEPIBO busca mejores condiciones, precios equitativos y colocar los productos de todos sus asociados en los mismos mercados extranjeros. Hay más compromiso entre los asociados y CEPIBO.

CEPIBO se recertifica anualmente lo que permite garantizar la calidad de sus productos y exportar a distintos países de Europa como Alemania, Francia, Holanda y otros.

Las certificadoras con las que trabaja CEPIBO son: BCS, Control Unión, Bio latina.

En la tabla 21 se muestran las 15 asociaciones que conforman CEPIBO, junto con el número de productores de cada una de ellas y el número de hectáreas que poseen.

Tabla 21. Asociaciones que conforman CEPIBO

Asociaciones	Número de productores	Número de hectáreas
ASPBOM: Asociación de productores de banano orgánico Montenegro.	47	38,06
ABOSPA: Asociación de bananeros orgánicos San Benito de Palermo / Salitral.	74	8,40
GEM PERU: Grupo emprendedores del Perú/ Mallares – Marcavelica.	35	26,82
APROBO: Asociación de pequeños productores de banano orgánico Ignacio Escudero.	56	45,79
APADISE: Asociación de productores agrarios diecisiete de septiembre / La Horca.	60	41,90

Asociaciones	Número de productores	Número de hectáreas
APPCHAQ: Asociación de pequeños productores de plátano de los predios de La Peña y Chalacala.	21	33,5
APBO Y PAE: Asociación de productores de banano orgánico y productos agrícolas de exportación / San José de la Golondrina.	56	40,04
APOCSUR: Asociación de pequeños productores orgánicos de Cieneguillo sur - Canal Mocho.	101	47,40
APPASIS: Asociación de pequeños productores agropecuarios San Juan de Simbilá / Catacaos.	36	59,81
APBOSANV-PR: Asociación de pequeños productores de banano orgánico San Vicente - piedra rodada.	58	69,61
UBCHAB: Asociación de unión de bananeros orgánicos de Chalacalá baja.	17	17,64
SAN MIGUEL: Asociación de productores bananeros San Miguel-Tangará y San Fernando.	29	45,89
AGROSOL: Cooperativa agro industrial de sociedad limitada.	60	43,45
AMPROBOH: Asociación de microproductores de banano orgánico sector Huangalá.	1	32,75
ABOY: Asociación de bananeros orgánicos Yucal / Marcavelica.	19	28,96
TOTAL	670	655,02

Fuente: [35] Visita a CEPIBO (23 de marzo de 2013).

2.2.3.2. REPEBAN

La Red de Pequeños Productores Orgánicos Comercio Justo Perú - REPEBAN CJ PERU agrupa a 1 651 productores y a 8 organizaciones de las cuales 6 exportan directamente a los mercados de Europa, EEUU y Japón. Las dos restantes lo hacen de forma indirecta.

La exportación directa implica que cada organización consiga sus propios clientes y exporten sus productos sin intermediarios. La exportación indirecta consiste en vender los frutos a empresas intermediarias, encargadas de localizar clientes y colocar los productos en el extranjero. Las intermediarias con las que trabaja REPEBAN son: Bio Costa Sociedad Anónima, Grupo Hualtaco e Inkabanana.

La representación del sector bananero a través de REPEBAN consiste en lograr beneficios por parte de las autoridades y en ejecutar proyectos en apoyo a los asociados. A diferencia

de CEPIBO, sus asociaciones son independientes y exportan por separado a distintos clientes.

En la tabla 22 se muestran las 8 asociaciones que conforman REPEBAN, junto con el número de productores de cada una de ellas y el número de hectáreas que poseen.

Tabla 22. Asociaciones que conforman REPEBAN

Asociaciones	Número de productores	Número de hectáreas
ACASTIE: Asociación de campesinos sin tierra de Ignacio Escudero y anexos.	208	50
ACOPROBOQUEA: Asociación comunal de productores de banano orgánico de Querecotillo y anexos.	142	136
APBOSMAN: Asociación de pequeños productores de banano orgánico del Monte y anexos.	140	211
APOQ: Asociación de pequeños productores orgánicos de Querecotillo.	367	220
APPBOSA Asociación de pequeños productores de banano orgánico de Samán y anexos	293	450
APROBOVCHIRA Asociación de productores de banano orgánico valle del Chira.	283	280
BOS Asociación de bananeros orgánicos solidarios.	468	400
UBOIC: Unión de bananeros orgánicos Inmaculada Concepción.	86	90
TOTAL	1 558	1 786

Fuente: [39] REPEBAN (2013).

2.2.4. Certificación del banano orgánico

La certificación de plantaciones de banano orgánico es un proceso que consta de varias etapas que duran aproximadamente 5 meses.

Entre los pasos más importantes se tienen la inspección interna, la cual es una auditoría que los mismos productores hacen a sus plantaciones. En ella se analizan todos los procedimientos que se llevan a cabo en las tierras, así como también la documentación y los registros de las tareas y sus involucrados.

Una vez hecho esto, se emite una solicitud a la certificadora, la cual brinda información y manuales de normas y procedimientos.

Una vez levantadas las observaciones de la inspección interna, revisados los manuales e implementados los procedimientos en los cultivos a certificar, se programa la inspección externa. En esta última se revisa la información básica de los cultivos, el manejo que se le ha dado durante los últimos 3 años, el manejo de la fertilización, la conservación del suelo y se verifican los productos utilizados para esta labor. Se revisa el manejo de plagas, las fuentes de agua, las actividades de los terrenos vecinos, el manejo post cosecha y se inspeccionan las herramientas utilizadas en todo el proceso productivo. Además, se hace un análisis de los registros de comercialización del producto.

Una vez revisados todos los puntos anteriores. El inspector emite un informe en el que se aprueba o se rechaza la certificación orgánica.

2.2.5. Comercio justo – *Fair Trade*

El comercio justo es un sistema que tiene un fondo social, el cual involucra a productores y consumidores en la búsqueda de un modelo más justo de intercambio comercial.

Tiene como objetivos garantizar un salario justo a los involucrados en todo el proceso productivo, mejorar las condiciones de seguridad e higiene del lugar de trabajo, fomentar la igualdad de oportunidades entre hombres y mujeres, proteger los derechos del niño, salvaguardar las minorías étnicas y preservar el medio ambiente.

Fair Trade International es la organización que fija los estándares internacionales del comercio justo, brinda soporte a los productores alrededor del mundo y desarrolla y promueve el comercio justo internacionalmente.

La certificación *Fair Trade* es hecha por una empresa llamada FLO-CERT. Basándose en los estándares de *Fair Trade*, FLO-CERT garantiza que se cumplan los estándares sociales y ambientales y que el productor venda a un precio justo y que pueda conseguir la prima.

En el valle del Chira la certificación ha traído varios beneficios a los productores de banano orgánico. La prima del CJ ha sido un aporte importante para que los productores puedan capacitarse en técnicas agrícolas que mejoren su producción y en la administración de sus recursos. Asimismo esta prima ha permitido que organizaciones como CEPIBO puedan adquirir más hectáreas y dividir las entre los productores haciendo de esta manera que tengan más producción y por lo tanto mayores ganancias. Esto a su vez ha generado mejoras en la calidad de vida de los productores, de manera que tienen más accesibilidad a servicios de salud, y sus hijos pueden acceder a mejores oportunidades para estudiar y desarrollarse.

La figura 35 fue capturada en uno de los lugares de tratamiento y acopio de CEPIBO. En ella se ve claramente a los bananos con etiquetas de Comercio Justo.



Figura 35. Bananos con etiqueta de Comercio Justo.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

2.2.6. Exportación del banano orgánico

La estrategia de Perú para la exportación de banano ha sido pasar de la producción convencional a la producción orgánica dando de esta manera valor agregado al producto. La exportación de banano orgánico empezó en el año 2000, y ya en el 2003 se exportaba aproximadamente 18 000 toneladas. Con la demanda de banano en aumento las exportaciones ascendieron notablemente y en el año 2008 llegó a exportarse 78 000 toneladas de banano, lo que representaron el 86,7% de todas las exportaciones del país en ese año. Con la cifra de 78 000 toneladas exportadas, el Perú consiguió ubicarse como el primer exportador mundial de banano orgánico con 45,5 millones de dólares[38].

En la figura 36 se muestran las exportaciones de banano orgánico del valle del Chira 2009-2011 en millones de dólares FOB. Así mismo en la figura 37 se muestran las exportaciones de banano orgánico del valle 2009-2011 en toneladas.

En el año 2011 las exportaciones de banano orgánico sumaron US\$ 62 187 253,09 lo que representó un aumento del 28% en comparación con el año 2010[18].

De enero a octubre del 2012 las exportaciones de banano llegaron a US\$ 67 millones[40]. El principal país de destino fue Holanda, obteniendo el 43% del total (US\$ 28,81 millones), seguido por Estados Unidos con el 18% (US\$ 12,06 millones). En total el fruto llegó a 14 mercados. CEPIBO lideró el ranking de los principales exportadores con el 15% del total[41].

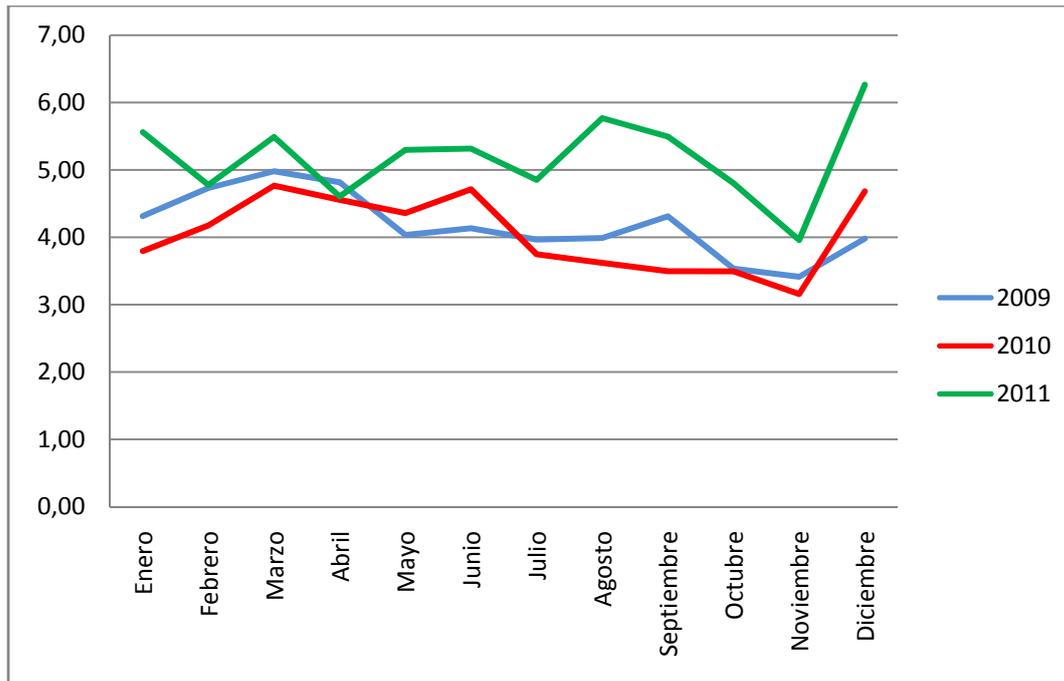


Figura 36. Exportación de banano orgánico del Valle del Chira 2009-2011 en millones de US\$ FOB.

Fuente: [18] ADUANET (2013).

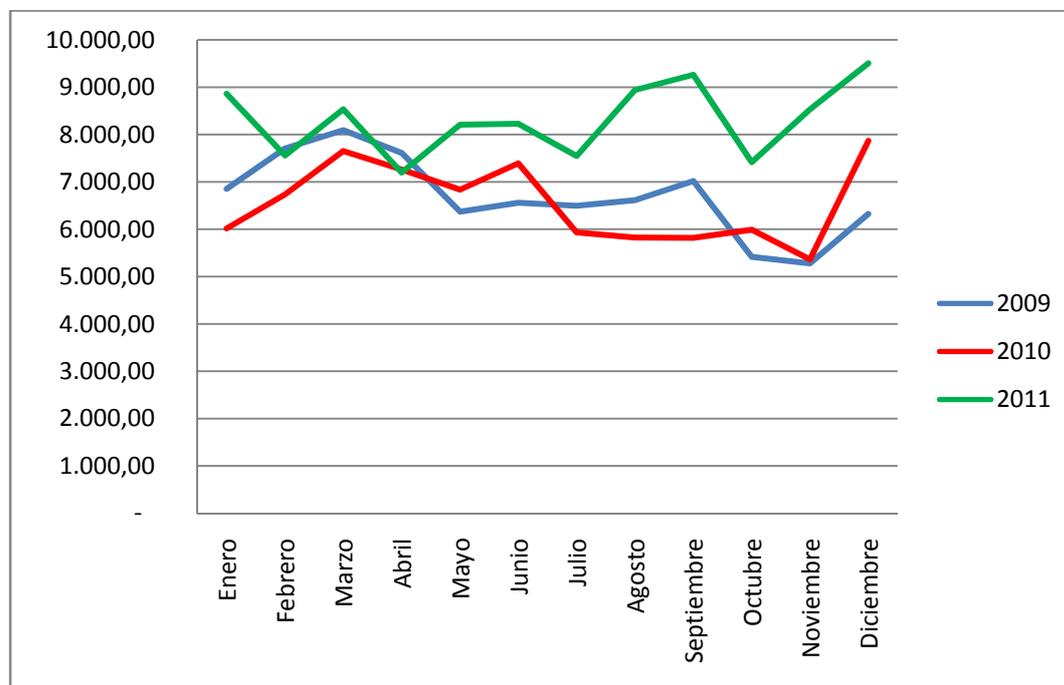


Figura 37. Exportación de banano orgánico del Valle del Chira 2009-2011 en toneladas.

Fuente: [18] ADUANET (2013).

En la figura 38 se muestra los principales países de destino del banano orgánico en el año 2012.

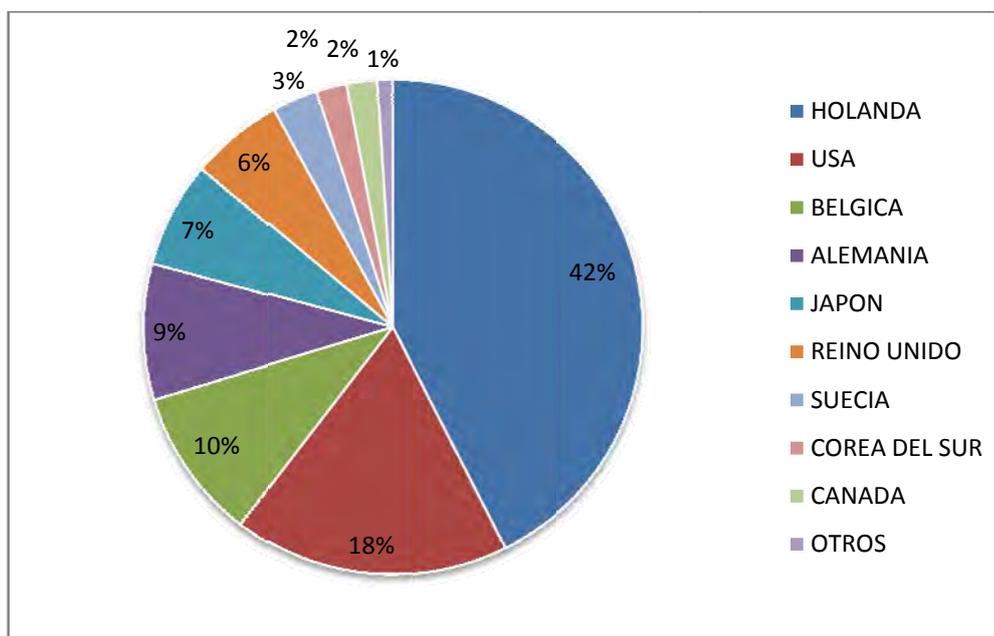


Figura 38. Principales mercados del banano orgánico en el 2012.

Fuente: [41] SIICEX (2010).

Tabla 23. Ranking de exportadores de banano orgánico en el Perú 2011-2012.

Empresas	%
Central Piurana de Asociaciones de Pequeños Productores de Banano Orgánico	15
Asociación de Pequeños Productores de Banano Orgánico de Samán y Anexos	13
Corporación Peruana de Desarrollo Bananero S.A.C	10
Asociación de Productores de Banano Orgánico Valle del Chira	10
Asociación de Bananeros Orgánicos Solidarios Salitral	9
Bio Costa Sociedad Anónima Cerrada	9
Grupo Hualtaco S.A.C	5
Asociación de Pequeños Productores Orgánicos de Querecotillo	4
Inkabanana S.A.C	4
Otras	20

Fuente: [41] SIICEX (2010).

Cuando se inició la exportación de banano orgánico en el valle del Chira, la totalidad del banano era exportado a través de empresas nacionales o transnacionales como *Dole Food Company* y Bio Costa SAC. Estas no solo comercializaban el banano sino que también eran las encargadas de cosechar y empacar la fruta. Ya con el paso de los años y la

experiencia obtenida por las asociaciones bananeras, se han ido dando nuevos modelos de exportación.

El Grupo Hualtaco ha desarrollado una forma de exportación que consta de capitales compartidos entre productores y accionistas holandeses. Lo que busca es asegurar el fortalecimiento y desarrollo de los productores para que en un futuro puedan exportar directamente sus productos.

Además de estos modelos de exportación, también están las asociaciones que ya exportan directamente buscando mejores mercados y mejores precios para sus productos.

CEPIBO abrió el camino para la exportación directa basándose en experiencias de pequeños productores de la región. CEPIBO exporta directamente desde el año 2008, obteniendo precios iguales y mismas condiciones para todas las asociaciones que la conforman.

En el caso de REPEBAN donde las asociaciones son más independientes, hay unas que exportan directamente y otras que lo hacen mediante intermediarios.

Exportaciones de CEPIBO.

CEPIBO exporta actualmente 20 contenedores semanales. Cada uno de ellos se llena con un promedio de 1 040 cajas de fruta (entre 960 y 1 080), las cuales pesan individualmente 18,14 kilos. Al final del año suman aproximadamente un total de 19 621 toneladas[35].

Exportaciones REPEBAN

REPEBAN exporta actualmente 60 contenedores semanales. De igual manera los contenedores son llenados con aproximadamente 1 040 cajas con peso neto 18,14 kilos que al año hacen alrededor de un total de 58 861 toneladas de banano exportado.

2.3. Residuos del cultivo de banano

2.3.1. Tipos de residuos generados por la planta de banano

Ya que la planta de banano da fruta una sola vez durante su ciclo de vida, ésta deja luego de la cosecha una gran cantidad de residuos. Lo que actualmente se hace con ellos es cortarlos y reincorporarlos al suelo; pero se evalúan posibles formas de darles valor agregado y obtener beneficios que favorezcan tanto a productores como a las comunidades.

