

Consejo Nacional de Rectores
Informe Final de Proyecto

“Evaluación de la pirólisis de
algunos residuos
agroindustriales
problemáticos y plásticos”

Ejecutado Enero 2008-Diciembre 2010

Floria Roa Gutiérrez, Ph.D. Coordinadora Responsable
Jaime Quesada Kimsey, Ph.D. co-investigador
06/07/2011

Contenido

Datos generales del proyecto	3
Resumen_	4
..... Abstract	5
Información técnico-científica del proyecto.....	7
Descripción del proyecto_	7
Marco de referencia inicial para lectores	8
Metodología.....	11
Alcances en los objetivos y metas durante 2010	19
Productos obtenidos.....	22
Aportes a las capacidades académicas y estudiantiles	22
Resumen del impacto obtenido	22
Resumen sobre la forma en que el proyecto ha coadyuvado en el fortalecimiento del sistema interuniversitario	23
Retos por alcanzar	25
Monto otorgado por el Fondo del Sistema	25
Apéndice 1. Resultados y Discusión	26
Apéndice 2. Informe parcial del Grupo de la UNA.....	31
Apéndice 3. Participación de los estudiantes	37
Apéndice 4. Incumplimiento del contrato por parte del constructor del pirolizador	39
 BIBLIOGRAFÍA	 43

CONTENIDO BÁSICO

1. Datos generales del proyecto:

1.1. Nombre del proyecto de investigación

Evaluación de la pirólisis en algunos desechos agroindustriales problemáticos y en plásticos

1.2. Vigencia ENERO 2008 A DICIEMBRE 2010

1.3. Participantes

Cuadro 1: Participantes investigadores, estudiantes y otros			
	Nombre completo Grado académico	Jornada (horas por semana)	Universidad
Responsable	Floria Roa Gutiérrez, Ph.D.	8 horas VIE+2horas rec Ene 2008-Dic 2010	ITCR
Otros académicos (as), funcionarios (as)	Jaime Quesada Kimsey, Ph.D.	8 horas VIE+2 horas rec	ITCR
	Ing. Carolina Alfaro	6 horas (2008-2009) 0 horas 2010	UNA
	Lic. Fabio Araya	0 horas (2008-2010)	UNA
	Dr. Guillermo Jiménez	0 horas (2008-2009)	UNA
Contrataciones estudiantes asistentes	Ana Lía Camacho Fidalgo	20 horas (2008) 10 horas (2009) 10 horas (2010)	Ing. Ambiental ITCR
	Carlos Mario Araya Vega	10 horas/sem (octubre- dic-2009)	Mantenimiento Industrial-ITCR
	Jeremy Mata Arce	10 horas/sem (octubre- dic-2009)	Mantenimiento Industrial-ITCR
	Johansen Quesada	10 horas/sem (octubre- 2009 a junio 2010)	Mantenimiento Industrial-ITCR
	Carlos Vaquerano Flores	10 horas por semana (julio-nov 2010)	Mantenimiento Industrial-ITCR
Contrataciones	Mario Landoni	Construcción del (pirolizador Inconclusa)	

Profesionales	Max Quesada	Construcción Acoplamiento de sistema condensador (empresa privada)	
	CELEQ	Análisis de bioaceites Contenido de agua por Karl-Fisher, y acidez total	UCR

1.4. Otras unidades participantes en el proyecto como apoyo al mismo y su respectiva institución

- Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales-ITCR Servicios metalúrgicos-Baño de sal fundida
- Laboratorio de Servicios Químicos y Microbiológicos CEQIATEC-ITCR
- Laboratorio CELEQ-UCR análisis de acidez total en muestras producidas por pirólisis de biomasa y policarbonato

RESUMEN

Se evaluó la pirólisis de algunos desechos agroindustriales y plásticos a una escala demostrativa y de investigación, como una opción factible y ventajosa para el mejor manejo de los desechos y la obtención de biocombustibles, abonos y sustancias químicas verdes. Se diseñaron 3 pirolizadores para biomasa y uno para plásticos, de los cuales se lograron construir 2 para biomasa en el ITCR. Uno de ellos utilizó como fuente de calor un baño de sal fundida (570°C), teniendo un reservorio capacidad fija de 8 g por evento cuyo proceso de pirólisis tomó cerca de 50 segundos por evento. Con este pirolizador se logró obtener pirolizados de policarbonato, de bagazo de caña y de RAC de piña. El otro pirolizador tiene capacidad para cerca de 1 g / min, es del tipo de caída libre y permite modificar la temperatura de pirólisis, el tipo de gas de arrastre, y tiene una etapa de filtración caliente en la que se puede introducir catalizadores. Este pirolizador fue terminando en el presente año (2011), por lo que este informe únicamente presenta resultados de pirólisis en el pirolizador experimental de capacidad fija. Ambos fueron construidos en su totalidad en el ITCR. De la pirólisis de policarbonato se obtuvo 75% de líquido y 11% de sólido, y el aceite obtenido tuvo baja viscosidad y se mantuvo estable por algunas semanas, pero finalmente se separó en varias fases. Del bagazo se obtuvo 45% de líquido, 17% de sólido, y el aceite se separó inmediatamente en 2 fases, una muy oscura y viscosa, la otra incolora y poco viscosa, con alto contenido de agua. Del RAC de piña se obtuvo 38% de líquido, 30% de sólido, y el aceite fue similar al del bagazo. Se realizaron algunas pruebas químicas en las muestras además para caracterizarlas parcialmente. No se obtuvieron resultados de pirólisis para los plásticos identificados por el equipo de la UNA como los más relevantes. Este proyecto fue financiado con fondos del sistema (FEES), y tuvo participación de investigador@s del ITCR (coordinación) y de la UNA. Su duración fue de 3 años.

Palabras claves: pirólisis, biomasa, bioaceite, biocombustible, manejo de residuos, energía renovable.

ABSTRACT

Pyrolysis of agroindustrial organic waste and plastic waste were evaluated at laboratory scale for research purpose, as a potentially advantageous alternative treatment for waste that could lead to the production of biofuels, fertilizers and other green utilities. Three pyrolyzers suitable for biomass or plastic samples and one specific plastic pyrolyzer were designed, and 2 were constructed for biomass at ITCR. A lab scale pyrolyzer used a molten salt bath (570°C); it consisted of a vessel with capacity for 8g biomass; its pyrolysis time was 50 seconds each run. This pyrolyzer was used with samples of polycarbonate, sugar cane waste, and pineapple field crop waste. The second pyrolyzer has a continuous feeding system of about 1g/min. It is a free fall design which allows changing temperature, as well as the carrier gas. In addition, it has a hot filtration vessel, which allows the introduction of catalytic agents. Both were built at ITCR. Pyrolysis of polycarbonate produced a 75% liquid fraction and 11% of solid (char), the oil had low viscosity and showed good stability for several weeks, but finally separated in two liquid phases. Sugar cane bagasse pyrolysis lead to a 45% liquid fraction and a 17% solid fraction. The biooil consisted in two liquid phases, the lower layer was a dark and viscous oil while the upper layer was clear and less viscous, with a high water content. The pineapple biomass pyrolysis produced a 38% of liquid and 30% of char; the biooil was similar to that from sugar cane. Several tests were run for the oils produced and the biomass samples in order to find main properties. No pyrolysis results were obtained for the most relevant plastics identified by UNA research team. This project was executed in a 3 year period through FEES funding (State Fund for Higher Education) and involved researchers from ITCR (Coordination) and UNA.

Keywords: biomass, pyrolysis, biooil, waste management, renewable energy

2. Información técnico –científica del Proyecto

2.1 Descripción del Proyecto

Este proyecto tuvo como objetivo general evaluar la pirólisis de algunos desechos agroindustriales y mezclas de los mismos con plásticos a una escala demostrativa y de investigación, como una opción factible y ventajosa para el mejor manejo de los desechos y la obtención de biocombustibles, abonos y sustancias químicas verdes. Así, se pretendía lograr opciones de mejor manejo de desechos agroindustriales problemáticos y de algunos de los plásticos más abundantes en rellenos sanitarios, mediante su aprovechamiento energético.

Entre las varias modalidades de pirólisis, este proyecto se concentró en las modalidades “rápida” y “flash”, que pueden producir sustancias “verdes” para diversos usos, además de combustibles líquidos, con rendimientos del orden de 50% de la masa seca (1). La pirólisis esencialmente consiste en transformar un sustrato o materia prima en productos por medio de un calentamiento que provoca las transformaciones químicas necesarias. La figura 1 muestra un esquema explicativo de la pirólisis.

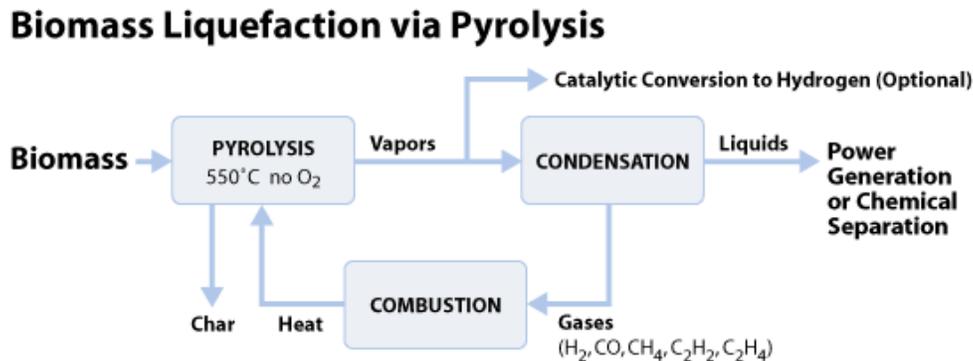


Figura 1. Esquema general de la pirólisis de sustratos biomásicos y sus productos (NREL, <http://www1.eere.energy.gov/biomass/pyrolysis.html>, abril 2007).

