



## **INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **Diseño de un sistema sostenible de producción y uso de biodiésel apropiado para poblaciones aisladas de la selva amazónica**

#### **Presentado por:**

Intermediate Technology Development Group (**ITDG**),  
Universidad Nacional Agraria La Molina (**UNALM**) y  
Universidad Nacional de Ingeniería (**UNI**)

#### **Ante:**

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONCYTEC**)  
(Contrato de Subvenciones 443-2004-CONCYTEC-OAJ)

**Lima, mayo del 2006**

## **INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **Diseño de un sistema sostenible de producción y uso de biodiésel apropiado para poblaciones aisladas de la selva amazónica**

Preparado por:

José Luis Calle<sup>1</sup>, Javier Coello<sup>2</sup>, Liliana Castillo<sup>3</sup>, Paula Castro<sup>4</sup>,  
Fernando Acosta<sup>4</sup>, Gabriela Sologuren<sup>4</sup> y Carolina Vidal<sup>4</sup>.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El actual sistema energético mundial no es sostenible en el largo plazo debido a los impactos ambientales que genera y a la inequidad existente en su distribución (Coello & Gnecco, 2000). En el Perú, la energía primaria proviene aproximadamente en un 45% del petróleo y en un 30% de la leña (MINEM, 1998).

En el caso específico de la Amazonía peruana, los poblados más alejados de las grandes ciudades tienen un acceso limitado a la energía eléctrica debido a la dificultad y el elevado costo de la ampliación de la red de distribución eléctrica en esta región. De los 2 millones 700 mil habitantes de la selva peruana, el 45% no cuenta actualmente con electricidad (MINEM, 2002). Es por eso que los pobladores utilizan leña y/o generadores eléctricos que usan diesel. El uso de este último combustible implica además la necesidad de transportarlo por vía fluvial, lo cual incrementa su costo y las probabilidades de constituirse en fuente contaminante de los ríos.

Por este motivo, es necesario investigar mecanismos que permitan aprovechar fuentes alternativas de energía que sean de bajo costo pero que reduzcan los impactos ambientales negativos de su generación y utilización. El presente proyecto ha buscado atacar este problema planteando el uso de la biomasa existente en la Amazonía. Específicamente, se ha tratado de emplear los recursos oleaginosos amazónicos para la producción de biodiésel.

El biodiésel es un combustible renovable derivado de aceites vegetales, cuyas características fisicoquímicas del biodiésel son muy similares a las del diesel de petróleo. Por tanto, el uso de este biocombustible no requiere mayores cambios en los motores diesel convencionales, pudiendo emplearse directamente como aditivo (mezclado en cualquier proporción con el diesel) o puro.

Además, el uso del biodiésel presenta numerosas ventajas frente a los combustibles fósiles en el plano ambiental, ya que contribuye en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, disminución de agentes contaminantes y es altamente biodegradable en cuerpos de agua. Por un lado, el uso de biodiésel implica la sustitución, parcial o total, de diesel derivado del petróleo, disminuyendo con ello la emisión de CO<sub>2</sub> de origen fósil, a lo que se agrega el hecho que el biodiésel emite menos CO<sub>2</sub> en su ciclo de vida que el fijado mediante el proceso de fotosíntesis por las plantas usadas para producirlo. Otro de los beneficios del biodiésel es que no contiene azufre y que, debido a la presencia de oxígeno en su composición química, su combustión es más completa, reduciendo la emisión de partículas, monóxido de carbono e hidrocarburos no quemados, entre otros contaminantes.

---

<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Facultad de Ingeniería Agrícola.

<sup>2</sup> Intermediate Technology Development Group (ITDG), Programa de Energía, Infraestructura y Servicios Básicos.

<sup>3</sup> Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), Facultad de Industrias Alimentarias.

<sup>4</sup> Asistentes de investigación (ITDG & UNALM).

El Perú cuenta desde el 2003 con la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles (Ley N° 28054), la cual busca *promover las inversiones para la producción y comercialización de biocombustibles y difundir las ventajas económicas, sociales y ambientales de su uso*. El Grupo Técnico Multisectorial que elaboró la propuesta de Ley, en su informe técnico presentó al biodiésel como una alternativa prometedora, *una oportunidad para reemplazar progresivamente parte de la importación de diesel, y reducir la contaminación ambiental, generando al mismo tiempo nuevas oportunidades de desarrollo agrícola y agroindustrial en el país* basándose en la promoción del cultivo de soya y palma aceitera. Por su parte, el Reglamento de la Ley N° 28054 prevé el uso de biodiésel a nivel nacional desde el año 2010, y en la Amazonía desde el 2008 como estrategia para la sustitución de cultivos ilícitos.

Intermediate Technology Development Group (ITDG) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) emprendieron en alianza las primeras investigaciones sobre biodiésel en el Perú hace 6 años. Las primeras pruebas regulares de producción y uso de biodiésel en el país se realizaron en el año 2000 en las instalaciones de ITDG y la UNALM. El trabajo desarrollado hasta el momento se ha centrado en el estudio de dos posibles opciones para su producción en el Perú:

- La producción a partir de aceites vegetales usados en zonas urbanas, para ser usado como aditivo del combustible diesel en vehículos de transporte terrestre para reducir las emisiones de gases contaminantes y como una alternativa para resolver la disposición final de los aceites usados.
- La elaboración artesanal y a pequeña escala en comunidades amazónicas aisladas, a partir de aceites de especies vegetales abundantes, nativas o introducidas, como una posible solución al problema de acceso a la energía de dichas comunidades.

Precisamente, el proyecto *Diseño de un sistema sostenible de producción y uso de biodiésel apropiado para poblaciones aisladas de la selva amazónica*, que contó además con el apoyo y participación de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), se enmarcó en esta última línea de trabajo. Este proyecto, cuyo informe final se reporta en el presente documento, tuvo como objetivo diseñar un sistema sostenible de producción y uso de biodiésel para poblaciones aisladas de la Amazonía peruana, considerando los insumos más aptos para este fin y probando su desempeño como combustible para el transporte fluvial y actividades domésticas y productivas.

Para ello se conformó un equipo multidisciplinario proveniente de las tres instituciones socias del presente proyecto: ITDG, UNALM y UNI. Este equipo, que a lo largo de toda la investigación congregó alrededor de 20 personas, estuvo conformado por profesionales y especialistas de los campos de desarrollo rural, energías renovables, medio ambiente, manejo forestal, ingeniería agrícola, agroindustria, ingeniería mecánica y química

El trabajo desarrollado en esta investigación se basó en los avances logrados en el proyecto *Producción de biodiésel a pequeña escala a partir de recursos oleaginosos amazónicos*, ejecutado por ITDG y la UNALM con apoyo de CONCYTEC entre el 2003 y el 2004. Los principales progresos en dicho proyecto fueron:

- Inventario de 24 especies vegetales oleaginosas de la selva peruana con potencial teórico para la producción de biodiésel.
- Pruebas exitosas de producción de biodiésel a nivel de laboratorio a partir del aceite de las siguientes especies: palma aceitera, girasol, soya, piñón, castaña, sacha inchi, aguaje, umarí, y unguahui.

- Caracterización fisicoquímica del biodiésel producido (densidad, viscosidad, poder calorífico, índice de cetano, punto de inflamación, contenido de agua y sedimentos) para comprobar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del diesel convencional.
- Diseño de un modelo tecnológico de bajo costo para la producción de biodiésel a pequeña escala, construido a partir de materiales reciclados, ideado básicamente para la producción artesanal en comunidades aisladas de selva.
- Primeras pruebas de rendimiento (potencia, torque, consumo, opacidad de las emisiones) en motores diesel convencionales del biodiésel producido.
- Diseño y construcción de un modelo tecnológico para la producción de biodiésel a pequeña escala (50 litros/lote) que incluye el tratamiento previo del aceite, la producción misma de biodiésel por transesterificación empleando metanol como catalizador y el tratamiento posterior del combustible.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre la base mencionada, el proyecto *Diseño de un sistema sostenible de producción y uso de biodiésel apropiado para poblaciones aisladas de la selva amazónica* se orientó a trabajar con mayor profundidad los aspectos complementarios a la producción de biodiésel que permitirían llevar esta tecnología de una manera sostenible a poblaciones amazónicas.

Se han evaluado los insumos del proceso: la disponibilidad de recursos oleaginosos y tecnologías apropiadas (sencillas, de bajo costo y bajo consumo energético) para obtener el aceite de ellos, así como los aspectos técnicos y económicos del uso de metanol o etanol y de diferentes catalizadores de la transesterificación teniendo en cuenta su disponibilidad en la región de selva. Asimismo, se profundizó en el dominio del proceso de transesterificación para la obtención de biodiésel, insistiendo con la prueba de especies aún no estudiadas. Por último, se probaron algunas opciones de uso del biodiésel y sus subproductos.

El esquema general de la investigación ha sido:



## 2.1 Lugar del estudio

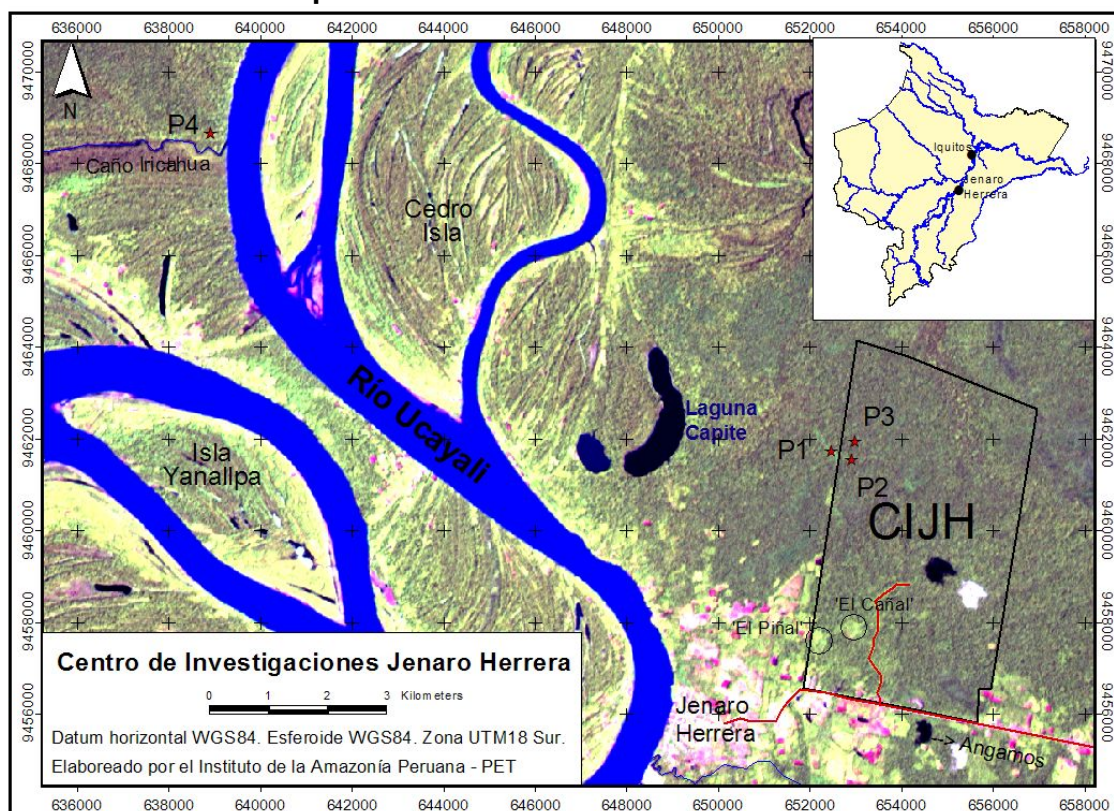
La mayor parte de la investigación se realizó en el Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la UNALM. También se han utilizado las instalaciones de la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNALM, el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la UNI y las oficinas de ITDG.

Los trabajos de evaluación forestal se realizaron en dos zonas del distrito de Jenaro Herrera, provincia de Requena, región Loreto, a las cuales se accede por vía fluvial:

- El área de influencia del pueblo de Jenaro Herrera se encuentra sobre la margen derecha del río Ucayali, 200 Km aguas arriba de la ciudad de Iquitos. Las coordenadas geográficas del pueblo son: Longitud 73°40'00" y Latitud 4°54'00".
- Las riberas del caño Iricahua se ubican sobre la margen izquierda del río Ucayali, 124 Km aguas arriba de Iquitos. El caserío Iricahua se encuentra a 125 msnm y sus coordenadas UTM son 642 800 Este y 9 472 400 Norte.

En el gráfico N° 1 se puede apreciar la ubicación de las dos zonas donde se realizaron los trabajos de evaluación forestal:

**Gráfico N° 1**  
**Mapa de ubicación de la evaluación forestal**



## 2.2 Materiales empleados

### Equipos

El equipamiento utilizado en la investigación consistió en:

- Cuatro computadoras personales con acceso a Internet.
- Equipos diversos de laboratorio:
  - Balanza de precisión marca Sartorius con lectura de hasta 0,1 g.
  - Un evaporador rotativo marca Büchi modelo R3000.
  - Agitador magnético con plancha de calentamiento Marca IKA.
  - Cocinas eléctricas.
  - Filtros y tamices.
  - Termocuplas.
  - Botellas y frascos de vidrio para almacenar aceites y biodiésel producido.
  - Matraces, peras de decantación, vasos, probetas, pipetas, bureta, etc.
  - Papel indicador de pH.
- Equipos para la extracción de aceite:
  - Una prensa hidráulica marca Soiltest.
  - Un secador de túnel con aire caliente.
  - Una despulpadora.
  - Filtros y tamices.
- Un sistema para la producción de biodiésel a pequeña escala que incluye:
  - Balanza de plataforma para pesado de frutos.
  - Un reactor para producir biodiésel de 50 litros de capacidad, constituido por un tanque pequeño elevado para la mezcla del alcohol con el catalizador, y un tanque principal donde se realiza la transesterificación, ambos agitados mediante motores eléctricos y el segundo equipado con una resistencia eléctrica para proporcionar calor a la reacción.
  - Subsistema de destilación para recuperar el alcohol excedente.
  - Subsistema de lavado y filtrado del biodiésel.
- Banco de pruebas de funcionamiento de motores:
  - Dos motocultores.
  - Tractor de 25 HP.
  - Motor marca Lister tipo SL2, con potencia nominal de 8,5 HP (6,34 Kw) a 1800 RPM, con 2 cilindros y 916 cm<sup>3</sup> de cilindrada; conectado a un generador eléctrico de corriente alterna marca Frapil tipo AG1M18, 60 Hz de frecuencia y 220 V de intensidad a 1800 RPM y con un rendimiento del 77% que alimenta a un panel de 60 focos incandescentes de 100 W.
  - Pipeta graduada para medir el volumen de combustible consumido por el motor.
  - Cronómetro para medir el tiempo en que se consume un determinado volumen de combustible.
  - Manómetros para determinar el flujo de aire que ingresa al motor y para monitorear la presión del aceite lubricante.
  - Tacómetro digital para medir la velocidad de rotación del motor.
  - Multitester marca Tektronix TX3 para medir el voltaje y la frecuencia de la corriente generada.
  - Pinza amperimétrica marca Clamp Meter para medir el amperaje de la corriente generada.
  - Termocuplas para medir la temperatura de los gases de escape y del aire de refrigeración del motor.
  - Opacímetro marca OPAX 2000 II para medir la opacidad de los gases de escape del motor.
  - Sonómetro.

## Servicios

Durante la investigación se contrataron los siguientes servicios:

- Análisis de los frutos oleaginosos y semillas estudiadas.
- Análisis fisicoquímicos de los aceites extraídos y el biodiésel producido.
- Guías de campo para la evaluación forestal.

## **2.3 Metodología**

Los pasos seguidos para la realización del proyecto de investigación fueron:

- i) Sistematización de información existente sobre el potencial productivo de aceites vegetales de las especies oleaginosas amazónicas.
- ii) Determinación de los recursos oleaginosos con mayor aptitud para la producción de biodiésel en la Amazonía peruana.
- iii) Evaluación forestal de la distribución, densidad de individuos por área y producción de materia prima oleaginosa de las especies de mayor interés identificadas en zonas específicas de la selva baja.
- iv) Determinación de metodologías apropiadas para la extracción de aceite de los recursos oleaginosos seleccionados. Evaluación de rendimientos y calidad de los aceites.
- v) Evaluación técnica y económica del uso de metanol o etanol como insumos y del hidróxido de sodio o potasio como catalizadores de la transesterificación.
- vi) Elaboración de biodiésel a partir de recursos oleaginosos seleccionados que no hayan sido probados anteriormente y caracterización del mismo.
- vii) Evaluación de alternativas para el uso local de los subproductos del proceso de transesterificación: glicerina y jabones.
- viii) Prueba del funcionamiento y rendimiento del biodiésel aplicado al transporte fluvial y a usos domésticos y productivos locales.
- ix) Determinación de áreas mínimas de bosque o plantación de determinados recursos oleaginosos para el establecimiento de sistemas locales de producción de biodiésel.
- x) Diseño de un sistema apropiado de producción y uso de biodiésel en comunidades de la selva peruana.
- xi) Sistematización de los resultados y recomendaciones producto de la investigación.
- xii) Actividades de difusión para la transferencia de los resultados a los usuarios potenciales, publicaciones especializadas, mundo académico e instituciones de desarrollo.

## **2.4 Cronograma de trabajo**

En el cuadro N° 1 se puede apreciar el cronograma final seguido durante la investigación. Inicialmente los trabajos estuvieron planteados para realizarse en 12 meses, pero algunos retrasos sufridos, especialmente en el abastecimiento de los frutos amazónicos seleccionados, llevaron a extender el período de investigación a un total de 18 meses.

**Cuadro N° 1**  
**Cronograma de trabajo**

Actividad	Mes																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Sistematización de información sobre oleaginosas amazónicas	x	x	x															
Determinación de recursos con mayor aptitud			x	x														
Evaluación forestal de recursos oleaginosos				x	x	x	x											
Evaluación de metodologías de extracción de aceites				x	x	x	x	x	x	x	x	x						x
Evaluación de alcoholes y catalizadores	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Elaboración y caracterización de biodiésel				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Evaluación de alternativas de uso de subproductos						x	x	x	x									
Prueba del biodiésel en transporte fluvial y otros usos												x	x	x	x	x		
Determinación áreas mínimas para la producción de biodiésel																x	x	
Diseño de sistema de producción y uso de biodiésel																	x	x
Sistematización de la investigación																	x	x
Difusión de resultados						x	x										x	x

### 3. RESULTADOS

#### i. Sistematización de información existente sobre el potencial productivo de aceites vegetales de las especies oleaginosas amazónicas

Se buscó recopilar información sobre las especies vegetales amazónicas con potencial productivo de aceites vegetales. Para ello se visitaron las bibliotecas y centros de documentación de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP) y del Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), ambas instituciones situadas en la ciudad de Iquitos. Asimismo, se visitó la Red Nacional de Información Forestal de la UNALM (REDINFOR) en Lima.

Finalmente, se visitó la Estación Experimental Agraria San Roque del Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIEA) con sede en Iquitos, donde han estado investigando durante más de 13 años en el desarrollo de líneas productivas del pijuayo (*Bactris gasipaes*) incluyendo algunas variedades con interesante contenido oleaginoso. Cabe resaltar que el INIEA facilitó muestras de 9 ecotipos de pijuayo para su evaluación.

En el Anexo I al presente informe se puede apreciar la principal bibliografía adquirida y/o revisada para la investigación.



## ii. Determinación de los recursos oleaginosos con mayor aptitud para la producción de biodiésel en la Amazonía peruana

La determinación de los recursos de mayor aptitud se realizó en base a la revisión de literatura y a entrevistas con los expertos Pedro Carrasco, Kember Mejía y Agustín Gonzáles. Algunos de los criterios que ayudaron a definir cuáles son las especies con mayor potencial fueron: disponibilidad del recurso, distribución de las especies, usos actuales de las especies y contenido de aceite del recurso, entre otros. En las entrevistas realizadas con los expertos se corroboraron los resultados preliminares obtenidos de la revisión de literatura y se propusieron además otras especies.

Finalmente se priorizaron las siguientes 5 especies oleaginosas (4 palmeras y 1 dicotiledónea) para las siguientes fases de la investigación (en el Anexo II se presenta información más detallada sobre estas especies):

- *Astrocaryum* sp. (familia: Arecaceae; nombre común: huicungo).
- *Elaeis oleifera* (familia: Arecaceae; nombres comunes: paloponta o palmera aceitera americana).
- *Euterpe precatória* (familia Arecaceae; nombre común: huasai).
- *Oenocarpus mapora* (familia Arecaceae; nombre común: sinamillo).
- *Grias* sp. (familia: Lecythydaceae; nombre común: sachamangua).

Adicionalmente, por recomendación de los especialistas del INIEA, se consideró a *Bactris gasipaes* (familia: Arecaceae; nombre común: pijuayo) para la etapa de extracción de aceite y prueba de elaboración de biodiésel, mas no para la evaluación forestal pues esta especie no se encuentra en la zona de estudio y su utilización podría realizarse a partir de plantaciones, no de poblaciones naturales.

Asimismo, fueron consideradas para algunas fases posteriores de la presente investigación la *Elaeis guineensis* (palma aceitera africana), la *Mauritia flexuosa* (aguaje) y la *Jatropha curcas* (piñón) por sus interesantes características de rendimiento, distribución y resistencia, respectivamente.

## iii. Evaluación forestal de materia prima oleaginosa en zonas específicas de la selva baja

El estudio se realizó en los bosques de terraza baja cercanos al poblado de Jenaro Herrera y en los bosques de restinga del caserío Iricahua, pertenecientes al distrito de Jenaro Herrera; estas formaciones vegetales fueron elegidas ya que, según estudios previos, en ellas se encuentran las especies oleaginosas a evaluar.

La evaluación se realizó en 4 fajas, 2 de 20x160 m y 2 de 20x300 m. Para facilitar el inventario se dividieron las fajas en subunidades de 20x20 m, donde se evaluaron todas las especies encontradas. En el bosque de terraza baja del poblado de Jenaro Herrera se levantaron 3 fajas, de las cuales 2 fueron de 20x160 m y en el bosque de restinga del caserío Iricahua se levantó una faja. Las coordenadas de inicio de cada faja y el rumbo fueron predeterminados en base a una imagen satélite Landsat 7 ETM, al mapa forestal de Jenaro Herrera y con la ayuda de los guías de campo de la zona, de tal manera que la faja no pasase por las chacras de los pobladores.

Una vez en campo se evaluaron los siguientes parámetros para el caso de palmeras: cantidad de palmeras adultas, cantidad de palmeras juveniles y de regeneración natural. También se midieron las siguientes variables para todas las especies: altura del fuste o del estípote, diámetro a la altura del pecho (DAP),

cantidad de racimos, cantidad de frutos por racimo y peso de los frutos. Cada individuo luego de ser evaluado, fue marcado a 1.3 m del suelo, empleando pintura amarilla y siguiendo un orden correlativo de acuerdo a la faja en la que se encontraba. Para la recolección de los frutos, los racimos estaban al alcance de las manos, por lo que solo fue necesario verificar su estado de madurez.

En la evaluación completa del bosque de terraza baja perteneciente al poblado de Jenaro Herrera se encontraron:

- *Astrocaryum sp*: 21 individuos adultos, 37 juveniles y 127 de regeneración natural en 1 hectárea.
- *Elaeis oleifera*: 30 individuos adultos, 31 juveniles y 131 de regeneración natural en 1 hectárea.
- *Euterpe precatoria*: 52 individuos adultos, 23 juveniles y 61 de regeneración natural en 1 hectárea.
- *Oenocarpus mapora*: 8 individuos adultos, 23 juveniles y 53 de regeneración natural en 1 hectárea.