Los residuos que quedan son de tres tipos: hojas, raquis y pseudotallo.

Las hojas pueden llegar a ser entre 10 a 15 y pueden medir hasta 3 m de largo. El raquis es la parte central del racimo que sostiene a los frutos, y es la única parte de la planta que sale de la plantación al momento de la cosecha. Y el pseudotallo que está conformado por vainas foliares, puede llegar hasta 7 m de altura y se va cortando según se vaya secando.

También se pueden considerar como residuo la flor de la planta (bellota) y las últimas manos de bananos de los racimos, los cuales se cortan para que no absorban nutrientes que el resto de frutos necesitan para crecer. Éstos también son dejados en el suelo.

2.3.2. Cantidad de residuos de banano en el valle del Chira

Para estimar la cantidad de residuos generados por CEPIBO y REPEBAN, se han tomado como datos los contenedores exportados por semana, el número de cajas por contenedor, el ratio de rendimiento de cajas por racimo y las humedades de cada uno de los residuos.

Además se pesaron los residuos de dos plantas de banano orgánico para determinar el promedio de kilos de cada residuo por planta.

La determinación de humedad se realizó en el Laboratorio de química de la UDEP, según el método AOAC 934.01 (Association of Analytical Communities), en muestras por triplicado.

En la tabla 24 se detallan datos conseguidos de la visita a CEDEPAS, en donde se entrevistó a Wilson Nuñez, técnico agrario bananero con más de 10 años de experiencia. La tabla 25 muestra los cálculos realizados a partir de los datos de la tabla 24. En ella se aprecia que el número de plantas cosechadas por CEPIBO y REPEBAN para llenar un contenedor es de 1 300 y que el número de plantas cosechadas por semana de ambas centrales bananeras es de 104 000. Al multiplicar este último dato por las 52 semanas del año se obtuvo el número de plantas cosechadas por ambas centrales en un año, el cual equivale a 5 408 000 unidades. La tabla 26 muestra las humedades obtenidas para cada tipo de residuo. Además para conocer el peso de los residuos en cada planta se pesaron las partes de dos plantas de la especie *valery cavendish*, proporcionadas como donación por dos asociaciones bananeras. Los datos hallados se encuentran en la tabla 27. El promedio calculado coincide dentro del rango de cifras encontradas en internet. Para finalizar con el cálculo de los kilogramos de residuos generados por CEPIBO y REPEBAN en un año, se multiplico cada peso promedio de los residuos de una planta por la cantidad de plantas cosechadas al año, obteniendo de esta manera el peso total de cada residuo fresco generado al año por ambas centrales; y se utilizó el cálculo de la humedad para obtener el peso en base seca. Estos datos se encuentran en la tabla 28.

Las figuras 39, 40 y 41 muestran los momentos exactos donde se procedía a pesar los residuos de pseudotallo, hojas y raquis de una planta de banano en el valle del Chira. De igual forma las imágenes B2 y B3 del anexo B muestran a la tesista en plantaciones de banano, previo al pesaje de los residuos.

Tabla 24. Datos generales de la exportación de banano de CEPIBO y REPEBAN.

Datos generales	
Ratio de rendimiento (Caja/Racimo)	0,8
Número de cajas por contenedor	1 040,0
Contenedores exportados de CEPIBO por semana	20,0
Contenedores exportados de REPEBAN por semana	60,0

Fuente: [36] Visita a CEDEPAS (18 de noviembre de 2011).

Tabla 25. Datos obtenidos de la exportación de banano de CEPIBO y REPEBAN.

Datos obtenidos	
Número de plantas cosechadas por contenedor	1 300
Número de plantas cosechadas por semana	104 000
Número de plantas cosechadas al año	5 408 000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Humedades de los residuos más prominentes.

Residuo	Humedad (%)
Pseudotallo	91,20
Hojas	81,84
Raquis	92,49

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Peso promedio de los residuos de una planta de banano *Valery Cavendish*.

Parte de la planta	Planta 1 (kg)	Planta 2 (kg)	Promedio (kg)
Pseudotallo	28	36	32
Hojas	14	12	13
Raquis	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Cantidad de residuos de banano generados por CEPIBO Y REPEBAN

Parte de la planta	Peso fresco (kg)	Peso fresco (t)	Base seca (kg)	Base seca (t)
Pseudotallo	173 056 000	173 056	15 228 928,0	15 228,928
Hojas	70 304 000	70 304	12 767 206,4	12 767,210
Raquis	10 816 000	10 816	812 281,6	812,280
Total	254 176 000	254 176	28 808 416,0	28 808,420

Fuente: Elaboración propia



Figura 39. Pesaje de pseudotallo.
Fuente: Elaboración propia



Figura 40. Pesaje de hojas.
Fuente: Elaboración propia



Figura 41. Pesaje de raquis.
Fuente: Elaboración propia

2.3.3. Uso de los residuos del cultivo de banano

Lo que se ha hecho con los residuos del cultivo de banano desde siempre, ha sido cortarlos en partes y dejarlos en el suelo de las plantaciones para su descomposición natural, de manera que sea reincorporada a la tierra como nutrientes.

Esta es una práctica recomendada por las certificadoras a todos los productores orgánicos, ya que afirman que la materia orgánica al descomponerse fertiliza al suelo naturalmente, haciendo que sean necesarios menos fertilizantes, lo que constituiría ahorro de dinero. Esto es cierto; pero el ahorro sería efectivo si realmente en cada fertilización se requiriese menos productos, y para saber los requerimientos del suelo, sería necesario hacer análisis de suelos periódicamente. Como veremos en el resultado de entrevistas y encuestas en el capítulo siguiente, son muy pocas las asociaciones que realizan a sus tierras estos estudios y la mayoría de ellas utiliza la misma cantidad de fertilizantes.

En la mayoría de los casos, los residuos son incorporados al suelo de forma directa. Se secciona el material vegetal con varios cortes efectuados por un cuchillo (machete). Con el material seccionado se cubre el suelo agrícola de las plantas de banano (*mulching*) y mediante los riegos quincenales se va descomponiendo lentamente incorporándose como materia orgánica. Los productores reconocen los beneficios de esta práctica, los que son: mantener la humedad en el suelo luego del riego y evitar la erosión edáfica.

La práctica debería de hacerse con todos los residuos de la planta, incluido el raquis; pero debido a que este sale de la plantación junto con los frutos cosechados, muchas veces no son llevados de regreso a las plantaciones. Esto causa molestias debido a que se acumulan en los centros de acopio y empaque de los bananos.

Los productores afirman que el raquis es el residuo más difícil de descomponerse y es el más propenso a causar hongos. Por ello muchos prefieren regalarlo a asociaciones, que hagan compost o simplemente lo desechan como basura[37].

El compost es un abono orgánico que resulta de la descomposición biológica de desechos vegetales y animales, mezclados con cal y agua en forma controlada; obteniéndose como resultado, sustancias nutritivas para alimentar tierras y cultivos. Asociaciones que se dedicaban exclusivamente a la elaboración de compost en el valle del Chira dejaron de realizar esta tarea debido a falta de recursos económicos.

Otro uso que se les da a las hojas del banano, es de servir como envoltura de los tamales de maíz, plato típico en nuestra región. Las hojas que se usan para esta labor no son hojas de residuo, son hojas verdes (vivas) maduras que son cortadas antes de la cosecha de los frutos. Las asociaciones prohíben esta práctica e imponen multas a los productores que lo hagan debido a que esto puede traer repercusiones en los frutos.

Además de esto, en REPEBAN hay un grupo de mujeres que se encarga de hacer artesanías con fibra de banano. Extraen tiras del pseudotallo de distintos espesores, éstas son lavadas y semi secadas al sol. También utilizan hojas de banano. Con esto hacen adornos, bolsos, carteras, representaciones folklóricas, animales, sombreros, etc. Se está pensando en llevar estas artesanías a mercados extranjeros pero por el momento solo se venden dentro de la región[42]. En las figuras 42 y 43 se aprecian las artesanías hechas a partir de residuos del banano orgánico.

El fruto de banano verde que no se exporta, o es considerado residuo, también se podría aprovechar para producir derivados como harina y puré.

En los años 90 se instaló una planta procesadora de harina de plátano verde denominada “Bananito” en el valle del Chira, la cual fracasaría debido a un mal análisis del mercado [43].

En CEPIBO, a partir de una evaluación del comportamiento de los mercados se ha visto que la demanda de productos orgánicos va en ascenso. Es por esto que esta organización ha venido realizando pruebas para ver si es posible la producción y exportación de puré de banano maduro orgánico. De esta manera se aprovecharía mejor el excedente de banano que no se exporta o el banano de descarte haciendo que los productores tengan más beneficios que los que obtienen ahora vendiendo el producto a mercado nacional[35].

Otros productos que podrían hacerse con el banano son hojuelas, galletas y tortas.



Figura 42. Artesanías hechas a base de fibra de pseudotallo.
Fuente: [42] Visita a BOS (09 de febrero de 2013).



Figura 43. Chalán a caballo hecho de residuos de planta de banano.
Fuente: [42] Visita a BOS (09 de febrero de 2013).

2.3.4. Consecuencias de la descomposición de los residuos

Como se mencionó anteriormente, uno de los problemas de los residuos de cultivo es la generación de hongos y bacterias que afectan el raquis. Por ello que se recomienda que este residuo se corte en secciones pequeñas y se reparta de manera uniforme por toda la plantación. De esta forma se evitaría la acumulación de este residuo y se evitarían los hongos y bacterias.

En la figura 44 se muestra un raquis sin tratar dejado en una plantación de CEPIBO. Si bien se ve uno, fueron varios los raquis enteros que se encontraron en el área.



Figura 44. Raquis no tratado encontrado en plantación.
Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

Una plaga que afecta al cultivo del banano es el *trips* de la mancha roja. Este es un insecto el cual mancha de color rojizo la cáscara de los frutos, tornando la superficie áspera; también puede originar rajaduras en la cáscara del fruto. Estas manchas se producen cuando los insectos lastiman la corteza del fruto para alimentarse de los jugos del mismo. De no tratarse en el momento adecuado, éstos se pueden convertir en una plaga difícil de eliminar. La figura 45 muestra la anatomía del diminuto insecto.



Figura 45. *Trips* de la mancha roja.
Fuente: [44] *Trips* de la mancha roja en banano. Gobierno Regional de Piura (2013).

Durante el año 2013 el *trips* de la mancha roja afectó gravemente la producción de bananos orgánicos en el valle del Chira, ocasionando que las exportaciones disminuyan considerablemente. Durante la reunión del Consejo de Coordinación Regional del Sector Público Agrario que se llevó a cabo el 06 de septiembre del 2013 se dijo que la cadena agro exportadora de banano orgánico, producto bandera, enfrentaba su primera crisis.

En la figura 46, se observa un banano afectado por el *trips* de la mancha roja.



Figura 46. Banano afectado por el *trips* de la mancha roja.

Fuente: [37] Visita a CEPIBO (25 de marzo de 2013).

En el mes de agosto 2013, Valentín Ruíz Delgado, presidente de la Junta Nacional del Banano (JNB), informó que los productores bananeros ubicados del valle del Chira dejaban de exportar US\$ 400 mil semanales debido a la presencia de *trips* de la mancha roja. Asimismo, señaló que 30 contenedores estaban dejando de exportar, lo cual representa 31 200 cajas de banano. Además, afirmó que de las 6 500 ha de cultivo de banano que hay en el valle del Chira, el 44% se encuentra afectado por esta plaga[45].

Tan solo un mes después, en septiembre del 2013, la Dirección Regional de Agricultura estimó que el 90% de las plantaciones bananeras se encontraba infestada con la plaga, y el otro 10% se encontraba en cuarentena[46].

Según noticias periodísticas, la desesperación de algunos bananeros por eliminar la plaga de sus productos, los ha llevado a utilizar de manera clandestina insecticidas químicos, poniendo en riesgo no solo su certificación orgánica sino todo el mercado de exportación del banano peruano hacia los países dónde va dirigido el producto. La empresa alemana *Port International* envió una notificación a las asociaciones bananeras de Piura donde les alertó la presencia de residuos químicos en un lote de banano. Con respecto a esto, el presidente regional Javier Atkins en una reunión organizada para tratar el tema de la plaga, señaló lo siguiente: "Como Gobierno Regional, tenemos toda la voluntad política para solucionar el problema y defender nuestro banano de exportación y si es necesario, con la intervención de Senasa, se debe denunciar y sancionar a quienes realizan malas prácticas agrícolas, poniendo en riesgo la buena calidad del producto y el mercado que con tanto esfuerzo se ha conseguido"[45].

Así mismo el mandatario de la región llamó a los productores a cumplir el Manual de Buenas Prácticas Agrícolas, el cual fue aprobado por el Consejo Regional[46].

El señor Luis Monge, investigador costarricense de la empresa Dole afirmó que la mancha roja no afecta de ninguna manera la pulpa de la fruta, siendo únicamente un problema de aspecto físico de esta. De igual manera Monge, invitó a los productores a utilizar Piretrina, Rotenona y Spinosad en las cantidades adecuadas y determinadas por el mercado orgánico internacional. Señaló que ellos han estudiado los productos y han obtenido buenos resultados con su aplicación[46].

Las medidas tomadas hasta el momento en el Perú son las siguientes:

En agosto 2013 Senasa y la Dirección General de Competitividad Agraria del MINAGRI capacitó a 25 técnicos de diferentes asociaciones de bananeros de Piura. Esta incluyó un día de teoría y dos días de práctica en las zonas bananeras[44].

Además en el mes de agosto de 2013 el Gobierno Regional de Piura aprobó el proyecto: “Mejoramiento de los servicios fitosanitarios en la cadena productiva del banano orgánico para mejorar la oferta exportable en la Región Piura”, con el objetivo de mejorar la capacidad de los pequeños y medianos productores de la Región Piura para afrontar problemas fitosanitarios y de calidad en el cultivo de banano orgánico[47].

En el mes de diciembre del 2013 David Reyes León, Director Regional de Agricultura dio a conocer que el proyecto ha sido declarado viable por el gobierno regional y que el monto requerido para su ejecución ascendía a los 9 millones de soles.

Las metas propuestas para este proyecto son las siguientes[47]:

1. Mejorar las capacidades de los pequeños y medianos productores en el manejo integrado de plagas del cultivo banano orgánico.
2. Capacitar a pequeños y medianos productores en el manejo eficiente de las post cosecha del banano orgánico

Las actividades que se realizarán en el marco de este proyecto se citan a continuación [47]:

1. Implementar sistema de vigilancia, monitoreo y cuarentena fitosanitaria, en el cultivo de banano orgánico de la Región Piura.
2. Implementar un sistema de investigación y desarrollo, para diseño de estrategias de control fitosanitario.
3. Establecer un programa de control integrado del *trips* de la mancha roja.
4. Capacitar a pequeños productores para el cumplimiento de los parámetros de calidad.
5. Implementar un sistema para la detección de elementos no permisibles en la agricultura orgánica.

Aunque afortunadamente al finalizar el año 2013, la mancha roja pudo ser controlada debido a la rápida actuación de productores y autoridades sanitarias, el proyecto “Mejoramiento de los servicios Fitosanitarios en la cadena productiva del banano orgánico para mejorar la oferta exportable en la Región Piura” seguirá en ejecución [48].

2.4. Glosario

- ✓ Bananera: Se le llama de esta manera a la planta de banano.
- ✓ Bellota: La bellota es la inflorescencia que emerge del centro de los pseudotallos en posición vertical, semejante a un enorme capullo púrpura o violáceo.
- ✓ *Clusters*: Se le llama *cluster* a una agrupación de bananos. El número de frutos en cada *cluster* depende de las exigencias de los clientes y de los mercados.
- ✓ Corona: Se le llama corona a la parte superior del pedúnculo por el que están unidos un grupo de bananos.
- ✓ Hijos: Los hijos o hijuelos son las yemas laterales que se desarrollan a partir de los tallos subterráneos de las plantas de banano. Al desarrollarse forman las nuevas plantas.
- ✓ Mano: Agrupación de bananos. Se le llama así por la similitud de los bananos a los dedos de una mano.
- ✓ Pecíolo: Es la parte inicial de la hoja que va pegada al pseudotallo y a la nervadura central de la hoja.
- ✓ Pedúnculo: Se le llama pedúnculo a la rama que sostiene y une un grupo de bananos, con el raquis.
- ✓ Racimo: Es el brote de frutos que da una planta de banano. Tiene un eje del cual se encuentran sujetos los frutos.
- ✓ Raquis: Es la parte axial o eje del racimo de bananos.

Capítulo 3

Conversión de residuos del cultivo de banano a etanol

Ya que la producción de etanol a partir de residuos de banano es en la actualidad materia de investigación, no existen datos exactos de producción y tecnología a gran escala. Los estudios encontrados describen procesos experimentales realizados en laboratorios, utilizando pequeños equipos y cantidades limitadas de materia prima. A pesar de esta falta de información, los estudios a nivel laboratorio nos permiten describir las características básicas del proceso, las mejores prácticas y la materia prima con mejor potencial para la producción de etanol.

En el presente capítulo se hace una revisión de los artículos sobre investigaciones y estudios, y además se describe de manera general los procesos para producir etanol a partir de biomasa y de residuos de banano. Junto a esto hablaremos sobre los equipos utilizados en estudios experimentales a nivel laboratorio, así como también de los equipos a gran escala que ya se usan en procesos similares de obtención de etanol.

3.1. Resultados de estudios de bioconversión de residuos de banano

La información encontrada acerca de la producción de etanol a partir del banano, se refiere sobre todo al fruto; es decir, de la pulpa y de la cáscara del banano.

En muchos países se rechaza anualmente una gran cantidad de banano debido a la sobreproducción[49, 50], y al descarte por no cumplir las normas y especificaciones de calidad tales como tamaño, color, forma y otras características necesarias para su exportación y/o comercialización. Por eso se han hecho estudios experimentales del fruto y su cáscara para producción de etanol.

La composición del banano consiste en gran cantidad de carbohidratos y poca cantidad de fibra; esto lo hace buena materia prima para la producción de etanol. Los carbohidratos conforman casi todo el almidón cuando el fruto aún está verde y se convierten en azúcares al madurar. Al mismo tiempo, al madurar el fruto, el material fermentable disminuye. Esto quiere decir que si se dejan madurar los frutos, la hidrólisis podría ser eliminada del proceso, reduciendo la energía necesaria y así, los costos[51].

Varios autores han probado diferentes métodos para conseguir el jugo previo a la fermentación alcohólica. Se ha experimentado haciendo hidrólisis ácida a todo el fruto y solo a la pulpa y haciendo hidrólisis enzimática a todo el fruto y solo a la cáscara.