Dada la importancia de la producción agrícola en Costa Rica y la tendencia al alza en los combustibles fósiles, el aprovechamiento energético de residuos biomásicos debe evaluarse, ya que su potencial está en el orden de varios décimos del consumo nacional de derivados del petróleo (2). Sin embargo, la biomasa seca se caracteriza por un contenido calórico por unidad de masa de entre 30% y 50% el de un combustible líquido fósil típico, es poco densa, y cuando no ha sido secada su contenido de agua suele estar entre 40% y más de 90% de su masa (1, 2, 3, 4). Por estas razones, transportar la biomasa cruda le resta factibilidad económica a su aprovechamiento energético. Consecuentemente, aprovechar el potencial energético de la biomasa requiere de tecnologías que permitan concentrarlo en el sitio. Las pirólisis rápidas son las más eficientes para obtener pirolizados líquidos (1), que tienen un contenido calórico más comparable al de los combustibles fósiles líquidos.

Evaluar el potencial de un material biomásico para producir un combustible líquido mediante pirólisis, implica secarlo y molerlo antes de pirolizarlo. Dado que el secado y la molienda son operaciones relativamente simples de realizar con equipo disponible en el ITCR, la pieza central de este proyecto era desde un inicio el aparato que serviría para

pirolizar los sustratos a evaluar, el pirolizador. Lamentablemente, por razones que no se lograron resolver, la fabricación contratada y pagada parcialmente de esta máquina no se terminó a tiempo para ser utilizada en el proyecto, cosa que redundó en grandes limitaciones para la ejecución de las actividades previstas, para el logro de los objetivos específicos, y por ende para el logro de los resultados esperados.

MARCO DE REFERENCIA INICIAL PARA LECTOR@S:

Para efectos de facilitar una lectura fluida y comprensible del documento, se da a continuación un recuento general muy resumido de la ejecución del proyecto, el cual permite al(a) lector(a) comprender las informaciones que se suministran después para cumplir con el formato estipulado por CONARE. Para iniciar, se transcriben los objetivos.

El objetivo general de este proyecto fue evaluar la pirólisis de algunos desechos agroindustriales y mezclas de los mismos con plásticos a una escala demostrativa y de investigación, como una opción factible y ventajosa para el mejor manejo de los desechos y la obtención de biocombustibles, abonos y sustancias químicas verdes.

Los objetivos específicos gravitaban en torno a la fabricación del pirolizador, o dependían de ella:

- 1) Diseñar y construir un equipo para pirólisis de sólidos biomásicos y un equipo para la pirólisis de plásticos.
- 2) Establecer un análisis de ciclo de vida de los productos plásticos domésticos e industriales y realizar un inventario de los desechos agroindustriales que puedan ser utilizados en pirólisis como valor agregado.
- 3) Optimizar las condiciones de pirólisis usando combinaciones predeterminadas de variables de acuerdo a un plan experimental, al menos cuatro tipos de desecho agroindustrial, al menos tres materiales plásticos, y las mezclas biomasa-plástico, y caracterizar productos y residuos.
- 4) Difundir los resultados entre potenciales interesados de agroindustrias, agencias promotoras de PYMES, entes gubernamentales y otros.

Este proyecto se planteó para los años 2008 y 2009, pero se amplió al 2010. **La línea central de este proyecto** puede resumirse en **a)** lograr la pirólisis de una serie de sustratos y luego **b)** caracterizar los productos líquidos obtenidos, en vistas a un eventual aprovechamiento como combustibles líquidos o bien como fuentes de sustancias químicas de mayor valor agregado.

Por su impacto, el logro del primer objetivo específico era el más relevante (diseño y construcción del pirolizador), ya que a partir de la disponibilidad de un pirolizador se podría realizar el proyecto y además establecer una línea de trabajo permanente para la evaluación de la pirólisis de una gran diversidad de materiales, tanto residuales como de otros tipos. Evidentemente el cumplimiento de los demás objetivos específicos del

proyecto dependía del cumplimiento de este primer objetivo. Se contrató (por parte del ITCR) la empresa IMPROMATIC (La Uruca) para el diseño y construcción de un pirolizador de lecho transportado (1) para materiales biomásicos. Este pirolizador podría haber funcionado también para materiales plásticos, pero era conveniente un diseño más adaptado a ellos. El primer objetivo se vio muy retrasado en su logro, por el no cumplimiento de la empresa contratada para tal fin, la cual prórroga tras prórroga y ayuda tras ayuda, finalmente admitió a mediados del 2010 que no terminaría el pirolizador. Se procuró cumplir ese primer objetivo por otros medios, como se explica abajo.

Hacia mediados del 2009 quedó claro que el pirolizador contratado no estaría disponible a tiempo para poder obtener los productos esperados, ante lo cual se decidió emprender en el ITCR la construcción de un pirolizador alternativo, de menor complejidad pero también de menor capacidad. Se optó por un pirolizador de caída libre (<http://www.cset.iastate.edu/research-projects/fast-pyrolysis-of-biomass-using-a-radiative-free-fall-reactor-for-bio-oil-production.html>, junio 2011). La construcción de este aparato ha representado, sin embargo, gran dificultad, dada la carencia de un taller destinado a este tipo de tareas en el ITCR y dada la poca experiencia de I@s investigador@s involucrad@s en construcción de partes de máquinas. Como resultado, si bien la construcción de esta máquina ya concluyó a inicios de este año 2011, el período de pruebas y ajustes aún no ha finalizado.

En mayo del 2010 era claro que la construcción del pirolizador de caída libre no concluiría a tiempo para poder obtener pirolizados de los sustratos de interés, y se buscó otra alternativa que permitiera obtener algunos productos de pirólisis para este y otro proyecto que dependían de la disponibilidad de un pirolizador. Por ello, se construyó una versión alternativa, basada en un baño de sal fundida que se opera entre 500°C y 600°C, de la Escuela de Ingeniería en Materiales del ITCR. Ese diseño consistió esencialmente en una cámara-reactor en la cual se depositaría el sustrato, y que luego se sumergiría en la sal fundida. Había un conducto conectado a esa cámara, que llevaría los gases a través de un refrigerante hacia un receptáculo. Este diseño muy simple, construido en el ITCR, fue el que permitió obtener algunos resultados, los cuales se presentan en este informe.

Con la construcción de este modelo se pudo considerar cumplido el objetivo específico 1. Hay que aclarar, sin embargo, que el pirolizador para submersión en baño de sal fundida tenía la capacidad de procesar en el orden de 8 g de sustrato por día, dadas las muchas y largas operaciones necesarias para hacerlo funcionar. Pero el baño de sal fundida no estaba disponible más que dos o tres veces al mes, cosa que redundaba en una capacidad global de cerca de 1 g de sustrato por día para este sistema. El repetitivo bloqueo del conducto para gases constituyó la mayor dificultad para este modelo. Se logró pirolizar algunas muestras de RAC de piña, de bagazo, y de policarbonato, antes de que se bloqueara definitivamente el conducto de los gases, bloqueo que dio pie a una situación riesgosa, en la que el sistema explotó en un sitio débil dentro del baño de sal,

afortunadamente sin causar ningún problema. Sin embargo, se optó por abandonar esta opción a partir de ese incidente.

Por lo que respecta a la contribución de la UNA, a raíz de que el investigador que originalmente colaboraba se fue a hacer sus estudios de doctorado, quedaron otros sustituyéndolo. La contribución de la UNA fue parcial, con respecto a sus compromisos, consistiendo en resultados atinentes a los objetivos 1 y 2, lamentablemente sin llegar a completar ninguno de ellos. En el apéndice 2 se consigna un informe parcial aportado por este grupo, con valiosa información sobre los plásticos de interés y con un esquema del pirolizador que pretendían construir, pero que no se construyó.

2.2 Metodología (interesa conocer la estrategia metodológica utilizada).

En este apartado se da un recuento de qué se hizo para cumplir los objetivos, sin entrar en detalles de los resultados obtenidos, tema que se aborda en el apéndice A.

Para cumplir el **objetivo 1**, se debía diseñar y construir un pirolizador para biomasa (ITCR) y uno para plásticos (UNA). El diseño del pirolizador conllevó varias etapas, desde un análisis de antecedentes de la tecnología, con los criterios técnicos y variables que se requieren controlar, hasta la discusión en el equipo de investigadores sobre la escala a construir, y la versatilidad para las diferentes biomásas y plásticos a evaluar. Un criterio básico de partida fue que el diseño de los aparatos debía ser tal que la pirólisis fuese rápida o flash.

Una vez avanzada esa etapa, fue necesaria la identificación de posibles constructores del pirolizador; dicha empresa debía tener disponibilidad de maquinaria de mecánica de precisión, personal capacitado y sobre todo disponibilidad de tiempo, no solo para la construcción del pirolizador sino también para las posibles modificaciones, una vez el trabajo experimental iniciara. Bajo estos criterios solamente una empresa fue identificada para la contratación correspondiente, la cual fue identificada ya desde mayo 2008.

Contratación para la construcción del pirolizador. La contratación de la empresa IMPROMATIC se hizo posible a fines del 2008, ya que antes debió realizar una serie de trámites para ser elegible, y estos tardaron cerca de 2 meses. El diseño fue discutido en gran detalle con el constructor durante el primer semestre del 2008, sobre todo en cuanto al funcionamiento y a variables a controlar. Una vez hecha la contratación, se realizó un pago inicial para que el constructor tuviese liquidez para la compra de los materiales.

En el ITCR se realizaron trabajos en función del eventual uso del pirolizador de lecho transportado, como la preparación de una arena de origen volcánico, como vehículo de calor. Esta preparación consistió en el lavado de la arena en una batidora de cemento hasta eliminar el material de partícula fina que iba quedando a medida que se procesaba, su secado y su posterior tamizaje para seleccionar los tamaños de partícula entre 500 y 1200 micrómetros de diámetro. Además se realizaron trabajos de acondicionamiento de espacios para el aparato, entre otros preparativos.

Durante el 2009 el trabajo de construcción del pirolizador se mantuvo bajo continua supervisión, puesto que era de interés que los detalles quedasen como se habían acordado. Lamentablemente el trabajo de construcción comenzó a ralentizarse durante el primer semestre del 2009, y se empezaron a realizar visitas más y más frecuentes a la empresa con el fin de hacer que se mantuviera el ritmo. En estas visitas se invirtió mucho tiempo, se simplificó el diseño del aparato, se hicieron las gestiones necesarias para posibilitar una entrega tardía del aparato, pero finalmente el constructor, quien alegaba razones de salud entre otras muchas, incumplió con el contrato y no completó el equipo. El constructor finalmente admitió que no concluiría la construcción hacia mediados del 2010.