Mientras que en la evaluación final del bosque de restinga perteneciente al caserío de Iricahua se encontraron:

- *Grias sp*: 117 individuos adultos, 233 juveniles y 186 de regeneración natural en 1 hectárea.

El rendimiento encontrado de frutos por hectárea al año de las especies estudiadas fue el siguiente:

- *Astrocaryum sp*: 0,054 Ton/Ha/año
- *Elaeis oleifera*: 24 Ton/Ha/año
- *Euterpe precatoria*: 0,78 Ton/Ha/año
- *Oenocarpus mapora*: 0,24 Ton/Ha/año
- *Grias sp*: 2,3 Ton/Ha/año

**Cuadro N° 2**  
**Rendimientos de especies oleaginosas**  
**en bosques naturales y plantaciones propuestas**

Especie	Bosque natural		Plantación	
	Individuos adultos (número/Ha)	Rendimiento de frutos (Ton/Ha/año)	Espaciamiento propuesto	Rendimiento de frutos (Ton/Ha/año)
<i>Elaeis oleifera</i>	30	2,50	12x6 m (139 plantas/Ha) ó 12x12 m (69 plantas/Ha)	11,6 (con 139 plantas) ó 5,8 (con 69 plantas)
<i>Euterpe precatoria</i>	52	0,78	2x3 m (1666 plantas/Ha)	25,0
<i>Oenocarpus mapora</i>	8	0,24	9x9 m (123 plantas/Ha)	3,7
<i>Astrocaryum murumuru</i>	21	(*) 0,054	7x7 m (204 plantas/Ha)	0,5
<i>Grias neuberthii</i>	117	2,30	6x6 m (278 plantas/Ha)	5,5

(\*) Este dato se obtuvo en campo durante la evaluación de una de las fajas en el bosque de terraza baja, según el manifiesto de los materos esta especie produce en promedio 2 racimos/año; se obtuvo un peso promedio de racimo de 1,28kg (n=5), por lo que se estima una producción de 2,56 Kg/planta/año.

Como se puede observar, las especies de mayor rendimiento de frutos por hectárea son la *Elaeis oleifera*, *Grias neuberthii* y *Euterpe precatoria*. Cabe resaltar que estos rendimientos corresponden a datos de bosques naturales, por lo que podrían incrementarse significativamente si se realiza un manejo del bosque beneficiando a las especies elegidas, si se enriquece el bosque con las dichas especies o si se realizan plantaciones de éstas. Lo importante es tener en cuenta cuales son los requerimientos de estas especies en cuanto a clima, suelos u otros factores ecológicos para poder realizar las plantaciones.

Asimismo, se debe considerar un adecuado espaciamiento de los individuos en las plantaciones, en función de los objetivos de la plantación. En el cuadro N° 2 se precisan los datos encontrados y se propone el espaciamiento para fines de obtener el mayor rendimiento posible de frutos en cada caso.

#### **iv. Determinación de metodologías apropiadas para la extracción de aceite de los recursos oleaginosos seleccionados. Evaluación de rendimientos y calidad de los aceites**

La metodología elegida para la extracción del aceite de los recursos oleaginosos seleccionados fue la extracción mecánica, debido a su facilidad de ejecución, la disponibilidad de tecnologías sencillas y de bajo costo para realizarlo, y su reducido consumo energético en comparación con otros métodos tradicionales de extracción de aceites, tales como el hervido.

Otros procesos de aplicación industrial, tales como la extracción por solventes por ejemplo, son demasiado costosos y/o complejos, por lo que no son recomendables para las condiciones promedio de localidades aisladas de la selva amazónica.

Para el proceso de extracción mecánica existen diferentes equipos los cuales están diseñados en base a su capacidad, eficiencia y costos en materiales. Usando los mismos criterios de bajos precios y reducidos consumos energéticos, se ha optado por el uso de una prensa hidráulica cerrada.

Para lograr una extracción mecánica eficiente, es muy importante la etapa de acondicionamiento de la materia prima oleaginosa. Esta fase previa varía en función a las características físicas y morfológicas, la composición de la materia prima y las características del aceite. El acondicionamiento involucra una serie de operaciones con la finalidad de proporcionarle a la materia prima las condiciones óptimas para el proceso de extracción en sí. Entre estas operaciones destacan el descascarado pelado, la molienda, el secado o deshidratado, el tamizado y el calentamiento. Si bien son pasos sencillos, se tienen que adecuar a cada materia prima que se emplee.

A continuación se presentan las evaluaciones de extracción, rendimientos y calidades de los aceites de las siguientes especies estudiadas:

- *Bactris gasipaes* (pijuayo).
- *Mauritia flexuosa* (aguaje).
- *Astrocaryum* sp (huicungo).
- *Euterpe precatoria* (huasai).
- *Oenocarpus mapora* (sinamillo).
- *Grias* sp (sachamangua).
- *Elaeis guineensis* (palma aceitera africana).
- *Elaeis oleifera* (poloponta o palma aceitera americana).
- *Jatropha curcas* (piñón o tempate).

*Bactris gasipaes* (pijuayo)

El fruto del pijuayo tiene un 80% de pulpa y 20% de semilla. El aceite del pijuayo se puede extraer tanto de la pulpa del fruto (mesocarpio), como de la semilla, presentando características diferentes, por lo que son extraídos de forma separada. Dependiendo de la variedad, la pulpa suele tener en promedio un 20% de contenido graso. En plantación, las variedades más comunes producen alrededor de 20 Ton/Ha de fruto, aunque existe una línea en investigación que registra rendimientos de hasta 74 Ton/Ha.

Para la presente investigación se trabajó con 9 ecotipos de pijuayo, los cuales están siendo producidos de forma experimental por el INIEA. En el cuadro N° 3 se presentan sus características. De las líneas evaluadas, fueron priorizadas las 174-1 y 206-6 debido a su procedencia local y a referencias de sus altos rendimientos en producción de frutos por hectárea.

**Cuadro N° 3**  
**Características de los frutos de pijuayo evaluados**

Línea	Procedencia	Peso total de la muestra (g)	Altura promedio del fruto (cm)	Diámetro promedio del fruto (cm)	Peso promedio fruto (g)	Humedad de pulpa y cáscara (%)	Grasa de pulpa y cáscara (%)
174-1	Mazán, Maynas, Loreto, Perú	4898	5,68	4,91	79,14	55,76	6,31
206-6	Intuto, El Tigre, Loreto, Perú	3778	4,21	3,85	35,14	52,33	8,36
194-3	Coca, Lago Agrio, Napo, Ecuador	3279	4,63	4,52	58,86	n.d.	n.d.
242-2	Pusuno, Tena, Napo, Ecuador	2826	3,85	3,79	33,14	n.d.	n.d.
244-9	Palmera, Tena, Napo, Ecuador	5317	5,24	4,69	64,43	n.d.	n.d.
247-3	Puerto Colón, Archidona, Napo, Ecuador	3441	5,26	5,01	78,71	n.d.	n.d.
253-3	Coca, Lago Agrio, Napo, Ecuador	2512	3,28	3,28	21,00	n.d.	n.d.
254-6	San Carlos, Coca, Napo, Ecuador	3707	3,60	3,96	34,71	n.d.	n.d.
289-4	Arará, Mitú, Vaupés, Colombia	1998	3,99	3,41	30,14	n.d.	n.d.

Debido a su alto contenido de humedad (mayor a 50%) y su bajo contenido graso se hizo necesario secar la pulpa antes del prensado, a fin de además de reducir la humedad a niveles óptimos e incrementar el contenido relativo de materia grasa para permitir su extracción por prensado. Se ensayaron dos tipos de

acondicionamiento previo: el secado directo del fruto en un secador solar tipo estante sin exposición directa al sol hasta peso constante, y una cocción del fruto previa al secado. En el primer caso, previamente se extrajo la semilla del fruto y se laminó; en el segundo caso, se sancochó el fruto entero y se cortó en cuartos para extraer la semilla. En ambos casos, después de estos pasos, el material se dejó secar, se peló, se eliminó la cáscara leñosa y se conservó la almendra; posteriormente la pulpa del fruto fue molida y tamizada para obtener tres tamaños diferentes de grano: menor a 2 mm; entre 2 y 5 mm; y mayor a 5 mm.

A pesar del acondicionamiento previo realizado, al analizar ambos ecotipos se encontraron contenidos de aceite demasiado bajos (6.3 y 8.4% en base húmeda, y 14.3 y 17.5% en base seca, respectivamente) para lograr la extracción por prensado. Sin embargo, para efectos de la investigación, se continuó trabajando con estas muestras para descartar cualquier posibilidad de lograr extraer el aceite. Por limitaciones presupuestales no se pudo analizar el contenido de grasa de las otras líneas de pijuayo recibidas.

#### Mauritia flexuosa (aguaje)

El aguaje es una palmera grande, solitaria e inermes que alcanza los 30 m de altura y de 30 a 60 cm de diámetro. Los frutos del aguaje se consumen al natural y en forma de refrescos y helados en la Amazonía peruana. El peso de cada fruto varía entre 30 a 65 gr. La semilla constituye, en promedio, el 44,5% del peso del fruto; mientras que el contenido del aceite en peso seco del fruto alcanza el 33% (Lognay et al., 1987 citado por Mejía, 1997).

Durante la primera etapa de la investigación se realizaron evaluaciones de este fruto debido a su abundancia en la Amazonía. Se adquirieron frutos y pulpa de aguaje en el mercado de Iquitos. Los análisis indicaron un contenido de grasa de 18,48% en la pulpa y cáscara juntas, así como de solo 0,55% en la pepa del fruto. La humedad fue de 52,14% en pulpa y cáscara, y de 38,4% en la pepa.

**Cuadro N° 4**  
**Características de los frutos de aguaje evaluados**

<b>Prueba N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Fecha</b>	13/05/2005	20/05/2005
<b>Proceso</b>	calentamiento	prensado en frío
<b>Tiempo de retención en la prensa (hora)</b>	2	1
<b>Cantidad (g)</b>	300	300
<b>Temperatura (°C)</b>	70	ambiente
<b>Presión (Kg)</b>	11 325	9 000
<b>Cantidad de aceite (g)</b>	64,1	13,0
<b>Volumen de aceite (ml)</b>	69	n.d.
<b>Rendimiento (%)</b>	21,37%	4,33%

Inicialmente se había estimado que la extracción de aceite para biodiésel a partir de la pepa del aguaje podría ser una opción interesante para el manejo de este residuo, actualmente sin uso, en zonas urbanas de la selva. Sin embargo, los resultados de los análisis indican que la pepa del aguaje no tiene cantidades significativas de aceite y por lo tanto se descarta esta opción.

La pulpa, en cambio, si muestra buenas perspectivas, aún cuando se encuentra mezclada con la cáscara escamosa. El pretratamiento del fruto entero consistió en pasarlo por agua caliente para ayudar a que se separe la pulpa de la pepa, el despulpado y el secado de pulpa y cáscara juntas, utilizando un secador solar tipo estante.

En el cuadro N° 4, se presentan los resultados de la extracción de aceite de aguaje a partir de las pulpas y cáscara deshidratadas.

Tal como se puede observar de acuerdo a los resultados anteriores, el proceso de extracción es más eficiente cuando se calienta previamente la pulpa antes del proceso de prensado. Sin embargo este proceso de calentamiento puede afectar la calidad del aceite obtenido. El análisis del índice de acidez del aceite obtenido fue de 13.5, valor demasiado alto para ser considerado este aceite como materia prima recomendable para la producción de biodiésel.

#### *Astrocaryum* sp (huicungo)

Esta especie está distribuida en toda la cuenca amazónica. En el Perú es común encontrarla en la región Loreto. Los frutos del huicungo tienen forma de pera, de 5 a 6 cm de longitud y cerca de 4 cm de diámetro. La parte comestible de los frutos es la pulpa, la cual tiene un sabor agradable. Asimismo, la nuez oleaginosa también es comestible y de ella se puede extraer una margarina de buena calidad.

Los frutos están compuestos por una corteza espinosa, un mesocarpo leñoso muy duro y una semilla también con una corteza leñosa. La parte aceitosa es el interior de la semilla, que es de color blanco y tiene la apariencia de un coco muy pequeño.

**Cuadro N° 5**  
**Características de los frutos de huicungo evaluados**

<b>Muestra</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Peso total de la muestra (g)</b>	<b>Relación promedio pulpa / fruto (%)</b>	<b>Cantidad pulpa obtenida (g)</b>
R1	Jenaro Herrera, Loreto	1 852	No se obtuvo pulpa	
R2	Jenaro Herrera, Loreto	1 234	No se obtuvo pulpa	
R3	Jenaro Herrera, Loreto	1 255	No se obtuvo pulpa	
R4	Jenaro Herrera, Loreto	1 052	17%	119
R5	Jenaro Herrera, Loreto	664	27%	88

Durante la primera etapa de la investigación se colectaron frutos procedentes de cinco racimos diferentes, los cuales se encontraban en diferentes estados de maduración. Al momento de abrir algunos frutos se encontró un líquido en su interior. A pesar que se dejaron madurar por algunos días, la mayoría de ellos se secaron en lugar de formar pulpa, y otros se empezaron a malograr (hallándose indicios de la presencia de hongos). Todo esto nos indica que, para esta especie, es necesario que el fruto madure en la planta antes de la cosecha.

En el cuadro N° 5 se indican las características generales de los frutos evaluados.

Debido a que tres de las muestras colectadas no se encontraban maduras al momento de la cosecha, ellas se secaron sin producir semilla. Solo se pudo recuperar la semilla de las muestras R4 y R5, aunque en forma parcial por el ataque de los hongos mencionado. La muestra obtenida no fue suficiente para realizar un análisis de contenido de grasas.

En el cuadro N° 6 se puede apreciar las características de una segunda muestra de este fruto, de 8.9 Kg esta vez, proveniente de Iquitos.

**Cuadro N° 6**  
**Características de los frutos de huicungo evaluados**

Muestra	Procedencia	Dimensiones y composición promedio del fruto					Composición de semilla		
		Longitud (cm)	Diámetro mayor (cm)	Peso (g)	Cáscara y pulpa (%)	Pepa (%)	Grasa en base seca (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)
R6	Iquitos	6,81	3,19	4,9	38,8	61,2	8,4	23,12	65,08

Como se puede observar de acuerdo a los resultados el porcentaje de grasa es muy bajo, sin embargo al expresar el porcentaje de grasa en base seca este se incrementa de manera considerable.

El fruto recibido en la segunda parte de la investigación sí se encontraba maduro pero el tiempo que demoró su traslado a Lima y el tipo de embalaje propició la humedad, lo que ocasionó que las muestras lleguen maltratadas, con hongos y gusanos. La pulpa del fruto se había deteriorado y consumido, pero la semilla, de interés para la presente investigación, estaba en su mayor parte en buen estado.

Para poder hacer la extracción de aceite se realizó el siguiente pretratamiento:

- Selección y lavado: se realizó una selección para separar muestras deterioradas; luego se realizó un lavado con agua.
- Molienda: se realizó utilizando un molino de martillo.
- Secado: se utilizó un secador de túnel de aire caliente; esta operación se realizó a la temperatura de 60°C hasta que presente una humedad final de 5.35%.
- Extracción: debido a que el porcentaje de humedad obtenido luego del proceso de secado fue muy bajo, se tuvo que adicionar un volumen de agua calculado con la finalidad de llevar la muestra a una humedad cercana al 10%; sin embargo, a pesar de esta operación, no se pudo obtener volúmenes de aceite cuantificables.

*Euterpe precatoria* (huasai)

Esta especie está distribuida en la cuenca del Amazonas, habitando bosques inundables de manera periódica y permanentemente. El fruto es una baya redonda de 1.5 cm de diámetro, de color verde cuando está joven y violeta oscuro cuando está maduro. Posee un mesocarpo succulento. Cada fruto contiene una semilla, la cual representa casi todo el volumen, cubierto por una cáscara donde está el aceite que da su color violeta al fruto.

Del fruto se prepara una bebida espesa y aceitosa, muy apreciada por las poblaciones nativas y ribereñas, y que se conoce como chapo. En el siguiente cuadro se puede apreciar sus valores nutricionales promedio.

**Cuadro N° 7**  
**Contenido nutricional promedio del huasai**

Componente	100 g de pulpa	100 g de chapo
Agua	45,9 g	87,0 g
Proteína	3,8 g	2,4 g
Lípidos	12,2 g	5,9 g
Glúcidos	36,6 g	--
Ceniza	1,5 g	4,7 g
Minerales		
-Calcio	118 mg	50 mg
-Fósforo	58 mg	33 mg
-Hierro	11,8 mg	0,9 mg

Durante la primera etapa del trabajo de campo no se pudieron recolectar muestras del fruto de huasai porque las palmeras aún se encontraban en fase de florecimiento debido a retrasos en las lluvias de verano. En la segunda etapa de la investigación se recibieron 5.7 Kg de este fruto proveniente de Iquitos. En el cuadro N° 8 se presentan los resultados de las características encontradas de manera experimental.

**Cuadro N° 8**  
**Características de los frutos de huasai evaluados**

Muestra	Procedencia	Dimensiones y composición promedio del fruto					Composición del fruto			Composición de la semilla		
		Longitud (cm)	Diámetro mayor (cm)	Peso (g)	Cáscara y pulpa (%)	Pepa (%)	Grasa en base húmeda (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)	Grasa en base húmeda (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)
H1	Iquitos	1	0,87	1,2	25	75	11,17	17,53	39,8	13,24	25,43	50,23



Como se puede observar de acuerdo a los resultados mostrados, el porcentaje de grasa es muy bajo, sin embargo al expresar el porcentaje de grasa en base seca, se incrementa de manera considerable. El porcentaje de grasa en la semilla es ligeramente mayor que en el fruto entero.

El pretratamiento seguido para realizar la extracción del aceite consistió en:

- Selección: se realizó con la finalidad de separar los frutos en mal estado; luego de esta operación quedaron 4,39 Kg de frutos.
- Molienda: se realizó utilizando un molino de martillo; no se separó la pulpa y la cáscara de la semilla debido a la dificultad para realizar esta operación de manera manual; las pruebas de extracción fueron entonces de todo el fruto molido.
- Secado: se utilizó un secador de túnel de aire caliente; esta operación se realizó a la temperatura de 60°C.
- Extracción: no fue posible extraer aceite mediante las pruebas de prensado.

#### *Oenocarpus mapora* (sinamillo)

El sinamillo está distribuido en toda la Amazonia, especialmente a lo largo del río Ucayali. En la zona de Jenaro Herrera se ha encontrado sinamillo en estado silvestre habitando bosques de altura no inundables así como tahuampas.

El fruto de esta palmera es redondeado y mide aproximadamente 2,5 cm de diámetro. La cáscara es púrpura, la pulpa es muy escasa, fibrosa, blanco lechosa y muy aceitosa. Posee una sola semilla grande. El sinamillo produce, desde los 4 años, racimos de hasta 6 Kg. Estudios realizados sobre la producción de aceites del sinamillo indican que una planta produce en promedio 30 Kg de frutos, de los cuales 10% corresponde a pulpa y 62% a semilla. En el cuadro N° 9 se muestra la composición promedio del aceite de sinamillo.

**Cuadro N° 9**  
**Composición promedio del aceite de sinamillo**

Ácido graso	% en peso
Mirístico	--
Palmitico	11,8 - 14,6
Palmitoleico	--
Estearico	7,8 - 9,6
Oleico	54,3 - 64,38
Linoleico	13,8 - 23,3
Linolenico	--

La estructura de la población del sinamillo en una hectárea inventariada de bosque de tahuampa en el bajo Ucayali fue de 40 individuos por hectárea (3 adultos, 7 juveniles con tronco y 30 juveniles sin tronco). Durante la primera etapa del trabajo de campo no se recolectaron muestras de este fruto debido a que las palmeras aún se encontraban en fase de florecimiento debido a retrasos en las lluvias de verano. En la segunda etapa de la investigación recién se pudieron recolectar muestras de este fruto: 12.85 Kg fueron enviados a Lima provenientes de Iquitos. En el cuadro N° 10 se presentan sus características.

**Cuadro N° 10**  
**Características de los frutos de sinamillo evaluados**

Muestra	Procedencia	Dimensiones y composición promedio del fruto					Composición del fruto			Composición de la semilla		
		Longitud (cm)	Diámetro mayor (cm)	Peso (g)	Cáscara y pulpa (%)	Pepa (%)	Grasa en base húmeda (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)	Grasa en base húmeda (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)
S1	Iquitos	2,04	1,53	3,49	17,2	82,8	7,46	12,84	45,28	0,38	n.d.	36,46

Tal como se puede observar en el cuadro anterior, el porcentaje de grasa en el fruto entero es muy bajo, a pesar que se eleva cuando se expresa en relación a base seca. El contenido en la semilla es prácticamente nulo.

A pesar de estos resultados se realizaron las pruebas de extracción correspondiente y el acondicionamiento previo de la materia prima, lo cual se explica a continuación:

- Selección: se seleccionó la materia prima lista para ser utilizada, quedando de los 12,85 Kg recibidos, un total de 9,83 Kg aptos.
- Molienda: se realizó en un molino de martillos; posteriormente se realizó manualmente la separación de la semilla y la cáscara y pulpa. Los resultados se muestran en el cuadro N° 11.
- Secado: la pulpa y la cáscara fueron sometidas a un proceso de secado utilizando un secador de túnel con ventilación de aire y resistencias eléctricas, durante 8 horas a una temperatura de 60°C, obteniéndose luego del secado un peso final de 1,7 Kg con una humedad final de 13.7%.
- Extracción: no se pudo extraer nada de aceite luego de hacer las pruebas del prensado.

**Cuadro N° 11**  
**Resultados de la separación de la semilla, cáscara y pulpa del sinamillo**

Peso total de fruto (Kg)	Peso de semilla (Kg)	Semilla (%)	Peso cáscara y pulpa (Kg)	Cáscara y pulpa (%)
9,83	6,80	69,17	2,60	38,23

Grias sp (sachamangua)

Esta especie se encuentra distribuida en la parte noroeste de la Amazonía, en Ecuador y Perú donde se encuentra en estado silvestre habitando bosques aluviales temporalmente inundables. Frecuentemente forma agregaciones mono-específicas o poblaciones muy densas llamadas *manchales de sachamangua* o *sachamanguales* por los ribereños de la Amazonia peruana.

El fruto de la sachamangua es elíptico, con 8 a 13 cm de longitud y 6 a 8 cm de ancho, y presenta una cáscara de color café muy fina. El mesocarpio o pulpa es anaranjado, grasoso, de 1 cm de espesor y se desprende fácilmente de la semilla, teniendo la consistencia de un queso. Posee una sola semilla blanca, dura, leñosa y lleva en la superficie 7- 8 líneas salientes y longitudinales. En condiciones naturales, un sachamango empieza a fructificar cuando tiene un diámetro de 10 cm a la altura del pecho. La producción de frutos está relacionada directamente con el tamaño de la planta. Las plantas adultas con más de 20 cm de diámetro producen más de 17 Kg de fruto por año. La producción total en un sachamangual natural se estima en 8581 frutos/Ha/año. Considerando un peso promedio de un fruto maduro de 271,1 gr se tiene una producción estimada de 2,3 Ton/Ha/año.

Las muestras evaluadas de este fruto fueron compradas en el mercado de Iquitos debido a que tampoco se pudieron encontrar frutos maduros en el campo. Con este fruto se trabajó con dos lotes (SM1 y SM2) que se recibieron en etapas distintas de la investigación. Las características experimentales del primer lote de estos frutos se presentan en el cuadro N° 12.