En el artículo “*Alcohol from bananas*”[51], se describe un proceso utilizando tres tipos de muestras de banano: verde, maduro y sobre maduro, y se someten a distintos métodos de obtención del vino: con enzimas y sin ellas. Los resultados muestran que la mayor cantidad de etanol producido fue el de los bananos verdes; esto probablemente debido a que al madurar se pierde aproximadamente el 12% de materia seca y a la reducción del 15% del peso. Además se concluye que los mayores rendimientos se dan al someter la fruta entera a un proceso enzimático y no solo la pulpa.

También hay trabajos en donde se ha sometido la cáscara de banano tanto a hidrólisis ácida[50], como a hidrólisis enzimática[49], encontrando que la hidrólisis enzimática es más eficiente debido a que más del 80% de la cáscara está conformada por almidón, celulosa y hemicelulosa y al ser hidrolizada de forma ácida solubiliza la celulosa que se elimina junto con la lignina. Esto causa pérdida de azúcares y rendimientos más bajos que los de una hidrólisis enzimática.

En “*Ethanol production from banana fruit and its lignocellulosic residues: energy and renewability analysis*”[49], se plantea que para conversión de residuos de banano (raquis y pseudotallo) es necesario que pasen por un proceso de molienda para reducir la humedad y consumir menos energía en el proceso. Además, estos residuos necesitan pasar por un tratamiento previo a la hidrólisis enzimática. En este pretratamiento eliminan la lignina que es un subproducto del proceso.

En la tesis “*Obtención de enzimas celulasas a partir de hongos utilizando como sustratos los residuos de cultivo del banano*”[52], se lleva a cabo un proceso experimental de obtención de etanol a partir de hojas, tallo y pseudotallo del banano. Estos pasaron por pretratamiento alcalino para romper la estructura de la lignina, por una hidrólisis enzimática (con enzimas celulasas proveniente de hongos), fermentación y destilación.

En la tabla 29 se muestran los resultados de la obtención de etanol a partir de residuos del cultivo de banano orgánico en la tesis antes mencionada[52]. De la tabla podemos concluir que se obtiene mayor cantidad de etanol a partir de residuo seco, y que el raquis es el residuo con mayor rendimiento.

Tabla 29. Cantidad de etanol obtenido a partir de residuos del cultivo del banano

Residuo	Humedad (%)	Materiaseca (%)	ml de etanol producido por 100 g de residuo	L de etanol/t de residuo fresco	L de etanol/t de residuo seco
Hojas	79,46	20,54	19,04	39,10	190,40
Pseudotallo	91,20	8,80	20,89	18,38	208,90
Raquis	89,43	10,57	26,71	28,23	267,10

Fuente: [52] Obtención de enzimas celulasas a partir de hongos usando como sustrato los residuos del banano. D. A. Paredes Medina (2012).

3.2. Etapas del proceso de obtención de etanol de residuos de banano

En la figura 47 se muestra la secuencia de etapas del proceso propuesto de obtención de etanol, a partir de residuos del cultivo de banano orgánico. En la etapa inicial se transporta la materia prima hasta el lugar donde se realizará el proceso de conversión y se acondiciona el material para que el resto de pasos sean lo más efectivos posible. El pretratamiento es el que ayuda a exponer la celulosa de la biomasa y así pueda ser convertida en azúcares en la fase de hidrólisis. La fermentación consiste en la conversión de azúcares a alcohol para finalmente ser destilado, deshidratado y obtener etanol.

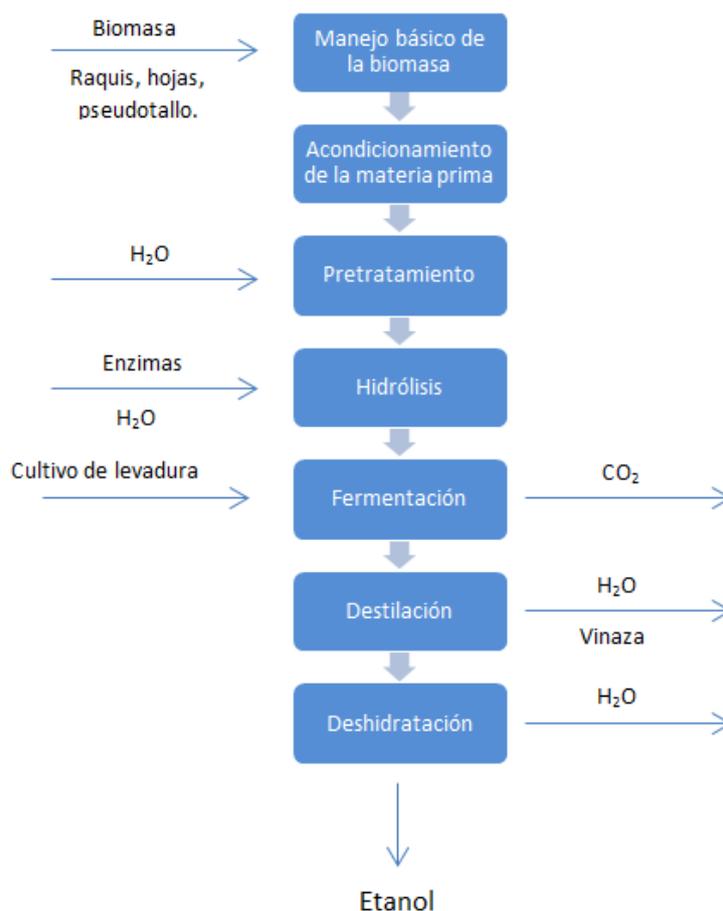


Figura 47. Diagrama de flujo del proceso de obtención de etanol a partir de residuos del banano.

Fuente: Elaboración propia.

Como fue mencionado en el primer capítulo de la presente tesis, existen ya empresas y corporaciones dedicadas a la producción de bioetanol celulósico y muchas otras en construcción; pero ninguna de ellas toma como materia prima los residuos del cultivo de banano.

Se estima que en el año 2014 la producción mundial de bioetanol sea de 250 millones de galones por día y que si se produjese etanol celulósico de toda la biomasa disponible podría llegar a producirse un total de 93 mil millones de galones por día en el 2030.

El principal reto en la producción de etanol de segunda generación a partir de residuos lignocelulósicos es la transformación de los complejos polímeros en azúcar que pueda ser asimilada por los microorganismos durante la fermentación. Los siguientes son los principales pasos para la transformación[53, 54].

3.2.1. Manejo básico de la biomasa

El manejo básico consiste en recolectar la materia prima del campo y transportarla hacia el lugar donde será posteriormente tratada.

3.2.2. Acondicionamiento de la materia prima

En la fase de acondicionamiento, la materia prima es lavada y posteriormente clasificada. Se eliminan el polvo, barro y restos de basura. Una vez hecho esto, la materia prima está lista para ser procesada.

3.2.3. Pretratamiento

Los pretratamientos constituyen un paso fundamental en la conversión de la biomasa ya que de ellos depende la efectividad de los siguientes pasos del proceso. Estos pretratamientos tienen como objetivo separar los componentes de la lignocelulosa en lignina, hemicelulosa y celulosa, reducir la cristalinidad de la celulosa y romper la estructura de la biomasa. Buscan mejorar la transformación de azúcares en el momento de la fermentación y evitar la degradación de carbohidratos[54].

Los pretratamientos son usualmente el paso más costoso de todo el proceso y constituyen muchas veces más del 40% de los costos de procesamiento. Por ello es de gran importancia elegir el más adecuado a cada necesidad mediante un análisis técnico y económico de los mismos[55].

Existen diversos tipos de pretratamientos. A continuación se describen los físicos, los químicos y los físico-químicos.

3.2.3.1. Pretratamientos físicos

La reducción del tamaño de la materia prima es uno de los métodos más efectivos para aumentar la accesibilidad de las enzimas a la lignocelulosa[54]. A continuación se describen algunas maneras de lograr la disminución de tamaño.

Pulverización mecánica

La pulverización mecánica es usada para reducir el tamaño de las partículas y la cristalinidad de la lignocelulosa, y así aumentar el área de superficie y reducir el grado de polimerización.

La técnica más utilizada es la molienda, donde el tamaño final de la partícula depende del tipo de cuchilla que se utilice.

La energía requerida para este pretratamiento es relativamente alta, dependiendo del tamaño final de partícula y las características de la biomasa. Es por ello que se están estudiando tratamientos químicos como alternativas previas a este paso.

Extrusión

La extrusión como pretratamiento físico de la biomasa fresca, permite calentar, mezclar y cortar simultáneamente, logrando cambios físicos y químicos durante el paso por el extrusor.

La temperatura y la velocidad del tornillo hacen que se rompa la estructura de la lignocelulosa causando la separación y el acortamiento de las fibras y aumentando la accesibilidad de los carbohidratos al ataque enzimático.

Debido a su adaptabilidad a modificaciones en el proceso, tales como la adición de productos químicos o materiales y la aplicación de alta presión y expansión (usando vapor u otros solventes), la extrusión tiene el potencial para convertirse en una opción interesante para pretratar lignocelulosa. Se ha empleado recientemente para aumentar los rendimientos de la hidrólisis enzimática de mijo perenne, según el artículo “*Effect of extruder parameters and moisture content of switchgrass*”[54], y de salvado de trigo según “*Extrusion as a thermo-mechanical pre-treatment for lignocellulosic ethanol*”[55].

3.2.3.2. Pretratamientos químicos

Pretratamiento ácido

Los pretratamientos de este tipo utilizan ácidos como catalizadores, los cuales tienen mejores efectos sobre la lignocelulosa y la lignina que en la celulosa. Su objetivo principal es solubilizar la hemicelulosa de la biomasa y de esta manera hacer la celulosa más accesible a las enzimas.

Los pretratamientos ácidos pueden ser con ácido concentrado o con ácido diluido. Sin embargo se prefiere la catalización con ácidos diluidos debido a que la de ácidos concentrados forma compuestos innecesarios, hace a los equipos sensibles a la corrosión y dificulta la recuperación del ácido. Por ello es que el pretratamiento con ácido diluido ha sido considerado como candidato para la producción de bioetanol a gran escala.

El ácido diluido puede trabajar a altas y bajas temperaturas para periodos de tiempo cortos y largos respectivamente. Tiene la ventaja de solubilizar hemicelulosa, pero también convertir la hemicelulosa en azúcares fermentables. Lo que permitiría ahorrar costos al no necesitar hemicelulasas en la hidrólisis enzimática[54].

El ácido más estudiado es el ácido sulfúrico (H_2SO_4); pero otros como el ácido clorhídrico (HCl), el ácido fosfórico (H_3PO_4) y el ácido nítrico (HNO_3) también han sido probados[54].

Solvente orgánico

Este tipo de pretratamiento utiliza solventes orgánicos o acuosos como etanol, metanol, para extraer la lignina y hacer la celulosa más accesible. El solvente orgánico es mezclado con agua, añadido a la biomasa y calentado a temperaturas entre los 100 °C y 250 °C. Pueden añadirse ácidos como catalizadores si la temperatura se mantiene entre los 185 °C y los 210 °C. De hacer esto último el rango de deslignificación aumentaría y la obtención de xilosa también.

Las principales fracciones obtenidas del pretratamiento de la biomasa son: fibra de celulosa, lignina sólida, solución líquida de azúcares de hemicelulosa, principalmente xilosa.

Al finalizar este pretratamiento es importante extraer los solventes, ya que éstos podrían inhibir la hidrólisis enzimática y la fermentación de los microorganismos. Para esto se utilizan técnicas de separación como la evaporación y la condensación.

El alto precio comercial que tienen los solventes es un limitante para su uso de forma industrial. Debido a esto deben de ser reutilizados para disminuir el costo de operación.

Por razones económicas los más utilizados son los de bajo peso molecular y bajos puntos de ebullición, como el etanol y el metanol.

El pretratamiento con solventes orgánicos produce un sustrato de celulosa altamente digerible de casi todo tipo de materia prima y la lignina obtenida puede ser reutilizada. Otro beneficio de este pretratamiento es que la eliminación de la lignina minimiza los problemas de absorción de enzimas celulíticas que se refleja en el menor requerimiento de enzimas en la hidrólisis[54].

3.2.3.3. Pretratamientos físico químicos

Oxidación húmeda

La oxidación húmeda es un método de pretratamiento oxidante donde se usa oxígeno o aire como catalizador. Cuando no se usa el oxígeno, el proceso es similar a un pretratamiento hidrotérmico.

Este pretratamiento se realiza durante 5 a 15 minutos a temperaturas entre 170 °C y 200 °C y a presiones entre 10 y 12 bares. La adición de oxígeno a temperaturas superiores a los 170 °C hace que el proceso sea exotérmico reduciendo el total de energía demandada.

Ha sido probado como un eficiente método de solubilización de hemicelulosa y lignina. Sin embargo no cataliza la hidrólisis de la hemicelulosa solubilizada[54].

Pretratamiento con microondas

El pretratamiento basado en microondas combina efectos térmicos y no térmicos generados en ambientes acuosos. El movimiento de los iones y la vibración de las

moléculas polares originan calor y colisiones que aceleran los procesos químicos, físicos y biológicos.

Este método utiliza la capacidad de interacción directa entre un objeto caliente y un campo electromagnético para aumentar el calor. Algunas de las ventajas de emplear calentamiento con microondas sobre el calentamiento convencional es que el primero permite la reducción de energía del proceso, es un proceso uniforme y además se cuenta con la capacidad de empezar y parar el proceso de manera instantánea.

Pretratamiento de microondas se ha llevado a cabo sumergiendo la biomasa en agua; pero recientemente se ha estudiado el potencial de diferentes reactivos químicos. Se han evaluado diferentes álcalis (Na_2CO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y NaOH) identificando al NaOH como el reactivo más eficaz en mijo y *bermudagrass*, dando el más alto rendimiento de azúcares[54]. Este tratamiento también ha sido empleado para el pretratamiento de paja de arroz, en cuyo caso, los resultados indican una rotura parcial de la estructura de la lignina y la celulosa, haciendo a esta última más accesible a las enzimas.

Por otro lado, estudios que emplean acético para pretratamiento de paja de arroz han demostrado que estos son buenos agentes ya que permiten la expansión de la celulosa, aumentando la superficie y reduciendo su estructura cristalina. Además, al emplear ácidos en combinación con las microondas, la degradación de la hemicelulosa mejora. La corta duración del proceso, así como la baja producción de sustancias inhibitoras, se refleja en una mayor rentabilidad[54].

Liquid Hot Water (LHW)

El tratamiento con agua caliente es un pretratamiento hidrotérmico que utiliza el agua a altas presiones para mantener su estado líquido a temperaturas elevadas (160-240 °C) y provocar alteraciones en la estructura de la lignocelulosa. No requiere ningún catalizador o químico y por lo general implica temperaturas de 150-230 °C para tiempos de residencia variable entre segundos a horas.

En el proceso la mayoría de hemicelulosa es solubilizada, lo que hace más accesible la celulosa. La celulosa y la lignina no son significativamente afectadas y permanecen en la fase sólida. La lignina es parcialmente despolimerizada y solubilizada, pero con este pretratamiento no es posible lograr una deslignificación completa debido a la recondensación de componentes solubles de la lignina[54].

Para evitar la formación de inhibidores, el pH debe mantenerse entre 4 y 7, porque a este pH los azúcares hemicelulolíticos son retenidos en forma oligomérica y la formación de monómeros se minimiza. Este pretratamiento ha demostrado eliminar hasta un 80% de la hemicelulosa y mejorar la digestibilidad enzimática del material pretratado en materias primas herbáceas, como el rastrojo del maíz, bagazo de caña de azúcar y paja de trigo[54].

Este tratamiento ha sido estudiado realizándose en dos etapas, es decir dos veces seguidas, para optimizar la recuperación de azúcares hemicelulíticos y mejorar los rendimientos de la hidrólisis enzimática posterior.

En general, el pretratamiento de agua líquida caliente es atractivo debido a su potencial de ahorro de costos, ya que no se requieren catalizadores y a que la baja corrosión permite la

construcción de reactores de bajo costo. También tiene la gran ventaja de que los productos de lignina y hemicelulosa solubilizada están presentes en concentraciones más bajas, debido a la mayor entrada de agua.

En comparación con la explosión de vapor, que se describirá a continuación, se obtienen mayor recuperación de pentosano y menor formación de inhibidores; sin embargo, el requerimiento energético y de agua es mayor y no se desarrolla a escala comercial[54].

Steam Explosion (SE)

La explosión de vapor es un pretratamiento físico químico y hoy una de las tecnologías más usadas en el pretratamiento de lignocelulosa para la producción de etanol. Es un tratamiento hidrotérmico en el que la biomasa es sometida a presión de vapor durante un periodo de tiempo, que puede variar entre pocos segundos a varios minutos, y luego ser despresurizada repentinamente. Combina fuerzas químicas y efectos mecánicos obtenidos en la autohidrólisis de grupos acetilo presentes en la hemicelulosa.

El proceso puede ser de alta o de baja severidad, dependiendo de las condiciones de temperatura y presión que se manejen dentro de la cámara donde se realiza el mismo.

La autohidrólisis se lleva a cabo cuando las altas temperaturas promueven la formación de ácido acético de grupos acetilo o cuando el agua actúa como ácido a altas temperaturas. Los efectos mecánicos son causados porque la presión se reduce repentinamente y las fibras se separan debido a la descompresión explosiva. En combinación con la hidrólisis parcial de hemicelulosa y su solubilización, la lignina es redistribuida y hasta cierto punto quitada del material. La eliminación de hemicelulosa aumenta la accesibilidad de la enzima a las microfibras de celulosa al exponer la superficie de estas.

La explosión de vapor fracciona la biomasa en dos partes: (i) una fracción líquida rica en azúcares monoméricos y oligoméricos principalmente de solubilización de hemicelulosas, y; (ii) una fracción sólida digerible de celulosa y lignina.

Los factores más importantes que afectan la eficacia de la explosión de vapor son el tamaño de partícula, la temperatura, el tiempo de residencia y el efecto combinado de la temperatura y tiempo, cuyos valores óptimos son altamente dependientes de la materia prima.

El proceso de explosión de vapor ofrece varias características atractivas en comparación con otras tecnologías de pretratamiento. Entre ellas están: el impacto significativamente menor para el medio ambiente, la menor inversión de capital, el mayor potencial de eficiencia energética, los menores riesgos en el proceso y la mayor recuperación de azúcares completos.

Uno de los principales inconvenientes de la explosión de vapor es la generación de algunos compuestos tóxicos derivados de la degradación del azúcar que podría afectar a la hidrólisis siguiente y la fermentación. Como la presencia de compuestos tóxicos es un obstáculo importante para el desarrollo de la producción a gran escala de etanol de lignocelulosa, además de desintoxicación, varios enfoques como modificación genética, ingeniería evolutiva o estrategias adaptativas en la actualidad aparecen como alternativas prometedoras para obtener levaduras más tolerantes[54].