Las partes que el constructor tiene disponibles corresponden al reactor con el tornillo interno para movilizar la arena que será el vehículo de calor, y el alimentador de sustrato. Sin embargo, no presenta los acoples con el dosificador de biomasa ni con el motor para el movimiento continuo de la arena. Tampoco presenta la entrada del gas de arrastre ni los quemadores para el calentamiento. No existe tampoco el sistema de separación de las fracciones pirolizadas sólidas, líquida condensable y no condensable. Por ello, este aparato requiere aún mucho trabajo e inversión para estar terminado.

El pirolizador de caída libre. Ya a mediados del 2009 era claro que el pirolizador contratado no estaría disponible a tiempo para poder obtener los productos esperados, ante lo cual se decidió emprender en el ITCR la construcción de un pirolizador alternativo, de menor complejidad pero también de menor capacidad. Se optó por un pirolizador de caída libre (<http://www.cset.iastate.edu/research-projects/fast-pyrolysis-of-biomass-using-a-radiative-free-fall-reactor-for-bio-oil-production.html>, junio 2011) cuyos detalles de diseño fueron proporcionados por el Dr. Cody Ellens de Iowa State University (esquema en la figura 2).

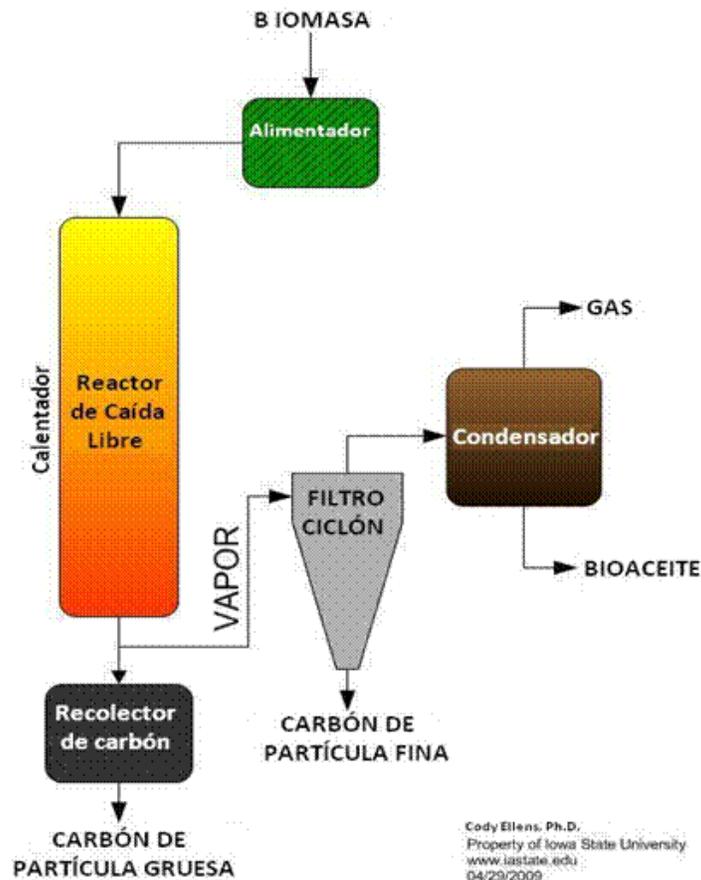


Figura 2. Diagrama esquemático del pirolizador de caída libre.

La construcción de este aparato ha representado, sin embargo, gran dificultad, dada la carencia de un taller destinado a este tipo de tareas en el ITCR y dada la poca experiencia de los investigadores involucrados, en construcción de partes de

máquinas. Como resultado, si bien la construcción de esta máquina ya concluyó en abril de este año 2011, el período de pruebas y ajustes aún no ha finalizado.

Su capacidad es del orden de 0,5 g/min y puede operar independientemente durante algunas horas. Las temperaturas del horno, de la trampa para sólidos gruesos y del filtro para sólidos finos son controlables, y el compartimiento del filtro caliente puede ser utilizado para colocar catalizadores por los que pasen los gases de pirólisis. En la figura 3 se muestra una foto del horno tubular vertical de este reactor, sin el alimentador ni las partes que manejan los gases.

El pirolizador para submersión en baño de sal fundida. En mayo del 2010 era claro que la construcción del pirolizador de caída libre no concluiría a tiempo para poder obtener pirolizados de los sustratos de interés, y se buscó otra alternativa que permitiera obtener algunos productos de pirólisis para este y otro proyecto que dependían de la disponibilidad de un pirolizador. Por ello, se construyó una versión alternativa muy simple y rápida de implementar, basada en un baño de sal fundida que se opera entre 500°C y 600°C, de la Escuela de Ingeniería en Materiales del ITCR.



Figura 3. Fotografía del horno del reactor de caída libre.

El nuevo diseño consistió esencialmente en una cámara-reactor en la cual se depositaría el sustrato, y que luego se sumergiría en la sal fundida. Un conducto conectado a esa cámara llevaría los gases a través de un refrigerante hacia un receptáculo, en el que

quedaría la fracción condensable de los gases de pirólisis. En la figura 4 se muestra un diagrama de este reactor. Este diseño muy simple, concebido y construido en el ITCR, fue el que permitió obtener algunos resultados, los cuales se presentan en este informe.

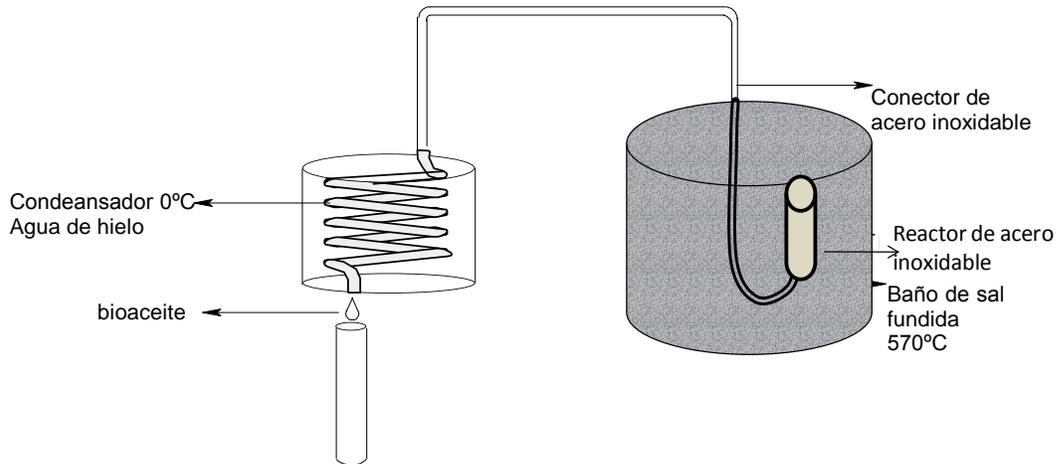


Figura 4. Diagrama esquemático del pirolizador para inmersión en el baño de sal fundida.

Pirolizador para plásticos. L@s colegas de la UNA aparentemente no lograron concretar la construcción del pirolizador para plásticos que se propusieron hacer, según el esquema mostrado en la figura 5. Sobre la participación del grupo de la UNA, en el apéndice 2 se consigna el único informe parcial rendido por este grupo.

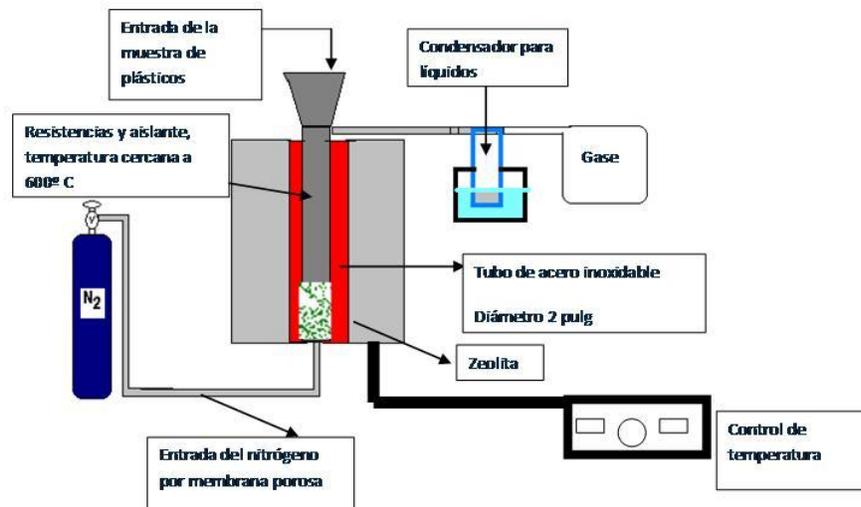


Figura 5. Diagrama del pirolizador para plásticos, por l@s colaborador@s de la UNA.

Para el logro del **objetivo específico 2**, la ubicación y cuantificación de residuos agroindustriales relevantes (a cargo del ITCR) se dio por realizada al conocer el documento de Ramírez y colaboradores (2). En ese documento están contenidas las informaciones requeridas, y resultaba más prioritario procurar el cumplimiento del objetivo 1, que duplicar un esfuerzo ya hecho.

La selección de los tipos de biomasa que podrían someter a la pirólisis como un tratamiento alternativo para su valorización consideró al menos los siguientes tres factores:

- a- Cantidad disponible de acuerdo a la publicación mencionada
- b- Composición y características del material
- c- Problemática actual de tratamiento y existencia de prácticas agrícolas cuestionables

Recolecta y preparación de muestras de biomasa. Las biomásas (broza de café, residuos agrícolas de cosecha (RAC) de caña y de piña) fueron recolectadas y posteriormente secadas en las instalaciones del ITCR, utilizando el calor del sol, ya fuese en un espacio abierto durante días soleados, o en un secador solar durante días lluviosos. Posteriormente a su secado, los materiales fueron molidos y tamizados para garantizar tamaños menores a 1,2 mm. En la figura 6 se muestra el RAC de piña antes de ser secado; se observan las hojas adheridas al tallo de la planta, la cual aún conserva parte de su raíz.