**Cuadro N° 12**  
**Características de los frutos de sachamangua evaluados**

Muestra	Procedencia	Dimensiones y composición promedio del fruto						Composición de la pulpa	
		Longitud (cm)	Diámetro mayor (cm)	Peso (g)	Cáscara (%)	Pulpa (%)	Pepa (%)	Grasa (%)	Humedad (%)
SM1	Mercado de Iquitos	12,89	7,20	311,00	14,25	42,20	43,09	23,68	53,58

En la primera etapa, en el pretratamiento de los frutos, la pulpa aceitosa fue cortada en láminas y dejada secar en un secador solar tipo estante, sin exposición directa al sol, hasta llegar a un peso constante. Se requiere realizar el proceso de secado debido a que la humedad de la pulpa fresca es bastante alta (54%) lo cual no permitiría una adecuada extracción del aceite por prensado. Para trabajar con la prensa hidráulica se necesita, por lo general, una humedad menor al 10% para facilitar la extracción del aceite. Para el prensado de semillas oleaginosas, por ejemplo, se recomienda una humedad entre 6,5 y 7,5% en peso (Ferchau, 2000). El contenido de humedad durante el prensado influye sobre el rendimiento en aceite, el contenido de partículas del mismo, la demanda energética para el prensado, la capacidad de prensado y el contenido de fósforo del aceite. Por este motivo se debe tratar de buscar un adecuado balance de la humedad de la materia prima.

Se observó un cambio de color en la pulpa del fruto por la exposición al aire, lo cual indica un posible proceso de oxidación. El pretratamiento continuó de la siguiente manera:

- Molienda: la pulpa deshidratada fue molida con la finalidad de reducir su tamaño utilizando un molino de discos y también un procesador de alimentos.
- Tamizado: se realizó con la finalidad de clasificar las partículas molidas en base a su tamaño, clasificándose en tres fracciones: menores a 2 mm; entre 2 y 5 mm; y mayores a 5 mm.

- Calentamiento: se realizó un tratamiento térmico mediante calentamiento en estufa.
- Extracción: se realizó con muestras de 200 g para las primeras dos fracciones y una última muestra de 146 g para la última fracción, pues no se contaba con suficiente materia prima; se empleó una prensa hidráulica marca Soiltest con una presión máxima de 15 000 Kg-F. En el cuadro N° 13 se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de extracción realizadas.

**Cuadro N° 13**  
**Resultados de la extracción de aceite de los frutos de sachamungua evaluados**

Granulometría	Temperatura (°C)	Peso de la muestra (g)	Aceite (g)	Aceite (ml)	Aceite en tela (g)	Peso de la torta (g)	Densidad (g/ml)	Rendimiento (%)
<2 mm	90	200	40	46	9	133	0,87	24,5
2-5 mm	80	200	47	51	8	135	0,92	27,5
>5 mm	85	146	26	32	4,75	105	0,81	21,1

El aceite obtenido del fruto de la sachamungua fue de color naranja, presentó una rápida solidificación y una acidez aproximada de 19% (ácido oleico). Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el mejor rendimiento de extracción se obtuvo con los tamaños de partícula entre 2 y 5 mm (27.5%), siendo además el que requirió menor tiempo. El rendimiento del aceite esta condicionado a la materia prima utilizada, en este caso se trató de un fruto maduro previamente tratado (secado y molido) por lo que es probable que haya una variación cuando se trate de un fruto fresco.

En la segunda etapa de la investigación, se recibieron nuevas muestras de este fruto. Aparentemente los frutos no estaban todavía maduros por lo que se les dejó un tiempo almacenado a temperatura ambiente para que alcancen su estado de madurez. Al respecto, algunos autores señalan que el estado de madurez de los frutos guarda relación con la cantidad de aceite presente en éstos. Luego de dejarlos dos días almacenados a temperatura ambiente, se inició su proceso de acondicionamiento y procesamiento, obteniéndose un peso de 10,71 Kg. En el cuadro N° 14 se muestran las características de este lote evaluado.

**Cuadro N° 14**  
**Características de los frutos de sachamungua evaluados**

Muestra	Procedencia	Dimensiones y composición promedio del fruto						Composición de la pulpa		
		Longitud (cm)	Diámetro mayor (cm)	Peso (g)	Cáscara (%)	Pulpa (%)	Pepa (%)	° Brix	pH	Humedad (%)
SM2	Mercado de Iquitos	12,33	5,27	290	16,31	46,25	37,43	1,5	5,68	68,6

Se realizaron las determinaciones de grados Brix y pH de la pulpa a fin de tomarlos de referencia como indicadores del estado de madurez de los frutos. El pretratamiento de la sachamangua incluyó:

- Selección: los frutos fueron seleccionados de manera manual, separando los que presentaban arrugamiento de la cáscara y color oscuro, ya que se encontró que los frutos con estas características presentaban interiormente en la pulpa manchas oscuras y textura extremadamente blanda.
- Despulpado: los frutos fueron pelados y despulpados; la pulpa fue cortada en láminas, primero de manera manual y luego con la ayuda de una cortadora que permitía obtener la pulpa en forma de hojuelas de 2.3 mm. de diámetro aproximadamente; esta operación se realizó con la finalidad de disminuir el tiempo de secado.
- Secado: se realizó en el secador de túnel por un periodo de 8 horas a temperatura de 50°C. Esta operación se realizó en dos lotes y los resultados se muestran en el cuadro N° 15.

**Cuadro N° 15**  
**Resultados del secado de los frutos de sachamangua**

Lote	Peso de pulpa fresca (g)	Humedad (%)	Peso de pulpa seca (g)	Humedad final (%)
01	1132	66.44	396	8.79
02	2000	67.6	698	5.5

- Molienda y tamizado: de acuerdo a los resultados obtenidos en la primera etapa de la presente investigación se determinó que la mejor forma de reducir el tamaño era el picado en el procesador de alimentos, el mismo que fue utilizado en este paso; posteriormente se clasificaron las partículas molidas en tres grupos: menores a 2 mm, entre 2 y 5 mm y mayores a 5 mm.
- Prensado: en el cuadro N° 16 se muestran los resultados de las pruebas de extracción de aceite realizadas para los tres diferentes tamaños de partículas.

**Cuadro N° 16**  
**Resultados de la extracción de aceite de los frutos de sachamangua evaluados**

Granulometría	Peso (g)	Volumen de aceite obtenido (ml)	Peso del aceite (g)	Rendimiento (%)
<2 mm	184	15	13,2	7,17
2-5 mm	317	40	36,0	11,36
>5 mm	282	24	21,0	7,45
Total	783	79	70,0	8,94

Como se observa, el rendimiento obtenido por extracción mecánica fue muy bajo. Sin embargo, en pruebas de laboratorio se encontró que el contenido de aceite de la torta obtenida luego de la extracción mecánica era de 36.71%. Esto significa que a pesar del pretratamiento (la pulpa fue deshidratada y prensada), existe una cantidad importante de aceite que requeriría de otras formas más eficientes de extracción, las cuales probablemente no sean las más recomendables para condiciones de campo de comunidades aisladas de la selva.

*Elaeis guineensis* (palma aceitera africana)

Se recibieron un total de 3.62 Kg de este fruto proveniente de Iquitos. Las características de los frutos se muestran en el cuadro N° 17.

**Cuadro N° 17**  
**Características de los frutos de palma aceitera evaluados**

Muestra	Procedencia	Dimensiones y composición promedio del fruto					Composición del fruto			Composición de la pepa		
		Longitud (cm)	Diámetro mayor (cm)	Peso (g)	Cáscara y pulpa (%)	Pepa (%)	Grasa en base húmeda (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)	Grasa en base húmeda (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)
PA1	Iquitos	2,91	3,00	10,58	3,74	62,19	61,46	75,54	53,58	15,56	n.d.	18,45

Tal como se aprecia, los valores de grasa encontrados para la pulpa de este fruto son muy altos, es por eso que se utiliza de forma industrial para fines la industria alimentaria, sin embargo, dependiendo de la disponibilidad y precios, la producción de biodiésel puede constituirse como un uso interesante para este producto.

El proceso de acondicionamiento y preparación de la materia prima consistió en:

- Selección y lavado: se realizó una minuciosa selección del fruto ya que una parte de la materia prima presentaba signos de deterioro, luego de esta selección, la materia prima fue clasificada en tres grupos en función a su estado de madurez, tal como se indica en el cuadro N° 18.

**Cuadro N° 18**  
**Clasificación de los frutos de palma aceitera africana evaluados**

Estado de madurez y conservación	Pesos (Kg)	Observaciones
Grado 1	1.34	En buen estado
Grado 2	1.39	Estado regular
Grado 3	0.7	Muy deteriorado
<b>Total</b>	<b>3.43</b>	

- Tratamiento térmico: debido a que este fruto tiene un porcentaje de humedad elevado y debido a la presencia de enzimas que hidrolizan el aceite o grasa, el fruto tiene que ser escaldado mediante un tratamiento térmico con la finalidad de inactivar estas enzimas y detener el deterioro hidrolítico; para ello se recomienda utilizar vapor. Esta operación se realizó utilizando una autoclave, donde se colocó la fruta en una rejilla y se esterilizó con el vapor generado por el calentamiento, esta operación se realizó por un tiempo de 10 minutos y a una temperatura promedio de 120°C.

- Pulpeado: se realizó de manera manual, separando semillas de pulpa y cáscara. Los resultados se muestran en el cuadro N° 19.

**Cuadro N° 19**  
**Resultados de la separación de la semilla, cáscara y pulpa de la palma aceitera**

Descripción	Peso de pulpa y cáscara (Kg)	Pulpa y cáscara (%)	Peso de semilla (Kg)	Semilla (%)
Grupo 1 y 2	0,9737	36,60	1,68	63,40
Grupo 3	0,2376	30,07	0,5517	69,62
Total	1,2113		2,2317	

- Extracción: se realizaron pruebas de extracción mecánica por prensado con pulpa húmeda; se tomó una muestra de 330 g, de los cuales se obtuvo un volumen de 50 ml de aceite, obteniéndose un rendimiento de 15%.
- Secado de pulpa: debido al bajo rendimiento obtenido y por el alto porcentaje de humedad, se realizó la operación de secado por un tiempo de 60 minutos a la temperatura de 50°C. Los resultados de esta fase se muestran en el cuadro N° 20.

**Cuadro N° 20**  
**Resultados del secado de la pulpa de los frutos de palma aceitera evaluados**

Peso de materia prima (g)	Aceite obtenido (ml)	Peso de torta (g)	Peso aproximado (g)	Rendimiento (%)	Índice de acidez del aceite
189,0 (Grupo I)	90	117,4	81,0	42,85	30,7
296,0 (Grupo II)	108	177,5	97,2	32,84	42,7
189,2 (Grupo III)	87	n.d.	78,3	41,38	53,9

En los resultados anteriores se puede comprobar la importancia del acondicionamiento en los frutos con alto contenido de humedad, especialmente en relación con la obtención de un aceite crudo de buena calidad.

Para el caso de frutos como la palma aceitera africana, debido a su composición y alto contenido de humedad en la pulpa, el aceite presente en ella se encuentra expuesto a hidrólisis enzimática. Por esta razón, una de las primeras operaciones recomendadas, apenas se cosechan los frutos, es el escaldado, con la finalidad de detener la acción de estas.

*Elais oleifera* (poloponta o palma aceitera americana)

Esta especie está distribuida en la cuenca del Amazonas. En el Perú ha sido encontrada en el río Ucayali, Jenaro Herrera, habitando bosques de tahuampas temporalmente inundados. Su fruto es de color anaranjado a anaranjado-amarillento o rojo cuando se encuentra maduro. El mesocarpo es oleoso y generalmente no excede de 1.5 mm de espesor en la parte media del fruto.

Los frutos dan dos tipos de aceites: de la pulpa se extrae un aceite de color violáceo, comestible, rico en ácido oleico y de la almendra se extrae un aceite blanco rico en ácido láurico y que refinado puede ser usado en la fabricación de manteca vegetal. La composición de ácidos grasos presentes en el aceite de la pulpa se presenta en el cuadro N° 21.

**Cuadro N° 21**  
**Composición promedio del aceite de la poloponta**

Ácido graso	% en peso
Mirístico	0.1 – 2.5
Palmítico	18.8 – 14.6
Palmitoleico	1.2 – 1.5
Esteárico	0.6 – 9.0
Oleico	40.0 – 67.0
Linoleico	2.0 – 15.9
Linolénico	0.5 – 0.6

Durante la última etapa de la presente investigación se pudo recibir en Lima muestras de este fruto provenientes de la zona de estudio en una cantidad de 7.5 Kg. En el cuadro N° 22 se indican sus características.

El proceso de acondicionamiento y preparación de la materia prima fue el siguiente:

- Selección y lavado: se realizó una minuciosa selección del fruto, ya que una parte de la materia prima presentaba algunos signos recientes de deterioro, luego de esta selección la materia prima fue clasificada en 2 grupos en función de probar diferentes formas de acondicionamiento adecuadas para la materia prima.
- Tratamiento térmico: debido a que este fruto tiene un porcentaje de humedad elevado y debido a la presencia de enzimas que hidrolizan el aceite o grasa, el fruto tiene que ser escaldado mediante un tratamiento térmico con la finalidad de inactivar estas enzimas y detener el deterioro hidrolítico. Este proceso fue realizado de manera similar que para la palma aceitera, además este proceso ayudó a un ablandamiento de la cáscara que facilitó la separación de la pulpa y cáscara de la semilla. Para ello se recomienda utilizar vapor. Esta operación se realizó utilizando un autoclave donde se colocó la fruta en una rejilla y se esterilizó con el vapor generado por el calentamiento. Esto se realizó por un tiempo de 10 a 30 minutos y a una temperatura promedio de 100°C.

**Cuadro N° 22**  
**Características de los frutos de poloponta evaluados**

Muestra	Procedencia	Dimensiones y composición promedio del fruto					Composición de la pulpa			Composición de la semilla		
		Longitud (cm)	Diámetro mayor (cm)	Peso (g)	Cáscara y pulpa (%)	Pepa (%)	Grasa en base húmeda (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)	Grasa en base húmeda (%)	Grasa en base seca (%)	Humedad (%)
P1	Iquitos	3,15	2,62	18,5	38,3	61,7	37,67	n.d.	27,31	12,93	n.d.	n.d.



- Pulpeado: esta operación se realizó de manera manual, separando semillas de pulpa y cáscara.
- Secado de pulpa: debido al alto porcentaje de humedad, se realizó la operación de secado por un tiempo de 40 minutos a la temperatura de 50°C. Luego del proceso de secado la pulpa seca fue sometida a un proceso de molienda con la finalidad de obtener un tamaño de partícula uniforme para el posterior proceso de extracción. Los resultados del secado se muestran en el cuadro N° 23.

**Cuadro N° 23**  
**Resultados del secado de los frutos de poloponta**

Lote	Peso (g)	Humedad final (%)
01	475	4,5
02	313	4,4

- Extracción mecánica de aceite: con la finalidad de obtener un aceite crudo de poloponta con un índice de acidez bajo se realizaron varias pruebas de acondicionamiento y extracción de aceite con la finalidad de seleccionar un tratamiento que permita obtener buenos rendimientos de aceite en volumen y valores bajos de índice de acidez. Los resultados se muestran en el cuadro N° 24.

Como se puede observar en el siguiente cuadro, el rendimiento en la extracción de este aceite se incrementa con la temperatura. Por otra parte, el porcentaje de humedad final al que se llega en la muestra es muy importante para la eficiencia de la extracción. Con respecto a los valores de índices de acidez se observa que los valores obtenidos para todas las muestras trabajadas están dentro del rango adecuado para usarse para la producción de biodiésel.

**Cuadro N° 24**  
**Resultados de la extracción de aceite de los frutos de poloponta evaluados**

Peso (g)	Humedad (%)	Temperatura de prensado (°C)	Aceite obtenido (ml)	Peso de la torta (g)	Índice de acidez	Rendimiento (% en peso)
100	4,5	ambiente	0	95	0,9	0,0
100	12,0	ambiente	7	94	0,8	6,3
100	4,5	60°C	3	91	1,0	2,7
100	12,0	60°C	20	94	1,2	18,0
87	15,0	60°C	14	73	1,1	14,8

### *Jatropha curcas* (piñón)

El piñón es una planta nativa de América perteneciente a la familia Euphorbiaceae, adaptada a climas tropicales y semitropicales, crece como un arbusto o árbol, llega a medir de 1 a 8 m en altitudes que van desde 5 a 1500 msnm. El Piñón crece en suelos pobres y arenosos y es resistente a la sequía (Makkar y col., 1997) y requiere un mínimo de 250 mm de precipitación por año para sobrevivir. Se propaga por cortes y semillas. Para la producción óptima requiere entre 900 y 1.200 milímetros de precipitación por año.

Esta planta ha sido considerada tóxica pues se ha encontrado en la semilla la presencia de alcaloides conocidos como ésteres de forbol, que provocan el efecto purgante y son utilizados como bioinsecticidas en contra de ciertas plagas del sorgo y maíz en países de África. En México, se han encontrado variedades no tóxicas, las cuales son consumidas después de tostar y en la preparación de platillos tradicionales por los pobladores de la región de Papantla en Veracruz. Asimismo, el piñón puede ser una excelente alternativa en la reforestación de zonas erosionadas, para los agricultores que se encuentran en regiones en donde sus cultivos han perdido su valor comercial y para aquellas tierras que no son aptas para cultivo o inclusive como cultivo alternativo.

La semilla posee un importante contenido de proteína (25 a 30%) y grasa (55 a 60%). Además, la pasta residual que queda después de la extracción del aceite, es rica en proteínas (60 a 65%) por lo que podría ser transformada en un excelente alimento balanceado para aves, ganado e incluso peces. El *presscake* del piñón es un fertilizante orgánico muy bueno, con una composición mineral comparable a la del abono del pollo y tiene mucho valor a la agricultura.

Las semillas enteras contienen un 26% de aceite y las semillas descascaradas y frescas alrededor de 37%. El aceite es incoloro, inodoro, muy fluido. Se estima que en plantaciones se pueden obtener alrededor de 2 Ton/Ha/año.

A continuación se describen las operaciones utilizadas para la extracción de aceite de piñón:

- Recepción: se recibieron aproximadamente 70 Kg de este fruto en sacos cerrados de yute.
- Selección y lavado: se realizó una minuciosa selección del fruto, ya que una gran parte de la materia prima presentaba signos claros de deterioro, debido al tiempo de transporte y almacenamiento previo a la recepción en el laboratorio, por lo que fue necesario realizar una selección y rápido despulpado para separar las nueces en buen estado. El análisis físico químico de las muestras se presenta en el cuadro N° 25.

**Cuadro N° 25**  
**Análisis de los frutos del piñón**

<b>Presentación del fruto</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>
Fruto entero de piñón	63,16	Nd
Nuez de piñón	23,51	36,42

- Pulpeado: una pequeña parte se realizó de manera manual, separando semillas de pulpa y cáscara; la mayor parte se trabajó utilizando una despulpadora eléctrica para romper el fruto y facilitar la separación de la almendra, lo cual se completó de manera manual; el porcentaje en promedio de pulpa y cáscara encontrado fue de 71,6% y el porcentaje de almendra (semilla) fue de 28,4%.
- Secado: con la finalidad de reducir el porcentaje de humedad de la nuez del piñón y facilitar el proceso de descascarillado ésta fue sometida a un proceso de secado. Se evaluaron dos tipos de secado: secado solar y secado en túnel. Las nueces fueron secadas hasta un rango de 5 a 10% de humedad, tal como se muestra en el cuadro N° 26.

**Cuadro N° 26**  
**Resultados del secado de los frutos del piñón**

Lote	Proceso	Humedad final (%)
01	Secado solar	8,68
02	Secado eléctrico	4,19

- Descascarillado: se realizó principalmente de manera manual. Los resultados se muestran en el cuadro N° 27.

**Cuadro N° 27**  
**Resultados del descascarillado de los frutos del piñón**

Lote	Semilla entera (Kg)	Almendra (Kg)	Almendra (%)	Cáscara (Kg)	Cáscara (%)
01	2,4	1,4	58,3	1,0	41,6
02	1,5	0,8	53,3	0,7	46,7

- Molienda: las almendras descascarilladas pesaron un total de 13 Kg; tomándose muestras de 150 g para realizar las pruebas de extracción mecánica respectivas.
- Extracción: se realizaron las pruebas de extracción mecánica utilizando una prensa hidráulica marca Soiltest y una presión de 2210 lb/pulg<sup>2</sup>; se evaluaron diferentes parámetros para las pruebas de extracción tales como temperatura de calentamiento, porcentaje de humedad y porcentaje de cáscara. Los resultados se muestran en el cuadro N° 28.

**Cuadro N° 27**  
**Resultados de la extracción de aceite de los frutos del piñón**

Prueba	Peso total (g)	Peso de la almendra (g)	Cáscara (%)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Volumen de aceite (ml)	Peso de aceite (g)	Peso de torta (g)	Rendimiento (aceite/almendra) (%)
01	300	270,0	10	10,00	50	21	18,4	295	6,9
02	150	135,0	10	8,68	50	24	21,0	111	15,5
03	150	135,0	10	8,68	70	23	19,0	106	15,5
04	150	150,0	0	9,27	50	26	23,0	109	15,3
05	150	135,0	10	9,27	50	20	15,0	114	11,1
06	150	150,0	0	9,27	50	20	18,0	117	12,0
07	150	142,5	5	9,27	40	23	20,0	116	14,03

Para una carga determinada de semillas, acondicionadas y listas para el prensado, el rendimiento en aceite depende de la velocidad a que se aplica la presión, el máximo de ésta alcanzado, tiempo de drenaje del aceite a la presión total y temperatura o viscosidad del aceite. En los cuadros N° 28 y 29 se muestran los resultados de los análisis del aceite extraído del piñón.

**Cuadro N° 28**  
**Índice de acidez de los aceites**

Temperatura de trabajo (°C)	Índice de acidez
40	6,71
50	6,16
70	11,05

**Cuadro N° 29**  
**Prueba completa de extracción de aceite**

<b>Peso semilla seca (g)</b>	1452	
<b>Peso de muestra para prensado (g)</b>	400	457
<b>Peso aceite (g)</b>	76	70
<b>Proceso</b>	Recalentado y nuevo prensado de la torta	
<b>Peso aceite (g)</b>	68	48
<b>Proceso</b>		Recalentado y nuevo prensado de la torta
<b>Peso aceite (g)</b>		15
<b>Peso torta (g)</b>	339	390
<b>Aceite extraído (g)</b>	144	133
<b>Rendimiento aceite/almendras frescas (%)</b>	36.00%	33.25%
<b>Rendimiento aceite/frutos frescos (%)</b>	2.54%	2.35%

**v. Evaluación técnica y económica del uso de metanol o etanol como insumos y del hidróxido de sodio (NaOH) o potasio (KOH) como catalizadores de la transesterificación**

En la primera etapa de la investigación, se iniciaron las pruebas de elaboración de biodiésel a escala de laboratorio utilizando etanol de grado reactivo (99.5% de pureza mínima) y aceite de soya. La reacción de transesterificación se realizó utilizando un agitador magnético con plancha calentadora, en matraces de 500 ml. Dado que no se logró una reacción satisfactoria utilizando únicamente etanol, se trabajó con mezclas de metanol y etanol, reduciendo en cada prueba sucesiva la cantidad relativa de metanol. En estas pruebas se evaluó la cantidad de catalizador (KOH es el recomendado por la literatura para la transesterificación con etanol), el tiempo de proceso y las cantidades relativas de metanol y etanol necesarias para una reacción satisfactoria. El éxito de la reacción fue estimado de acuerdo con los siguientes criterios: separación de dos fases (biodiésel y glicerina) y grado de formación de emulsiones (favorecidas por la presencia de jabones, mono- y diglicéridos) durante el lavado del biodiésel. En el Anexo III se muestran los resultados de las pruebas realizadas en esta primera fase.