El centro de productos forestales Thomas M. Brooks de la Univesidad Virginia Tech construyó un reactor para el pretratamiento SE de hojuelas de madera. Aunque la materia prima ensayada es dintinta a los residuos de banana, el equipo y diagrama que se muestran en las figuras 48 y 49 puede ayudar a entender el proceso.

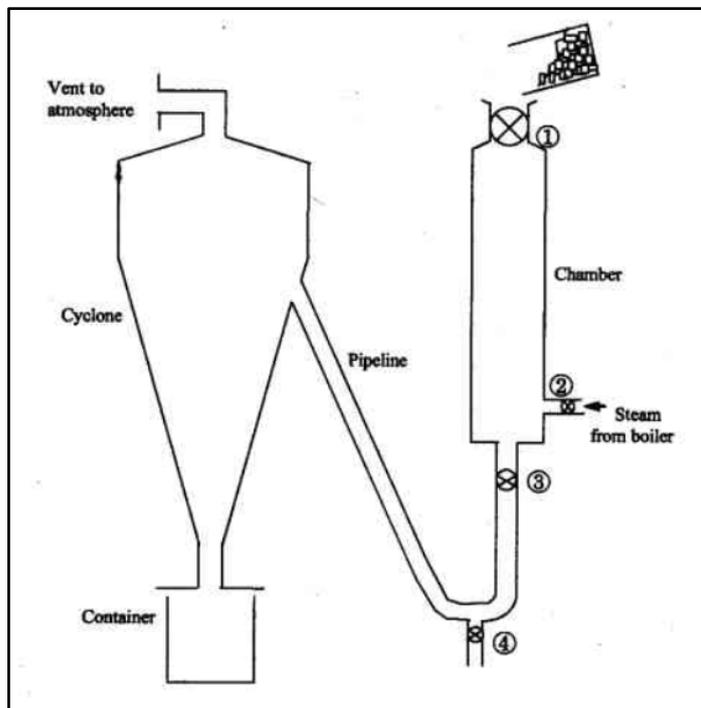


Figura 48. Diagrama de sistema de explosión de vapor de Virginia Tech.

Fuente: [56] *Steam explosion pretreatment of cotton gin waste for fuel ethanol production. Thesis of Biological Systems Engineering. T. Jeoh (1998).*

El proceso inicia colocando la materia prima a través de la válvula 1 y teniendo el resto de válvulas cerradas. Luego de introducido el material, se procede a cerrar la válvula 1 y se introduce el vapor a través de la válvula 2. Dentro de la cámara, la temperatura y la presión aumentan dependiendo del nivel de severidad de SE elegido. Una vez alcanzado el nivel de cocción requerido, se abre la válvula 3. Entonces se produce una salida explosiva del vapor, y las fibras del material, que son liberadas a altas velocidades por un tubo, son recolectadas en un contenedor, después de separarse en un ciclón. Finalmente el exceso de vapor que pudiese haberse condensado, se libera por la válvula 4.



Figura 49. Sistema de explosión de vapor en Virginia Tech.

Fuente: [56] *Steam explosion pretreatment of cotton gin waste for fuel ethanol production. Thesis of Biological Systems Engineering. T. Jeoh (1998).*

3.2.3.4. Pretratamiento biológico

El pretratamiento con hongos ha sido explorado previamente con materiales lignocelulósicos para su aplicación en la alimentación y en la producción de papel[54].

En comparación con los procesos de pretratamiento principales para la producción de bioetanol (*ácido diluido, steam explosión, liquid hot water*), el pretratamiento con hongos de lignocelulosa se considera un proceso respetuoso del medio ambiente ya que no usa productos químicos, no requiere de un gran consumo de energía y genera poca cantidad de residuos.

Los microorganismos más usados son los hongos de pudrición marrón y los hongos de pudrición blanca que degradan la lignina, hemicelulosa y muy poco de celulosa, ya que esta última es más resistente.

Este pretratamiento ofrece ventajas tales como bajo costo en equipos, poca cantidad de energía requerida, no requiere de químicos, bajo impacto ambiental y no forman compuestos inhibidores.

El principal inconveniente para el desarrollo de métodos biológicos es la baja velocidad de degradación que se obtiene en la mayoría de materiales biológicos, en comparación con otras tecnologías. Debido a ello, son necesarias varias semanas y hasta meses para obtener un alto grado de degradación de la lignina.

3.2.4. La hidrólisis de la celulosa

Después de haber sometida la biomasa al pretratamiento para reducir la cristalinidad de la celulosa y haber descompuesto la estructura de la biomasa, se lleva a cabo la hidrólisis con el objetivo de convertir la celulosa a glucosa.

La hidrólisis de la celulosa puede ser ácida o enzimática. A continuación se explica cada procedimiento[54].

3.2.4.1 Hidrólisis ácida

La habilidad de la hidrólisis ácida de disolver la celulosa, está registrada en libros desde los años 1800, donde se dice que la concentración de ácido rompe la estructura de la celulosa, convirtiendo esta última a un estado amorfo. Una vez que la celulosa ha sido descristalizada forma una gelatina homogénea con el ácido. En este punto, la celulosa es extremadamente susceptible y es cuando se diluye con agua a temperaturas moderadas convirtiéndose de manera rápida a glucosa.

La mayoría de estudios de este procedimiento se han llevado a cabo utilizando cáscara de maíz. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos propuso un proceso para obtener azúcar y otros productos de la cáscara de maíz basado en dos fases donde la biomasa es tratada con ácido diluido para remover la hemicelulosa en la primera fase, seguido de una descristalización e hidrólisis de la celulosa usando ácido concentrado en la segunda fase[54].

Arkenol Inc. USA desarrolló tecnología para la hidrólisis con ácido concentrado para convertir material celulósico en productos químicos de mayor valor y combustibles para el transporte. El proceso incluye una hidrólisis en dos fases. En la primera la biomasa es tratada con 90% ácido sulfúrico y en la segunda fase con 30% ácido sulfúrico. La empresa tiene varias patentes relacionadas con el desarrollo de este proceso[54].

Arkenol ha sido capaz de obtener azúcar con 98% de pureza a partir de mezcla ácido-azúcar de 12-15% de concentración. El ácido sulfúrico recuperado se recircula y se utiliza en la descristalización y en la hidrólisis. La pequeña cantidad de ácido restante en el azúcar es neutralizada con cal para formar yeso hidratado, un precipitado insoluble que puede utilizarse en la agricultura como un acondicionador del suelo.

Aunque la hidrólisis con ácido concentrado permite obtener azúcares, los ácidos son tóxicos, corrosivos y dañinos y por eso requieren reactores resistentes a la corrosión. Esto hace que el proceso sea muy costoso. Por ello, investigadores están buscando técnicas más amigables al medio ambiente y económicas. Una de ellas es la hidrolisis enzimática.

3.2.4.2 Hidrólisis enzimática

La hidrólisis enzimática, tiene como función la degradación de la celulosa a azúcares por medio de enzimas llamadas celulasas, para que los azúcares puedan ser fermentados por levaduras o bacterias y así obtener etanol.

La principal ventaja frente a la hidrólisis ácida, es que no crea problemas de corrosión; pero el proceso toma varios días en comparación a los minutos que dura la hidrólisis ácida. Sumado a esto, se tiene el inconveniente que el producto de la hidrólisis enzimática inhibe la enzima volviendo al proceso lento y bajo en rendimiento, a menos que se eliminen de inmediato. Es por ello que se ha venido estudiando como solución la sacarificación y fermentación en simultáneo. Otra desventaja de este proceso es el elevado costo de las enzimas.

La lignina y la hemicelulosa que constituyen la materia prima son un limitante en este proceso, debido a que reducen la velocidad de la acción de las celulasas sobre la celulosa. Es por ello que se utilizan enzimas específicas que trabajan sobre estos componentes para obtener mejores resultados.

En el proceso se utiliza tres tipos distintos de celulasas, que como veremos en la figura 50 actúan sobre la celulosa en sus distintas etapas de conversión a azúcares:

Endoglucanasas (EGS), que hidrolizan enlaces internos al azar en la cadena de celulosa.

Celobiohidrolasas (CBHs, también conocidas como exoglucanasas), que hidroliza oligosacáridos o glucanos.

β -glucosidasas (BG también conocidas como glucohidrolasas β -glucósido), que hidrolizan celobiosa a glucosa.

La figura 50 muestra el mecanismo de descomposición de las celulasas.

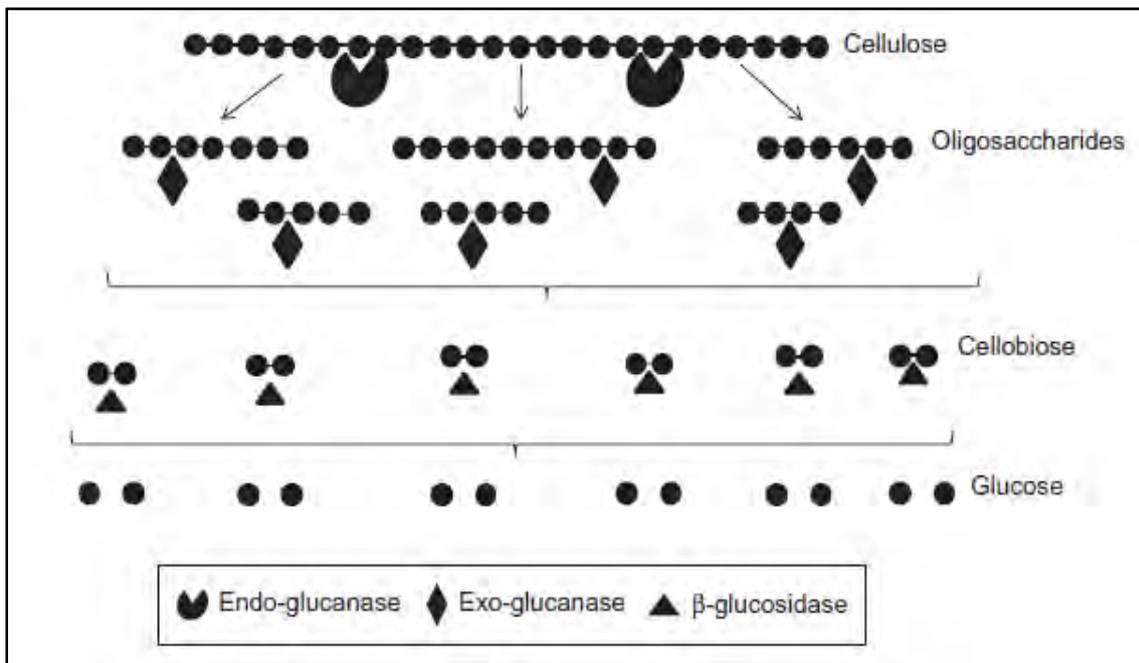


Figura 50. Mecanismo de las celulasas.

Fuente: [54] *Lignocellulosic Bioethanol: Current Status and Future Perspectives*. C. Ricardo Soccol, S. Karp, V. Thomaz-Soccol, A. Woiciechowski & A. Pandey (2011)

3.2.5. Fermentación alcohólica

El paso siguiente a la hidrólisis es la fermentación. Ésta se puede llevar a cabo inmediatamente a continuación de la hidrólisis enzimática o sacarificación (SHF por sus siglas en inglés: *Separate Hydrolysis and Fermentation*), o puede llevarse a cabo de forma simultánea con esta última (SSF: *Simultaneous Saccharification and Fermentation*). Esta segunda opción es la que se viene utilizando por la mayoría de plantas productoras de bioetanol celulósico, ya que con ella se elimina la deficiencia que tiene la hidrólisis enzimática de que sus productos inhiban la acción de las enzimas. Esto debido a que una vez obtenidos los azúcares, éstos son fermentados dentro del mismo reactor por la levadura y bacterias y no en reactores separados como se hace en la SHF[54].

Los microorganismos más utilizados en el proceso de hidrólisis son: *Trichoderma reesei* y la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

El proceso unitario de fermentación consiste en la conversión de los azúcares del jugo (producto de la hidrólisis) a alcohol. A continuación se detallan los pasos.

El jugo se recibe en un tanque en el cual se acondiciona la temperatura para que éste pueda ingresar a la cuba de fermentación. Una vez en la tina se inicia el proceso de conversión de azúcar a etanol. El proceso es exotérmico, lo que genera gran cantidad de calor. Por ello la temperatura se controla de manera continua para lograr las condiciones ideales de acción de la levadura.

Una vez terminada la fermentación, la mayoría de los azúcares se habrán convertido en etanol y CO₂. El producto ahora es llamado vino.

El vino es enviado a un tanque y posteriormente se centrifuga para separarlo de la levadura. El vino una vez liberado de levadura es enviado al proceso de destilación.

La figura 51 muestra un diagrama del sistema de fermentación alcohólica de la planta de producción de etanol: Maple etanol. La información del gráfico fue recopilada en la entrevista a la asistente de ingeniería Srta. Milagros Hidalgo Rodríguez.

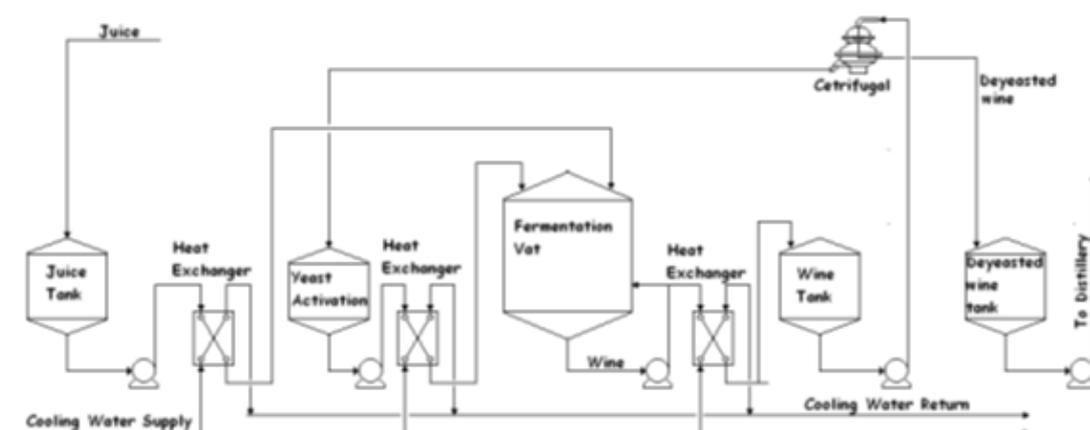


Figura 51. Diagrama de sistema de fermentación.

Fuente: [57] Entrevista a Milagros Hidalgo, asistente de ingeniería. Maple Etanol (2012).

3.2.6. Destilación

La destilación es una operación por la cual se separa el vino en sus componentes, obteniendo finalmente: etanol, agua y vinaza.

La operación consiste en calentar la muestra dentro de una columna de destilación, donde debido a los distintos grados de volatilidad de los componentes, éstos llegan a separarse. Posteriormente los vapores son condensados obteniendo los productos en estado líquido. El etanol obtenido pasa a una segunda columna, llamada columna rectificadora, donde se lleva a cabo el mismo procedimiento, consiguiendo así un etanol más puro. A continuación se describe el proceso de forma más detallada.

El vino obtenido de la fermentación, con un contenido alcohólico aproximado del 9%, se bombea al plato 30 de la columna de destilación A (columna destiladora), y a contra corriente por el fondo se alimenta vapor de calentamiento. De la parte superior de esta columna (plato 20), se extrae una fracción de alcohol con grandes concentraciones de sustancias volátiles, llamadas flemas; las cuales tienen un grado alcohólico aproximado de 40 °GL. Además, de su parte inferior se desecha líquido con un grado alcohólico inferior a 0,02 °GL, que se llama vinaza[58].

Las flemas pasan en forma gaseosa a la parte inferior de la columna B (columna rectificadora), la cual consta de 73 platos y en donde se enriquece el componente más volátil, el etanol. De la columna se obtienen vapores saturados, los cuales son condensados. El líquido obtenido, rico en alcohol y libre de gases incondensables, es recirculado a los platos superiores de la columna B para buscar mayor concentración alcohólica. Los gases incondensables y los alcoholes de cabeza son eliminados. El producto final es un alcohol con 96 °GL. Además se obtiene aceite fusel (alcoholes con más de dos átomos de carbono) y flemazas (de 5 °GL), las cuales son recirculadas a la columna A [58].

El alcohol hidratado de 96 °GL se sobrecalienta con vapor saturado, y se deshidrata en dos tamices moleculares que trabajan en paralelo, uno regenerando y otro deshidratando, luego este alcohol anhidro se condensa y se enfría. El producto de la regeneración rico en alcohol, se concentra hasta 96 °GL, en la columna repasadora (columna C) y el alcohol fino pasa al proceso de deshidratación. Un diagrama del sistema se muestra en la figura 52.

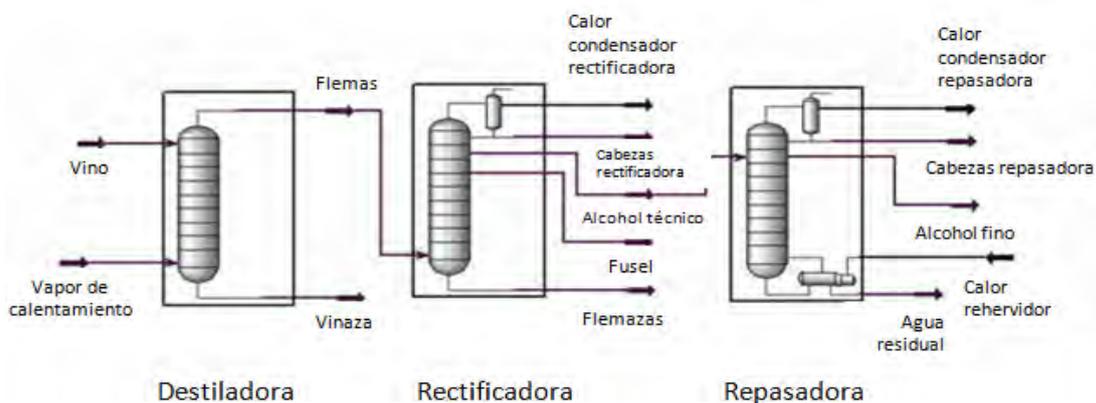


Figura 52. Diagrama de sistema de destilación.

Fuente: [59] Simplificaciones en el cálculo de columnas de destilación alcohólica. O. Pérez, L. Zumalacárregui & O. Gozá (2010).

3.2.7. Deshidratación

La deshidratación es un proceso físico que consiste en separar el agua del destilado, para incrementar la pureza del etanol.