Figura 6. Fotografía del RAC de piña recién recolectado en el campo.

La broza de café se recolectó el día de su producción, en un beneficio de San Rafael Arriba de Desamparados, y fue secada el siguiente día al sol en un espacio abierto muy ventilado. El RAC de piña se recolectó en Buenos Aires, Puntarenas, y se secó en un secador solar durante una semana. Los tallos de se cortaron en secciones de menos de 5 mm y se pusieron a secar al sol con mucha ventilación durante el mismo período, evitando que se fermentaran. El RAC de caña fue recolectado en Juan Viñas, Cartago,

de un cultivo de variedad Hawaiiana H774346 (figura 7). Allí mismo se obtuvieron muestras de bagazo.



Figura 7. Fotografía del proceso de Recolección de RAC de caña.



Figura 7. Fotografía del proceso de Recolección de RAC de caña.

Análisis de ciclo de vida de plásticos. Por lo que respecta al análisis de ciclo de vida de materiales plásticos (objetivo específico 2), I@s colegas de la UNA nos informaron su inicio mediante un trabajo de graduación, sin embargo no ha trascendido la información

de si este concluyó, o si el análisis se realizó de alguna otra manera. Se escogieron los plásticos PET, PP y HDPE, que son los plásticos de los desechos más comunes. En el apéndice 2 se consigna el informe parcial rendido por l@s colaborador@s de la UNA durante el año 2009, que contiene el esquema para el pirolizador de plásticos (que no llegó a construirse) y algunos datos muy valiosos sobre los plásticos escogidos a partir del trabajo de ese grupo. No llegó a completarse el análisis de ciclo de vida. Sobre el aporte del grupo de la UNA a la ejecución de este proyecto se ofrece una nota explicativa en el apéndice 4.

Recolección y preparación de policarbonato a partir de discos compactos. Se recolectaron discos compactos de desecho, se molieron y se tamizaron para seleccionar las partículas de entre 500 y 1200 micrómetros de diámetro. Este material se utilizó para hacer algunas pruebas con el pirolizador para submersión en sal fundida.

Para el logro del **objetivo específico 3**, se realizaron pirólisis de algunos materiales con el pirolizador construido para el baño de sal fundida (figura 4), el cual se mantenía a 570°C. El procedimiento consistió en sumergir gradualmente el reactor en el baño de sal fundida hasta que cesara de fluir el pirolizado, cosa que ocurrió en menos de 30 s en todos los casos. La cámara o reactor se cargó con cantidades de sustrato de entre 3 g y 8 g, de acuerdo a la densidad del material.

Luego de cada reacción fue necesario lavar detenidamente el reactor para retirar las sales (tiocianato y cianuro) retirar de la cámara el residuo sólido, retirar del conducto el aceite remanente, cambiar el material filtrante, y en ocasiones desbloquear el conducto de los gases porque se llenaba de un residuo carbonoso compacto. Esta última operación era sumamente delicada y lenta, dado que el diámetro del conducto era de 1 mm, y este no era recto. Se llegaron a desarrollar técnicas especiales para esta operación, las cuales no detallamos sin embargo, por representar poco interés para el proyecto. Se llegó a realizar un máximo de dos reacciones en un mismo día con este pirolizador.

Agregado a las muchas operaciones involucradas en cada reacción de una tanda de menos de 10 g de sustrato, ocurrió que el baño de sal fundida no estaba disponible más que dos o tres veces al mes. Esto se traducía en una capacidad global de cerca de 1 g de sustrato por día para este sistema. El repetitivo bloqueo del conducto para gases constituyó la mayor dificultad para este modelo. Se lograron pirolizar algunas muestras de RAC de piña, de bagazo, y de policarbonato, antes de que se bloqueara definitivamente el conducto de los gases. El bloqueo del conducto de los gases llevó a una situación riesgosa, en la que el sistema colapsó en un punto débil (explotó) dentro del baño de sal, afortunadamente sin causar salpicaduras de sal fundida ni fuego. Se optó por abandonar esta opción a partir de ese incidente.

Lamentablemente, no fue posible realizar variaciones en las condiciones de reacción para los sustratos, ni pirolizar más que tres de ellos sin mezclar: bagazo, RAC de piña y policarbonato. Las cantidades obtenidas de los aceites fueron muy escasas, dadas las condiciones en que se podían realizar las reacciones.

Caracterización de los aceites de pirólisis. El aceite de pirólisis obtenido a partir de los sustratos fue sometido a aquellas pruebas de caracterización que se determinaron como

prioritarias, debido a que era demasiado escaso el producto para hacer todas las pruebas deseables. Se decidió determinar el contenido calórico, la viscosidad, la acidez y el contenido de agua de las muestras, como opciones prioritarias.

Contenido calórico: Las muestras de los aceites de RAC de piña y de bagazo de caña se disolvieron en un solvente adecuado con el fin de homogenizar, para trasladar una cantidad conocida a la bomba calorimétrica. El aceite de policarbonato se puso puro, debido a que estaba homogéneo aún. La combustión de los aceites de las biomásas, sin embargo, fue demasiado irregular y causaba salpicaduras, cosa que hizo imposible obtener resultados confiables antes de que se agotara la muestra destinada a esta prueba.

La viscosidad fue determinada en el CIVCO (ITCR) en un viscosímetro de bola tipo Hubbelohde, con una columna capilar CANNON modelo 300, número de serie G587. Esta determinación fue posible solamente para el aceite obtenido del policarbonato, cuya cantidad fue suficiente. Se determinó que para los aceites de biomásas, la medición de viscosidad podrá tener sentido una vez hayan sido homogenizados mediante la adición de un solvente adecuado, o por otro medio.

Las pruebas químicas hechas fueron a) cuantificación del contenido de agua (Karl-Fischer, ASTM E203, CELEQ-UCR), b) acidez (número ácido total, ASTM D664, CELEQ-UCR). Los resultados de estos esfuerzos se presentan en el apéndice A, junto con su discusión.

El objetivo específico 4 esencialmente es un plan de difusión. Realizar un plan de difusión en esta fase, prescindiendo de la vasta mayoría de los resultados previstos desde un inicio en el planteamiento de la propuesta, nos pareció que no solamente no era prioritario, sino que tendría un efecto contraproducente. Por esta razón, se decidió postergar el plan de difusión para un momento en que haya suficientes resultados, y algunas propuestas concretas a partir de ellos.

2.3 Alcances en los objetivos y metas durante 2010:

Cuadro 2: Objetivos, metas, actividades y porcentaje de avance del proyecto.

Objetivos específicos	Indicadores de logro	Grado de avance en los indicadores de logro	Observaciones
<p>1.- Diseñar y construir un equipo para pirólisis de sólidos biomásicos y un equipo para pirólisis de plásticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del aparato en conjunto con un experto en construcción de aparatos industriales • Cotización del aparato • Construcción y prueba del funcionamiento exitosa 	<p>Consideramos un logro del 100% global debido a que si bien el pirolizador de lecho transportado no se concluyó, y el pirolizador para el baño de sal fundida tuvo que abandonarse, el pirolizador de caída libre ya está en el período de pruebas y ajustes, después del cual podrán pirolizarse materiales de interés, sean biomásicos o plásticos. Es decir, ya queda abierta la línea de investigación en pirólisis. A la fecha el constructor contratado ha incumplido su contrato y la construcción se encuentra en una fase intermedia donde se tienen el alimentador de biomasa con un motor con ajuste de velocidad para una entrada de biomasa entre 0,75 g/s a 3 g/s. Sin embargo, las partes están separadas y no se han integrado en el sistema diseñado.</p>	<p>El incumplimiento de la empresa contratada para el diseño original llevó a construir dos versiones propias de bajo costo y mayor simplicidad: el de caída libre y el de submersión en baño de sal fundida. De los dos, el pirolizador de caída libre es el de mayor capacidad (ca. 0,5 g/min), pero también es más compleja y tardada su construcción. Este último está en su fase de pruebas finales antes de entrar en operación.</p> <p>Por lo que respecta al incumplimiento de contrato, se recurrió oportunamente a la asesoría del departamento legal del ITCR para proceder como corresponda. Se buscará un mecánico industrial que pueda completar la construcción del pirolizador de lecho transportado.</p>

Objetivos específicos	Indicadores de logro	Grado de avance en los indicadores de logro	Observaciones
<p>2.- Establecer un análisis de ciclo de vida de los productos plásticos domésticos e industriales y realizar un inventario de los desechos agroindustriales que puedan ser utilizados en pirólisis como valor agregado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización y segregación de desechos plásticos domésticos presentes en rellenos sanitarios. • Inventario de producción de productos plásticos para usos domésticos. • Caracterización de propiedades de plásticos post-consumo. • Análisis de ciclo de vida de los plásticos escogidos. • Inventario de desechos agroindustriales más importantes. 	<p style="text-align: center;">100%</p> <p style="text-align: center;">100%</p> <p style="text-align: center;">100%</p> <p style="text-align: center;">0%</p> <p style="text-align: center;">100%</p> <p style="text-align: center;">GLOBAL: 80%</p>	<p>Revisión de estudios relacionados disponibles tanto en ACIPLAST (Asociación Costarricense de la Industria del Plástico). Ver apéndice 3.</p> <p>El inventario de desechos agroindustriales se halló en un documento publicado recientemente (2), con lo cual perdió sentido realizar esta tarea. Se prefirió enfocarse en el logro del objetivo central, construir el pirolizador.</p>