Respecto a la viabilidad de utilizar metanol o etanol para la producción de biodiésel en zonas aisladas de selva, cabe mencionar que las averiguaciones realizadas en la ciudad de Iquitos indican que no se encuentra metanol en el mercado de esta ciudad. En este sentido, si se decide producir biodiésel con metanol, este tendría que ser importado desde Lima en barriles, con los consiguientes riesgos (el metanol es inflamable y además tóxico) y aumentos en costos.

En cuanto al etanol, este sí es producido localmente en la selva, principalmente de manera artesanal para consumo humano y con normalmente un grado de 40°. Una hectárea de azúcar rinde, en Jenaro Herrera, 40 cilindros de 54 galones de aguardiente al año. El cilindro se vende a un precio de S/. 240. Para el trapiche, se utiliza un motor chino de 15 HP. Parte del bagazo es utilizado para proveer energía para destilación, pero otra parte es desechada como residuo.

Técnicamente, por destilación, se puede obtener etanol de hasta 96% de pureza. Dado que este alcohol forma mezcla azeotrópica con el agua, para llevarlo a un mayor grado se requiere de procesos químicos de desecación. Para elaborar biodiésel se requiere una pureza del etanol superior al 99%, para lo cual, si se desea trabajar a escalas pequeñas, se requiere desarrollar técnicas sencillas de desecación del alcohol.

Para realizar la evaluación técnica y económica del uso de metanol o etanol como insumos y del hidróxido de sodio o potasio como catalizadores del proceso de transesterificación, se estandarizaron los procesos de producción de biodiésel con metanol y con etanol, y probando ambos catalizadores para cada tipo de alcohol. Finalmente se estimaron los costos para los diferentes casos y escenarios posibles.

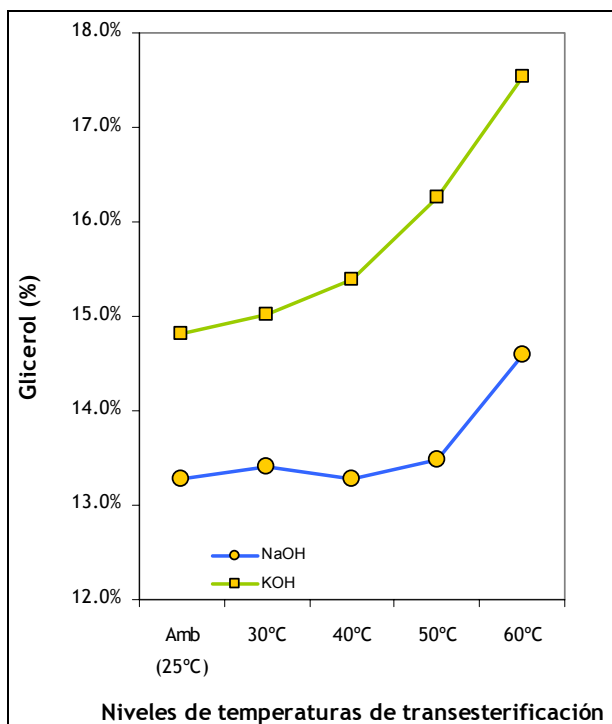
#### Pruebas de elaboración de biodiésel con metanol

La producción de glicerol es un factor importante que permite evaluar la realización de un completo proceso de transesterificación mediante la separación total de los ácidos grasos del triglicérido para convertirse en metilésteres (biodiésel). Según las pruebas realizadas (Nazario, 2005), el rendimiento final de producción de glicerol es mayor a una temperatura de 60°C, para NaOH y KOH, realizándose a esta temperatura una óptima transesterificación. Sin embargo, hay un mayor rendimiento en la producción de glicerol para la reacción catalizada con KOH que para la catalizada con NaOH.

La prueba dinámica de velocidad de caída permite tener una idea de la fluidez y viscosidad de un producto, ya que cuanto más viscoso es él, menor es su velocidad de caída. En los ensayos se observó una mayor velocidad de caída del producto final a temperaturas de 60°C y 50°C, lo que indica una mayor fluidez y menor viscosidad a estas temperaturas. En el gráfico N° 3 se muestra que la velocidad de caída del producto final, varía en forma significativa con la temperatura de reacción y con el tipo de catalizador utilizado.

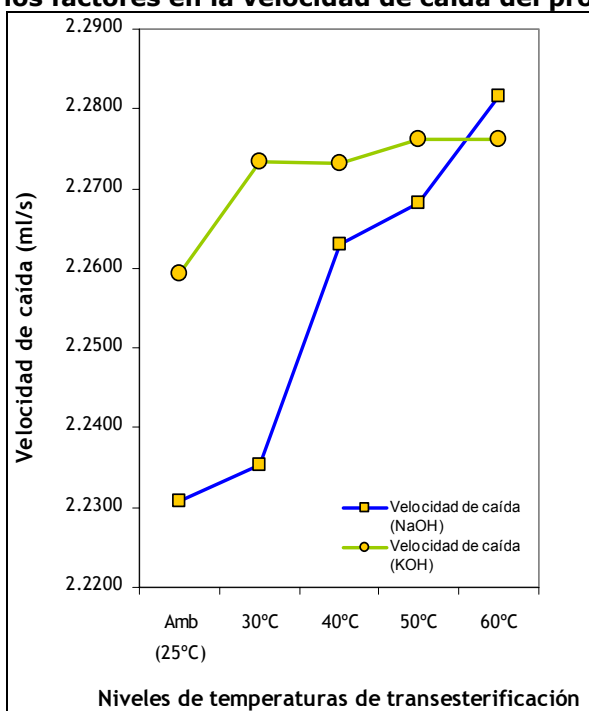
El índice de acidez inicial del aceite fue de 1,38 mg KOH/Kg (0,69% como ácido oleico). Como se observa en el gráfico N° 4, la reacción de transesterificación a 60°C reduce este índice aproximadamente en un 86%. Se observa también una disminución del índice de acidez a medida que aumenta la temperatura de reacción lo que hace suponer que a menores temperaturas permanecen ácidos grasos libres que no han sido neutralizados con el exceso de catalizador agregado.

**Gráfico N° 2**  
**Efectos de los factores sobre el rendimiento en peso de la producción de glicerol**



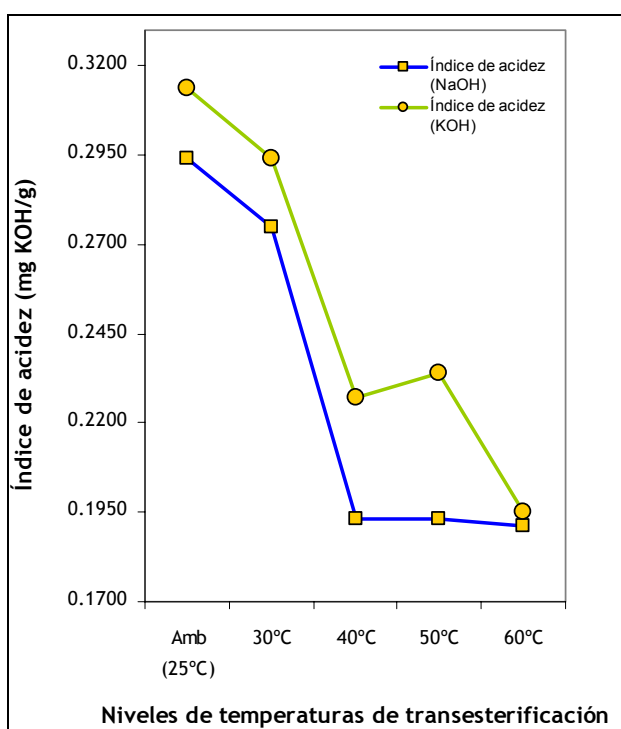
Las pruebas a escala de laboratorio a 60°C (cuadro N° 30), muestran eficiencias de 82% y 79% para las reacciones catalizadas con NaOH y KOH respectivamente, sin embargo la producción de glicerol con NaOH (13%) resulta menor a comparación del tratamiento realizado con KOH (15%).

**Gráfico N° 3**  
**Efecto de los factores en la velocidad de caída del producto final**



El tiempo óptimo de reacción ocurre cuando se observa un equilibrio entre el producto final y el glicerol (producto final mínimo y glicerol máximo), luego de esto la reacción se invierte. Para las reacciones con NaOH el tiempo óptimo ocurre a los 150 minutos (gráfico N° 5). Para el caso de la velocidad de transesterificación con KOH, el tiempo óptimo ocurre a los 75 minutos (gráfico N° 6), lo que demuestra que el KOH es más efectivo que el NaOH para la transesterificación de aceites vegetales usados.

**Gráfico N° 4**  
**Variación de índice de acidez del producto final según tipo de catalizador y temperatura**

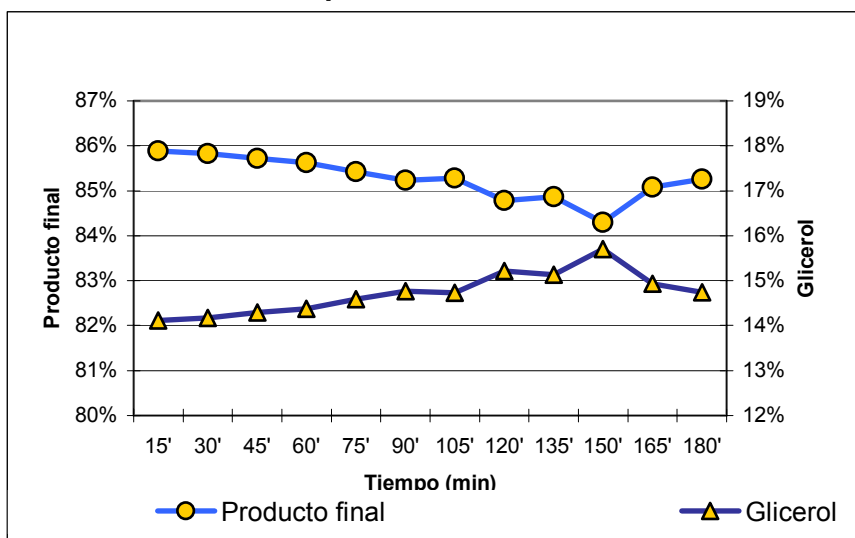


**Cuadro N° 30**  
**Cantidades y rendimientos de las pruebas a pequeña escala**

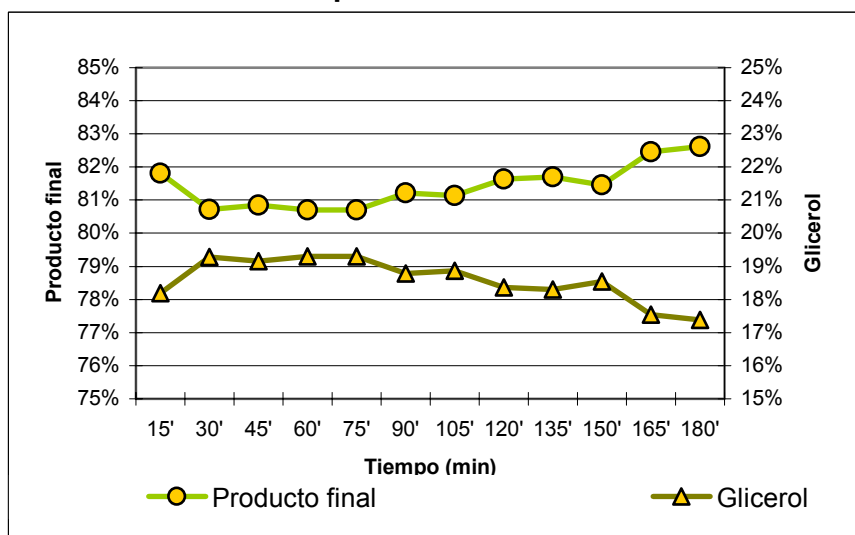
Tipo de catalizador utilizado	Peso del aceite (Kg)	Catalizador + alcohol (Kg)	Peso del producto final (Kg)	Peso del glicerol (Kg)	Eficiencia de producción (producto final)	Eficiencia de producción (glicerol)	Pérdidas (*)
NaOH	38,519	7,238	37,320	5,762	81,56%	12,59%	5,85%
KOH	37,480	7,471	35,392	6,521	78,74%	14,507%	6,76%

(\*) Pérdidas por retiro de muestras, trasvase de un recipiente a otro o durante el pesado de los productos, por el proceso de filtrado del biodiésel, por evaporación del alcohol o por la presencia de una mezcla no separable en los dos productos.

**Gráfico N° 5**  
**Tendencia del tiempo de reacción catalizada con NaOH**



**Gráfico N° 6**  
**Tendencia del tiempo de reacción catalizada con KOH**



Al analizarse la acidez del producto final, se determinó que la acidez con KOH es mayor que la observada con NaOH. Lo mismo se observa en las muestras a escala de laboratorio, sin embargo estos valores no sobrepasan lo indicado en las especificaciones internacionales de biodiésel.

El lavado de biodiésel es una operación adicional necesaria para eliminar las impurezas que pueda contener el producto final. En los lavados realizados se obtuvo una eficiencia del 90% respecto del agua utilizada a 18°C.

Dependiendo del tipo de catalizador a utilizar en cada operación de transesterificación, se adiciona la cantidad correspondiente al consumo del titulante según las ecuaciones indicadas por Tickell (2000):



$$Y1 = X1 + 3.5 \text{ (a)}$$

Donde:

X1: Consumo del titulante NaOH 0.1% p/v.

Y1: Cantidad de NaOH a utilizar para 1L aceite

(a): Cantidad de NaOH utilizada como estándar para el proceso de transesterificación de un litro de aceites vegetales limpios (Tickell, 2000).

$$Y2 = X2 + 9 \text{ (b)}$$

Donde:

X2: Consumo del titulante KOH 0.1% p/v.

Y2: Cantidad de KOH a utilizar para 1L aceite.

(b) Cantidad de KOH utilizada como estándar para el proceso de transesterificación de un litro de aceites vegetales limpios (Tickell, 2000).

Como se observa, la cantidad de catalizador va a variar de acuerdo al tipo de aceite a utilizar. A mayor contenido de ácidos grasos libres, mayor será la cantidad de catalizador requerido para neutralizarlos.

#### Pruebas de elaboración de biodiésel con etanol

Se realizaron pruebas de elaboración de biodiésel a escala de laboratorio utilizando etanol anhidro y aceite vegetal refinado obteniéndose resultados satisfactorios. La reacción de transesterificación se realizó utilizando un agitador magnético con plancha calentadora en matraces de 500 ml durante 2 horas a temperatura ambiente. La separación en dos fases que nos indicó que hubo reacción, se logró con las siguientes cantidades de insumos recomendados por la bibliografía consultada: 250 g de aceite; 2,5 g de KOH (1% peso de aceite); y 72 g de etanol.

Se presentaron inconvenientes durante el lavado del biodiésel obtenido, debido a la lenta separación entre el agua y el biodiésel y a la formación de jabones. Esto nos indica una reacción incompleta y la presencia de impurezas en el biodiésel obtenido, lo que se podría confirmar haciendo un análisis de glicerol libre, mono-di- y triglicéridos.

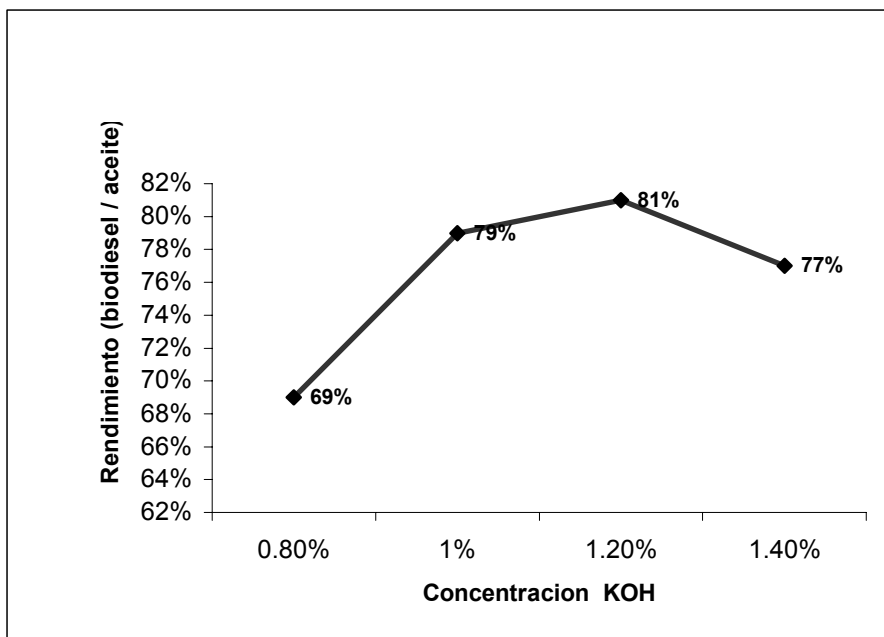
Se realizaron ensayos sucesivos a diferentes concentraciones de KOH y NaOH a temperatura ambiente y a una razón molar etanol/aceite de 5.5:1 recomendada por la bibliografía:

- KOH: 0,8%; 1,0%; 1,2%; y 1,4%.
- NaOH: 0,4%; 0,5%; 0,6%; 0,7%; 0,8%; 0,9%; y 1,0%.

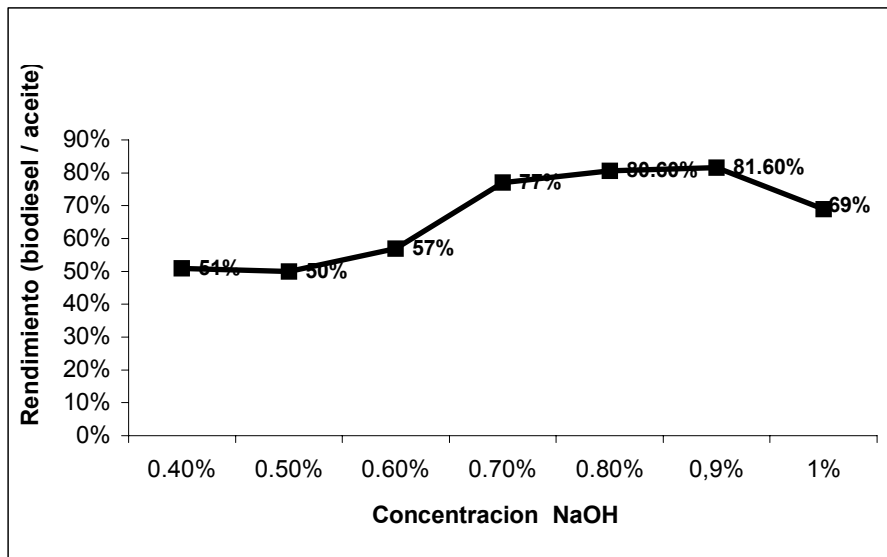
Los resultados de estas pruebas se presentan en los gráficos N° 7 y 8.

A temperatura ambiente observamos un rendimiento de 81% con el catalizador KOH a una concentración de 1,2% y a una concentración de 1% se observa un rendimiento de 79%. Esto nos demuestra que a temperatura ambiente y a una razón molar etanol/aceite de 5,5:1, se obtiene un mayor rendimiento con una concentración de catalizador KOH de 1,2% que con una concentración de 1% (concentración recomendada por la bibliografía consultada). Utilizando como catalizador al NaOH, observamos mayores rendimientos con las concentraciones de 0,8% y 0,9% con rendimientos de 80% y 81,6% respectivamente.

**Gráfico N° 7**  
**Rendimiento del proceso con KOH a 20°C (temperatura ambiente)**

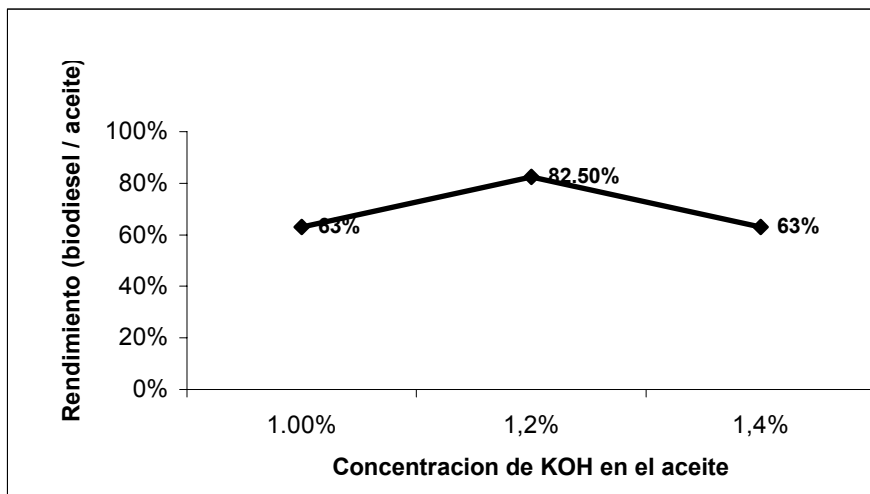


**Gráfico N° 8**  
**Rendimiento del proceso con NaOH a 20°C (temperatura ambiente)**

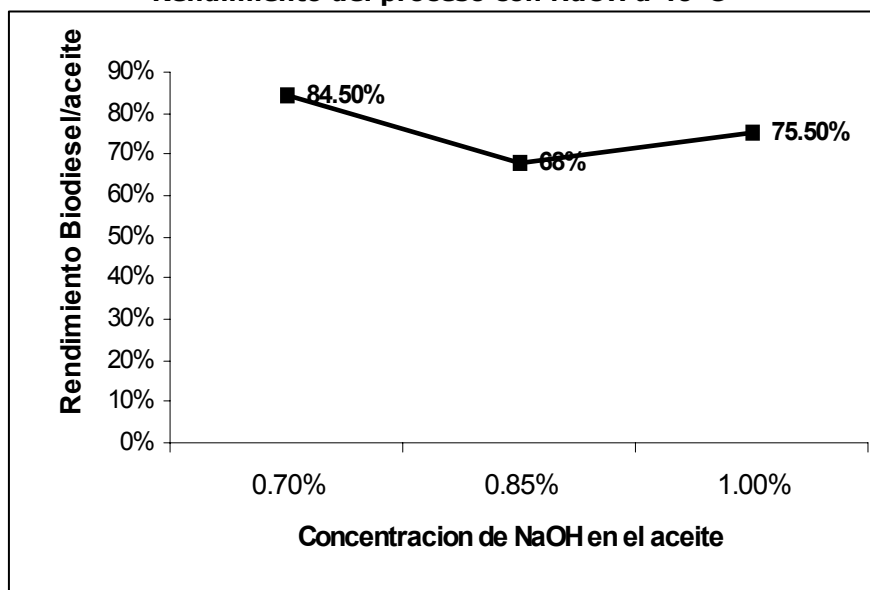


Luego se probaron las concentraciones con rendimientos más altos a 40°C y 60°C. Los resultados se muestran en los gráficos N° 9 y 10.