Existen varios procesos de deshidratación de etanol, como los siguientes:

Destilación al vacío

El sistema consta de dos columnas consecutivas; la primera (columna despojadora) lleva la solución diluida hasta una composición cercana a la azeotrópica y luego esta solución se lleva a la segunda columna en la que se aplica el vacío para deshidratar el etanol y obtener una composición por encima del 99% en volumen[60]. En la figura 53 se muestra un diagrama del proceso.

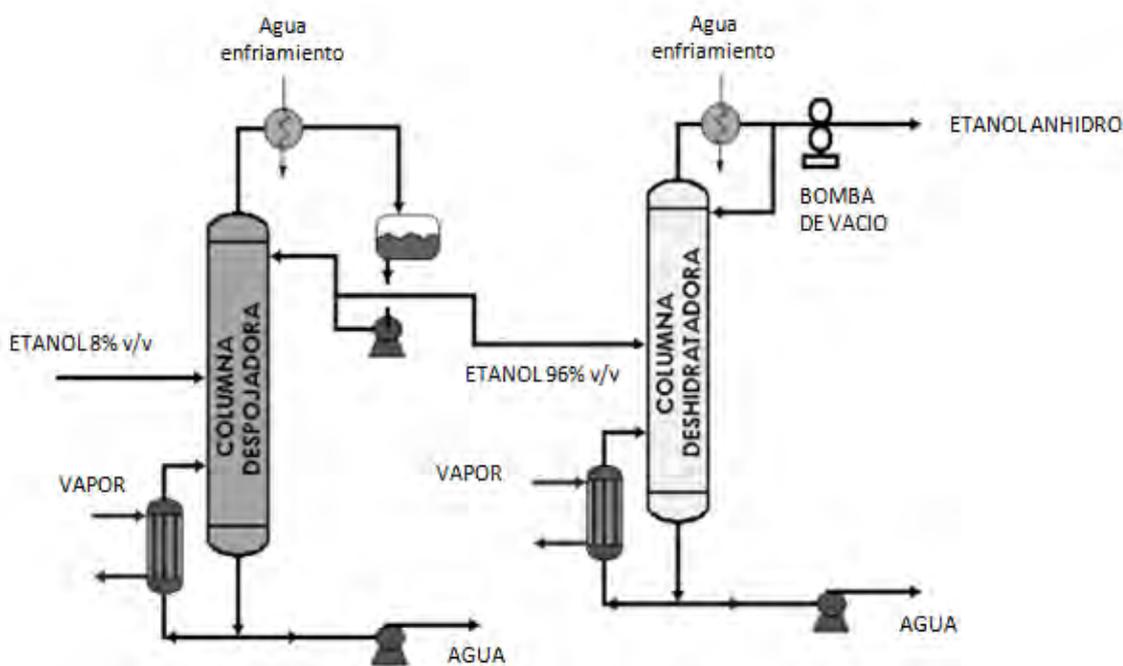


Figura 53. Deshidratación por destilación al vacío.

Fuente: [60] Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banana orgánica en Piura. H. Fuentes Aquije & A Escalante Calderon (2013).

Destilación azeotrópica

Este sistema utiliza tres columnas; la primera es la columna despojadora, la cual concentra la solución alcohólica hasta un punto cercano al azeotrópico; en la segunda columna se añade un disolvente que produce un azeótropo heterogéneo que posteriormente pasa a una decantación y la tercera columna retira el disolvente remanente y lo devuelve a la segunda columna.

El proceso se inicia con la adición de un disolvente o compuesto modificador (benceno o ciclohexano) a la mezcla de alimentación azeotrópica, en la segunda columna de

destilación fraccionada, para formar un Azeótropo Ternario Heterogéneo (ATH); luego este ATH se separa como destilado en dicha columna.

Por la parte superior de esta segunda columna se obtiene el etanol anhidro. El ATH es condensado como producto de cabeza y se le decanta para obtener dos fases inmiscibles. La fase orgánica, regresa a la columna azeotrópica como reflujo, mientras la fase acuosa es bombeada a una tercera columna de destilación fraccionada, llamada recuperadora, donde se separa el disolvente o compuesto modificador del agua[60]. En la figura 54 se muestra un diagrama del proceso.

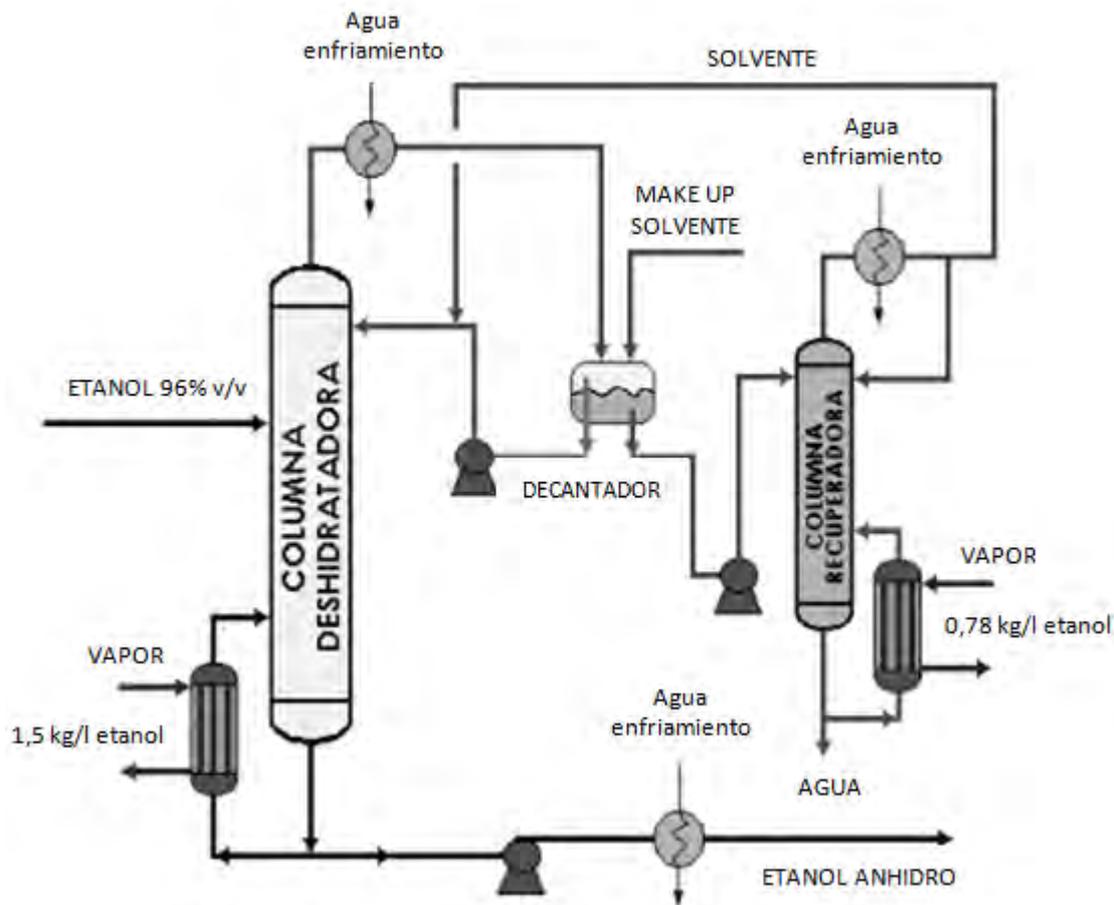


Figura 54. Deshidratación por destilación azeotrópica.

Fuente: [60] Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. H. Fuentes Aquije & A Escalante Calderon (2013).

3.3. Tecnologías ensayadas para la conversión de residuos de banano a etanol

La conversión de residuos del banano a etanol no se produce a gran escala; es por ello que no se tiene información exacta que pueda presentarse en este apartado. La parte experimental que se describe a continuación se ha realizado a nivel de laboratorio.

En las etapas previas a los pretratamientos se utilizan sistemas sencillos para acondicionar la materia prima. Estos son pozas para el lavado del material, molinos, cuchillas, tijeras para reducir el tamaño de la materia prima, hornos para el secado, etc.

En la figura 55 se muestra un molino de cuchillas Wiley Mill como el utilizado para moler los residuos de banano en estudios de obtención de bioetanol.

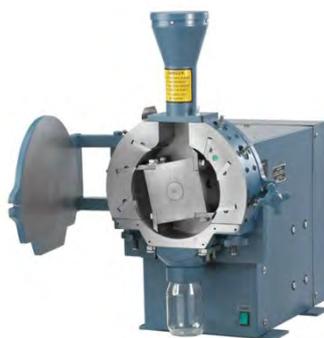


Figura 55. Molino de cuchillas Wiley Mill.

Fuente: [60] Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. H. Fuentes Aquije & A Escalante Calderon (2013).

En cuanto a los pretratamientos, los más utilizados son el *Liquid Hot Water* (LHW) y el *Steam Explosion* (SE). Ambos pretratamientos se llevan a cabo en bioreactores, que en los estudios revisados han sido construidos específicamente para esos fines.

En la tesis “Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura” en la UDEP[60], se construyeron dos reactores uno para cada pretratamiento (LHW y SE).

El primero para LHW que consistía en un tubo de acero, con dos tapones en los extremos y el segundo para SE que también consistía en un tubo de acero; pero con una válvula en un extremo en vez de un tapón, tal como se aprecia en las figuras 56 y 57.



Figura 56. Biorreactor SE para ensayos de laboratorio.

Fuente: [60] Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. H. Fuentes Aquije & A Escalante Calderon (2013).



Figura 57. Biorreactor LHW para ensayos de laboratorio.

Fuente: [60] Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banana orgánico en Piura. H. Fuentes Aquije & A Escalante Calderon (2013).

En otro estudio realizado en la University of California Davis: “*Characterization and bioconversion of lignocellulosic banana waste viewing to biofuel production in rural agricultural communities in Peru and Colombia*”[61], se utilizó para el pretratamiento LWH un reactor agitado Parr Instruments Company, de 1 L, como el mostrado en la figura 58.



Figura 58. Reactor agitado de Parr Instruments Company.

Fuente: [62] Parr Instrument Company (2013).

En la siguiente etapa del proceso, la hidrólisis, se ha determinado que la más utilizada es la enzimática. Para ella, en los estudios revisados se utilizaron recipientes de vidrio y enzimas.

Las enzimas ensayadas en la tesis [60] para esta etapa de hidrólisis son las enzimas Cellic® CTec2. Esta es la primera enzima comercial para la producción de bioetanol a partir de biomasa. Su bajo precio ha hecho que los costos de producción de bioetanol bajen considerablemente.

3.4. Resultados de ensayos previos de conversión de residuos de banano a etanol.

En el presente apartado se exponen algunos resultados de la tesis: “Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura”[60] y de otro proyecto liderado por la Universidad de California, Davis, en donde también participaron la Universidad de Piura (UDEP) y la Universidad Nacional de Medellín, Colombia[61].

Para pretratamiento SE de la tesis, se midió la degradación de la hemicelulosa, evaluada en función de la disminución del pH; ya que a mayor disminución (ΔpH) sería mayor la cantidad de ácido acético formado. Las conclusiones se detallan a continuación:

- ✓ Para el tratamiento SE de hojas de banano, en promedio, el estado inicial de la biomasa (húmeda o seca) no tuvo mayor influencia sobre el pH. Sin embargo, se observó que era más sencillo trabajar con biomasa húmeda. De igual forma, en el tratamiento de pseudotallo y raquis, no se observó una marcada influencia del estado de la biomasa en el pH.
- ✓ En el pretratamiento SE de raquis, se consiguieron resultados desfavorables, en comparación con los resultados del pretratamiento de pseudotallo y hojas. No se observó una influencia del tiempo de calentamiento en la disminución del pH y por tanto en la degradación de la hemicelulosa.
- ✓ Las mayores diferencias de pH y por tanto la mayor degradación de la hemicelulosa se ha observado en el pseudotallo, seguido de hojas y raquis; este orden coincide con el ordenamiento de los residuos de banano en base a su contenido de hemicelulosa.

En la tabla 30 se presentan los resultados obtenidos para 15 muestras de pseudotallo sometidas a pretratamiento SE.

Para tratamiento LHW de la tesis, se midió igualmente la degradación de la hemicelulosa basándose en la disminución del pH. Las conclusiones se detallan a continuación:

- ✓ Se observó que el tiempo previo de remojo de la biomasa seca no influyó en la eficiencia del pretratamiento. Tampoco el estado de la biomasa influye en una mayor o menor degradación de la hemicelulosa, ya que en la mayoría de los ensayos LHW se alcanza un mismo pH final.
- ✓ En los ensayos LHW con pseudotallo registraron en promedio menores pH finales que las hojas y raquis. Esto puede deberse al menor contenido de hemicelulosa que presenta, por lo que se requeriría de menor esfuerzo para degradar toda la hemicelulosa presente en este tipo de residuo.
- ✓ Los mejores resultados se han obtenido en el pseudotallo, seguido de las hojas y finalmente de los raquis; este orden coincide con el ordenamiento de los residuos en base al contenido de hemicelulosa.

En la tabla 31 se presentan los resultados obtenidos en 9 muestras de pseudotallo sometidas a pretratamiento LHW.

Tabla 30. Resultados de pretratamiento SE de pseudotallo a nivel de laboratorio.

Número de experimento	Estado de biomasa	Agua (mL)	Biomasa (g)	Relación agua/biomasa (mL/g)	Volumen disponible (mL)	Masa total (g)	Tiempo de calentamiento (min)	Tiempo de proceso (min)	Tiempo total (min)	pH ₀	pH _f	ΔpH
D1	Húmeda	60	30	2,0	63	90	30:28	16:16	46:44	7,0	5,5	1,5
D2	Húmeda	40	30	1,3	83	70	31:27	19:23	50:50	7,0	5,5	1,5
D3	Húmeda	60	45	1,3	48	105	27:41	18:53	46:34	7,0	6,0	1,0
D4	Húmeda	60	45	1,3	48	105	27:46	30:09	57:55	7,0	6,0	1,0
D5	Húmeda	40	45	0,9	68	85	27:04	18:09	45:13	7,0	5,5	1,5
D6	Húmeda	50	60	0,8	42	110	30:02	17:00	47:02	7,0	6,0	1,0
D7	Húmeda	40	60	0,7	52	100	28:55	17:07	46:03	7,0	5,5	1,5
D8	Seca	25	5	5,0	117	30	27:45	17:04	44:49	6,0	5,5	0,5
D9	Seca	70	10	7,0	59	80	26:18	17:02	43:21	6,0	6,0	0,0
D10	Seca	60	10	6,0	69	70	29:53	17:25	47:18	6,0	5,5	0,5
D11	Seca	40	10	4,0	89	50	26:21	17:54	44:15	6,0	5,5	0,5
D12	Seca	60	15	4,0	55	75	25:39	17:17	42:57	6,0	5,5	0,5
D13	Seca	30	15	2,0	85	45	27:08	21:44	48:52	6,0	5,5	0,5
D14	Seca	20	15	1,3	95	35	26:57	17:03	44:00	6,0	5,5	0,5
D15	Seca	56	20	2,8	46	76	29:34	17:01	46:35	6,0	5,5	0,5

Fuente: [60] Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. H. Fuentes Aquije & A Escalante Calderon (2013).

Tabla 31. Resultados de pretratamiento LHW de pseudotallo a nivel laboratorio.

Número experimento	Estado de biomasa	Agua (mL)	Biomasa (g)	Relación agua /biomasa (mL/g)	Tiempo previo (horas)	Tiempo de calentamiento (min)	Tiempo de proceso (min)	Tiempo de enfriamiento (min)	Tiempo total (min)	pH ₀	pH _f	ΔpH
G1	Húmeda	101	15	6,7	0:00	28:18	18:18	4:00	50:36	7,0	5,5	1,5
G2	Húmeda	93	23	4,0	0:00	27:29	17:16	4:01	48:46	7,0	5,5	1,5
G3	Húmeda	86	30	2,9	0:00	26:43	17:03	4:04	47:51	7,0	5,5	1,5
G4	Húmeda	80	36	2,2	0:00	26:41	17:02	4:04	47:48	7,0	4,5	2,5
G5	Seca	100	6	16,7	2:00	27:00	17:14	4:20	48:34	6,0	4,5	1,5
G6	Seca	92	9	10,2	2:00	30:30	17:24	4:10	52:04	6,0	4,5	1,5
G7	Seca	84	12	7,0	2:00	23:57	17:01	4:02	45:00	6,0	4,5	1,5
G8	Seca	76	15	5,1	2:00	31:00	17:02	4:20	52:22	6,0	4,5	1,5
G9	Seca	70	18	3,9	2:00	43:17	19:47	4:18	67:22	6,0	4,3	1,7

Fuente: [60] Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. H. Fuentes Aquije & A Escalante Calderon (2013).

Para la hidrólisis enzimática realizada en la tesis se utilizaron enzimas Cellic Ctec2 Novozyme. En la hidrólisis enzimática, las enzimas convierten la celulosa en glucosa al romper las cadenas de glucanos en glucosa. Para la evaluación de dicha conversión se empleó el grado Brix como unidad de medida.

- ✓ De las muestras de pseudotallo tratado, todas presentaron aumento en los grados Brix al transcurrir el tiempo.

Para el proceso de fermentación, se utilizaron dos muestras previamente concentradas de azúcares para facilitar la activación de la levadura, la primera de 78 g con 28 °Brix y la segunda de 100 g con 15 °Brix.

El proceso de fermentación se llevó a cabo a temperatura ambiente, bajo condiciones anaeróbicas. Los resultados obtenidos después de 5 días se muestran en la tabla 32.

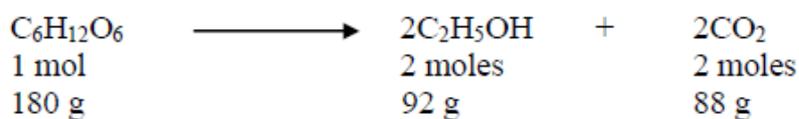
Tabla 32. Resultados del proceso de fermentación.

Muestra	Peso (g)	°Brix					
		Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Previa	78	28,00	19,00	16,75	16,00	15,50	15,50
Final	1 000	15,50	11,00	10,75	10,50	8,00	8,00

Fuente: [60] Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. H. Fuentes Aquije & A Escalante Calderon (2013).

El rendimiento de la fermentación se determina mediante el cálculo de la masa de etanol que se obtendría teóricamente, a partir de la cantidad de glucosa estimada experimentalmente por la variación del grado Brix.

Etanol teórico:



De la mezcla (muestra fermentada) y de los grados Brix obtenidos del proceso se determinó que de 500 ml de mezcla se obtuvieron 19,17 g de etanol teórico producido.