Objetivos específicos	Indicadores de logro	Grado de avance en los indicadores de logro	Observaciones
<p>3.- Optimizar las condiciones de pirólisis usando combinaciones predeterminadas de variables de acuerdo a un plan experimental, al menos cuatro tipos de desecho agroindustrial, al menos tres materiales plásticos, y las mezclas de biomasa-plásticos, y caracterizar productos y residuos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Escoger los materiales a pirolizar. • Obtener muestras de los materiales. • Obtener pirolizados de los materiales. • Optimizar temperatura y velocidad de alimentación. • Realizar mezclas para caracterizar los pirolizados. 	<p style="text-align: center;">30%</p> <p>Los materiales biomásicos se seleccionaron, recolectaron y prepararon para las pruebas. Sin embargo, las pruebas de pirólisis apenas lograron iniciarse, sin opción de variar condiciones ni de realizar mezclas.</p>	<p>Se escogieron los plásticos PET, PP y HDPE, que son los plásticos de los desechos más comunes (ver apéndice 3).</p> <p>Los desechos de residuos agroindustriales se seleccionaron con base en el volumen de producción y la problemática del manejo. Se escogieron los residuos agrícolas de cosecha (RAC) de piña y de caña, broza de café y bagazo de caña.</p>
<p>4.- Difundir los resultados entre potenciales interesados de agroindustrias, agencias promotoras de PYMES, entes gubernamentales y otros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Página-web sobre pirólisis en sitio del CIPA. -Seminario-taller. -Contactos con interesados para impulsar fase de escalamiento e implementación. 	<p style="text-align: center;">25%</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es preferible priorizar la obtención de resultados por el momento, a implementar una página web para difundir resultados. -Lo mismo se puede decir de un seminario-taller. -A partir de resultados más conclusivos, a obtener en un futuro ya no tan lejano, se podrá contactar a interesados para impulsar fase de escalamiento e implementación. 	<p>Este plan de difusión está basado en el supuesto de que habría un logro mucho mayor de las metas del objetivo 3, y carece de sentido común su realización sin él.</p> <p>El que haya quedado iniciada la línea de investigación en pirólisis, sin embargo, dará el contenido para realizar en un futuro cercano esa difusión, con el fin de establecer alianzas estratégicas para implementaciones a escala productiva.</p>

2.4 Productos obtenidos hasta el período del informe, publicaciones (tesis, artículos, etc.), bases de datos, software, capacitaciones, etc.

- Los resultados obtenidos serán publicados en un artículo científico preferiblemente en Tecnología en Marcha.
- Los conceptos básicos sobre pirólisis fueron expuestos en el Encuentro de Investigación (Nov2008).
- La tecnología y diseño del pirolizador fue expuesto en la reunión de informes de proyectos FEES en la UNED (Diciembre, 2009).
- Un grupo de estudiantes ha iniciado el desarrollo de un control electrónico de temperatura para el pirolizador de caída libre, como proyecto del curso de microcontroladores de la carrera de Ingeniería Electrónica.
- Cháves-Villarreal, Claudia. (2010) Conversión de productos poliméricos a combustibles, ITCR-RECOPE, Trabajo final de Graduación, Ing. y Ciencia de los materiales. Supervisión Dra. Floria Roa.

2.5 Aportes a las capacidades académicas y estudiantiles. Indicar si el proyecto se incorpora dentro de actividades docentes y detallar en cuáles, describir el impacto en el equipo ejecutor, en la formación de estudiantes y otros aportes en este ámbito.

- Este proyecto ha permitido la construcción de un pirolizador de caída libre en la que han tomado parte sustancial estudiantes, quienes además se han hecho cargo de mostrar el equipo a grupos de otros estudiantes, que han visitado el laboratorio. A partir de estas experiencias, se transmite no solo el tema de la energía limpia, sino la noción de que la capacitación profesional que adquieren les permite construir máquinas innovadoras y realizar investigación.
- Adicionalmente, la alternativa energética de pirólisis ha sido ampliamente discutida en el curso de Química Orgánica y Bioquímica, incluyendo algunos resultados del proyecto en el tema de combustión de alcanos (combustibles fósiles) y otros combustibles.
- El impacto que ha tenido esta experiencia en el grupo ejecutor ha sido diverso, pero en el ITCR uno de los principales impactos es que finalmente ya queda iniciada la línea de trabajo en pirólisis de residuos, dado que ya existe un pirolizador y está la experiencia adquirida en este proyecto. En lo subsiguiente se podrá evaluar una diversidad de sustratos como fuente de aceite de pirólisis, o de sustancias químicas de mayor valor agregado mediante pirólisis.

2.6 Resumen del impacto obtenido, capacidades creadas u objeto de estudio que ha logrado el proyecto hasta el momento.

En el ITCR el principal impacto es que finalmente ya queda iniciada la línea de trabajo en pirólisis de residuos, dado que ya existe un pirolizador con el que se pueden procesar sustratos de diversos tipos mediante pirólisis rápida para producir aceites de pirólisis o sustancias químicas de mayor valor agregado. Como resulta comprensible a partir de lo que hasta aquí relata este informe, la fase de obtención de resultados y su análisis recién comienza.

Otro impacto de la realización de este proyecto es que ha contribuido a establecer la línea de trabajo en energías renovables a partir de materiales residuales. Gracias a ello, hoy existe una nueva área de trabajo, que es la carbonización de los residuos para obtener energía o bien para aplicar en el mejoramiento de suelos y lograr reducir las aplicaciones de agroquímicos.

Un tercer impacto o consecuencia relevante de la realización de este proyecto lo constituyen las múltiples opciones abiertas para establecer alianzas operativas en la realización de investigación en esta línea y otras relacionadas. Se ha logrado contactar tanto entes estatales interesados (ICE, RECOPE), como investigador@s de la UCR, y además algunas empresas, con las cuales se facilitará establecer colaboraciones funcionales para avanzar en esta materia.

2.7 Un resumen sobre la forma en que el proyecto ha coadyuvado en el fortalecimiento del sistema interuniversitario (hacer mención explícita de las acciones estratégicas de Planes 2006-2010 a las cuales da cumplimiento el proyecto)

La realización de este proyecto ha contribuido a cumplir con algunas de las acciones estratégicas del PLANES 2006-2010, en particular en los siguientes objetivos estratégicos:

(PLANES 1.-) Fortalecer la innovación tecnológica para el desarrollo de la academia, mediante la acción estratégica: efectivamente, desde el mismo diseño de los pirolizadores, se ha estado innovando para poder obtener productos de pirólisis, que constituían la principal meta. A ello contribuyó, mal que bien, el incumplimiento de la empresa contratada para fabricar el pirolizador planeado originalmente, puesto hizo necesario que entonces I@s investigador@s y estudiantes participantes en el proyecto en el ITCR se involucraran directamente en el diseño y construcción de los pirolizadores alternos. De haber sido posible, desde un inicio se habría comprado un pirolizador hecho y listo para aplicar, pero no encontramos en el 2008 ninguna empresa a nivel mundial, que ofreciera aparatos de este tipo.

(PLANES 1.5.) Promover la generación de proyectos interuniversitarios e interdisciplinarios de innovación-acción tecnológica: Este proyecto ES precisamente uno interuniversitario (PLANES UNA-ITCR) en el que se combinaron una diversidad de disciplinas (electrónica, electromecánica, química, agronomía).

(PLANES 2.-) Consolidar la investigación conjunta de las universidades estatales, mediante la vinculación de esfuerzos en áreas de interés: si bien la interacción con I@s investigador@s de la UNA no fue tan productiva durante la ejecución del proyecto, el saber cuáles caminos no conducen a colaboración efectiva es ya un logro importante para poder llegar a establecer otras colaboraciones que sí lo sean (efectivas). En los esfuerzos por realizar este proyecto lo mejor posible, han surgido otras opciones de colaboración con investigador@s de las otras universidades estatales, las cuales, por supuesto, se aprovecharán oportunamente.

(PLANES 6.-) Contribuir con el desarrollo nacional mediante la vinculación de la investigación, extensión y acción social universitaria con los sectores: económico, productivo y social, mediante las acciones estratégicas:

(PLANES 6.2.-) Promover la transferencia tecnológica producto de la investigación universitaria, a los diversos sectores nacionales: como se explicó antes, no se llegó a la etapa de generar tecnologías aplicables para dar paso a una etapa de transferencia; sin embargo, llegar a esa etapa es la intencionalidad de nuestro trabajo en este proyecto desde su concepción, y la línea

de trabajo ya quedó iniciada a partir de este primer esfuerzo. Con ello, se llegará en el plazo de pocos años a la fase de transferencia y a la promoción (respaldada tecnologías concretas) de nuevas actitudes hacia los residuos como fuentes de energías limpias y de otros materiales de alto valor agregado, y no ya como desechos costosos de manejar y que son fuente de contaminación y daño ambiental.

(PLANES 6.8.-) Desarrollar proyectos conjuntos que favorezcan la interrelación de las universidades con los diferentes sectores del país: el desarrollo de este proyecto, el cual está enfocado directamente a problemáticas de orden cotidiano para todos los sectores y de gran relevancia en la vida nacional, cuales son la resolución de problemas de contaminación ambiental, la apertura de nuevas fuentes de energía limpias, y la generación de tecnologías que pueden dar origen a nuevas empresas y empleos, es precisamente un medio de relacionar de forma muy concreta las universidades con los diferentes sectores del país. Si bien la fase en que se halla esta línea de trabajo aún no permite una transferencia directa de una tecnología madura, es conducente a ello, además de ser un paso previo necesario.

2.8 Aspectos por mejorar

Haría falta mejorar la capacidad institucional de reacción ante una eventualidad como la que se nos presentó con la contratación del equipo, ya que los controles de uso del presupuesto solo dificultaron aún más la obtención de resultados y el aprovechamiento de la oportunidad para darle impulso a esta nueva línea de investigación. Sin embargo, esto difícilmente está en nuestro ámbito de acción por ahora, y hay otros aspectos que, siendo mejorables, sí lo están.

Pareciera que la capacidad de asumir compromisos responsablemente en proyectos colaborativos podría mejorarse, particularmente en la UNA, quizá mediante la generación de mecanismos internos que evalúen y supervisen los proyectos de ese tipo. Estos mecanismos, está claro, podrían venir útiles en todas las universidades estatales. Podrían concretarse en forma de comisiones de ética, comités científicos, o incluso mediante asignación de tareas específicas a cuadros como los oficiales de proyectos. Las vicerrectorías de investigación habrían de tener un canal abierto a comunicación sobre estos temas con CONARE y con investigador@s extern@s que se hallen en colaboración con l@s propi@s en algún proyecto.