**Gráfico N° 9**  
**Rendimiento del proceso con KOH a 40°C**



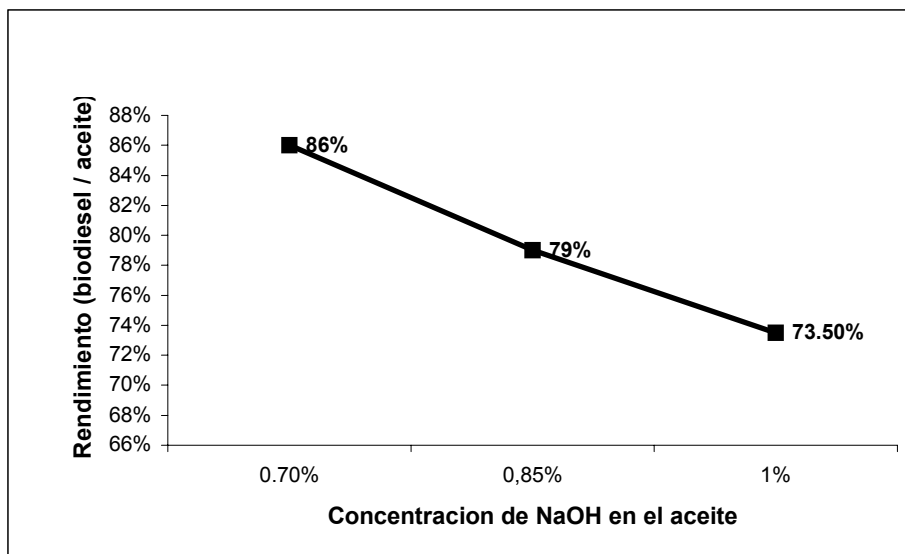
**Gráfico N° 10**  
**Rendimiento del proceso con NaOH a 40°C**



A una temperatura de 40°C se obtuvo el rendimiento más alto a una concentración 1,2% de KOH (82,5%) manteniendo el mismo comportamiento que a 20°C, pero con un ligero incremento. El rendimiento en el proceso con NaOH a una concentración de 0,7% es mayor (84,5%), comportándose de distinta manera que a 20°C donde los mayores rendimientos se dieron a 0,8% y 0,9 %.

A 60°C ninguna de las muestras con KOH reaccionó, ya que no se presentó separación en dos fases. En el proceso con el catalizador NaOH a esta temperatura (gráfico N° 11) se obtuvo mayores rendimientos a una concentración de 0,7% llegando a alcanzar un 86% de rendimiento, el cual representa el mejor rendimiento obtenido con NaOH.

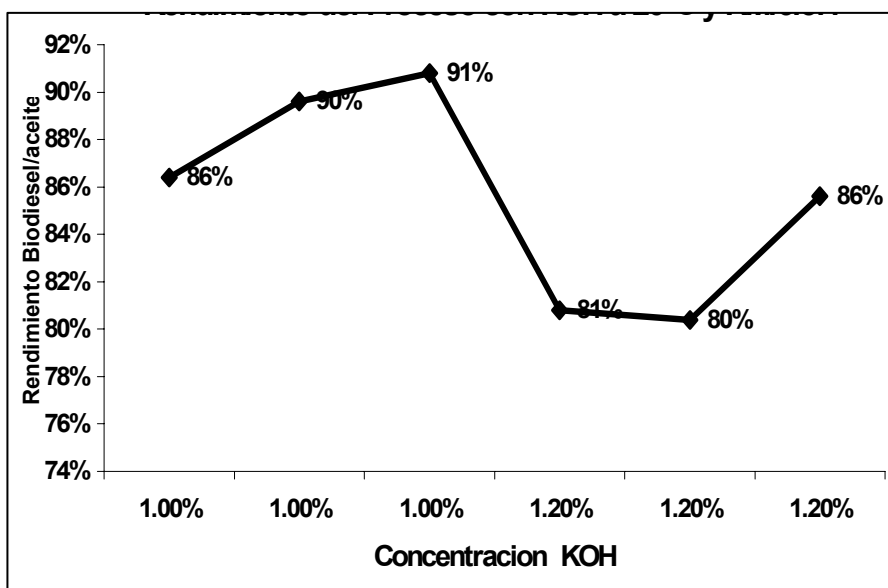
**Gráfico N° 11**  
**Rendimiento del proceso con NaOH a 60°C**



Con estos resultados se puede apreciar que conforme aumenta la temperatura utilizando como catalizador NaOH, aumentan los rendimientos.

Finalmente se hicieron algunas pruebas de elaboración de biodiésel con etanol y usando KOH como catalizador, variando la razón molar de 5,5:1 a 6,5:1 (gráfico N° 12). Variando la razón molar entre el alcohol y el aceite a una temperatura de 20°C se observa que a 1% de catalizador se obtiene en promedio un mayor rendimiento (89%) y con una concentración de 1,2 se obtiene en promedio un rendimiento de 82%. Con estos resultados preliminares, se puede observar que se alcanzan rendimientos mayores utilizando una razón molar de 6,5:1 a diferencia de una razón molar de 5.5:1.

**Gráfico N° 12**  
**Rendimiento del proceso con KOH a 20°C y razón molar 6,5:1**



### Costos de producción de biodiésel

Producir un galón de biodiésel en Lima, utilizando metanol como reactivo, cuesta S/. 3,5 con NaOH como catalizador y S/. 3,80 con KOH. Estos costos no incluyen el precio del aceite a utilizar. Si consideramos que se puede encontrar en el mercado un galón de aceite desde S/. 5,30, tenemos que se puede obtener biodiésel, en Lima, a S/. 9 por galón, precio bastante competitivo con el diesel 2 que se vende, en promedio, a S/. 11,50 el galón.

Para casos de localidades aisladas de selva, se podría considerar que la obtención del aceite no tiene costo pues se podría realizar localmente, pero también se puede considerar el precio comercial que tiene el aceite crudo de palma, en ciertos lugares productores y con facilidades de acceso, para efectos de comparación económica (ver detalles en el Anexo IV).

Si se transporta el metanol desde Lima por vía aérea, con los riesgos que esto implica, el costo de producción por galón aumentaría, en casos favorables, a por lo menos S/. 5,20 con NaOH y a S/. 5,50 con KOH. Estos montos no incluyen el costo del aceite. Considerando un precio promedio de US\$ 450 por tonelada de aceite crudo (S/.1,30 por litro) el costo del galón de biodiésel producido sería de S/. 10,13 con NaOH y S/. 10,46 con KOH.

Para el caso del biodiésel producido con etanol, su costo, incluso en Lima, es muy elevado debido a que se requiere de un alcohol anhidro, cuyo costo por litro supera los S/. 31, tornando inviable cualquier escenario en el que se considere el uso de este tipo de alcohol. Un tema pendiente, dada la disponibilidad de etanol, generalmente de 40°, en la selva, es el desarrollo de técnicas sencillas de desecación del alcohol, con el fin de llevar el etanol producido localmente a niveles de pureza superiores a los 99% requeridos para la producción de biodiésel.

### **vi. Elaboración de biodiésel a partir de recursos oleaginosos seleccionados que no hayan sido probados anteriormente y caracterización del mismo**

Se realizaron pruebas de elaboración de biodiésel a partir del fruto del aguaje y de la palma aceitera. No se pudieron realizar pruebas de elaboración de biodiésel con los otros frutos pues la cantidad de aceite obtenido no fue suficiente. Para realizar pruebas de elaboración de biodiésel se requiere como mínimo 100 ml y la materia prima recolectada para la investigación no produjo esta cantidad.

Para la producción de biodiésel a partir de aguaje fue necesario realizar un proceso de neutralización del aceite debido a que el índice de acidez de la materia prima era muy alto. Como se observa en el cuadro N° 31, en el proceso de neutralización se pierde un alto porcentaje de aceite (26,7%) que afecta el rendimiento y los costos de la producción del biodiésel.

En el cuadro N° 32 se presentan los resultados del proceso de elaboración del biodiésel con el aceite neutralizado de aguaje. Para su producción se emplearon 26 ml de metanol y 1 gramo de NaOH. La reacción tomó una hora a una temperatura de 50 grados en un agitador magnético.

**Cuadro N° 31**  
**Neutralización del aceite de aguaje para la producción de biodiésel**

Peso del aceite (g)	Volumen del aceite (ml)	Acidez	Neutralización del aceite		Peso de aceite obtenido (g)	Peso de aceite saponificado obtenido (g)	Índice de acidez final
			Cantidad de agua a adicionar (ml)	Cantidad de catalizador a adicionar (g)			
176	199	14	12	3	129	33	2.5

**Cuadro N° 32**  
**Producción biodiésel con aceite de aguaje**

Cantidad aceite procesado (g)	Volumen de aceite (ml)	Cantidad biodiésel (g)	Cantidad glicerina (g)	Cantidad de biodiésel lavado (g)	Rendimiento de la transesterificación (%)	Rendimiento de la producción sin lavar (%)	Rendimiento del lavado (%)	Rendimiento total (%)
129	146	123	19	112	95	70	91	64

Para realizar las pruebas de biodiesel en motores (Canturín, 2006) se tuvo primero que elaborar biodiésel a partir de aceite crudo de palma. Para ello se utilizó el reactor de producción de biodiésel a pequeña escala de una capacidad de 50 lt/lote. Se llevó el aceite, cuyo índice de acidez era de 2.65, a una temperatura de 50°C con agitación constante en el reactor, simultáneamente se diluyó el catalizador (532 g de KOH) en el alcohol (10 lt de metanol). Una vez disuelto, el metóxido se agregó al aceite en constante movimiento. Se dejó reaccionar durante 2 horas. Posteriormente se desconectó el equipo y se dejó decantar el biodiésel por 24 horas. El volumen obtenido de biodiésel fue de 41,6 Kg y el volumen de glicerol fue de 10,30 kg. Finalmente, se procedió al lavado del biodiésel de aceite crudo de palma. A partir de un volumen inicial de 40,6 Kg se realizaron 3 lavados. El volumen obtenido después del lavado fue de 40,65 Kg. Luego del lavado se procedió al secar el biodiésel, quedando un volumen final de 37,05 Kg. Por lo tanto, el rendimiento final del proceso fue de 84.09%.

Muestras del biodiésel producido a partir del aceite de palma fueron enviadas al laboratorio acreditado de normalización del petróleo y derivados (CERTIPETRO) de la UNI para realizar los análisis fisicoquímicos correspondientes. Para estos análisis se requieren muestras de, por lo menos, 1 lt, por lo que no se pudo analizar muestras de biodiésel de aguaje ni de otro fruto estudiado. Si se llegaron a analizar dos muestras de biodiésel producido con etanol, con KOH (1%) y con NaOH (0,8%).

Los resultados de estos análisis se muestran en el cuadro N° 33.

**Cuadro N° 33**  
**Análisis fisicoquímicos del biodiésel de etanol producido**

<b>Ensayos</b>	<b>Biodiésel de etanol 1% KOH</b>	<b>Biodiésel de etanol 0.8% NaOH</b>	<b>Normas ASTM D-6751</b>	<b>Norma Técnica Peruana Diesel 2</b>
Agua y sedimentos (% vol)	0,05	0,1	0,05	0,1
Poder calorífico bruto (MJ/Kg)	39,42	38,981		
Poder calorífico neto (MJ/Kg)	38,388	38,07		
Viscosidad cinemática	4,75		1,9-6,0	2,0-5,8
Destilación a 760 mm Hg	356	351	360	282-357
Gravedad API	28,5	28,8		
Índice de cetano	56,5		47	45
Residuo de carbón Conradson			0,05	0,35
Cenizas (% masa)				0,02
Punto de inflamación	156		150	52

Los principales parámetros evaluados señalan lo siguiente:

- Agua y sedimentos: indica la presencia de agua o sedimentos en el biodiésel, lo cual puede ser originado por un mal lavado o filtrado. Las normas ASTM D-6751 señalan que el máximo valor debe ser de 0.05 % volumen máximo, mientras que la norma técnica peruana (NTP) para diesel 2 pone un límite de 0.10 % volumen máximo. En las pruebas realizadas se encuentra que la muestra con etanol 1% KOH, cumple con las normas americanas y con la NTP, mientras que la muestra con NaOH está por encima de las normas ASTM, pero si cumple con las NTP de diesel 2. Esto puede ser debido a un incorrecto filtrado o secado en el laboratorio, donde las impurezas no han sido completamente removidas
- Poder calorífico neto (poder calorífico inferior): indica la cantidad de energía que tiene el combustible. En el caso del biodiésel con KOH, se puede apreciar que el poder calorífico esta dentro de los rangos obtenidos en análisis con otros productos, llegando a tener 38 388 KJ/Kg, mientras que la muestra con NaOH tiene 38 070 KJ/Kg, y el diesel 2 está alrededor de 42 000 KJ/Kg. Esto sugiere que el biodiésel producido tiene un poder calorífico aceptable.
- Viscosidad cinemática: es importante porque impacta directamente cuando el combustible fluye dentro de los conductos del motor y en la bomba. En el biodiésel, su mayor viscosidad con respecto al diesel hace que este también actué como lubricante en el motor. Sin embargo, una elevada viscosidad puede interferir con la operación de los inyectores al impedir pulverizar adecuadamente el combustible dentro de los cilindros, lo que podría causar una mala combustión. La viscosidad en la muestra KOH 1% es de 4.75 cSt a 40 °C. La cual esta dentro de los parámetros de las normas ASTM que pide entre 1,9 y 6,0 y dentro de los parámetros de la NTP que pide entre 2,0 y 5,8.
- Destilación a 760 mm Hg: nos indica las características de volatilidad del producto y a que temperatura se evapora el biodiesel. Según las normas ASTM la temperatura debe ser de 360° C. y la NTP indica que debe estar entre 252 y 357. Los resultados obtenidos indican que al 90% se tiene una temperatura con KOH de 356° C y con NaOH de 351° C, lo cual indica que están dentro de los estándares, ya que el punto final esta en 361° C aproximadamente.

- Gravedad API: es una escala arbitraria (escogida por el Instituto Americano de Petróleo) en la cual la gravedad específica del agua pura, es tomada como 10. Es una división entre los grados API y la gravedad específica a 60°F. La gravedad API indica que tan pesado es el combustible, mientras más alta sea esta gravedad más liviano será el combustible. En el caso de las muestras con etanol la gravedad API está en 28,5 con KOH y 28,8 con NaOH.
- Índice de cetano: indica la aptitud de un carburante para motor diesel de inflamarse en condiciones normalizadas. Se expresa por el porcentaje en volumen de cetano (hexadecano) en una mezcla de referencia que presente el mismo plazo de inflamación que el carburante sometido a prueba. El índice de cetano es tanto más elevado cuanto más corto sea el índice de inflamación. Las normas ASTM para biodiésel delimitan un índice de cetano de 47 como mínimo; en los análisis realizados el índice es de 56,5.
- Punto de Inflamación: nos indica la mínima temperatura a la cual el combustible puede encenderse en su superficie. Las normas ASTM nos dan una temperatura mínima para biodiésel de 152°C, en los resultados obtenidos en la muestra con KOH, el punto de inflamación está en 156, valor que todavía cumple con los estándares.

#### **vii. Evaluación de alternativas para el uso local de los subproductos del proceso de transesterificación: glicerina y jabones**

Se realizaron pruebas de elaboración de jabones a partir de los residuos del pretratamiento del aceite de palma. Este aceite, que tiene una acidez alta (6 g NaOH por litro de aceite), no puede ser utilizado directamente para la producción de biodiésel. Es necesario un tratamiento previo de refinación que reduzca su acidez.

El tratamiento elegido es la neutralización de los ácidos grasos libres, mediante la adición de una solución de hidróxido de sodio en agua. Esta solución reacciona con los ácidos grasos libres, transformándolos en jabones, los cuales posteriormente son separados del aceite por filtrado.

En el Anexo V se observan los resultados de las pruebas de producción de biodiesel con este aceite de palma, incluyendo: pretratamiento de neutralización (con soluciones de NaOH de diferentes concentraciones), transesterificación, y preparación de jabones con el subproducto.

#### **viii. Prueba del funcionamiento y rendimiento del biodiésel aplicado al transporte fluvial y a usos domésticos y productivos locales**

La población de Jenaro Herrera es relativamente pequeña. Cuenta con unos 5 mil habitantes, incluyendo los que se encuentran en los anexos. El centro poblado cuenta con una red eléctrica local alimentada por un grupo electrógeno de 365 HP de potencia, el cual consume 12,5 gal/hora de combustible. Se estima un total de 300 viviendas conectadas a la red. El generador consume cerca de 2 mil galones de diesel al mes, a un costo aproximado de S/. 15 mil mensuales. Para financiar su operación, se cobra entre S/. 10 y S/. 15 mensuales a las viviendas conectadas. Sin embargo, la recaudación es muy baja y solo se logra un 5% de recuperación de los costos operativos. Por lo tanto, económica y administrativamente el sistema de provisión eléctrica no funciona bien en la actualidad.

Adicionalmente, algunos pobladores cuentan con pequeños generadores de entre 3 y 15 HP de potencia, para uso en electrificación, aserraderos, panaderías, molinos



de arroz y maíz, trapiches, etc. Aunque la mayoría de los pequeños grupos instalados son gasolineros, en Iquitos ya se están vendiendo grupos electrógenos diesel de procedencia china, con potencias entre 3 y 10 HP, a un precio que oscila alrededor de US\$ 500. El precio actual del diesel 2 en la zona es de S/. 6,80 en Iquitos y S/. 8,00 en Jenaro Herrera. Cabe mencionar que el gobierno subvenciona este producto, su precio real es aproximadamente 50% más y, además, en la Amazonía no se paga el impuesto general a las ventas (IGV).

En cuanto al transporte fluvial, se ha encontrado que para la ruta Iquitos – Requena – Pucallpa existen unas 6 embarcaciones que transportan unas 300 personas por viaje. Esta es la ruta que pasa por Jenaro Herrera. Una de estas naves, por ejemplo, utiliza 2 motores volvo de 380 HP cada uno, y consume 750 galones de diesel 2 por cada viaje de ida y vuelta. El combustible lo adquieren a S/. 6,50 por galón.

Las embarcaciones pequeñas (peque-peques) son alimentadas principalmente por gasolina. Sin embargo, últimamente se están introduciendo motores diesel pequeños, de procedencia china, en el mercado de Iquitos. Su costo es bajo – entre US\$ 500 y 700 – para potencias entre 3 y 12 HP. Se están aplicando ya en peque-peques y como motores fuera de borda. Su principal problema es el peso de los motores, que dificulta las maniobras del motorista, y la desconfianza de los usuarios frente a una tecnología diferente, desconocida para ellos.

En las pruebas de funcionamiento y rendimiento del biodiésel realizadas, se midieron diferentes parámetros a fin de verificar las posibles diferencias que pudiese haber en la respuesta del motor empleando diesel 2, biodiésel puro y diferentes proporciones de mezclas entre estos dos combustibles. Las pruebas se realizaron, tanto en las instalaciones del Instituto de Motores de Combustión Interna de la UNI, como en los talleres de la empresa Motores Diesel Andinos S.A. (MODASA). El equipo empleado consistió en un banco de pruebas conformado por un motor estacionario acoplado a un generador eléctrico al cual se le instaló un panel de focos que trabajaba como carga resistiva del sistema. Este banco de focos estaba conformado por 12 hileras de 5 focos de 100 w, el cual daba como carga una resistencia total de 6 kW.

Las características del motor utilizado en las pruebas son:

- Marca: Lister
- Tipo: SL2
- Potencia nominal (a 1800 RPM): 8,5 HP (6,34 kW)
- DxS (diámetro y carrera del cilindro): 80,96 x 88,9 mm
- Cilindrada: 916 cm<sup>3</sup>
- Relación de compresión: 19,5/1
- Presión de inyección: 150 atm. (15,19 Mpa)
- Consumo de combustible (a plena carga y máximas RPM): 2,7 lt/h
- Consumo de aceite (a plena carga y máximas RPM): 0,038 lt/h
- Angulo de avance a la inyección: 30° antes del PMS

Las características del generador eléctrico de corriente alterna fueron:

- Marca: Frapil
- Tipo: AG1M18
- Frecuencia: 60 Hz
- Velocidad: 1800 RPM
- Voltaje: 220V
- Motor primario: 8,5 CV (8,38 HP)
- Potencia: 4,8 kW
- Rendimiento: 77%

A lo largo de la investigación se confirmó que las diferencias en el funcionamiento y el rendimiento del motor no son significativas (Canturín, 2006; Acosta, 2006). Esto se comprobó aún empleando motores que podrían presentar ciertas desventajas por su antigüedad, como los utilizados en la UNI, tanto como en los ensayos realizados usando equipos nuevos como los de MODASA.

Las mezclas de biodiésel y diesel suelen denominarse Bx, donde B se refiere a la presencia del biodiésel y la x es reemplazada por el porcentaje de biodiésel que contiene la mezcla. Así, una mezcla que tenga 20% de biodiésel y 80% de diesel se denominará B20.

En las pruebas realizadas se ha empleado biodiésel producido a partir de aceites usados de cocina para las pruebas en la UNI, en mezclas B10, B20, B30, B50 y B75. Mientras que para los ensayos en MODASA se utilizó biodiésel de palma en las proporciones B2, B5, B10, B30 y B50.

Los factores evaluados han sido: consumo horario y específico, potencia, eficiencia y emisiones en los motores. Los resultados más óptimos, comparando las diferentes mezclas, se hallaron para la mezcla denominada B30 (30% de biodiésel y 70% de diesel 2). A continuación se detalla los resultados encontrados.

#### Consumo específico

El consumo específico se interpreta como la cantidad de combustible que consume el motor, por unidad de tiempo. Para su medición, se registra el tiempo que tarda el motor en consumir una cantidad específica de combustible a diferentes regímenes de trabajo.

En los ensayos en la UNI se midió el tiempo que demoraba el motor en consumir 10 ml de combustible. A los datos registrados se le realizó un análisis de varianza utilizando el software Minitab. Los resultados, para diferentes mezclas de los combustibles, se muestran en el cuadro N° 34.

**Cuadro N° 34**  
**Consumo específico con diferentes mezclas a 1800 RPM**

<b>Mezcla</b> (biodiésel de aceites usados)	<b>Tratamiento</b>	<b>Consumo específico promedio</b> (a 1800 RPM) (lt/h)	<b>Significación</b>	<b>Variación</b> (%)
Diesel 2	1	1,53	a	0,00
B10	2	1,54	a	0,51
B20	3	1,53	a	0,11
B30	4	1,57	b	2,20
B50	5	1,63	c	6,26
B75	6	1,66	d	8,32
B100	7	1,65	d	7,88

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el consumo específico prácticamente no varía entre el consumo con diesel y las mezclas de B10 y B20. En el caso de B30, el consumo aumenta un 2,2% lo cual no es significativo. Para las mezclas B50, B75 y B100 el consumo aumenta entre 6 y 8% lo cual, en la práctica, quiere decir que el consumo aumenta en 0,13 lt/h el cual a pesar de ser mayor, no llega a ser un consumo alto.

Las pruebas en MODASA se realizaron a 1600 y 2600 RPM (cuadro N° 35). Se observa que el aumento del consumo tampoco es significativo. El máximo aumento se da en un 0.5% en B100, lo cual quiere decir que el consumo horario es prácticamente igual cuando se utilizan los dos combustibles. Por lo tanto, no hay diferencia al hablar de consumo específico u horario entre el diesel 2 y el biodiésel en cualquiera de sus mezclas, pudiéndose utilizar el biodiésel sin la preocupación de que el consumo pueda aumentar.

**Cuadro N° 35**  
**Consumo específico con diferentes mezclas a 1600 y 2600 RPM**

<b>Mezcla</b> (biodiésel de aceite de palma)	<b>Consumo específico promedio</b> (a 1600 RPM) (lt/h)	<b>Variación</b> (a 1600 RPM) (%)	<b>Consumo específico promedio</b> (a 2600 RPM) (lt/h)	<b>Variación</b> (a 2600 RPM) (%)
Diesel 2	12,905	0,000	19,083	0,000
B2	13,011	0,008	19, 287	0,011
B5	12,787	- 0,009	19,189	0,006
B10	12,985	0,006	19,257	0,009
B20	13,057	0,012	19,329	0,013
B35	13,015	0,009	19,321	0,013
B50	13,125	0,017	19,268	0,010
B100	13,489	0,045	20,034	0,050

### Consumo efectivo

El consumo efectivo se puede interpretar como la cantidad de combustible que se consume por unidad de energía producida. Esto se puede medir calculando la cantidad de combustible consumido entre la potencia producida en unidad de tiempo.