En el proceso de destilación se llegó a un rendimiento aproximado del 66%.

Para pretratamientos del proyecto de UC-Davis[61] se utilizaron residuos de banano orgánico de Perú y Colombia. También se llevaron a cabo pretratamientos SE y LHW. El efecto de estos últimos se evaluó luego de la hidrólisis.

En el proyecto en mención se concluyó que la degradación de celulosa fue mayor en las muestras pretratadas con SE de alta severidad, que elimina hasta el 80% del xylano.

Seguido por el SE de baja severidad, que eliminó hasta el 20% del xylano. La severidad del SE depende de la temperatura de vapor y el tiempo de residencia del material.

Asimismo, se determinó que para el raquis el pretratamiento más adecuado es el LHW y para el pseudotallo y hojas el pretratamiento más adecuado es el SE. En general ambos pretratamientos dieron resultados positivos.

Se realizó la hidrólisis enzimática de la materia pretratada usando una mezcla de enzimas de celulasas, glucosidasas y xylanasa del *Biomass Kit* de la marca Novozymes. Los rendimientos más altos de glucosa se obtuvieron para el raquis de banano de Colombia con hasta un 93% de conversión de glucano después de 120 h de incubación, seguido por los pseudotallos y raquis de Perú con un máximo de 77% de conversión de glucano. En general, los rendimientos más altos de glucosa se obtuvieron mediante el SE de alta severidad, seguido por el pretratamiento LHW para pseudotallos y raquis y el pretratamiento SE de menor severidad para hojas de banano.

En este estudio se realizaron los pasos de sacarificación y fermentación en simultáneo. Los rendimientos obtenidos de etanol (medidos por el contenido de glucano y xylano) a partir de residuos del banano se muestran en la figura 59.

Los rendimientos de etanol fueron mayores a partir del raquis de banano, con un máximo de 49% en base al contenido de glucano. Las posibles explicaciones para los bajos rendimientos de fermentación incluyen la alta temperatura de fermentación utilizada, el bajo contenido de nutrientes en el recipiente de fermentación y la posible presencia de compuestos inhibidores. La mayor producción de etanol se podría obtener mediante la optimización de las condiciones de fermentación y el uso de enzimas más específicas que puedan convertir los azúcares[63].

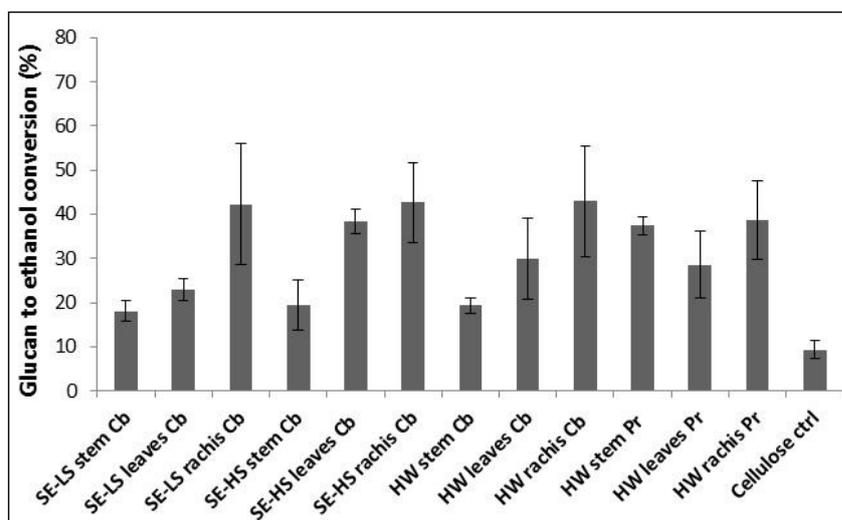


Figura 59. Producción de etanol a partir de residuos de banano orgánico de Perú y Colombia, pretratados con *Steam Explosion* (SE) y *Hot Water* (HW).

Fuente: [61] *Characterization and bioconversion of lignocellulosic banana waste viewing to biofuel production in rural agricultural communities in Peru and Colombia*. M. Santa María (2013).

Capítulo 4

Aspectos sociales, económicos y ambientales de una posible planta industrial productora de etanol a partir de residuos del banano

Después de tratar temas como la actividad bananera, la generación de sus residuos lignocelulósicos y describir el posible proceso productivo que tendría una planta productora de etanol a partir de estos materiales; se plasman en este capítulo aspectos sociales y ambientales que tendría la posible planta al ser ubicada en el valle del Chira. Además de esto, se muestra resultados de entrevistas realizadas a personas relacionadas con la actividad productora de banano.

4.1 Mercado de bioetanol en el marco de la ley

El porcentaje de etanol que se utiliza en las gasolinas que se comercializan en el país es de 7,8%. Este porcentaje fue establecido en el Decreto Supremo N° 021-2007-EM y se hizo obligatorio desde el año 2010.

En la tabla 33 se muestran las especificaciones que el etanol debe tener para poder mezclarse con la gasolina.

Como se mencionó en el capítulo 1, el gobierno debe incentivar los proyectos de inversión referentes a la obtención de etanol. Esto debido a que gran parte del etanol que utilizamos es importado; no solo porque la oferta es menor, sino también porque el producto se puede conseguir en otros países a menor precio que el nacional. Así mismo, Caña Brava y Maple prefieren exportar su producción debido al elevado valor que el etanol puede llegar a tener en el mercado europeo. Las exportaciones de Caña Brava y Maple etanol se pueden ver en el capítulo 1.

La ley N° 28054 de Promoción del Mercado de Biocombustibles y el Decreto Supremo N° 021-2007-EM han sido basados en la previsión de la escasez e incremento sostenido del precio del petróleo. Junto a ello, el hecho que el país cuente con una legislación ambiental débil e incompleta ha creado vacíos legales[64].

Tabla 33. Norma técnica peruana 321.126. Alcohol carburante: etanol anhidro desnaturalizado para mezcla con gasolina uso motor. Especificaciones.

Características	Especificaciones	
	Min.	Max.
Etanol anhidro (% volumen)	95,20	
Metanol (% volumen)		0,50
Contenido de agua (% peso)		0,30
Contenido de desnaturalizante (% volumen)	2,00	3,00
Goma existente, lavada con solvente (mg/100ml)		5,00
Contenidos de cloruros inorgánicos (ppm masa o mg/l)		10,00
Apariencia	Claro y brillante, libre de contaminantes suspendidos o precipitados.	
Contenido de cobre (mg/l)		0,100
Contenido de fósforo (mg/l)		0,500
Acidez, como ácido acético (% masa)		0,007
pH	6,5	9,000
Azufre (ppm masa)		30,000
Sulfato total (ppm masa)		4,000

Fuente: [65] Uso de biocombustibles en el Perú. H. Cunza Roca (2012).

A continuación se mencionan algunos de los vacíos legales[64]:

- ✓ El actual marco legal promueve la deforestación, debido a que sólo se puede otorgar propiedad sobre áreas con aptitud agrícola, no forestal, lo que incentiva el tráfico e invasión de tierras y su posterior legalización bajo presión. Falta normas que promuevan la identificación de especies que cumplan el doble propósito de producir biocombustibles y, a la vez, prestar servicios ambientales tales como la captura de carbono y la conservación de las cuencas y nacientes de cursos de agua.
- ✓ No existen una promoción de un uso racional del agua (tecnologías de riego racionalizado) en la producción de biocombustibles.
- ✓ No existe regulaciones que establezcan límites en la producción de biocombustibles sin poner en riesgo los cuerpos de agua por eutrofización y vertimiento de efluentes.

Se sugiere que para el diseño de futuras leyes, políticas y normas se establezca la zonificación ecológica y económica así como un catastro rural de espacios con el fin de determinar las áreas y especies recomendables para producción de biocombustibles.

4.2 Ventajas y desventajas de una posible planta industrial de etanol en el valle del Chira

Ventajas

- ✓ Aumento del desarrollo industrial de la zona del valle, de Piura y del país.
- ✓ Aumento de la oferta de etanol del país, lo que hará que sea más competitivo a nivel internacional.
- ✓ Desarrollo de las comunidades cercanas a la planta debido a los ingresos de las municipalidades. Mejoras en infraestructura y servicios.
- ✓ Creación de nuevos puestos de trabajo.
- ✓ Beneficios extra de los productores debido a la venta de la materia prima.
- ✓ Reducción de bacterias, hongos y plagas generadas por la acumulación de residuos de banano en las plantaciones. Lo que se verá reflejado en ahorro de dinero.
- ✓ Mejoras en la calidad de vida de los involucrados. Tanto de productores de banano como los trabajadores de la planta industrial.

Desventajas

- ✓ Impactos ambientales debido a residuos, efluentes y emisiones, así como el consumo de agua para el proceso.
- ✓ Empleo de mayor cantidad de fertilizantes y abonos naturales para la nutrición de las plantaciones. Esto debido a que se reduciría la cantidad de residuos dejados en el suelo para su descomposición y reincorporación.

4.3 Perspectivas de viabilidad

Para saber si un proyecto es viable, distintas variables deben de ser estudiadas. Debido a que ese estudio sería muy extenso, solo se tomará en cuenta en este apartado algunos aspectos. Entre ellos se tienen: la disponibilidad de materia prima para la producción de etanol, la disponibilidad de terrenos para la ubicación de la planta, la aceptación de la población y la disponibilidad de tecnología. Se han hecho entrevistas a 20 presidentes de asociaciones de banano (12 de CEPIBO y 8 de REPEBAN), además se ha entrevistado a personas relacionadas a la actividad bananera para conocer su opinión sobre ciertos puntos. La entrevista aplicada se encuentra en el anexo C y fue realizada entre el 15 y el 30 de marzo de 2013.

En el apartado 2.3 del capítulo 2 se calculó la cantidad de residuos generados en el año por las dos centrales más importantes del valle del Chira, CEPIBO y REPEBAN, según se muestra en la tabla 34.

Tabla 34. Cantidad de residuos de banano generados por CEPIBO Y REPEBAN

Parte de la planta	Peso fresco (ton)	Base seca (ton)
Pseudotallo	173 056	15 228,928
Hojas	70 304	12 767,210
Raquis	10 816	812,280
Total	254 176	28 808,420

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la tabla 34 se generan anualmente poco más de 254 mil toneladas de residuos solo de estas dos centrales. Si le restamos a este total un 10% debido a la clasificación de la materia prima y el resultado lo dividimos entre 356 días del año (suponiendo que la planta trabaje todos los días), se procesarían 714 toneladas de residuos frescos al día.

Esto supone que todos los residuos de las plantas debieran ser recogidos de las plantaciones y trasladados hacia la planta industrial. Ya que esto dependería de los dueños de las hectáreas y de los presidentes de las asociaciones que conforman las dos centrales, se hicieron entrevistas a cada uno de los presidentes para conocer su posición. Los resultados a las preguntas si donarían o venderían los residuos de las plantaciones, y cuales, se muestran a continuación en la tabla 35.

Tabla 35. Preguntas 13 y 14 de entrevista a presidentes de CEPIBO y REPEBAN.

Como presidente de una asociación de productores de banano:		
13.- ¿Usted estaría dispuesto a donar los residuos generados por la cosecha de las plantas de banano?		
Sí	Todo	1
	Solo hojas	1
	Solo raquis	6
	Hojas y raquis	2
NO		10
14.- ¿Usted estaría dispuesto a vender los residuos generados por la cosecha de las plantas de banano?		
Sí	Todo	1
	Solo hojas	1
	Solo raquis	8
	Hojas y raquis	2
NO		8

Fuente: Elaboración propia.

Analizando las respuestas, encontramos que el 50% de los presidentes entrevistados (10) estarían dispuestos a donar al menos uno de los residuos de banano. Sin embargo solo uno de ellos estaría dispuesto a donar el pseudotallo, el cual se ha determinado como la materia prima más idónea para la obtención de etanol. Al preguntar si estarían dispuestos a vender los residuos, solo 2 presidentes más se vieron dispuestos a entregar los residuos de la cosecha del banano; pero ninguno de ellos dos aceptó vender el pseudotallo. Se preguntó a los 12 presidentes que estarían dispuestos a vender los residuos, cuanto quisieran recibir por kilogramo; pero ninguno de ellos dio una respuesta exacta. Todos coincidieron en que para saber el monto debían de hacer un análisis de cuanto dejarían de ahorrar en fertilizantes y nutrientes para el suelo, ya que tendrían menos materia orgánica en descomposición que se reincorpore al terreno.

Además de los resultados que se muestran en la tabla anterior, Eduardo Larrea, asesor de CEPIBO en el año 2012; Wilmer Juárez, actual presidente de CEPIBO; Luis Sosa, actual representante legal de CEPIBO e Iván López, ingeniero agrónomo de la CEDEPAS (Centro Ecuménico de Promoción y Acción Social) emitieron su opinión al respecto. Todos opinaron que la venta de los residuos generaría beneficios económicos para los productores, los cuales se verían reflejados en mejoras de su calidad de vida, educación para sus hijos, entre otros. Sin embargo, dejaron claro que la decisión la debían de tomar los productores. Iván López, ingeniero agrónomo de CEDEPAS, fue el único que a pesar de opinar que a simple vista sería beneficioso para los productores, dijo que deberían hacerse análisis de los suelos, para poder saber qué nutrientes se estarían dejando de generar por la falta de residuos; y a partir de ahí, evaluar si la ganancia cubriría la compra de nutrientes, fertilizantes y si generaría alguna utilidad.

Para calcular cuánto etanol produciría la planta por día, se debería tener rendimientos de cada uno de los residuos a nivel industrial. Los rendimientos con los que se cuenta son a nivel laboratorio y con equipamiento no específico, por lo que daría un resultado no certero ni veraz. En la tesis “Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura” [60].en la UDEP, se propone un posible proceso continuo de obtención de etanol, tomando como materia prima solo al pseudotallo. En ella se concluye que de 400 toneladas de pseudotallo húmedo se pueden conseguir aproximadamente 32 toneladas de etanol. Coincidentemente son un poco más de 400 toneladas de pseudotallo las generadas por CEPIBO y REPEBAN, sin embargo, ni el 10% de los presidentes de las asociaciones estarían dispuestos ni a ceder ni a vender este residuo como se vio en la tabla 35.

Otra realidad que se debe tener en cuenta, es la poca disponibilidad de terrenos en el valle. A diferencia de las instalaciones de Caña Brava y Maple, la planta industrial en discusión, no necesitaría grandes terrenos agrícolas ya que la materia prima es generada como resultado de otra actividad ya existente (la del banano). El espacio que requeriría sería de aproximadamente 5 hectáreas; para la construcción de áreas administrativas y el área de la planta industrial.

La adquisición de estas hectáreas en el valle sería difícil, debido a que la gran mayoría de tierras ya cuentan con dueños. Además, esta zona es conocida por el tráfico de terrenos, es por ello que es importante que se haga una investigación del área que se desea adquirir, de la veracidad de los títulos de la propiedad y de los verdaderos dueños del espacio. Otra dificultad radicaría en encontrar terrenos alejados de los cultivos alimenticios, sobre todo

de los cultivos orgánicos, para evitar que se vean afectados por los posibles residuos industriales generados por la planta de etanol.

La opinión de los productores es muy importante al momento de evaluar la aceptación de una nueva planta industrial en la zona. Respecto a ello se hicieron algunas preguntas a los presidentes de las asociaciones. Las respuestas se ven en la tabla 36.

Tabla 36. Preguntas 18 y 19 de entrevista a presidentes de CEPIBO y REPEBAN.

Como presidente de una asociación de banano:		
18.- ¿Está de acuerdo con las operaciones de las empresas Caña Brava y Maple etanol?		
NO	Contaminan el medio ambiente con humo. Además las cenizas caen en nuestros frutos y estos descalifican como productos orgánicos.	7
	La cercanía de las fábricas afecta a nuestras plantaciones y suelos.	3
	Dan poco trabajo y no brindan mucho apoyo a las comunidades aledañas.	4
	Se encuentran muy cerca de la ciudad y la contaminan.	3
SÍ	Generan trabajo en la zona	3
19.- ¿Estaría de acuerdo si se instala una nueva planta productora de etanol en el valle del Chira a partir de residuos del banano orgánico?		
NO	No porque habría mayor contaminación en la zona y afectaría a nuestros productos.	17
SÍ	Generaría oportunidades de trabajo	3

Fuente: Elaboración propia.

Analizando las respuestas de la tabla, encontramos que 17 presidentes se encuentran en desacuerdo con las operaciones que Caña Brava y Maple realizan. Siete de ellos opinaron que la quema del bagazo genera grandes cantidades de humo y cenizas, que contaminan el banano que producen, eliminando su categoría de orgánico y descartando la posibilidad de su exportación; lo cual se refleja en menos ganancias para los productores. Además de ello, 5 de los 7 presidentes mencionaron que el humo y las cenizas no solo los perjudicaban a ellos, sino también que originaban accidentes de tránsito como el que se produjo el 19 de noviembre del 2012 en el que murieron 5 personas y en el que la humareda se había originado en cultivos de Caña Brava, recibiendo la empresa una sanción de 15 días de parada de planta. Entre otras de las razones por las que no están de acuerdo se encontraron la contaminación de los suelos, la poca generación de trabajo y la cercanía a la ciudad de Sullana, que hace que la ciudad se contamine.

Al preguntar si estarían de acuerdo con una nueva planta productora de etanol a partir de los residuos de banano, los mismos 17 presidentes que no apoyaban las operaciones de Caña Brava y Maple, opinaron que no estarían de acuerdo, debido a la mayor contaminación que se generaría en la zona, la cual afectaría sus cultivos. Los otros tres que si estarían de acuerdo, opinaron que generaría oportunidades de trabajo.

La tecnología es otro aspecto que se debe tener en cuenta cuando se analiza la viabilidad de un proyecto. No se ha encontrado información sobre líneas industriales ni maquinaria para la transformación específica de residuos del banano en etanol. Tampoco existe ninguna planta productora de etanol a partir de esta materia prima. Sin embargo, hay empresas que se dedican a realizar estudios, investigaciones y pruebas piloto de equipos, utilizando distintas materias primas. De esta forma podrían llegar a definirse los equipos adecuados para la óptima transformación de los residuos a etanol o simplemente adaptar los existentes a esta materia prima; ya que como vimos en el capítulo 1, son un gran número de empresas las que ya vienen procesando residuos lignocelulósicos. Lo necesario para lo expuesto anteriormente es inversión por parte de empresas privadas junto con el apoyo del estado.

Tomando como referencia el proceso continuo de 400 toneladas de pseudotallo propuesto en la tesis “Estudio experimental de obtención de bioetanol, a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura” [60] de la UDEP, se obtendrían 32 toneladas diarias de etanol, lo que equivale aproximadamente a 40 500 litros de etanol diarios. Esto aumentaría la oferta de etanol peruano, llegando a superar la demanda. Sin embargo, lo que se desea lograr no es solo aumentar la oferta, sino también lograr un precio competitivo del producto que haga que se deje de importar etanol para consumir el nacional. Para ello los costos en todas las fases de la cadena productiva deben ser los mínimos.