Sería conveniente que el ITCR, o bien las universidades estatales en su conjunto, estableciera(n) un taller en el cual fuese posible fabricar partes de maquinaria o incluso aparatos completos e instrumentación especial, bajo la guía de los investigadores de proyectos que requieran este servicio. El que se recurra poco actualmente a construir un equipo es indicación de que no hay cómo ni dónde en el país, no de que la necesidad no exista.

Evidentemente siempre puede mejorar el desempeño de l@s investigador@s, en este caso concreto, el nuestro. La realización de este proyecto ha sido para nosotr@s una gran ocasión de mejorar, y de hecho creemos que es una garantía también de que lo estamos logrando. Los aprendizajes han sido muchos y diversos, algunos nada placenteros, pero todos para mejorar nuestra efectividad y alcance como investigador@s.

2.9 Retos por alcanzar

Está por iniciarse la evaluación de toda una serie de sustratos con el pirolizador de caída libre, que está en fase de pruebas.

Hace falta terminar el pirolizador de lecho transportado que se contrató pero quedó inconcluso.

Evidentemente el mayor y más interesante reto surgido de este proyecto es que se mantenga un impulso creciente a la línea de trabajo en energías de origen biomásico en el ITCR, trabajo que esperamos se vaya entreverando con esfuerzos de personas y grupos que trabajen en esa misma línea en las otras universidades estatales del país.

Nos parece, finalmente, que un reto importante para las universidades sería lograr que los aspectos administrativos contribuyan al avance de la investigación a pesar de dificultades que puedan surgir, en lugar de que se sumen a las dificultades que surgen para restarles alcance a los proyectos y para sumergir a l@s investigador@s en marañas administrativas para las que no tienen destreza, conocimiento, ni interés.

2.10 Monto otorgado por el Fondo del Sistema, desglosado por institución que lo administra (CONARE, UCR, ITCR, UNA y UNED), especificando además las contrapartidas en caso de que existan y el porcentaje de ejecución por cada institución.

Cuadro 3: MONTOS ASIGNADOS POR CONARE

Monto asignado	CONARE	ITCR	UCR	UNA	UNED
	24 230 000	15 500 000	0	8 730 000	0

Cuadro 4: CONTRAPARTIDA DEL ITCR

Rubro	Monto(¢)
Recurso humano incluyendo cargas sociales	38 610 000
Dos investigadores con doctorado ¼ de tiempo durante 3 años	
Presupuesto operativo (año 3)	500 000

APÉNDICE 1: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.- CONSTRUCCIÓN DE UN PIROLIZADOR

a) Pirolizador por submersión en baño de sal fundida.

Este pirolizador ya fue descrito en el detalle necesario en apartados previos. El rendimiento logrado por este medio fue de aproximadamente 4 g pirolizado / 2 días-persona.

Este rendimiento tan bajo se debía esencialmente a la necesidad de limpiar el residuo que se formaba en el pirolizador, cosa que requería operaciones lentas y cuidadosas. Pero a ello se agregaban la lentitud de la carga, la necesidad de hacer reparaciones con alguna frecuencia, y la poca disponibilidad del baño de sal fundida.

b) Pirolizador de caída libre.

El pirolizador de caída libre se logró concluir en el primer semestre del 2011. La descripción esquemática de este aparato se hizo ya en el informe. Abajo se ofrece una imagen del aparato.



Fotografía del pirolizador de caída libre (izquierda) y detalle del alimentador.

El alimentador puede suministrar desde 0,5 g/min. Mayores suministros se pueden lograr haciendo ajustes en la velocidad del motor y mediante la modificación del émbolo del alimentador. La bomba del gas de arrastre mantiene una constante circulación de los gases no condensables que genera el proceso, con lo cual el aparato puede funcionar por períodos de varias horas sin asistencia.

Las temperaturas del horno vertical y de las trampas para partículas pueden regularse independientemente, desde temperatura ambiente hasta cerca de 1000°C. La medición de temperatura se realiza mediante termopares tipo K.

El pirolizador de caída libre está en período de pruebas y ajustes actualmente, y una vez concluida esta etapa, se podrán en él pirolizar cualesquiera sustratos que sean sólidos a temperatura ambiente y se puedan llevar al tamaño de partícula adecuado (de 0,5 a 1 mm de diámetro). Para comenzar, se podrán pirolizar los materiales recolectados y preparados para ese propósito durante la ejecución del proyecto.

2.- ESTIMACIÓN DE CANTIDADES DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Como antes se explicó, se priorizó la construcción de los pirolizadores por sobre la elaboración del inventario de residuos biomásicos agroindustriales, principalmente porque este ya había sido publicado cuando nuestro grupo iba a iniciar el trabajo. Carecía de sentido replicar el esfuerzo, máxime que se necesitaba atender necesidades más básicas, como la construcción de los pirolizadores, que estaba dando problemas. En el cuadro a continuación se ofrece un extracto del trabajo de Ramírez y colaboradores (2), para dar una idea de las cantidades de que se habla. No está de sobra indicar que los autores del trabajo también dan un estimado del valor energético de los materiales que se hallan en su inventario. Basándose en los resultados obtenidos en este proyecto de rendimiento, de un residuo crudo sin secar es posible obtener finalmente entre 1% y 10% de la masa en pirolizado líquido. Si de estos residuos se lograra obtener el 1% de masa en combustibles líquidos, esto equivaldría a cerca de 65 millones de litros de combustible líquido al año, número que da una idea de la relevancia del tema, pero que no se discutirá más en este trabajo por no ser el lugar más apropiado.

Cuadro 5: Estimación de la cantidad de residuos agroindustriales más importantes	
Residuo Agroindustrial	miles de toneladas métricas / año
Café (broza y cascarilla)	326
Piña(RAC* y Corona)	3221
Palma (pinzote y mesocarpio)	220
Arroz (cascarilla)	52
Banano (pinzote y cáscara)	178
Caña (RAC y bagazo)	2561
Total	6558

Extracto del trabajo de Ramírez y colaboradores (2).

3.- OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PIROLIZADOS

Mediante el pirolizador para el baño de sal fundida (570°C) se logró obtener pirolizados a partir de bagazo de caña, RAC de piña y policarbonato de discos compactos, a los cuales se les realizaron algunas las caracterizaciones más relevantes para evaluar su potencial como combustibles líquidos. A continuación se resumen los datos obtenidos para cada uno de los 3 sustratos.

RESUMEN DE RESULTADOS DE LA PIRÓLISIS DE SUSTRATOS EN EL PIROLIZADOR PARA EL BAÑO DE SAL FUNDIDA.

Sustrato (repeticiones)*	% aceite	% C	% resid	%gases	mg NaOH / g	agua (%)
PIÑA (3)	38%	30%	29%	35%	20,5	46
BAGAZO (1)	45%	17%	24%	30%	0,93	30
POLICARBONATO (2)	75%	11%	28%	6%	0,25	0,05

*Entre paréntesis se indica el número de ensayos de los que se obtuvieron los promedios de rendimiento. Los análisis fueron aplicados a mezclas de 2 muestras, cuando fue posible.

Evaluación del aceite de pirólisis obtenido de los sustratos

Los aceites biomásicos obtenidos fueron de color negro, muy fluidos, con olor intenso a humo. Al cabo de algunas horas de reposo se separaron en al menos dos fases. La fase superior menos densa era incolora o levemente amarilla. Las fases inferiores eran de color café oscuro o negro, muy viscosas. Estos aceites se lograron disolver en alcoholes como el 1-propanol y otros de cadena más larga, pero no en hexano, metanol, ni propanona. El aceite obtenido del policarbonato tuvo olor a solventes orgánicos, estireno y fenol. Se separó en varias fases al cabo de más de 1 semana. Las viscosidades de estas fases fueron muy similares, bajas en todo caso.

Contenido calórico: Se realizó en bomba calorimétrica. Los contenidos calóricos en particular ofrecieron dificultades significativas para su evaluación, la cual se hizo imposible con la cantidad de material disponible, excepto en el caso del aceite del policarbonato, cuyo contenido calórico fue de (33,4 ±0,7) MJ / kg, cerca de 25% menor al reportado para el diesel por RECOPE, de (43 ±0,7) MJ / kg. (www.recope.go.cr/nuestra_actividad/.../PODER_CALORICO.doc, junio 2011)

Viscosidad: La viscosidad no se evaluó en los aceites biomásicos, por el hecho de que los aceites obtenidos se separaron en términos de 24 horas en al menos 2 fases con viscosidades muy diferentes. Para el aceite de policarbonato se obtuvo un valor de viscosidad cinemática aproximado de (12±1) cSt a 40°C. Por haber estado presentes varias fases en la muestra, se reporta este como un valor aproximado.

Contenido de agua: Se realizó mediante el método Karl Fischer, en los laboratorios del CELEQ (Universidad de Costa Rica).

Número de acidez: Se realizó mediante el método estándar para combustibles, en los laboratorios del CELEQ (Universidad de Costa Rica).

3.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De los pirolizadores que originalmente se querían, no se construyó ninguno (ni el de lecho transportado para biomasa, ni el de plásticos), pero se construyeron en su lugar otros dos. De ellos, el que queda para seguir realizando trabajo en esta línea experimental es el de caída libre, con una escala de decenas de gramos por hora. Afortunadamente, por su diseño puede ser aplicado a sustratos biomásicos y a plásticos, y con una modificación menor, podría ser aplicado a sustratos líquidos. El pirolizador de lecho transportado tendrá que terminarse eventualmente, ya que las partes principales están hechas. La experiencia de verse obligad@s a construir un pirolizador, cuando los planes eran de utilizar uno solo habiéndolo diseñado, fue difícil y sin duda alguna digna de cualquier esfuerzo por evitarla en futuras ocasiones, pero hay que admitir que también fue enriquecedora. Definitivamente no es razón suficiente para evitar construir en el futuro equipos que no existan en el mercado, todo lo contrario, nos enseña qué cosas evitar para lograr ser más eficientes en ello.