En el caso de las pruebas realizadas en la UNI (cuadro N° 36) se puede ver que el consumo efectivo disminuye en casi 3% en las mezclas B10, B20 y B30 en relación al diesel, por lo tanto sí hay significación. Esto quiere decir que se necesita menos combustible para generar un kW-h, teniendo como consecuencia un ligero aumento de la potencia en el motor. En el caso de las mezclas B50 y B75 el grado de significación aumenta debido a que en estas mezclas se consume más combustible por unidad de energía producida. En el caso de B100, hay un aumento significativo que llega al 9%. Una de las causas de este aumento en el consumo efectivo se halla en el ligeramente menor poder calorífico del biodiésel respecto al diesel 2, lo cual se ve de manera más clara en las curvas de eficiencia del motor.

**Cuadro N° 36**  
**Consumo efectivo con diferentes mezclas a 1800 RPM**

<b>Mezcla</b> (biodiésel de aceites usados)	<b>Tratamiento</b>	<b>Consumo efectivo promedio</b> (a 1800 RPM) (lt/kW-h)	<b>Significación</b>	<b>Variación</b> (%)
Diesel 2	1	0,85	b	0,00
B10	2	0,82	a	-3,42
B20	3	0,82	a	-3,11
B30	4	0,83	a	-2,54
B50	5	0,87	b c	2,20
B75	6	0,88	c	4,22
B100	7	0,92	d	9,01

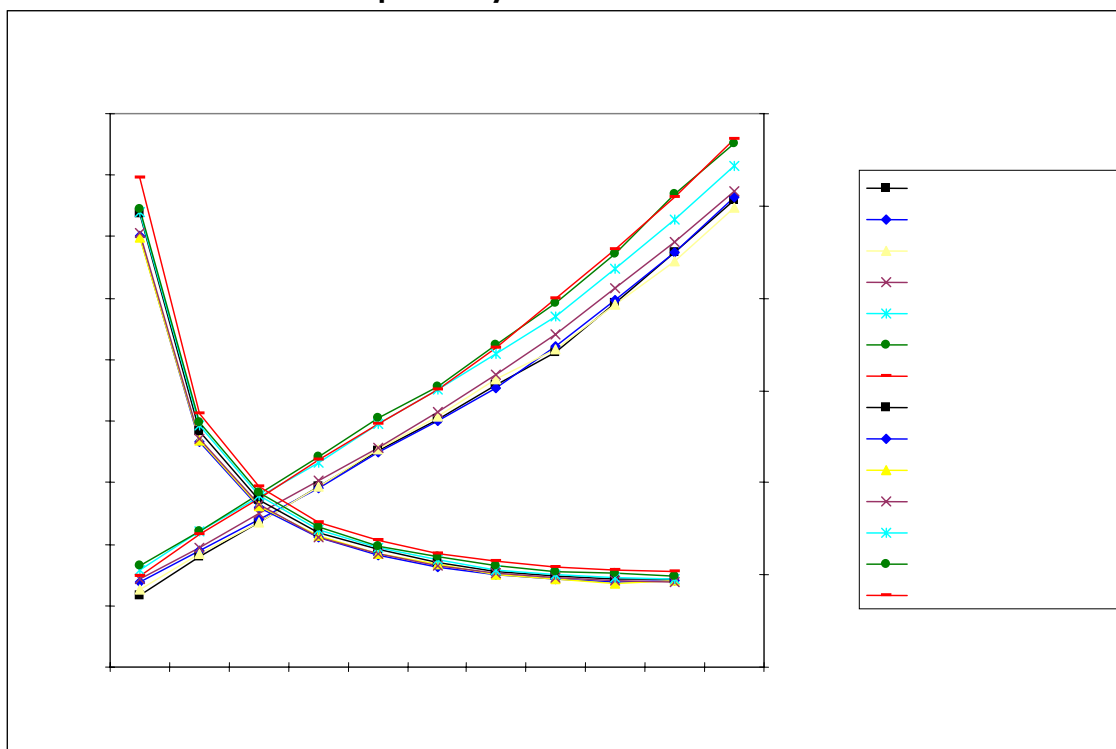
En los ensayos en MODASA, se obtuvieron los resultados que se muestran en el cuadro N° 37. Se observa que el consumo disminuyó en referencia al diesel 2 en las mezclas de B2, B5, B10, B20; en B30 se mantiene casi sin variación; y aumenta un poco en B50 y B100. Se puede apreciar también como aumentan y disminuyen porcentualmente estas variaciones de consumo efectivo, las cuales no llegan a pasar del 1% por lo tanto se puede afirmar que no hay diferencia en el consumo efectivo entre el diesel 2 y las diferentes mezclas de éste con biodiésel y el biodiésel puro.

**Cuadro N° 37**  
**Consumo efectivo con diferentes mezclas a 1600 y 2600 RPM**

<b>Mezcla</b> (biodiésel de aceite de palma)	<b>Consumo específico promedio</b> (a 1600 RPM) (lt/h)	<b>Variación</b> (a 1600 RPM) (%)	<b>Consumo específico promedio</b> (a 2600 RPM) (lt/h)	<b>Variación</b> (a 2600 RPM) (%)
Diesel 2	0,233	0,000	0,253	0,000
B2	0,231	-0,008	0,250	-0,012
B5	0,230	-0,014	0,252	-0,007
B10	0,232	-0,003	0,252	-0,003
B20	0,231	-0,010	0,252	-0,003
B35	0,231	-0,008	0,253	0,000
B50	0,235	0,011	0,256	0,012
B100	0,243	0,045	0,259	0,062

En el gráfico N° 13 se muestran las curvas de consumo específico y consumo efectivo para 1800 RPM. Se puede apreciar que en el consumo específico hay una pequeña separación en las curvas de las mezclas de B75 y B100 de las curvas de las mezclas con mayor cantidad de diesel, lo que indica un aumento del consumo de combustible en estas mezclas. Por otro lado la curva de consumo efectivo nos indica que los combustibles y sus diferentes mezclas no varían demasiado, teniendo un consumo efectivo más parejo.

**Gráfico N° 13**  
**Consumo específico y consumo efectivo a 1800 RPM**



Potencia

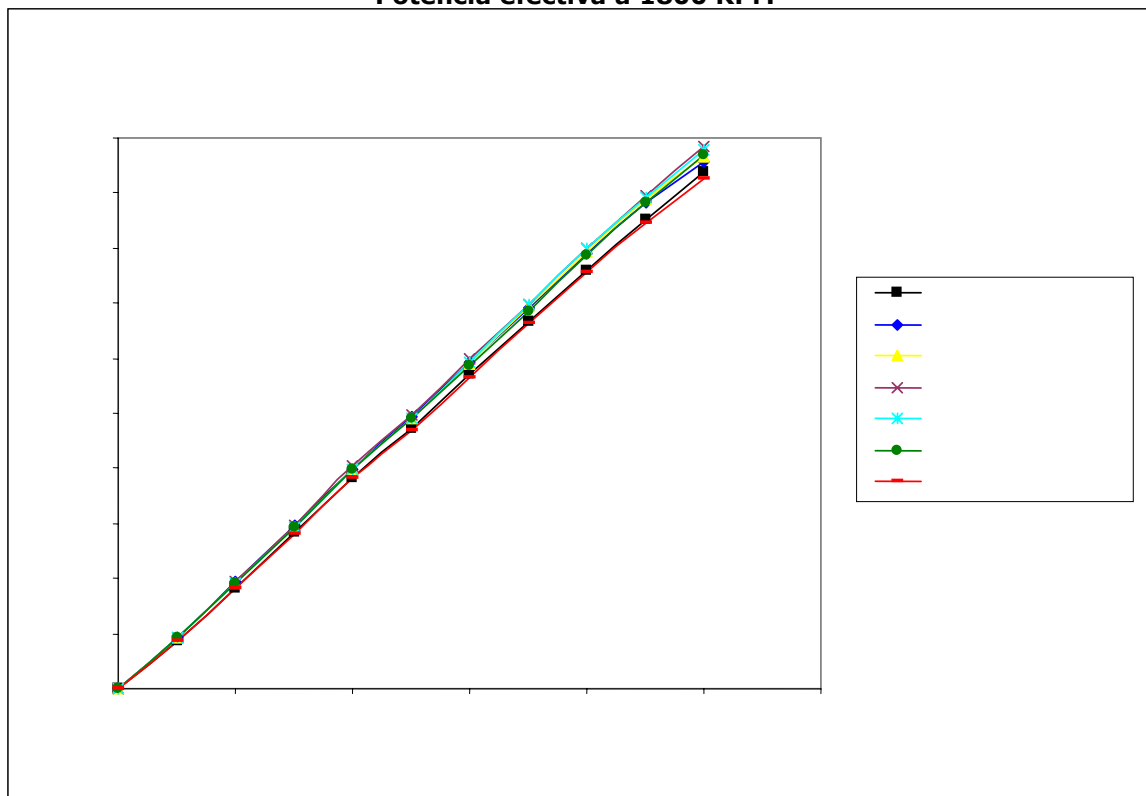
La potencia, en el caso de las pruebas con biodiésel a partir de aceite usado, se midió a partir del voltaje y amperaje del generador al momento de darle una carga variable. La carga se fue aumentando cada 500 w hasta llegar a 5000 w. En el gráfico N° 14 se puede observar la diferencia entre la potencia de carga y la efectiva entre las diferentes mezclas; se aprecia que la potencia generada entre las diferentes mezclas es muy variante, pudiéndose observar que las menores potencias se dan en los combustibles puros (diesel 2 y B100) siendo estas dos similares en sus resultados teniendo una pequeña varianza de 0,9% entre las dos, lo cual no es significativo. Con este resultado se puede decir que la potencia generada por el sistema con los combustibles puros no varía.

**Cuadro N° 38**  
**Potencia efectiva con diferentes mezclas a 1800 RPM**

Mezcla (biodiésel de aceites usados)	Tratamiento	Potencia efectiva (a 1800 RPM) (w)	Significación	Variación (%)
Diesel 2	1	2366,88	c	0,00
B10	2	2449,57	b	3,49
B20	3	2452,82	b	3,63
B30	4	2479,56	a	4,76
B50	5	2468,29	a b	4,28
B75	6	2443,05	b	3,22
B100	7	2345,62	c	-0,90

En el caso de las mezclas, la potencia aumenta hasta en un 4,76% para la mezcla B30, pudiéndose afirmar que la potencia generada mas alta se puede conseguir con las mezclas de biodiésel al 30%, tal como lo demuestra el cuadro N° 38, donde se ve claramente el aumento o la disminución de la potencia en relación con el diesel 2.

**Gráfico N° 14**  
**Potencia efectiva a 1800 RPM**



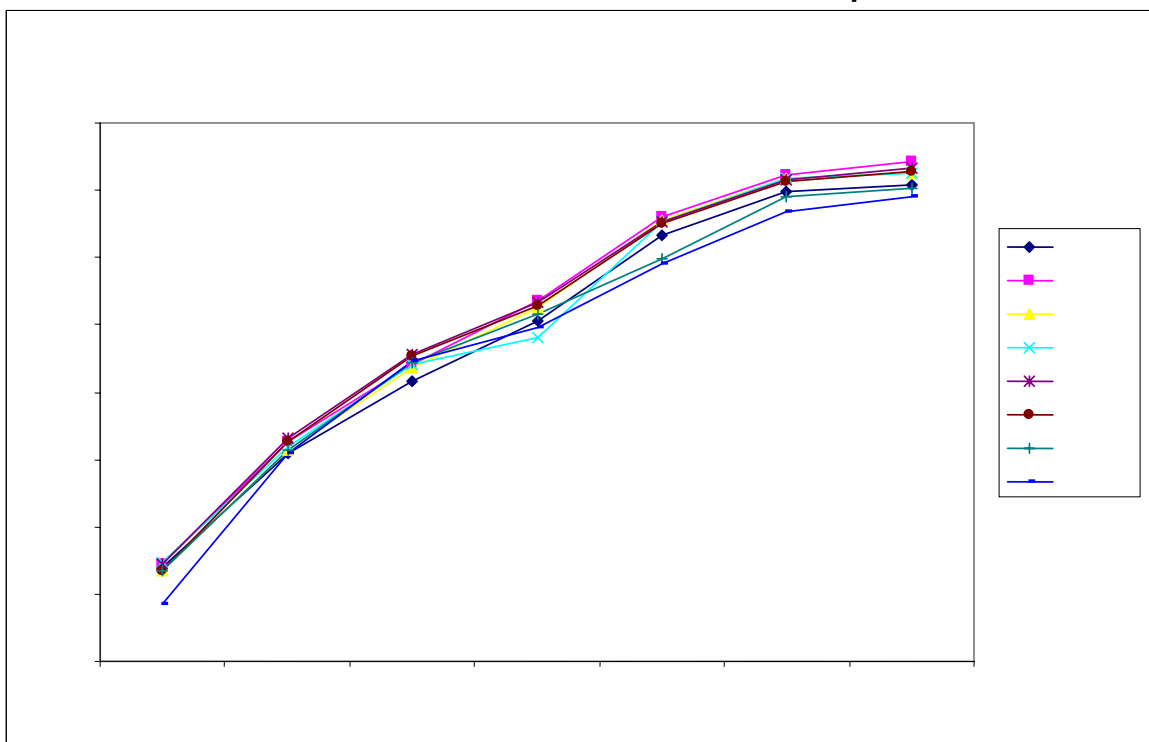
En el caso los ensayos con aceite crudo de palma realizados en MODASA, las pruebas se hicieron en un banco de pruebas con un dinamómetro. Los resultados se muestran en el gráfico N° 15, donde se puede apreciar que las mezclas menores a B50 tienen una mayor potencia que la del diesel (cuadro N° 39) pero el porcentaje que aumenta no es muy significativo.

**Cuadro N° 39**  
**Potencia con diferentes mezclas de biodiésel de palma**

<b>Mezcla</b> (biodiésel de aceite de palma)	<b>Potencia promedio</b> (kW)	<b>Variación</b> (%)
Diesel 2	64,331	0,000
B2	65,521	0,018
B5	65,078	0,011
B10	64,906	0,009
B20	65,478	0,018
B30	65,234	0,014
B50	64,306	0,000
B100	63,467	-0,014

La potencia disminuye muy poco con las mezclas B50 y con B100, por lo que se podría afirmar que prácticamente no hay variación entre la potencia generada por un motor funcionando con diesel 2 y uno con biodiésel con sus diferentes mezclas.

**Gráfico N° 15**  
**Potencia con diferentes mezclas de biodiésel de palma**



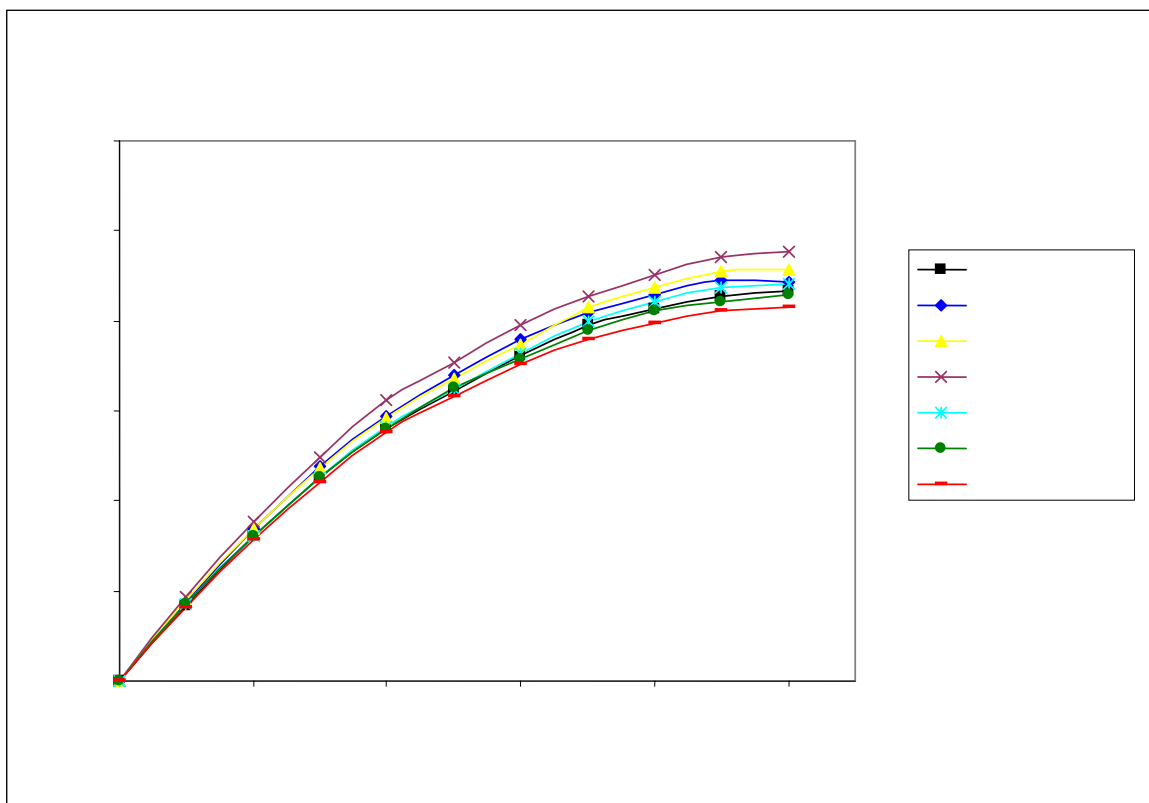
Se puede concluir entonces que el biodiésel y sus diferentes mezclas con diesel 2 pueden ser empleadas en un motor diesel sin que este tenga variaciones significativas en lo que corresponde a potencia. También se puede apreciar en los gráficos que las curvas de potencia del diesel 2 y el B100 siguen prácticamente la misma trayectoria sin que haya variación.

### Eficiencia

La eficiencia nos indica la diferencia de energía que produce el sistema con relación a la cantidad de energía que ingresa (en forma de combustible). Estas pruebas nos dan un dato real sobre la calidad del combustible, ya que si el combustible probado o la mezcla probada, producen en el mismo motor un mejor rendimiento, significa que la calidad del combustible es mejor.

En las pruebas realizadas en la UNI (cuadro N° 40) se puede apreciar que la eficiencia aumenta hasta un 9,33% en la mezcla de B30. Con un aumento de casi el 10% se puede afirmar que si pueden haber variaciones que puedan ser percibidas por el usuario. En la mezcla con B50 la eficiencia es muy similar a la producida por el diesel 2 aunque mayor en un 0.82%. En las mezclas de B75 hay una disminución en 0,9% lo cual quiere decir que no hay significancia y prácticamente la eficiencia es la misma que cuando el motor trabaja con diesel. Cuando se hizo la prueba con B100 la eficiencia disminuyó en 3.46%. La variación no es muy alta, por lo que no se va a percibir al momento de utilizar el motor.

**Gráfico N° 16**  
**Eficiencia a 1800 RPM**



**Cuadro N° 40**  
**Eficiencia con diferentes mezclas a 1800 RPM**

Mezcla (biodiésel de aceites usados)	Tratamiento	Eficiencia promedio (a 1800 RPM) (%)	Significación	Variación (%)
Diesel 2	1	14,16	c	0,00
B10	2	14,71	b	3,88
B20	3	14,82	b	4,69
B30	4	15,48	a	9,33
B50	5	14,27	c	0,82
B75	6	14,03	c	-0,90
B100	7	13,67	d	-3,46

Se puede concluir que la utilización de biodiésel en diferentes mezclas con diesel 2 y hasta 50% no interfiere en gran medida con el comportamiento del motor. Al trabajarse con mezclas con más de 50% de biodiésel puede haber pequeñas variaciones en el rendimiento.



### **ix. Determinación de áreas mínimas de bosque o plantación de determinados recursos oleaginosos para el establecimiento de sistemas locales de producción de biodiésel**

Se ha efectuado un ejemplo de cálculo para la población de Jenaro Herrera, que sirva como base y referencia para el siguiente ítem. Considerando la información del INEI para Jenaro Herrera: 2 578 habitantes y 427 viviendas y tomando los datos de electrodomésticos usados por vivienda, calculamos la demanda aproximada de energía eléctrica del pueblo, la cual ascendería a 250 419.2 kW/año (ver Anexo VI).

Con los datos de consumo de combustible en motores de las investigaciones con biodiésel de aceite de cocina usado y de aceite de palma, obtuvimos las cantidades necesarias para satisfacer esta demanda de energía eléctrica. Como se puede apreciar en el anexo 6 la demanda de combustibles es mayor si usamos un motor de mayor antigüedad (pruebas con aceite usado). Utilizando un motor antiguo se requieren 230 386 litros de biodiésel puro, en cambio utilizando un motor nuevo se requieren 67 363 litros de biodiésel puro de aceite de palma. Comparándolo con la cantidad de Diesel 2 que se requiere para ambos casos, el consumo sólo aumenta en el primer caso en un 8% y en el segundo caso en un 6%.

De las evaluaciones de extracción de aceite concluimos que las oleaginosas evaluadas no producen suficiente cantidad de aceite para producir biodiésel, por lo que la opción más realista es la de realizar plantaciones de palma aceitera.

Considerando para la palma aceitera un rendimiento regular de 4000 Kg de aceite por hectárea, se necesitarían 85 hectáreas para producir los 230 386 litros de biodiésel requeridos para el caso de utilizar un motor antiguo. Para producir 67 363 litros de biodiésel que demandaría un motor nuevo, se requerirían 25 hectáreas de palma aceitera africana.

### **x. Diseño de un sistema apropiado de producción y uso de biodiésel en comunidades de la selva peruana**

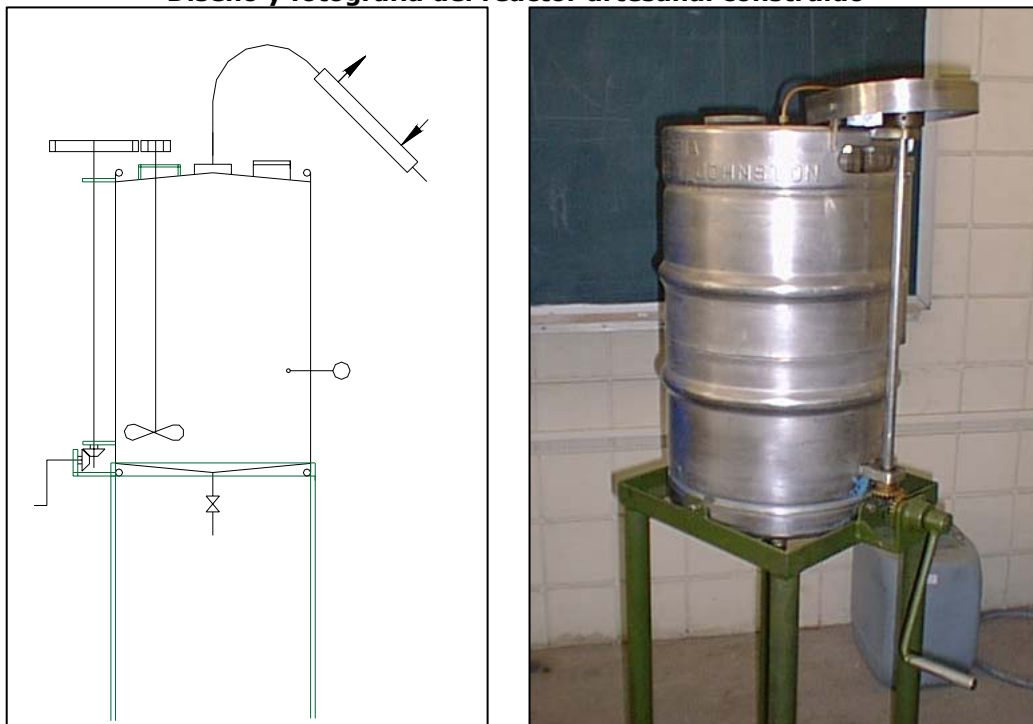
A partir de los resultados del trabajo experimental de la presente investigación se puede concluir que sistemas apropiados para la producción y uso de biodiésel en comunidades aisladas de selva podrían basarse en plantaciones de palma aceitera africana o palma aceitera americana (poloponta).