4.4 Generación de empleo de la posible planta industrial

Una nueva planta de etanol generaría trabajo; pero en comparación a las otras dos empresas productoras de etanol existentes en el valle (Caña Brava y Maple Etanol), el requerimiento de personal sería mucho menor. Esto debido a que la materia prima utilizada en el proceso de la planta industrial no tendría que ser sembrada, regada ni cosechada ya que los residuos provendrían de la actividad bananera.

La mano de obra requerida por esta planta sería en su mayoría personal con estudios superiores que puedan estar a cargo de las áreas administrativas e industriales de la empresa; y ya que la oferta de mano de obra profesional en la zona es muy limitada, la mayoría de profesionales provendrían de la ciudad capital de la región (Piura), que no forma parte del valle del Chira.

En la entrevista realizada a los 20 presidentes de las asociaciones se encontró que ninguno de ellos tenía estudios superiores y que solo el 50% de ellos habían culminado la secundaria.

Entre los pocos puestos de trabajo no especializado que generaría la planta industrial estarían los de personal obrero, operadores de equipos y maquinaria, conductores de camiones, entre otros.

Se realizaron preguntas en las entrevistas sobre la participación de la mujer en las asociaciones bananeras y se encontró que ninguna mujer era presidenta, solo una asociación contaba con una mujer en el puesto de tesorera. Entre las razones, los presidentes comentaron que habían tenido malas experiencias cuando mujeres se habían encontrado en la presidencia; pero que aun así las incentivaban a presentarse como candidatas; sin embargo, los productores que conformaban las asociaciones preferían no votar por ellas.

Una posible planta industrial de bioetanol de banano debería promover de forma equitativa la participación de mujeres y hombres en los puestos de trabajo que tenga disponibles.

4.5 Ahorro por desplazar combustibles fósiles en la actividad

El etanol que una planta procesadora de residuos de banano produciría sería usado para hacer gasohol (mezcla de gasolina con etanol). Este gasohol sirve de combustible para automóviles y para algunos camiones pequeños.

En la actividad bananera en todo el proceso desde la siembra hasta el transporte del contenedor al puerto de exportación son utilizados camiones de mediano y gran tamaño que utilizan como combustible el diesel. Este diesel puede ser gasóleo (diesel de petróleo) y/o biodiesel (diesel proveniente de grasas naturales o animales).

Para poder utilizar el etanol en la actividad bananera se tendrían que:

- ✓ Cambiar los camiones diesel medianos por camiones gasolineros más pequeños que no son tan fáciles de conseguir y además se necesitaría mayor cantidad de vehículos.
- ✓ Se podría cambiar el motor de los camiones de diesel a gasolineros pero esto demandaría una gran inversión debido a la potencia de los camiones y al número de camiones.

Teniendo en cuenta que muchas veces estos camiones no son propiedad de las asociaciones, sino que son contratados por horas; las alternativas mencionadas serían menos viables ya que la decisión sería de los dueños del vehículo y no de las asociaciones bananeras.

En este caso el ahorro se vería convertido en gasto ya que no se podría utilizar el etanol directamente en los vehículos usados en la actividad bananera y las alternativas mencionadas serían muy costosas e innecesarias.

Además, desde el punto de vista ambiental con la primera opción se tendría más camiones, los medianos diesel y los nuevos pequeños gasolineros; lo cual supondría mayor contaminación ambiental. Y con la segunda alternativa, se tendrían motores diesel en desuso que sería también una forma de contaminación.

4.6 Impactos ambientales generados por la posible planta industrial

Una posible planta industrial productora de etanol a partir de residuos del banano tendría impactos sobre el ambiente, debido al requerimiento de agua que necesitaría y a los residuos, emisiones y efluentes que generaría. A continuación se tratan estos impactos y se presentan datos calculados a partir del proceso continuo de producción de etanol a partir de residuos de banano expuesto en la tesis “Estudio experimental de obtención de bioetanol, a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura” [60] de la UDEP, el cual se encuentra en el anexo D.

4.6.1 Consumo de agua y emisiones de vapor de agua

El agua sería indispensable en el proceso de conversión de los residuos de banano a etanol. La fase del proceso en el que se requeriría es en el pretratamiento. El consumo de agua en una planta productora de etanol que procese 714 toneladas diarias de residuos de banano sería aproximadamente de 1 071 m³ diarios. Esta cantidad de agua supone que se realice un estudio para conocer cuál sería la mejor fuente de este recurso.

El agua que se generaría como efluente de la hidrólisis sería aproximadamente 178,5 m³, y las emisiones de vapor de agua serían 249,9 m³ de la destilación y de 3,57 m³ de la deshidratación.

Parte del agua y vapor de agua podría ser reciclado para su uso en la fase de pretratamiento y destilación; la otra parte tendría que ser expulsado al ambiente. Esta última acción, podría traer malestar en la población debido a que el vapor de agua tiene la apariencia de humo; por lo que la empresa dueña de la planta industrial tendría que comunicar en forma pública a la población que las emisiones son vapor de agua y no humo.

El vapor de agua también produciría mayor humedad en la zona variando las condiciones del valle, lo que podría afectar a algunos cultivos.

4.6.2 Emisiones de CO₂

El CO₂ generado en el proceso de conversión de los residuos a etanol se obtendría de la fase de fermentación. Se generarían aproximadamente 70,33 t. Este CO₂ tendría que ser eliminado al ambiente contaminándolo.

La empresa deberá de hacer una comparación entre el CO₂ que se está dejando de emitir por el futuro consumo del bioetanol que se producirá en la planta industrial, y el que se generará en la producción del biocombustible.

4.6.3 Residuos sólidos

Los residuos sólidos generados en el proceso se obtienen en la fase de destilación, ya que al evaporarse los componentes líquidos de la mezcla, quedan en la columna de destilación los materiales sólidos.

Estos residuos podrían ser utilizados como abono en cultivos del valle. Para ello deberán de analizarse sus componentes y así determinar los valores nutricionales que podrían aportar a las plantaciones.

4.6.4 Vinaza

Las vinazas son los residuos del proceso de destilación, que contienen materia orgánica microbiana proveniente de los residuos de la levadura, sales, residuos de alcohol y azúcares. Constituyen un líquido de color oscuro, que puede variar desde marrón hasta casi negro, de olor fuerte, temperatura cercana a 100 °C y un pH medianamente ácido. Están compuestas por un 93% de agua, 2% de compuestos inorgánicos (potasio, calcio, sulfatos, cloruros, nitrógeno, fósforo, etc.) y un 5% de compuestos orgánicos que volatilizan al ser calentados a 65 °C[66,67]

Se estima que la producción de vinaza sea entre 26 y 27 toneladas por tonelada de etanol producido, por lo tanto en una planta de 57,12 toneladas de etanol al día, se generarían 1 513,68 toneladas de vinaza aproximadamente.

La vinaza puede ser dañina para el ambiente si no es tratada. A continuación se presentan dos procesos de tratamiento de la vinaza, los cuales podrían ser utilizados por la posible planta industrial.

Abono químico

La vinaza podría ser utilizada como abono químico para fertilizar en forma directa suelos. En algunos países como Argentina, llevan a cabo lo que se conoce como fertirrigación, lo cual consiste en irrigar los campos con el abono. En las figuras 60 y 61 se muestran dos formas de irrigación con vinaza.

Debido a que las plantaciones de banano son en su mayoría orgánicas, el abono de vinaza debería ser utilizado en productos convencionales no orgánicos. Esto podría ser una oportunidad de negocio que la empresa productora de bioetanol debería de evaluar.



Figura 60. Canal impermeabilizado de vinaza.

Fuente:[66] Comparación de diferentes métodos para el tratamiento de vinazas de la industria de etanol. M. R. Hernandez (2013).



Figura 61. Aspersión de vinaza.

Fuente:[66] Comparación de diferentes métodos para el tratamiento de vinazas de la industria de etanol. M. R. Hernandez (2013).

Debido a que las plantaciones de banano son en su mayoría orgánicas, el abono de vinaza debería ser utilizado en productos convencionales no orgánicos. Esto podría ser una oportunidad de negocio que la empresa productora de bioetanol debería de evaluar.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia podría ser utilizada para producir gas metano a partir de la vinaza; y el residuo sólido sería utilizado como fertilizante. El gas metano podría ser empleado como combustible para la producción del vapor necesario para la destilación, la limpieza de fermentadores y otras labores; con lo que se podría ahorrar el 50% del combustible tradicional empleado en la destilería. Esta solución tiene como limitante el espacio necesario para ubicar los digestores. En la figura 62 se muestra un digestor anaerobio con los flujos de los elementos.

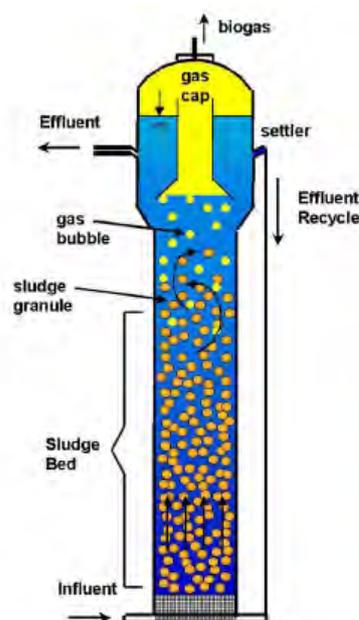


Figura 62. Digestor anaerobio.

Fuente:[66] Comparación de diferentes métodos para el tratamiento de vinazas de la industria de etanol. M. R. Hernandez (2013).

Conclusiones

1. En los últimos años, la industria de los biocombustibles de segunda generación se ha desarrollado mucho, sobre todo en países de Europa y Asia. Sudamérica y especialmente Perú, deben de seguir estos pasos. Nuestro país produce gran cantidad de residuos que provienen de distintas actividades agrícolas y se encuentran disponibles. Por ello el estado debe de incentivar la inversión de capitales en investigación y desarrollo para el progreso de esta industria.
2. La agricultura es la principal actividad económica en el valle del Chira; sus tierras apropiadas, el clima adecuado y el esfuerzo de los productores han hecho que se desarrolle la producción de banano orgánico, convirtiéndose desde hace unos años atrás en el producto bandera de nuestro país. Por ello las autoridades regionales deben de apoyar permanentemente esta industria, evitando los problemas de las plantaciones, capacitando e incentivando a los productores, promoviendo los frutos y buscando mejores beneficios para los involucrados.
3. Los residuos de la producción de banano: raquis, pseudotallo y hojas; tienen gran potencial como materia prima para la producción de bioetanol y se encuentran en nuestra región de manera abundante. Solo los residuos de CEPIBO y REPEBAN suman aproximadamente 254 000 toneladas anuales; pero además de estas dos centrales, existen asociaciones independientes orgánicas y convencionales, que también podrían aportar residuos para una posible producción de etanol celulósico a partir de esta materia prima.
4. Las fases del proceso de producción bioetanol a partir de material lignocelulósico se encuentran establecidos de forma general; pero dependiendo de la materia prima que se utilice se debe de recurrir a subprocesos específicos. Varios estudios han determinado que la parte más importante del proceso de conversión de residuos de banano son los pretratamientos, ya que hacen que el material se vuelva más accesible a las enzimas
5. Según la bibliografía consultada en la presente tesis se concluye que es indispensable que los residuos del banano sean pretratados y los pretratamientos que mejor efecto tienen en los residuos de banano son el *Steam explosion* y el *Liquid hot water*. Así mismo la hidrólisis más adecuada para esta materia prima sería la enzimática.

6. La tecnología que actualmente se encuentra disponible para la bioconversión de materias primas lignocelulósicas en etanol, no ha sido todavía probada para tratar residuos de banano a nivel industrial; pero con investigación y pruebas pilotos se puede llegar a definir equipos especializados para esta materia prima, que hagan más eficiente y rentable un proceso industrial.
7. En general, la mayoría de productores y expertos entrevistados, no están de acuerdo con donar los residuos de banano orgánico debido, a que desde el inicio vienen incorporando estos al suelo y defienden la idea de que brinda mayores nutrientes al mismo. Es por ello que de llevarse a cabo el proyecto de una planta de etanol a partir de estos residuos, se deberán hacer análisis de suelos periódicamente en las distintas etapas de los cultivos, para poder saber con exactitud si la descomposición de los residuos aporta nutrimentos al terreno. Asimismo, se deberá evaluar si el costo de comprar más fertilizantes por la falta de materia orgánica en descomposición, será menor que el beneficio por vender los residuos.
8. La posible planta industrial de etanol con residuos de banano debería hacer un gran trabajo de responsabilidad social, no solo con los productores de banano en el valle, sino también con los pobladores de las comunidades vecinas. Debido a que generarían pocos puestos de trabajo no calificado, que es la que más se encuentra en la zona, deberán motivar con actividades y otros beneficios a las comunidades aledañas.
9. Una posible planta industrial de etanol que procese aproximadamente 714 t diarias de residuos de banano generaría residuos sólidos formados por restos de materia prima procesada, aproximadamente 1 513,68 t de vinaza, 70,33 t de CO₂ y vapor de agua. Todos estos, generarían impactos negativos en el medio ambiente de no ser tratados. Por ello se ha determinado que los residuos sólidos podrían ser utilizados como abono en plantaciones cercanas, la vinaza podría ser tratada para la obtención de gas metano, que serviría de combustible en todo el proceso de conversión, reduciendo de esta manera las emisiones de CO₂. Además el vapor de agua podría ser reutilizado en el proceso en la fase de destilación.
10. Por lo expuesto anteriormente se concluye que una planta industrial de etanol a partir de residuos del banano no sería viable en el corto plazo ya que existen aún variables que deben ser definidas. Principalmente la disposición de los productores de banano para donar o vender los residuos de sus plantaciones y la tecnología que se requerirá para la obtención de etanol a partir de estos materiales.

Bibliografía

- [1] La biomasa. (s/f). Recuperado el 04 de julio, 2013, de Construible: <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=21&idm=162>.
- [2] Clasificación de los biocombustibles. (s/f). Recuperado el 05 de julio de 2013, de Agencia provincial de la energía de Burgos: <http://www.agenbur.com>.
- [3] J. G. Morales Vilchez. (2011). Lixiviación de jugo de caña de azúcar. Informe de prácticas preprofesionales. Facultad de ingeniería. Universidad de Piura. Piura.
- [4] M. T. Hernández Nodarse. (2008). Tendencias actuales en la producción de bioetanol. Boletín electrónico N°8 Facultad de ingeniería. Universidad Rafael Landívar. Lomas de Ciudad Vieja Dos, Guatemala.
- [5] Bioetanol. (s/f). Recuperado el 15 de julio de 2013, de Mexico haz algo: <http://www.mexicohazalgo.org>.
- [6] DBNDES, CGEE, FAO & CEPAL, (2008) Bioetanol de caña de azúcar: Una energía para el desarrollo sostenible. Primera edición. Río de Janeiro, Brasil. Consultado de Bioetanol de caña de azúcar: <http://www.bioetanoldecanadeazucar.org/>.
- [7] Gasohol. (2013, 05 de julio). Recuperado 21:30, julio 05, 2013, de Wikipedia, Enciclopedia Libre: <http://es.wikipedia.org/wiki/Gasohol>.
- [8] MINCETUR. (2007). Perfil del mercado y competitividad exportadora de etanol. Lima.
- [9] F. Serna, L. Barrera & H. Montie. (2011). Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. *Journal of technology management & innovation*. Facultad de economía y negocios. Universidad Alberto Hurtado. Santiago de Chile, Chile.
- [10] Etanol. (s/f). Recuperado el 14 de julio de 2013, de Ecosectores: <https://ecosectores.com>.
- [11] *Ethanol world production* (2013). Recuperado el 15 de julio de 2013, de Renewable Fuels Association: <http://www.ethanolrfa.org>.

- [12] *Record U.S. ethanol exports in 2011 help offset Brazil's production decline.* (s/f). Recuperado el 15 de julio de 2013, de U.S Energy Information Administration: <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=5270>
- [13] *Brazil's ethanol industry* (2009). Recuperado el 15 de julio de 2012, de Iowa State University Extension and Outreach: <http://www.extension.iastate.edu/agdm/articles/hof/HofJan09.html>
- [14] Proyecto Caña Brava. (s/f). Recuperado el 14 de julio de 2013, de Caña Brava: <http://canabrava.com.pe>.
- [15] Maple Ethanol. (s/f). Recuperado el 31 de agosto de 2013, de Maple Energy: <http://www.maple-energy.com/etanol.htm>
- [16] Biocombustibles. (2014). Recuperado por última vez el 22 de enero de 2014, de OSINERGMIN: <http://www.osinerg.gob.pe>.
- [17] Entrevista a Ari Loeb Hleap (2013). Etanol del Perú. Recuperado el 04 de enero de 2014, de Editorial Eduni: http://www.eduni.uni.edu.pe/Entrevista_2.html.
- [18] ADUANET. (2013). Recuperado por última vez el 07 de diciembre de 2013, de SUNAT: <http://www.sunat.gob.pe/>.
- [19] INBICON. (s/f). Recuperado el 20 de septiembre de 2013, de INBICON: <http://www.inbicon.com/>.
- [20] BioGasol. (s/f). Recuperado el 20 de septiembre de 2013, de Biogasol: <http://www.biogasol.com/>.
- [21] Maabjer Energy. (s/f). Recuperado el 20 de septiembre de 2013, de Maabjer Energy: <http://www.maabjergenergyconcept.eu/>.
- [22] Beta Renewables. (s/f). Recuperado el 20 de septiembre de 2013, de Beta Renewables: <http://www.betarenewables.com/>.
- [23] Advanced Ethanol Council (AEC). (2013). *Cellulosic Biofuels: Industry progress report 2012-2013*. Advanced Ethanol Council (AEC). Estados Unidos. Recuperado de Renewable Fuels Association: <http://www.ethanolrfa.org/news/entry/cellulosicbiofuels-industry-progress-report-released/>
- [24] Ineos Bio. (s/f). Recuperado el 20 de septiembre de 2013, de Ineos Bio: <http://www.ineos.com/>.
- [25] C. C. Vásquez. (2011). Actualización del mapa regional del sector agrario de Piura.

Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA). Piura.