Resulta clara la potencialidad del aceite obtenido del policarbonato como combustible líquido, debido a su baja viscosidad global (de todas las fases) y a su alto contenido calórico. La separación de fases, que representa una desventaja para su uso como combustible, puede ser una ventaja para su utilización en la obtención de sustancias puras de mayor valor agregado. En definitiva el paso que sigue es la caracterización química de las fases, con el fin de identificar componentes mayoritarios. Esto podrá realizarse una vez se tenga suficiente producto, lo cual esperamos se logre con el nuevo pirolizador de caída libre.

Por lo que respecta a los aceites obtenidos de la caña y la piña, nótese que el rendimiento es mucho más bajo que en el caso del plástico. Resulta importante notar que la proporción de carbonización en el bagazo es significativamente menor, con lo que aumenta el rendimiento de aceite. La acidez aparentemente es mucho menor también. Estos resultados habrá que corroborarlos con nuevos experimentos, los cuales podrán realizarse con el pirolizador de caída libre adelante.

Los rendimientos de líquido en ambos casos fueron menores a 50%. Las modalidades rápidas de pirólisis dan rendimientos con frecuencia mayores al 50% (1, entre otros). Es suposible que la transferencia de calor lenta dentro de la cámara de reacción fuese la causa de mayor formación de carbón y menor formación de aceite. Asimismo, es probable que el paso del pirolizado a través de parte del conducto a 570°C (temperatura alta) ocasionara mayor fragmentación para formar gases no condensables, reduciendo también la producción de aceite (1, entre otros). Con el pirolizador de caída libre se podrán evitar estos inconvenientes.

El contenido de agua en los aceites fue alto en el caso de los biomásicos (30% a 46%), comparado con resultados a partir de maderas obtenidos en el estudio de PYNE, de entre 15% y 30% (1). El contenido de agua es una característica negativa para el uso de estos aceites como combustibles, pues supone una pérdida energética durante la combustión, la cual se invierte en la evaporación del agua. En general, los aceites pirolíticos de sustratos biomásicos adolecen de alto contenido de agua (1), cosa que será

necesario resolver para poder utilizarlos convenientemente como combustibles. Agregado a ello, la presencia de agua favorece la separación de una fase acuosa con alta concentración de solutos polares, cosa que tampoco es conveniente para usar el aceite como combustible.

En el aceite del bagazo se midió una acidez muy baja (1 mg NaOH / g), no concordante con la del aceite del RAC de piña (21 mg NaOH / g), ni con datos de otros investigadores de entre 60 mg NaOH / g y 80 mg NaOH / g para aceites de aserrines de maderas (1). La baja acidez es una característica deseable para un combustible líquido, pues se evita la corrosión de los metales con que entra en contacto durante su manejo. Sin embargo, quedan por confirmar estos valores obtenidos de apenas una muestra en cada caso.

CONCLUSIONES

Por lo que respecta a los resultados obtenidos con los aceites pirolíticos, resultaría válido concluir que el policarbonato (y probablemente otros plásticos igualmente) representa gran interés para la obtención de un aceite combustible de cualidades muy buenas, y eventualmente para la obtención de sustancias de mayor valor agregado. En el caso de los aceites biomásicos, por el momento quedan planteadas las cuestiones de la alta acidez, del contenido de agua y de la separación de fases. Hace falta más trabajo con aceites biomásicos obtenidos en diversas condiciones para poder medir en qué ámbitos pueden variar esos aspectos.

Por lo que respecta a la construcción de un pirolizador, se concluye que se logró construir uno de escala experimental (30 gramos de sustrato por hora), de caída libre, el cual efectivamente está diseñado para pirólisis rápida o flash, y podrá ser aplicado tanto para sustratos plásticos como para sustratos biomásicos. Se le puede regular la temperatura del reactor, y se le pueden colocar catalizadores en el compartimiento del filtro caliente, al cual también se le puede regular la temperatura.

APÉNDICE 2: INFORME PARCIAL DEL GRUPO DE LA UNA

Evaluación de la pirolisis de plásticos y desechos agroindustriales

UNA. Alfaro C. Araya F.
Escuela de Química Universidad Nacional

Informe de Actividades

Diseño y construcción del pirolizador:

A la fecha se ha trabajado en los detalles de diseño mas adecuado para trabajar el reactor/pirolizador y en la gestión de compras de los materiales, especialmente el sistema de calentamiento y control de temperatura. La construcción del pirolizador se está trabajando en conjunto con el taller de mantenimiento de la Escuela de Física.

Con relación a este mismo tema y con el objetivo de lograr la fluidización del lecho de reacción, se realizaron pruebas para determinar la presión mas adecuada para mantener la zeolita fluidizada en el lecho. Este material del lecho (zeolita) se molió y se tamizó, y se encontró que la zeolita tamizada con tamiz N° 16 y aplicando 40 lb de presión tiene un comportamiento adecuado para el lecho fluido, debido a que el nitrógeno lo levanta a una altura considerable en el tubo, se espera probarlo con el pirolizador una vez introducida la muestra de plástico para observar el comportamiento y optimizar condiciones de manejo. Las pruebas se hicieron en un tubo de vidrio del mismo grosor del que se tiene pensado para el de acero, con el fin de ver el comportamiento del lecho fluido.

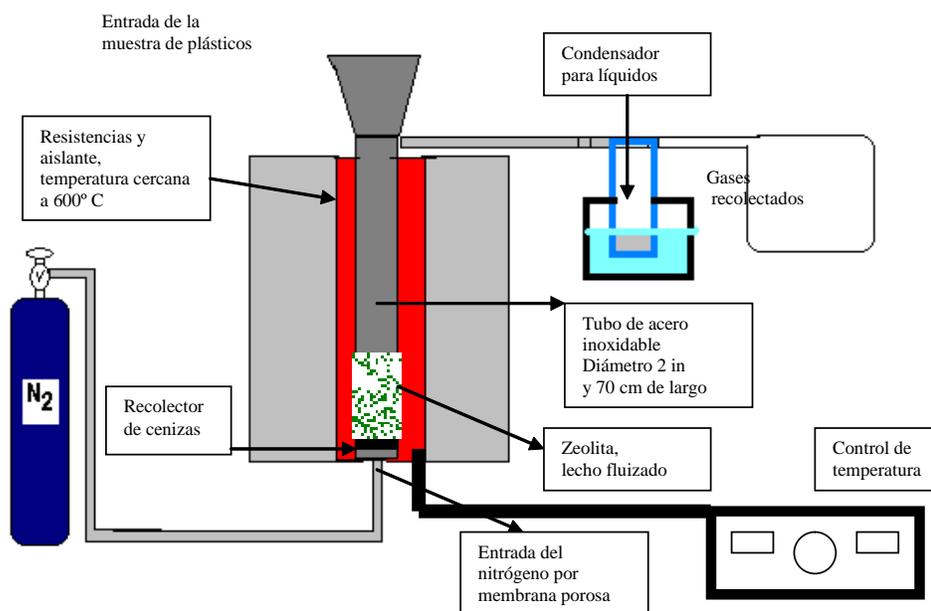


Figura 1. Esquema del diseño del pirolizador para desechos plásticos.

Caracterización de los plásticos post-consumo a pirolizar:

Como parte de las actividades propuestas en el proyecto se determinaron los tipos de plásticos mas frecuentes o generados en mayor cantidad. Además, se recolectaron las muestras de los tres plásticos escogidos, HDPE, PP y PET, se cortaron y molieron por separado Estas muestras se utilizaron para pruebas de calor de combustión realizadas en la Escuela de Química, en una bomba calorimétrica a volumen constante de 2 L de agua, una temperatura de 23° C. Los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 1. Determinación del calor de combustión de las muestras de desecho plástico.

Muestra	Calor de reacción (kJ/g)	Promedio (kJ/g)
HDPE 1	-18,33	-30,27
HDPE 2	-29,72	
HDPE 3	-30,81	
PET 1	-14,51	-14,55
PET 2	-14,63	
PET 3	-14,50	
PP 1	-28,92	-28,92
PP 2	-28,92	
PP 3	-28,91	

Nota: La muestra HDPE 1 se desc

Asimismo se enviaron muestras para las pruebas térmicas que se realizaran en el INA. Se realizaron pruebas de DSC y TGA. Los resultados se presentan a continuación:

Cuadro 2. Análisis DSC de las muestras de plástico a pirolizar

Muestra	Prueba realizada	Resultado obtenido
PET	Tg ° C	79,5
	Punto de cristalización °C	145,23
	Entalpía de cristalización J/g	-29,91
	Punto de fusión °C	247,66
	Entalpía de fusión J/g	55,26
HDPE	Punto de fusión °C	133,74
	Entalpía de fusión J/g	178,13
PP	Punto de fusión °C	127,92
	Entalpía de fusión J/g	138,73

Cuadro 3. Análisis TGA de las muestras de plástico a pirolizar

Muestra	Unidades de resultado	Resultado obtenido
PET	Temperatura de descomposición °C	443,99
	Area %	82,38
HDPE	Temperatura de descomposición °C	481,64
	Area %	95,06
PP	Temperatura de descomposición °C	474,39
	Area %	65,93

Como trabajo adicional se realizó un estudio con los principales centros de acopio del país para determinar los tipos de plásticos post-consumo que se reciben mayoritariamente y las cantidades correspondientes. Para que los datos fueran representativos se seleccionaron centros de acopio en todas las provincias del país. La información recopilada se muestra *enseguida*.