Se recomendaría utilizar KOH como catalizador para el proceso de transesterificación, el mismo que podría realizarse de manera sumamente sencilla empleando el reactor artesanal desarrollado por el equipo de investigación en el proyecto anterior apoyado por CONCYTEC denominado *Proyecto Producción de biodiesel a pequeña escala a partir de recursos oleaginosos amazónicos*.

El punto sensible radicaría en la disponibilidad del alcohol. La viabilidad del uso del metanol dependerá de la distancia a la que haya que transportarlo, lo cual determinará el costo del insumo y por ende del biodiésel a producirse; pero también se verá afectado por factores de seguridad para el transporte de este insumo. Lo ideal sería poder utilizar el etanol que localmente se produce. Si bien la producción de biodiésel empleando etanol es más complicada que para los casos en los que se emplean metanol, durante la investigación se han logrado determinar parámetros que permiten su utilización. Sin embargo, la no disponibilidad en la región amazónica de etanol en los grados de pureza que la producción de biodiésel requiere es aún un punto no resuelto.

En el gráfico N° 17 se muestra el reactor artesanal desarrollado anteriormente para este tipo de escenarios. Este modelo tecnológico para la producción de biodiésel a pequeña escala (50 litros/lote) es de bajo costo y está fabricado a partir de materiales reciclados, ideado básicamente para la producción artesanal en comunidades aisladas de selva. El modelo no requiere de abastecimiento eléctrico e incluye el tratamiento previo del aceite, la producción misma de biodiésel por transesterificación empleando metanol o etanol y el tratamiento posterior del combustible mediante lavado y filtrado.

**Gráfico N° 17**  
**Diseño y fotografía del reactor artesanal construido**



Respecto a las fuentes oleaginosas, plantaciones de poloponta con 139 plantas/Ha deberían estar produciendo 11.6 Ton/Ha/año de fruto, lo cual equivaldría a 799.24 Kg/Ha/año de aceite. La palma aceitera, por su parte, debería producir en plantaciones, al menos 4000 Kg/Ha/año de aceite. Se deduce que se requeriría alrededor de 4 veces más hectáreas de poloponta que palma para producir la misma cantidad de aceite, sin embargo se incluye la recomendación de la poloponta debido a su origen local, lo cual puede implicar una mejor adaptación a las condiciones específicas de la selva amazónica peruana, así como un probable menor impacto para el caso de plantaciones y/o menor exigencia de insumos externos.

Tanto para la palma africana como para la poloponta se recomienda un acondicionamiento del fruto mediante un tratamiento térmico llamado escaldado, este se requiere debido a la alta humedad de estos frutos y a la presencia de enzimas que hidrolizan el aceite o grasa. Tiene como finalidad inactivar estas enzimas y detener el deterioro hidrolítico. Para ello se recomienda utilizar vapor. En el laboratorio se utilizó una autoclave con una rejilla para colocar los frutos y se esterilizó con el vapor generado por el calentamiento, esto se realizó por un tiempo de 10 minutos y a una temperatura promedio de 120°C. En la selva este sistema debería poder emplearse sin problemas, sea mediante una cocina a leña o briquetas como fuente generadora de calor.

El despulpado puede ser realizado de manera manual, pero por los volúmenes que se requieren procesar, recomendamos la utilización de una despulpadora mecánica. En ambos casos se recomienda secar los frutos antes de la extracción, por su alto contenido de humedad. La temperatura recomendada es de 50°C por una hora aproximadamente, esto puede ser realizado en un secador solar. También se requiere un molino para obtener partículas uniformes para la extracción de aceite. El equipo requerido para la extracción es una prensa mecánica hidráulica.

Finalmente, para la elaboración de biodiésel de palma se requiere un tratamiento previo de neutralización por el alto índice de acidez, a diferencia de la paloponta que produjo un aceite con índice de acidez dentro de los rangos recomendados.

## **xi. Sistematización de los resultados y recomendaciones producto de la investigación**

Además del presente informe que incluye la sistematización más detallada de todas las actividades realizadas, se han venido presentando avances en diversos eventos y reuniones, las mismas que se indican en el siguiente ítem.

En cuanto a las conclusiones más importantes de la presente investigación, podemos mencionar:

- Para el caso de la elaboración de biodiésel a partir de metanol, se ha encontrado que el catalizador que produce mayores rendimientos en producción de glicerol, es el KOH, lo que indica un proceso de transesterificación más completo. La temperatura óptima de reacción es a 60°C para ambos catalizadores. Para el caso de NaOH el tiempo óptimo ocurre a los 150 minutos, mientras que para KOH ocurre a 75 minutos, lo que confirma que el KOH es más eficiente. Se recomienda utilizar ecuaciones de Tickell para el cálculo de las concentraciones de ambos catalizadores.
- Para el caso de la elaboración de biodiesel a partir de etanol, el catalizador que produce mejores rendimientos es también el KOH. La cantidad de etanol recomendado por la bibliografía es de 28.8 % del peso del aceite, lo que equivale a una razón molar de 5,5:1 y recomiendan utilizar 1% del peso del aceite de KOH a temperatura ambiente. En las pruebas se ha encontrado que valores más altos de rendimiento se consiguen con una concentración de KOH de 1.2% a 40 grados centígrados. Variando la razón molar a 6,5:1, se obtuvo el rendimiento experimental más alto a una concentración de 1% de KOH y a temperatura ambiente. En el caso de utilizar NaOH, se obtuvieron mayores rendimientos a una concentración de 0.7% y a 60°C.
- En pruebas con biodiésel de aceite usados y con motores antiguos, el consumo específico (horario) para las mezclas B50, B75 y B100 aumentó sólo entre 6 y 8% en relación al diesel; mientras que en las prueba con biodiésel de palma y en motores nuevos, el consumo específico (horario) es prácticamente el mismo en todas las muestras. En cuanto al consumo efectivo, este disminuye en casi 3% en relación al diesel en las mezclas B10, B20 y B30 pero en B75 aumenta en 4% y en B100 en un 9%, probablemente debido al menor poder calorífico del biodiésel; sin embargo, cuando se hicieron las pruebas en motores nuevos, prácticamente no se encontró variación. En el caso de la potencia, los valores más bajos hallados para el biodiésel de aceites usados se hallan cuando se emplean los combustibles puros, en cambio en las mezclas la potencia aumenta

hasta en un 4,76% para la mezcla de B30; mientras que en las pruebas con biodiésel de aceite de palma, no hay variaciones significativas en la potencia. En el caso de las pruebas de eficiencia, esta aumenta significativamente en la mezcla B30, pero en los otros casos prácticamente no hay variación. Por lo que se concluye que el biodiésel no afecta el uso en el motor, se puede usar tranquilamente en reemplazo del diesel 2 y si se usa en mezclas de B30 muchas características mejoran.

Las dos principales recomendaciones que se desprende de la presente investigación serían:

- Es necesario investigar en métodos y técnicas sencillas de deshidratación del etanol para poder aprovechar el alcohol producido localmente en la producción de biodiésel.
- Se requiere profundizar la investigación en las características de las especies oleaginosas amazónicas, la cual es dramáticamente escasa hasta el momento.

## **xii. Actividades de difusión para la transferencia de los resultados a los usuarios potenciales, publicaciones especializadas, mundo académico e instituciones de desarrollo**

A continuación se detallan las actividades de difusión realizadas a lo largo de la investigación:

- Los días 17 y 18 de febrero del 2005 se presentó el tema de Biomasa y Biodiesel en el Conversatorio - Taller Planificación Energética Regional en la ciudad de Moyobamba, San Martín, con presencia de los Directores Regionales de Energía y Minas de San Martín, Amazonas y Piura, así como de alcaldes y representantes del Ministerio de Energía y Minas. Se despertó interés local por el tema, principalmente por la existencia de plantaciones de palma en la región San Martín.
- En marzo del 2005, en el poblado de Jenaro Herrera, se llevaron a cabo actividades de difusión acerca de la producción y uso de biodiésel a pequeña escala, ante un público de 20 personas. Asimismo se tuvieron reuniones, en Iquitos, con representantes de comunidades de palmicultores y empresas de ecoturismo, con quienes también se discutieron diferentes posibilidades para la producción de biodiésel en la selva peruana. En el distrito de Villa María, en el río Manítí, se demostró su uso en un generador eléctrico para producción de electricidad.
- En abril del 2005 se realizó el Primer Curso Teórico Práctico Producción de Biodiésel a Pequeña Escala atendiendo una demanda creciente de información técnica sobre el tema y contando con una asistencia de alrededor de 35 participantes.
- En mayo del 2005, Mirtha Nazario Ramírez sustentó la tesis de pre-grado Aprovechamiento de aceites vegetales de desecho generados por el comedor universitario de la Universidad Nacional Agraria La Molina para la elaboración de biodiésel, obteniendo la calificación de sobresaliente y el título de ingeniero ambiental. Los ejemplares de esta investigación se encuentran en la Biblioteca Nacional Agraria y en la Facultad de Ciencias de la UNALM.

- Con el apoyo de la Cooperación Técnica Belga (CTB) en junio del 2005, una delegación de 6 personas del equipo de ITDG y la UNALM participó en una pasantía de 2 semanas en los principales centros de investigación y producción de biodiésel en Brasil, como son la empresa Tec Bio, y las Universidades Federal de Itajubá, Federal de Río y la Federal de Bahía. En los últimos años, Brasil, junto a los Estados de la Unión Europea, son los que más impulso han dado a este tema a nivel mundial, tanto desde el sector gubernamental como desde el académico. En Brasil, en el 2005 se dio inicio a un ambicioso proyecto a nivel nacional para promover la producción de biodiésel como alternativa tanto ambiental como de generación de mano de obra. La importancia de esta pasantía radicó en la posibilidad de conocer los avances, opciones y limitaciones que el biodiésel ha tenido en el Brasil, con la finalidad de identificar qué lecciones, estrategias y propuestas tienen potencial de réplica y/o pueden servir de base para una promoción similar en el Perú, que pueda significar mejoras substanciales tanto en temas ambientales como de promoción del desarrollo. Esta pasantía sirvió también para la difusión del proyecto el cual fue presentado a representantes de instituciones educativas, de investigación y del estado de Brasil (Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Río de Janeiro; Instituto Nacional de Investigación; Instituto Virtual Internacional de Cambios Globales). Además se presentaron al 2º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, los artículos científicos: Producción de biodiésel a pequeña escala a partir de recursos oleaginosos amazónicos en el Perú; y Producción de biodiésel a pequeña escala a partir de aceites usados en el Perú.
- El 31 de julio del 2005 se presentó el tema Opciones para la producción de biodiesel a pequeña escala en el Perú”, en el IV Encuentro Científico Internacional de Invierno, realizado en Lima, del 30 de julio al 2 de agosto del 2005. El artículo en extenso fue incluido en Libro de Resúmenes del Encuentro.
- El 31 de agosto del 2005 se presentó el tema Opciones para la producción de biodiésel en el Perú durante el 1er Taller sobre Tecnologías Limpias, organizado por la Asociación Latinoamericana de Estudiantes de Ingeniería Industrial y Afines (ALEIIAF) en el Colegio de Ingenieros del Perú.
- El 30 de septiembre del 2005 se presentó el tema Opciones para la producción de biodiésel en el Perú, durante el Curso Forum Nacional Enseñanza de ciencias naturales, medio ambiente, ciencia y tecnología mediante experimentos sencillos, conferencias sobre física y sus aplicaciones, en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo en Huaraz.
- Los días 12 y 13 de octubre del 2005 se realizó el 2do Curso Teórico Práctico: Producción de Biodiésel a Pequeña Escala, dirigido al público en general, profesionales, empresarios, técnicos y estudiantes; contando con la participación de alrededor de 30 asistentes, sobretodo de empresarios interesados en la producción de biodiésel.
- En octubre del 2005 se presentó el tema Opciones para la producción de biodiesel en el Perú a los alumnos del curso de Energías Renovables de la Maestría de Ciencias Ambientales de la UNALM.
- Se presentó el tema Opciones para la producción de biodiésel en el Perú en el XI Congreso Latinoamericano de Grasas y Aceites, realizado del 16 al 18 de noviembre del 2005 en Buenos Aires, Argentina, y organizado por la Asociación Argentina de Aceites y Grasas y la Sección Latinoamericana de la American Oil Chemists Society.

- Se publicó el artículo científico Opciones para la producción de biodiésel en el Perú, en la revista Mosaico Científico Vol. 2 No 2 del Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) en su edición de julio – diciembre 2005.
- El 19 de Enero del 2006 se realizó un curso dirigido de producción de biodiésel a pequeña escala a tres productores de aceite de semilla de algodón de Tarapoto, interesados en la instalación de una planta de biodiésel.
- El viernes 17 de marzo fue emitido un reportaje del noticiero de Canal ATV.
- El 23 de abril se publicó un reportaje denominado El Biobus en el Suplemento Domingo del Diario La República, de circulación nacional.
- En marzo del 2006, Abigail Canturín Chávez sustentó la Tesis Evaluación de la potencia, consumo de combustible y emisión de particulados en un motor empleando biodiesel de palma (*Elais guinnensis*) y petróleo diesel, obteniendo la calificación de muy bueno y el título de ingeniero agrícola.
- Los días 16 y 17 de mayo del 2006, los diarios El Comercio y Ojo, respectivamente, dieron cuenta del apoyo realizado por el proyecto Biodiésel, en las instituciones de la UNALM, ITDG y CONCYTEC, a la iniciativa Panamericana 2006 ProBiodiesel, que consistía en un viaje desde Alaska a Tierra del Fuego a bordo de tres vehículos propulsados por biodiésel y quienes rompieron el récord mundial en recorrer la carretera Panamericana.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA F. 2006. Tesis de grado Evaluación del biodiésel como reemplazo total o parcial del diesel 2 en un motor de combustión interna. Documento en proceso. Universidad Alas Peruanas. Perú.
- AGUHOB S.; AXTELL B. 1998. Procesamiento de aceite. Serie: Libros de consulta sobre tecnología de alimentos. ITDG. Perú.
- CABRERA A.; ROJAS J. M. 1979. Estudio del Pijuayo y Chope como Frutos Oleaginosos no Tradicionales Típicos de la Amazonía Peruana. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos – Perú.
- CANTURÍN A. 2006. Tesis de grado Evaluación de la potencia, consumo de combustible y emisión de particulados en un motor empleando biodiesel de palma (*Elais guinnensis*) y petróleo Diesel. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- COELLO, J.; GNECCO, M. 2000. El biodiesel. Documento interno de ITDG. Perú.
- DE SA PARENTE, E. 2003. Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado. Disponible em versão eletrónica en: [http://www.tecbio.com.br/Biodiesel\\_NoBrasil.htm](http://www.tecbio.com.br/Biodiesel_NoBrasil.htm).
- FERCHAU E. 2000. Equipment for decentralised cold pressing of oil seeds. Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energi. Dinamarca.
- KAHN F. 1989. Palmeras nativas y manejo de bosques de la Amazonía Peruana. Revista de ciencias biológicas – Biota (14)95. Perú.
- KAHN F.; MEJIA K. 1987. Las palmeras nativas de importancia económica en la Amazonía peruana. Revista Folia Amazónica (I) 1. Perú.
- KAHN F.; MEJIA K. 1990. Palm communities in wetland forest ecosystems of Peruvian Amazonia. . Forest Ecology and management, 33/34. Suiza.
- KAHN F.; MOUSSA F. 1994. Las palmeras del Perú. Lima – Perú.
- LOPEZ J.; FREITAS D. 1990. Geographical aspects of forested wetlands in the Lower Ucayali, Peruvian Amazonia. Forest Ecology and management, 33/34. Suiza.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MINEM). 1998. Balance Nacional de Energía 1998. Perú.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (MINEM). 2002. Plan de Electrificación Rural 2003 – 2012. Perú.
- NAZARIO M. 2005. Tesis de grado Aprovechamiento de aceites vegetales de desecho generados por el comedor universitario de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para la elaboración de biodiésel. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- MEJIA K. 1992. Las palmeras en los mercados de Iquitos. Bulletin del Institut Français d'Etudes Andines (21)2. Lima – Perú.
- MEJIA K. 1997. Oleaginosas nativas de la Amazonía peruana. Informe interno del IIAP. Iquitos – Perú.
- PETERSON C.; REECE D.; HAMMOND B.; THOMPSON J.; BECK S. 1995. Making and testing a biodiesel fuel made from ethanol and waste french-fry oil. University of Idaho – Idaho Department of Water Resources, Energy Division. USA.

- ROCHA E. 2004. Potencial ecológico para el manejo de frutos de açai (Euterpe precatoria Mart.) en áreas extrativistas no Acre, Brasil. Revista Acta Amazónica (34) 2. Brasil.
- VILLANUEVA R.; SANCHEZ J. 1998. Análisis físico químico del fruto de la Sachamangua (Grias neuberthii J. F. Macbride). Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos (UNAP) – Perú.
- ZAGONEL G.; PERALTA-ZAMORA P.; RAMOS L. 2001. Production of ethyl esters from crude soybean oil: Optimization of reaction yields using a 23 experimental design and development of a new analytical strategy for reaction control. Curitiba, Brasil.



## **5. ANEXOS**

- Anexo I: Publicaciones revisadas y/o adquiridas durante la investigación.
- Anexo II: Descripción general de especies evaluadas.
- Anexo III: Resultados de pruebas de producción de biodiésel utilizando aceite de soya y etanol.
- Anexo IV: Estimado de costos de producción de biodiésel en condiciones de selva.
- Anexo V: Resultados de pruebas de elaboración de biodiésel y jabón con aceite de palma.
- Anexo VI: Determinación de áreas mínimas de plantación de palma aceitera para el poblado de Jenaro Herrera.
- Anexo VII: Memoria fotográfica.

**ANEXO I  
PUBLICACIONES REVISADAS Y/O ADQUIRIDAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN**

<b>Tipo</b>	<b>Tema</b>	<b>Autor(es)</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Título 2</b>	<b>Editorial</b>	<b>Edición</b>	<b>País</b>	<b>Ubicación</b>
Paper	Estudio económico y tecnológico	IIAC y SAGPyA	2005	Perspectivas de los biocombustibles en la Argentina y en Brasil		IIAC y SAGPyA		Argentina	Proyecto
Suplemento Especial Contratado	Palma aceitera en el Alto Huallaga		2005	La Semilla Vigorosa	La notable historia de Palmas e Industrial del Espino y de un cultivo que puede acabar con la coca	Revista Caretas		Perú	Proyecto
Fotocopias	Normas técnicas de análisis de aceites y biodiesel	British Standards Institution		British Standards				Gran Bretaña	Proyecto
Paper	biodiesel de etanol	Roger A. Korus, Dwight S Hoffman, Narendra Barn, Charles L. Peterson, and David C. Drown		Transesterification Process to manufacture ethyl ester of rape oil		Department of Chemical Engineering University of Idaho.		USA	Proyecto
Paper	biodiesel de etanol	Zagonel, Giuliano F., Peralta – Zamora, Patricio G., and Ramos L.		Production of ethyl esters from crude soybean oil: optimization of reaction yields using a 2 <sup>3</sup> experimental design and development of a new analytical strategy for reaction control		Department of Chemistry, Federal University of Panama.		Panamá	Proyecto
Paper	Frutos oleaginosos amazónicos	MEJIA, K.	1992	Las palmeras en los mercados de Iquitos.		Bulletin del Institut Français d'Etudes		Perú	Proyecto
Paper	Geografía amazónica	LOPEZ J.; FREITAS D.	1990	Geographical aspects of forested wetlands in the Lower Ucayali, Peruvian Amazonia.				Suiza	Proyecto
Paper	Palmeras amazónicas	KAHN F.; MOUSSA F.	1994	Las palmeras del Perú				Perú	Proyecto
Paper	Palmeras amazónicas	KAHN F.; MEJIA K.	1990	Palm communities in wetland forest ecosystems of Peruvian Amazonia.	Forest Ecology and management			Suiza	Proyecto
Fotocopias	Palmeras amazónicas	KAHN F.	1987	Las palmeras nativas de importancia económica en la Amazonía peruana.		Revista Folia Amazónica		Perú	Proyecto
Fotocopias	Palmeras amazónicas	KAHN F.; MEJIA K.	1989	Palmeras nativas y manejo de bosques de la Amazonía Peruana. Revista de ciencias biológicas		Revista Biota		Perú	Proyecto
Libro	Procesamiento de aceite	E. Kocken, R. Sandhu, B.	1998	Libros de consulta sobre tecnología de alimentos: Procesamiento de aceite		ITDG		Perú	ITDG

## ANEXO II DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ESPECIES EVALUADAS

### **Huicungo - *Astrocaryum* spp** (Recomendada por los expertos entrevistados)

De esta especie la información bibliográfica disponible es muy limitada. Su evaluación fue recomendada porque se conoce que contiene aceite en el fruto, pero no hay estudios específicos acerca de rendimientos, calidad, etc.

Esta especie está distribuida en toda la cuenca amazónica y en la Amazonia peruana es frecuente en la región de Loreto.

Los frutos tienen forma de pera, de 5 – 6 cm. de longitud y cerca de 4 cm de diámetro. La parte comestible de los frutos es la pulpa, de sabor agradable. Asimismo la nuez oleaginosa es comestible y de ella se puede extraer una margarina de buena calidad.

### **Poloponta - *Elaeis oleifera*** (Seleccionada por revisión bibliográfica)

Esta especie está distribuida en la cuenca del Amazonas. En el Perú ha sido encontrada en el río Ucayali, Jenaro Herrera, habitando bosques de tahuampas inundados temporalmente.

El fruto es de color anaranjado a anaranjado-amarillento o rojo cuando se encuentra maduro. El mesocarpo es oleoso y generalmente no excede de 1.5 mm de espesor en la parte media del fruto. Los frutos dan dos tipos de aceites: de la pulpa se extrae un aceite de color violáceo, comestible, rico en ácido oleico y de la almendra se extrae un aceite blanco rico en ácido láurico y que refinado puede ser usado en la fabricación de manteca vegetal.

La composición de ácidos grasos presentes en el aceite de la pulpa es el siguiente:

<b>Ácido Graso</b>	<b>% en peso</b>
Mirístico	0.1 – 2.5
Palmítico	18.8 – 14.6
Palmitoleico	1.2 – 1.5
Estearico	0.6 – 9.0
Oleico	40.0 – 67.0
Linoleico	2.0 – 15.9
Linolénico	0.5 – 0.6

### **Huasai - *Euterpe precatoria*** (Recomendada por los expertos entrevistados)

La información disponible sobre esta especie la información también es limitada, pues se usa principalmente para la producción de palmito. Su evaluación fue recomendada porque se conoce que el fruto contiene aceite, pero no hay estudios específicos acerca de rendimientos, calidad, etc.

Esta especie esta distribuida en la cuenca del Amazonas, habitando bosques inundables periódicamente y permanentemente.

El fruto es una baya redonda de 1.5 cm de diámetro, de color verde cuando está joven y violeta oscuro cuando está maduro. Posee un mesocarpo succulento. Cada fruto contiene una semilla, la cual representa casi todo el volumen, cubierto por una cáscara donde está el aceite que da al fruto su color violeta.

Del fruto se prepara una bebida espesa y aceitosa, muy apreciada por las poblaciones nativas y ribereñas, y que se conoce como chapo.