- [26] J. Lizier Corbetto. (2010). Gas y petróleo. Recuperado el 28 de enero de 2014, de Perú gas y Petróleo: <http://perugasypetroleo.blogspot.com>.
- [27] Afirman que petrolera afectaría manglares de Piura. (2010). Recuperado el 21 de enero de 2014, de Gestión: el diario de economía y negocios del Perú: <http://gestion.pe/noticia/628796/afirman-que-petrolera-afectaria-manglares-piura>.
- [28] Comuneros de San Lucas se reúnen por conflicto con empresa Olympic Perú INC. (2013). Recuperado el 21 de enero de 2014, de La República: Región norte: <http://www.larepublica.pe/19-05-2013/comuneros-de-san-lucas-se-reunen-porconflicto-con-empresa-olympic-peru-inc>
- [29] "Construiremos primera planta de fertilizantes del país en el norte". (2013). Recuperado el 25 de enero de 2014, de Gestión: el diario de economía y negocios del Perú: <http://gestion.pe/empresas/construiremos-primera-planta-fertilizantes-paisnorte-2076479>
- [30] Neptunia. (2013). Informe de la importación de aerogeneradores. Neptunia. Piura.
- [31] Proyecto Chira-Piura. (2012). Recuperado el 24 de octubre de 2013, de Proyecto Chira Piura: <http://www.chirapiura.gob.pe>.
- [32] Terminales Portuarios Euroandinos. (s/f). Recuperado el 21 de octubre de 2013, de Terminales Portuarios Euroandinos-Paita: <http://www.puertopaita.com/>.
- [33] IIRSA NORTE. (s/f). Recuperado el 24 de octubre de 2013, de IIRSA: <http://es.iirsanorte.com.pe/>.
- [34] Fitoterapia y natura. (1996). Medicina natural al alcance de todos. Recuperado el 15 de enero de 2014, de Ecoaldea: <http://www.ecoaldea.com/old/plmd/platano.htm>
- [35] CEPIBO. (23 de marzo de 2013). Visita a la Central Piurana de Asociaciones de Pequeños Productores de Banano Orgánico. (Entrevistado: Wilmer Juárez, gerente de CEPIBO)
- [36] CEDEPAS. (18 de noviembre de 2011). Visita a CEDEPAS. (Entrevistado: Wilson Nuñez, técnico agrario bananero).
- [37] CEPIBO. (25 de marzo de 2013). Visita a la Central Piurana de Asociaciones de Pequeños Productores de Banano Orgánico. (Entrevistados: Personal de CEPIBO).
- [38] El banano orgánico una experiencia de exportación en Piura. (2011). Recuperado el 27 de noviembre de 2012, de RPP Noticias: http://www.rpp.com.pe/2011-11-19-el-banano-organico-una-experiencia-de-exportacion-en-piura-noticia_423841.html

- [39] REPEBAN. (2013). Recuperado el 13 de octubre de 2013, de REPEBANCJ: <http://www.repebancj.org>.
- [40] FAO. (s/f). Recuperado el 23 de octubre de 2013, de Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura: <http://www.fao.org>.
- [41] SIICEX. (2010). Recuperado el 20 de octubre de 2013, de Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior: <http://www.siicex.gob.pe>.
- [42] BOS. (09 de febrero de 2013) Visita a la Asociación de Bananeros Orgánicos Solidarios. (Entrevistado: Presidente de la asociación)
- [43] A. Vilela Chavez, C. Murguía Reyes & A. Farias Nunura. (2008). Apostando por el desarrollo agroexportador de Piura: Una experiencia con banano orgánico en el valle del Chira 2006-2007:pp. 15-17.
- [44] *Trips* de la mancha roja en banano. (2013). Recuperado el 23 de octubre de 2013, de Gobierno Regional de Piura: <http://www.regionpiura.gob.pe>.
- [45] *Trips* de la mancha roja en Piura. (2013). Recuperado el 23 de octubre de 2013, de Agencia Agraria de Noticias: <http://www.agraria.pe>.
- [46] Plaga del trip de la mancha roja. (2013). Recuperado el 23 de octubre de 2013, de El Regional de Piura: <http://www.elregionalpiura.com.pe/antiguo/index.php/regionales/noti-region/piura/6949-mejoraran-servicios-fitosanitarios-en-cadena-productiva-de-banano-organico>
- [47] P. Q. Valladolid. (2013). Proyecto Fitosanitario en el cultivo del banano orgánico. Gobierno Regional Piura. Piura.
- [48] Mejoramiento de los servicios fitosanitarios en la cadena productiva del banano orgánico para mejorar la oferta exportable en la Región Piura. (2013). Recuperado el 25 de enero de 2014, de Diario El Tiempo: <http://eltiempo.pe>.
- [49] Velásquez Arredondo, A. Ruiz Colorado & Oliveira Junior. (2009). *Ethanol Production from Banana Fruit and its Lignocellulosic Residues: Energy and Renewability Analysis. Research of International Journal of Thermodynamics*35(7):3081-3087. DOI:10.1016/j.energy.2010.03.052
- [50] J. F. Monsalve G., V. I. Medina de Perez y A. A. Ruiz Colorado. (2006). Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y de almidón de yuca. *Dyna*:pp. 21-27. Medellín, Colombia. Consultado de Red de Revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49615002>
- [51] B. Hammond, R. Egg, D. Diggins y C. Coble. (1996). Alcohol from Bananas. Texas,

USA. DOI: 10.1016/0960-8524(95)00177-8

- [52] D. A. Paredes Medina. (2012). Obtención de enzimas celulasas a partir de hongos usando como sustrato los residuos del banano. Tesis de Ingeniería en Alimentos Universidad técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.
- [53] *Ethanol made of lignocelulosic material*. (2012). Recuperado el 05 de noviembre de 2013, de Renewable Fuels Association: <http://www.ethanolrfa.org>.
- [54] C. Ricardo Soccol, S. Karp, V. Thomaz-Soccol, A. Woiciechowski & A. Pandey. (2011). *Lignocellulosic Bioethanol: Current Status and Future Perspectives*. Oxford, UK. DOI: 10.1016/B978-0-12-385099-7.00005-X
- [55] S. Njoku, B. Ahring & H. Uellendahl. (2012). *Pretreatment as the crucial step for a cellulosic ethanol biorefinery: Testing the efficiency of wet explosion on different types of biomass*. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.08.030
- [56] T. Jeoh. (1998). *Steam explosion pretreatment of cotton gin waste for fuel ethanol production. Thesis of Biological Systems Engineering*. Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia, USA.
- [57] Maple Etanol. (2012). Entrevista a Milagros Hidalgo, asistente de ingeniería. Piura.
- [58] EcuRed. (s/f). Recuperado el 26 de enero de 2014, de EcuRed: <http://www.ecured.cu>.
- [59] O. Pérez, L. Zumalacárregui & O. Gozá. (2010). Simplificaciones en el cálculo de columnas de destilación alcohólica. Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba. DOI: 10.4067/S0718-07642010000600012
- [60] H. Fuentes Aquije, A Escalante Calderon. (2013). Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. Tesis de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Piura.
- [61] M. Santa Maria. (2013). *Characterization and bioconversion of lignocellulosic banana waste viewing to biofuel production in rural agricultural communities in Peru and Colombia. Bioenergy Research of University of California, Davis*. California, USA.
- [62] Parr Instrument Company. (s/f). Recuperado el 25 de enero de 2014, de Parr Instrument Company: <http://www.parrinst.com/es/>.
- [63] Santa-Maria, M., Ruiz-Colorado, A.A., Cruz, G. & Jeoh, T. (2013). *Assessing the feasibility of biofuel production from lignocellulosic banana waste in rural agricultural communities in Peru and Colombia. Bioenergy Research* 6(3):1000-1011. DOI: 10.1007/s12155-013-9333-4

- [64] L. F. Arévalo, J. Torres, J. Nalvarte & Ramirez. (2008) Impactos socioeconómicos de la producción de biocombustibles en la Amazonía peruana. Recuperado de World Wildlife Fund For Nature: <http://www.peru.panda.org/informate/publicaciones/?200232/ImpactosSocioeconomicosdelaproduccionde-BiocombustiblesenlaAmazonaPeruana#>
- [65] H. Cunza Roca. (2012). Uso de biocombustibles en el Perú. OSINERGMIN. Lima.
- [66] M. R. Hernandez. (2013). Comparación de diferentes métodos para el tratamiento de vinazas de la industria de etanol. Presentación digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.
- [67] L. Guardia Velarde y L. Ruiz Serkovic. (2010). Reutilización de vinazas producidas durante la destilación alcohólica. Tesis de Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.

Anexos

Anexo A

Entrevista a Ari Loeb Hleap, director Gerente General de LS Andina S.A.

ETANOL DE PERÚ

21 de enero de 2013 Número 2

Ari Loeb Hleap

Ing. Mecánico Electricista. Universidad Nacional de Ingeniería

Director Gerente General de LS ANDINA S.A. Empresa dedicada a la importación y distribución de productos de consumo masivo.

Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles

Ley N° 28054: Normas legales aquí: (www.elperuano.com.pe)

Objeto de la Ley: promover el desarrollo del Mercado de Biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objeto de diversificar el mercado de biocombustibles, además, entre otras la de disminuir la contaminación ambiental

Reglamentos de la Ley:

- 1) Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles (Decreto Supremo N° 13-2005-EM)
- 2) Reglamento para la Comercialización de Biocombustibles (Decreto Supremo N° 21-2007-EM)

CAÑA DE AZÚCAR

Nuestro país tiene ventaja absoluta en el cultivo de caña de azúcar medida en toneladas por hectárea, significa que, el Perú tiene la máxima productividad a nivel mundial. No obstante, actualmente, existe un problema real: la disponibilidad de agua. Que, sí tiene solución: Reservorio

Por entrevista y fotografía:
© Raúl JULIÁN USCATA
Estudiante Ingeniería Económica. Universidad Nacional de Ingeniería

(CURIOSIDAD) + (SENTIDO COMÚN) = (TECNOLOGÍA)¹

✕ Mercado de gasohol ✕

Solamente, el gasohol peruano (E7,8) para su venta al público, tiene una cantidad mínima de etanol, en cumplimiento del Artículo 6° del Decreto Supremo N° 13-2005-EM. ¿Qué significa E7,8? Significa que la gasolina está mezclada con 7,8% de etanol derivado de la caña de azúcar. Si el uso de etanol tiene superbeneficio para el medio ambiente y, también, para la economía peruana, entonces porque la cantidad de etanol es mínima en el Perú. Al respecto, el Presidente del Comité de Biocombustibles de la Sociedad Nacional de Industrias en el Perú, el ingeniero Ari Loeb Hleap, nos da luces con palabras sinceras, al inexplicable porcentaje:

¿Qué motivos, o justificación, habría para que el porcentaje actual de etanol aún no se haya aumentado de 7,8% [según Artículo 7° del Decreto Supremo N° 21-2007-EM] a 10% ó más en la mezcla con la gasolina, así como en Brasil. Acaso se debe, o al déficit en la producción, o son razones tecnológicas, o razones legislativas?

Hay varias razones que podrían explicar mas no justificar que el porcentaje de mezcla de etanol carburante en las gasolinas que se comercializan en el Perú no haya aumentado del 7,8% original a más. Las enumero:

- 1) No hay producción suficiente en el Perú. De lo que se produce gran parte se exporta para cumplir con contratos a futuro firmados desde hace algún tiempo lo que en su momento facilitó la financiación de los proyectos.
- 2) No se están cultivado todas las hectáreas que se tienen disponibles principalmente por la escasez de agua en el Norte. Sin estos cultivos, las plantas no pueden producir la cantidad de etanol anhidro que demanda el mercado nacional.
- 3) En Brasil se fabrican automóviles con motores de combustión del tipo FLEX. Estos motores no vienen en los automóviles que circulan en el Perú, y por lo tanto, no es posible incrementar el porcentaje de la mezcla de etanol aún cuando si se podría llegar al 10% en los autos de menos de 10 años de antigüedad sin crear ningún problema técnico.
- 4) Hay interés de las refinerías de petróleo en que el porcentaje de etanol carburante en las gasolinas no aumente por encima de los niveles actuales.
- 5) La normatividad vigente no es flexible. Se necesitaría modificarla para que se incremente el porcentaje de etanol carburante en las gasolinas.
- 6) La capacidad de diseño nominal de las plantas que operan en Sullana en producción de etanol anhidro es 355,000 litros/día en **Caña Brava** y 400,000 litros/día en **Maple**. Ambas están produciendo aproximadamente un "50%-60%" de su capacidad instalada.

¹Ecuación del Ing. Ari Loeb Hleap, Presidente del Comité de Biocombustibles, SNI.

Anexo B

Figura B1. Tesista junto con Wilson Nuñez al término de una de las visitas a CEPIBO.



Figura B2. Tesista en plantación previo al pesaje de los residuos de una planta de banano.



Figura B3. Tesista en plantación previo al pesaje de los residuos de una planta de banano.

Anexo C

Preguntas de entrevista a presidentes de asociaciones bananeras

Las siguientes preguntas fueran realizadas a 12 presidentes de las asociaciones que constituyen CEPIBO y a los 8 presidentes de las asociaciones que conforman REPEBAN. Los entrevistados fueron hombres entre los 25 y los 60 años de edad.

1. ¿A qué central de bananeros pertenece?
2. ¿Cuál es el nombre de la asociación que preside?
3. ¿Qué cargos conforman la junta directiva de la asociación?
4. Actualmente, ¿Se encuentra alguna mujer ocupando alguno de esos puestos? De ser no, ¿Por qué no?
5. ¿Qué hacen con los residuos generados por la planta de banano luego de la cosecha del fruto?
6. A parte de la reincorporación al suelo, ¿utilizan los residuos con otra finalidad?
7. Los residuos dispuestos en el terreno para su reincorporación al suelo, ¿les causan algún malestar?
8. En su asociación, ¿realizan análisis de suelos de las plantaciones?
9. ¿Cada cuánto tiempo fertilizan las plantaciones de su asociación?
10. ¿Utilizan la misma cantidad de fertilizantes siempre?
11. Como representante de su asociación, ¿Cree que los productores estarían dispuestos a donar los residuos (pseudotallo, raquis, hojas) para fines industriales?
12. ¿Cuál de los tres residuos estarían dispuestos a donar?
13. Como representante de su asociación, ¿Cree que los productores estarían dispuestos a vender los residuos (pseudotallo, raquis, hojas) para fines industriales?
14. ¿Cuál de los tres residuos estarían dispuestos a vender?
15. ¿A cuánto dinero vendería la tonelada de residuos?
16. ¿conoce lo que es el etanol?
17. ¿Conoce lo que es el gasohol?
18. ¿Está de acuerdo con la venta de gasohol?
19. ¿Está de acuerdo con la producción de etanol a partir de residuos vegetales?
20. ¿Está de acuerdo con las operaciones de las empresas Caña Brava y Maple etanol?
¿Por qué?
21. ¿Estaría de acuerdo si se instala una nueva planta productora de etanol en el valle del Chira a partir de residuos del banano? ¿Por qué?

Anexo D

Diagrama de proceso continuo de producción de etanol a partir de residuos de banano expuesto en la tesis “Estudio experimental de obtención de bioetanol, a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura” de la UDEP

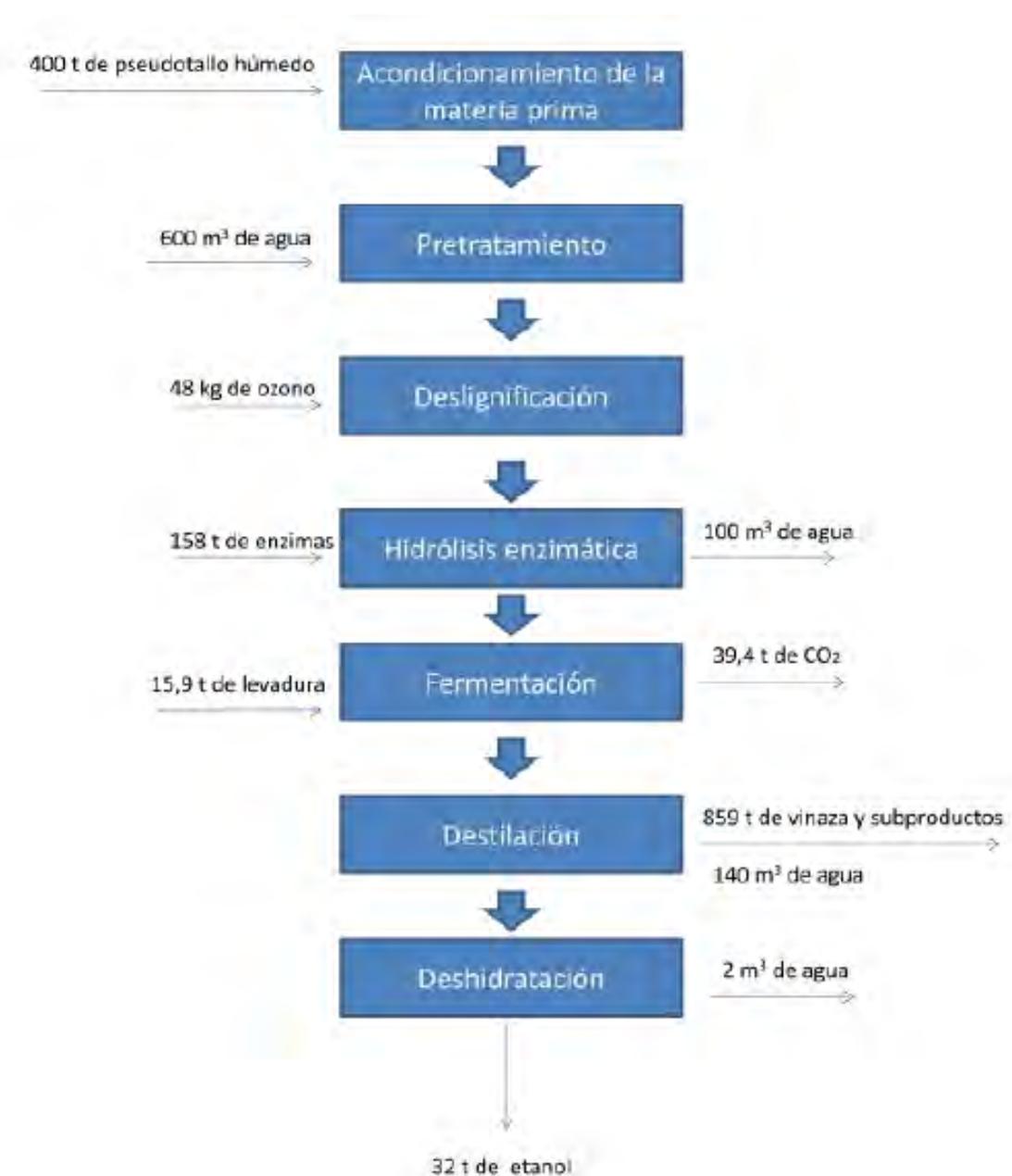


Figura D1. Diagrama de proceso continuo de producción de etanol a partir de residuos de banano