Valor nutritivo del huasai		
Componente	100 g de pulpa	100 g de chapo
Agua	45.9 g	87.0 g
Proteína	3.8 g	2.4 g
Lípidos	12.2 g	5.9 g
Glúcidos	36.6 g	--
Ceniza	1.5 g	4.7 g
Minerales		
-Calcio	118 mg	50 mg
-Fósforo	58 mg	33 mg
-Hierro	11.8 mg	0.9 mg

Número de racimos	Frutos / racimo kg	Frutos/ palmera Kg.	Numero de frutos /palmera	Número de frutos /racimo
1.8	6.6	6.2	5477	3221

**Sinamillo - *Oenocarpus mapora*** (Seleccionada por revisión bibliográfica)

Está distribuida en toda la Amazonia y en el río Ucayali. En Jenaro Herrera ha sido encontrada en estado silvestre habitando bosques de altura no inundables así como tahuampas. La estructura de la población de *O. mapora* en una hectárea inventariada de bosque de tahuampa en el bajo Ucayali, Amazonía peruana fue de 40 individuos por hectárea (3 adultos, 7 juveniles con tronco y 30 juveniles sin tronco).

Posee una infrutescencia (racimo) de hasta 6 Kg. La especie produce a los 4 años.

Estudios realizados sobre la producción de aceites en *Oenocarpus* spp indican que una planta produce 30 kg. de frutos, de los cuales 10% es pulpa y 62% es semilla y que de este 10% de pulpa se extrae 4 kg. de aceite/planta.

El fruto de esta palmera es casi redondo, y mide aproximadamente 2.5 cm de diámetro. La cáscara es púrpura, la pulpa es muy escasa, fibrosa, blanco lechosa y muy aceitosa. Posee un sola semilla grande.

Composición del aceite de *Oenocarpus* sp

Ácido Graso	% en peso
Mirístico	--
Palmitico	11.8 – 14.6
Palmitoleico	--
Estearico	7.8 – 9.6
Oleico	54.3 – 64.38
Linoleico	13.8 – 23.3
Linolenico	--

### **Sachamangua - *Grias peruviana*** (Seleccionada por revisión bibliográfica)

Esta especie se encuentra distribuida en la parte noroeste de la Amazonía, Ecuador y Perú donde se encuentra en estado silvestre habitando bosques aluviales inundables temporalmente. Frecuentemente forma agregaciones mono-específicas o poblaciones muy densas llamadas manchales de “sachamangua” o “sachamanguales” por los ribereños de la Amazonia peruana.

La densidad de esta especie en poblaciones naturales es elevada: 500 individuos por hectárea (plantas mayores de 1 cm. Dap). El tamaño total de la población incluyendo plántulas sobrepasa los 2500 individuos por hectárea.

En condiciones naturales, un sachamango empieza a fructificar cuando tiene un diámetro de 10 cm a la altura del pecho. La producción de frutos está relacionada directamente con el tamaño de la planta. Plantas adultas con más de 20 cm de diámetro producen más de 17 kg de fruto por año. La producción total en un sachamangual natural se estima en 8581 frutos/ha/año. Dado el peso promedio de un fruto maduro de 271.1 + ó – 5.1 gr, se tiene una producción total de 2.3 toneladas/ha/año.

Posiblemente este frutal requiera de suelos de buena fertilidad, ya que los suelos en los que crece son inundados anualmente, aunque de manera temporal, lo que produce el depósito de limo correspondiente.

El fruto es elíptico de 8 a 13 cm de longitud y de 6 a 8 cm de ancho, y presenta una cáscara de color café muy fina. El mesocarpio o pulpa es anaranjado, grasoso, de 1 cm de espesor y se desprende fácilmente de la semilla, teniendo la consistencia de un queso. Posee una sola semilla blanca, dura, leñosa y lleva en la superficie 7 – 8 líneas salientes y longitudinales.

Características físicas del fruto de sachamangua:

Dimensiones del fruto entero			% en peso del fruto		
Peso (g)	Tamaño (cm)	Diámetro (cm)	Cáscara	Pulpa	Semilla
286.94	14.36	5.52	13.705	64.018	28.381

Composición proximal del mesocarpio de la sachamangua:

Humedad %	Grasa %	Ceniza %	Fibra %	Proteína %	Carbohidratos %
72.55	50.75	0.94	3.97	3.03	40.46

Características fisicoquímicas del aceite del mesocarpio del fruto de la sachamangua:

Densidad	Índice de Saponificación	Índice de Acidez	Índice de Yodo	Índice de Peroxido	Índice de Refracción
0.88	105	6.15	3.19	6.00	1.45

El aceite extraído de los frutos de sachamangua es no secante, dado su bajo índice de yodo, y el grado de oxidación está dentro de las normas que todo aceite debe cumplir. Asimismo la pigmentación es del color de la pulpa (amarillo – naranja).

Composición proximal de la almendra de la sachamangua:

Humedad %	Grasa %	Ceniza %	Fibra %	Proteína %	Carbohidratos %
42.06	0.998	1.11	2.48	1.38	94.02

Características fisicoquímicas del aceite de la almendra del fruto de la sachamangua:

Densidad	Índice de Saponificación	Índice de Acidez	Índice de Yodo	Índice de Peroxido	Índice de refracción
0.67	90	8.16	4.09	3.00	1.51

El índice de yodo nos indica que el aceite es del tipo no secante; el índice de acidez y el índice de peroxido muestran un bajo grado de oxidación y pocas posibilidades de enranciamiento rápido.

La densidad del aceite nos muestra que es un aceite muy liviano, esto da una característica de finura al aceite. Estos datos fisicoquímicos nos indican que el aceite de la semilla de la sachamangua, por su baja densidad, sería útil para ciertas aplicaciones técnicas tales como lubricante de piezas, para preparar pastas oleaginosas de uso medicinal y cosmético. Sin embargo, dado su bajo contenido en la pepa, este aceite sería de muy difícil obtención.

### **Pijuayo – *Bactris gasipaes*** (Recomendada por el INIA)

Las variedades más comunes, en plantación, producen alrededor de 20 toneladas de fruto por hectárea, pero existe una línea en investigación que puede dar hasta 74 toneladas por hectárea.

El fruto del pijuayo tiene un 80% de pulpa y 20% de semilla. La pulpa tiene alrededor de un 20% de contenido graso, aunque esto depende de la variedad. Con un buen equipo de extracción se puede lograr una eficiencia de extracción del 80%, pero actualmente se obtiene solamente un 50%. Se podrían obtener hasta 3 toneladas de aceite por hectárea.

Una vez extraído el aceite, se puede obtener harina del fruto. Esta representa un 30% del peso del fruto, de manera que se obtendrían 6 toneladas de harina seca por hectárea. Este producto es rico en caroteno, vitamina A, y tiene un contenido de proteínas de 3 a 4%, similar que la harina de maíz. Como no hay costumbre de utilizarla para consumo humano, se podrá utilizar en alimentos balanceados para animales, por ejemplo en zocriaderos. Por su alto contenido de carbohidratos, esta harina también podría convertirse en alcohol.

De las semillas se obtiene en promedio 2 toneladas por hectárea. Ellas contienen un 30% de aceite de palmiste, de modo que se puede producir 0.6 toneladas de aceite de palmiste por hectárea.

A partir de la cáscara del fruto y el mesocarpio de la semilla se puede obtener hasta 3 toneladas por hectárea de fibra, útil para la elaboración de briquetas u otros productos.

Solo cuando la planta es joven, es decir cuando aún no hay cosecha de fruto, se puede obtener la chonta o palmito a partir del tallo de la palmera. Esta es la principal finalidad de las plantaciones que se han establecido en Colombia y Ecuador.

**ANEXO III  
RESULTADOS PRELIMINARES DE PRUEBAS DE ELABORACIÓN DE BIODIESEL UTILIZANDO ACEITE DE SOYA Y ETANOL**

Prueba No.	Cantidad aceite (ml)	Cantidad aceite (g)	Cantidad metanol (ml)	Cantidad etanol (ml)	Cantidad KOH (g)	Temperatura Rx (°C)	Tiempo Rx (h)	Muestra	Peso total (g)	Peso BD (g)	Peso glicerina (g)	Observaciones reacción	Correcciones reacción (si necesario)	Observaciones a las correcciones	Peso BD lavado (g)	Peso BD secado y filtrado (g)	Rendimiento biodiesel / total mezcla	Rendimiento biodiesel / aceite
1	300	264	45	45	2.85	60	1.5	A	161	130	34	separó ok	-	-	116	113	70.2%	84.1%
							3	B	174	132	49	separó ok	-	-	115	109	62.6%	
2	300	264	45	45	3.75	60	1.5	A	167	130	37	separó ok	-	-	112	108	64.7%	83.7%
							3	B	167	124	41	separó ok	-	-	115	113	67.7%	
3	300	264	40	50	2.85	60	1.5	A	167	140	25	separó ok	-	-	106	104	62.3%	80.3%
							3	B	166	124	40	separó ok	-	-	110	108	65.1%	
4	300	264	40	50	3.75	60	1.5	A	169	129	39	separó ok	-	-	113	111	65.7%	82.2%
							3	B	167	124	42	separó ok	-	-	111	106	63.5%	
5	300	264	30	60	2.85	60	1.5	A	168	133	33	separó ok	-	-	113	105	62.5%	77.7%
							3	B	167	125	40	separó ok	-	-	108	100	59.9%	
6	300	264	30	60	3.45	60	1.5	A	164	129	34	separó ok	-	-	112	107	65.2%	80.7%
							3	B	166	124	41	separó ok	-	-	118	106	63.9%	
7	300	264	30	60	3.75	60	1.5	A	166	125	40	separó ok	-	-	105	96	57.8%	75.0%
							3	B	166	116	50	separó ok	-	-	103	102	61.4%	
8	300	264	25	65	2.85	60	1.5	A	167	134	31	separó ok (demoro un poco en separar)			57	55	32.9%	38.3%
							3	B	167	130	35	separó ok (demoro un poco en separar)			47	46	27.5%	
9	300	264	25	65	3.45	60	1.5	A	163	108	53	separó ok	-	-	100	90	55.2%	67.0%
							3	B	171	128	40	separó ok	-	-	90	87	50.9%	
10	300	264	25	65	3.75	60	1.5	A	166	124	40	separó ok	-	-	85	80	48.2%	62.9%
							3	B	164	114	48	separó ok	-	-	87	86	52.4%	
11	300	264	20	70	2.85	60	1.5	A	168			no reaccionó						
							3	B	163			no reaccionó						
12	300	264	20	70	3.45	60	1.5	A	168			no reaccionó						
							3	B	164			no reaccionó						
13	300	264	20	70	3.75	60	1.5	A	175			no reaccionó	se reprocesó con 20 ml. más de etanol	no hubo separación después de la corrección				
							3	B	175			no reaccionó						
14	300	264	20	70	3.75	60	1.5	A	168			separó ok (demoro un poco en separar)	se repitió la prueba con alcohol al 100% Merck (mejor calidad)					
							3	B	168			separó ok (demoro un poco en separar)						

### Anexo III

#### Estimación de costos de producción de biodiesel en condiciones de selva

**Lugar** Selva  
**Alcohol** Etanol \*el galón costaría S/. 39.99 sin considerar el costo del aceite  
**Catalizador** NaOH  
**Procedencia del Etanol** Lima

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Soles)	Costo total (Soles)	Subtotales por lote (50 lts)	Subtotales por galón
<b>Insumos</b>						
Aceite	litros	50	1.30	65.00		
Soda cáustica	kilogramos	0.175	1.55	0.27		
Etanol	litros	14.4	31.68	456.19	521.46	39.53
<b>Proceso</b>						
Calor (briquetas, leña)			0.00	0.00		
Agua	m3	0.21	1.50	0.32		
Mano de obra	horas hombre	6	2.80	16.80		
Depreciación del equipo				5.00	22.12	1.70
<b>Transporte del Etanol</b>				0.00	48.96	3.71
<b>COSTO DEL PROCESO (Nuevos Soles)</b>					<b>592.54</b>	<b>44.91</b>

**Lugar** Selva  
**Alcohol** Etanol  
**Catalizador** NaOH \*el galón costaría S/. 1.7 sin considerar el costo del aceite y del etanol (no disponemos de este dato)  
**Procedencia del Etanol** Producción Insitu

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Soles)	Costo total (Soles)	Subtotales por lote (50 lts)	Subtotales por galón
<b>Insumos</b>						
Aceite	litros	50	1.30	65.00		
Soda cáustica	kilogramos	0.175	1.55	0.27		
Etanol	litros	14.4	?	?	65.27	4.95
<b>Proceso</b>						
Calor (briquetas, leña)			0.00	0.00		
Agua	m3	0.21	1.50	0.32		
Mano de obra	horas hombre	6	2.80	16.80		
Depreciación del equipo				5.00	22.12	1.68
<b>Transporte</b>				0.00	0.00	0.00
<b>COSTO DEL PROCESO (Nuevos Soles)</b>					<b>87.39</b>	<b>6.62</b>

**Lugar** Selva  
**Alcohol** Etanol \*el galón costaría S/. 40.18 sin considerar el costo aceite  
**Catalizador** KOH  
**Procedencia del Etanol** Lima

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Soles)	Costo total (Soles)	Subtotales por lote (50 lts)	Subtotales por galón
<b>Insumos</b>						
Aceite	litros	50	1.30	65.00		
Potasa	kilogramos	0.4	6.98	2.79		
Etanol	litros	14.4	31.68	456.19	523.98	39.72
<b>Proceso</b>						
Calor (briquetas, leña)			0.00	0.00		
Agua	m3	0.21	1.50	0.32		
Mano de obra	horas hombre	6	2.80	16.80		
Depreciación del equipo				5.00	22.12	1.68
<b>Transporte de Etanol</b>				0.00	48.96	3.71
<b>COSTO DEL PROCESO (Nuevos Soles)</b>					<b>595.06</b>	<b>45.11</b>



**Lugar** Selva  
**Alcohol** Etanol \*el galón costaría S/. 1.89 sin considerar el costo del aceite y del etanol (no disponemos de este dato)  
**Catalizador** KOH  
**Procedencia del Etanol** Producción Insitu

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Soles)	Costo total (Soles)	Subtotales por lote (50 lts)	Subtotales por galón
<b>Insumos</b>						
Aceite	litros	50	1.30	65.00		
Potasa	kilogramos	0.4	6.98	2.79		
Etanol	litros	14.4	?	?	67.79	5.14
<b>Proceso</b>						
Calor (briquetas, leña)			0.00	0.00		
Agua	m3	0.21	1.50	0.32		
Mano de obra	horas hombre	6	2.80	16.80		
Depreciación del equipo				5.00	22.12	1.68
<b>Transporte</b>				0.00	0.00	0.00
<b>COSTO DEL PROCESO (Nuevos Soles)</b>					89.91	6.81

**Lugar** Selva  
**Alcohol** Metanol \*el galón costaría S/. 5.2 sin considerar el costo del aceite  
**Catalizador** NaOH

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Soles)	Costo total (Soles)	Subtotales por lote (50 lts)	Subtotales por galón
<b>Insumos</b>						
Aceite	litros	50	1.30	65.00		
Soda cáustica	kilogramos	0.175	1.55	0.27		
Metanol	litros	9	1.74	15.66	80.93	6.13
<b>Proceso</b>						
Calor (briquetas, leña)			0.00	0.00		
Agua	m3	0.21	1.50	0.32		
Mano de obra	horas hombre	6	2.80	16.80		
Depreciación del equipo				5.00	22.12	1.68
<b>Transporte de metanol</b>				3.40	30.60	2.32
<b>COSTO DEL PROCESO (Nuevos Soles)</b>					133.65	10.13

**Lugar** Selva  
**Alcohol** Metanol \*el galón costaría S/.5.47 sin considerar el costo del aceite  
**Catalizador** KOH

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Soles)	Costo total (Soles)	Subtotales por lote (50 lts)	Subtotales por galón
<b>Insumos</b>						
Aceite	litros	50	1.30	65.00		
Potasa	kilogramos	0.4	6.98	2.79		
Metanol	litros	9	1.74	15.66	83.45	
<b>Proceso</b>						
Calor (briquetas, leña)			0.00	0.00		
Agua	m3	0.21	1.50	0.32		
Mano de obra	horas hombre	6	2.80	16.80		
Depreciación del equipo				5.00	22.12	1.70
<b>Transporte de metanol</b>				3.40	30.60	2.32
<b>COSTO DEL PROCESO (Nuevos Soles)</b>					136.17	10.46

**ANEXO V**  
**RESULTADOS PRELIMINARES DE PRUEBAS DE ELABORACIÓN DE BIODIESEL Y JABÓN CON ACEITE DE PALMA**

**Pretratamiento de neutralización del aceite**

Muestra No.	Tipo de aceite	Peso del aceite (g)	Volumen del aceite (ml)	Acidez	Cantidad de agua	Neutralización del Aceite		Peso de Aceite Obtenido (g)	Peso de Aceite Saponificado obtenido (g)	Acidez del aceite pretratado
						Cantidad de agua a adicionar (ml)	Cantidad de Catalizador a adicionar (g)			
N1	aceite de palma	300	340	6 g/l NaOH	20 ml H <sub>2</sub> O/l aceite	6.8	2	273	20	2.65
N2	aceite de palma	300	340	6 g/l NaOH	40 ml H <sub>2</sub> O/l aceite	13.6	2	244	54	1.2
N3	aceite de palma	300	340	6 g/l NaOH	80 ml H <sub>2</sub> O/l aceite	27.2	2	236	78	1.15
N4	aceite de palma	300	340	6 g/l NaOH	100 ml H <sub>2</sub> O/l aceite	34	2	244	79	1.3
N5	aceite de palma	300	340	6 g/l NaOH	150 ml H <sub>2</sub> O/l aceite	51	2	210	123	1.1
N6	aceite de palma	300	340	6 g/l NaOH	200 ml H <sub>2</sub> O/l aceite	68	2	113	227	1.5

### Anexo VI

Determinación de áreas mínimas de plantación de palma aceitera para el poblado de Jenaro Herrera.

#### Datos de vivienda de Jenaro Herrera (censo del 93):

Total de viviendas	427
Con sólo Radio	76
Con sólo Radio, TV B/N o color	139
Con Máquina de coser	124
Con Refrigeradora	25
Con 4 y más artefactos electrodomésticos	9

#### Consumo eléctrico aproximado de Jenaro Herrera

Concepto	Nº Viviendas	Unidad/casa	Watts	horas uso	W-hora/día casa	W-h/día Total
Alumbrado del hogar ( 2 focos de 40 W)	427	2	40	5	400	170800
Radio	215	1	8	10	80	17200
Televisión	139	1	80	4	320	44480
Refrigeración	25	1	800	6	4800	120000
Máquina de coser	124	1	600	4	2400	297600
Otros (plancha, licuadora, etc)	9	1	2000	2	4000	36000
<b>Total Consumo al día (W-h/día)</b>						686080
<b>Consumo Total anual (W)</b>						250419200
<b>Consumo total anual aproximado (kW) en Jenaro Herrera</b>						<b>250419.2</b>

#### Cantidad de combustible necesaria para dar esa potencia

Datos de investigaciones	Cantidad necesaria para producir 1kW (L)			Cantidad de combustible necesaria (L)		
	D2	mezcla B30	B 100	D2	B30	B100
Aceite Usado (datos Acosta)	0.85	0.83	0.92	212856.32	207847.94	230385.66
Aceite de Palma (datos Canturín)	0.253	0.253	0.269	63356.06	63356.06	67362.76

Variación porcentual del consumo (Biodiesel/Diesel)	%	Aumento en el consumo (%)
Aceite usado	108.235	8.235
Aceite de palma	106.324	6.324

↓

Litros de Diesel y Biodiesel necesarios en mezclas B30		
	biodiesel	diesel
Acosta	62354.38	145493.5552
Canturín	19006.82	44349.24032

**Rendimiento aproximado de biodiesel de palma**

Rendimiento de palma aceitera (Kg/ha)	Litros de aceite ha/año	Producción biodiesel l ha/año (85% eficiencia)	utilizando datos de:	Hectáreas necesarias
4000	3200	2720	Acosta	84.70
			Canturín	24.77

cant. Ke se puede hacer en palma del espino L BD

20400000

**Cantidades necesarias de insumos para producir biodiesel (eficiencia de 85%)**

	B30		
datos Acosta	Volumen (L)	KOH (kg)	NaOH (Kg)
Aceite	73358.095		
% aceite despues de tratamiento 85% efic.	62354.381		
metanol	12470.876	498.835	218.240
etanol	18706.314	598.602	

	B30		
datos Canturín	Volumen (L)	KOH (kg)	NaOH (Kg)
Aceite	22360.962		
% aceite despues de tratamiento 85% efic.	19006.817		
metanol	3801.363	152.0545382	66.5238605
etanol	5702.045	182.4654459	106.438177

\*no se está considerando la cantidad de catalizador para saponificar o refinar

	B100		
	Volumen (L)	KOH (kg)	NaOH (Kg)
	271041.958		
	230385.664		
	46077.133	1843.085	806.350
	69115.699	2073.471	1290.160

	B100		
	Volumen (L)	KOH (kg)	NaOH (Kg)
	79250.312		
	67362.765		
	13472.553	538.902	215.561
	20208.829	606.265	377.231

**Anexo VII**  
**MEMORIA FOTOGRÁFICA**



**Foto 1: Semillas de *Bactris gasipaes* (Pijuayo)**



**Foto 2: Pasta seca de *Mauritia flexuosa* (aguaje)**



Foto 3: Semillas de *Astrocaryum* sp  
(Huicungo)



Foto 4: Semillas de *Euterpe predatoria*  
(Huasai)



**Foto5: Semillas de *Oenocarpus mapora*  
(Sinamillo)**



**Foto 6: Fruto pelado y sin pelar de *Grisea sp*  
(Sachamango)**



**Foto 7: *Elaeis guineensis*  
(Palma aceitera)**



**Foto 8: *Elais oleifera*  
(Poloponta)**





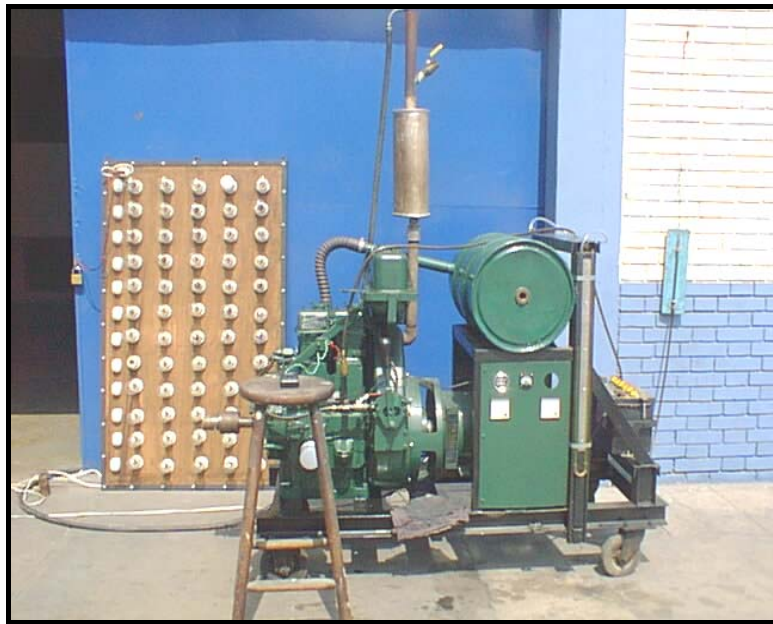
**Foto 9: Semilla, cáscara y pulpa de *Elais oleífera* (Poloponta)**



**Foto 10: *Jatropha curcas* (Piñón)**



**Foto 11: Elaboración de biodiesel de etanol**



**Foto 12: Equipo para pruebas en motores**