Listado de empresas

Lugar	Tipos de plástico	Destino final
ADOGA. (Asociación Domingueña de Gestión Ambiental). Gerardo Alvarado. Tel: 2235-5949, 83243142 Santo Domingo de Heredia	PET (aproximadamente 2400 kg por mes) HDPE (aproximadamente 600 kg por mes)	Los plásticos se venden
Asociación Gestión Ambiental de San Rafael de Heredia. Tel: 2237-0789, 2262-7978 extensiones 4 y 5	PET (aproximadamente 6.3 toneladas por mes) HDPE (aproximadamente 3.7 toneladas por mes)	Los plásticos se venden
Asociación Osa Limpia, Osa Linda La Palma de Puerto Jiménez, Puntarenas. Albino Chávez Tel: 2735-1159	PET (aproximadamente 200 kg por semana)	Los plásticos se venden
Asociación Procesadora de Basura Enrique Obando Tel: 2709-8095, 2709-8010 Pocosí, Barra del Tortuguero Limón	PET (aproximadamente 1.5 toneladas por mes) PP y PS (aproximadamente 0.5 toneladas mensuales)	Los plásticos se venden
ASOFESAN - Asociación Femenina de la Zona de los Santos Hilda Cordero Tel: 2546-6879 8314-0979 Edificio de UPAS, San Marcos de Tarrazú	PET (aproximadamente 700 kg por mes) HDPE (aproximadamente 300 kg por mes)	Los plásticos se venden
Bodega de Acopio John John Pérez Teléfono: 8350-5674 Barrio Cristo Rey San José	PET (aproximadamente 3500 kg por mes) HIPE (aproximadamente 1500 kg por mes)	Los plásticos se venden

Centro de Acopio El Liberiano Henry Espinoza Tel: 2665-3024, 8830-6244 San Rafael, Pueblo Nuevo Liberia, Guanacaste	PET (aproximadamente 7 toneladas por mes) HDPE (aproximadamente 2.5 toneladas por mes)	Los plásticos se venden
Centro de Acopio El Molino Marco Arias / Carlos Herrera Tel: 2551-6142, 8841-8679 Cartago	PET (aproximadamente 12 toneladas por mes) HDPE(aproximadamente 8 toneladas por mes)	Los plásticos se venden
Centro de Acopio MABE José María Méndez (padre e hijo) Tel: 8824-8105, 8360-6355 Florencia, San Carlos, Alajuela	PET (aproximadamente 3000 kg por semana) HDPE (aproximadamente 2000 kg por semana)	Los plásticos se venden
Centro de Recuperación Juan Rojas. Juan Félix Rojas Tel: 2258-0051, 8849-6001 8387-1943, 8891-8880 La Uruca, San José	PET (aproximadamente 400 kg por semana) HDPE (aproximadamente 100 kg por semana)	Los plásticos se venden
Centro de Recuperación Reciclando por Buenos Aires Ramiro Torres Beita Tel: 2730-1061, 2730-2236 El Alto de Buenos Aires Buenos Aires Puntarenas	PET (aproximadamente 500 kg por semana) HDPE (aproximadamente 100 kg por semana)	Los plásticos se venden
Codiplas S.A. Ingrid Mazariegos Tel: 2265-5155, 8362-6911 carretera a San José de la Montaña, Barva	PP (aproximadamente 3 toneladas por mes) HDPE (aproximadamente 2 toneladas por mes)	Los plásticos se procesan y se fabrican vasijas y utensilios plásticos
Empaques Universal Marjorie Sánchez Tel: 2438-0525, 2438-0557 Carretera a la Guácima, San Rafael, Alajuela	LDPE (aproximadamente 5000 kg por semana)	Los plásticos se procesan para la fabricación de bolsas de basura

Fundación Escazú Recicla Marlen Chacón Municipalidad Tel: 2288-3730, 2208-7577 Escazú San José	PET (aproximadamente 4500 kg por mes) HDPE (aproximadamente 2500 kg por mes)	Los plásticos se venden
Global Logistic Center Jimmy García Tel: 2290-4971, 2290-5204 Uruca, San José	PET (aproximadamente 100 toneladas por mes) HDPE (aproximadamente 40 toneladas por mes)	El PET se procesa para obtener fibra poliéster El HDPE se convierte en resinas para la elaboración de nuevos embases de HDPE Ambos son exportados a Estados Unidos y Asia
Florida Bebidas S.A. Alejandro Arce Tel: 2437-6593, 2437-6590 Belén	PET (aproximadamente 54 toneladas por mes) HDPE (aproximadamente 6 toneladas por mes)	Los plásticos se muelen y se exportan
Gente Reciclando Adriana Soto Tel: 2537-3809, 8391-6354 Carretera a Cartago, Frente a RECOPE	PET (aproximadamente 1.8 toneladas por mes) HDPE (aproximadamente 3.2 toneladas por mes)	Los plásticos se limpian, seleccionan y muelen para ser vendidos
Plastimex S.A. Palmares Tel: 2453-1251	HDPE (aproximadamente 12.5 toneladas por quincena) PP (aproximadamente 2.5 toneladas por quincena)	Los plásticos se procesan
Producol Tel: 2213-5817, 2289-8453 Pavas	HDPE (aproximadamente 15 toneladas por mes) PP (aproximadamente 10 toneladas por mes)	Los plásticos se procesan para la fabricación de madera plástica
FEMSA (Coca Cola) “Programa misión planeta” Juan Miguel Castillo Tel: 2450-5775 Alajuela	PET (aproximadamente 45 toneladas por mes) HDPE (aproximadamente 18 toneladas por mes)	Los plásticos se muelen y se exportan a Asia

APÉNDICE 3: PARTICIPACIÓN DE L@S ESTUDIANTES

ESTUDIANTES	TIEMPO	LABORES MÁS RELEVANTES
Ana Lía Camacho Fidalgo Ing. Ambiental, ITCR	20 horas (2008) 10 horas (2009) 10 horas (2010)	Búsquedas bibliográficas, colaboración en el diseño de los pirolizadores, búsquedas para cotización de pirolizadores, adquisición de datos, pirólisis de sustratos, determinación de calores de combustión, búsquedas de información en la red, ayuda en la construcción de los pirolizadores, y aporte de su propia iniciativa e ideas.
Carlos Mario Araya Vega Mantenimiento Industrial-ITCR	10 horas/sem (octubre-dic-2009)	Diseño y construcción del prototipo del alimentador para el pirolizador de caída libre.
Johansen Quesada Mantenimiento Industrial-ITCR	10 horas/sem (octubre-2009 a junio 2010)	Pirólisis de sustratos, ayuda en la construcción de los pirolizadores, y aporte de su propia iniciativa e ideas.
Carlos Vaquerano Mantenimiento Industrial-ITCR	10 horas/sem (octubre-2009 a junio 2010)	Pirólisis de sustratos, ayuda en la construcción de los pirolizadores, y aporte de su propia iniciativa e ideas.
Jeremy Mata Arce Mantenimiento Industrial-ITCR	10 horas/sem (junio a dic. 2010)	Pirólisis de sustratos, búsquedas de información en la red, ayuda en la construcción de los pirolizadores, y aporte de su propia iniciativa e ideas.

Es relevante indicar explícitamente que en este proyecto se ha procurado desde el inicio la inclusión de l@s estudiantes colaborador@s en las discusiones de todos los temas involucrados, con la expectativa de que, además de estar informad@s, aporten una visión crítica y, por supuesto, constructiva. Se parte del hecho de que a menudo los cambios de paradigma surgen de la visión de la persona que “no sabe” de un tema. Así, se ha buscado desde un inicio que existan los espacios en que tod@ integrante del equipo se entere de lo que l@s demás hacen, y puedan opinar sobre ello. Afortunadamente, ha existido disposición a participar en esta dinámica.

Se le agradece a tod@s las estudiantes que han aportado en la realización de este proyecto, sea como asistentes, como amigos, o realizando otros proyectos para algún curso, porque con ese acompañamiento han contribuido cada cual en su manera, de forma significativa a los logros.

Este es el lugar para agradecer en forma especial a la estudiante y pronto ingeniera, Ana Lía Camacho, quien no solo aportó desde un inicio en casi todos los frentes de trabajo que surgieron, sino que además demostró enorme versatilidad y disposición para analizar y discutir temas muy diversos, siempre con una

visión crítica. Ana Lía fue capaz también de realizar labores de gran diversidad, con competencia envidiable.

Las virtudes de la responsabilidad, la constancia y el empeño contagiosos, las aportó el estudiante y pronto Ingeniero, Jeremy Mata, quien las combinó además con diligencia y habilidad para lograr resultados sumamente valiosos en el proyecto. Quien tenga experiencia en la ejecución de proyectos en los que participan varias personas, sabe lo invaluable que es, en un grupo, una persona con tales actitudes. A Jeremy le debemos un agradecimiento muy especial por habernos honrado con su colaboración.

En la finalización del pirolizador de caída libre, ya en el 2011, ha participado también el estudiante Esteban Monge, de la carrera de Mantenimiento Industrial. Se agradece a Esteban su valioso aporte.

APENDICE 4: Incumplimiento del contrato por parte del constructor del pirolizador

A continuación se narra algunos de los hechos en relación al incumplimiento del contrato por parte del constructor.

1. Durante el año 2008 (primer semestre), se trabajó en el diseño del pirolizador en forma coordinada entre los investigadores del TEC. En algunas reuniones participó el Sr. Mario Landoni quien es un mecánico de precisión de amplia experiencia. En dichas reuniones, se afinaron algunos detalles del diseño.
2. Se obtuvo un diseño base del pirolizador que incluía un alimentador de biomasa un horno de con entrada de gas de arrastre, tornillo sin fin para movilizar el material de calentamiento, calentadores a base de gases propano, ciclones para separar la arena de los gases, condensador, y una tubería que redireccionaba los gases no condensables a los gases de calentamiento, medidores de presión, medidores de temperatura, etc.
3. Se establecieron los términos de referencia para la contratación, donde uno de los puntos clave sería la anuencia de constructor a modificar detalles tanto durante la construcción del pirolizador, con después de un período de prueba.
4. A pesar de que los investigadores contactamos a varios mecánicos de precisión para exponerles el diseño, solamente el Sr. Mario Landoni presentó una oferta de servicios, por lo que se procedió a su contratación, que se tardó bastante ya que su empresa no era un proveedor del TEC y se vió en necesidad de arreglar deudas en CCSS para que el TEC como institución pública lo pudiera contratar, lo cual no ocurrió hasta noviembre, 2008, y el Sr. Landoni se comprometió a entregar el equipo en no más de 4 meses, abril, 2009. Se hizo el primer pago que cubría los materiales y la mitad de la mano de obra, correspondiendo a un pago de ¢4 900 000.
5. Posteriormente, el Sr. Landoni tomó otros contratos y dejó de lado la construcción del equipo pirolizador, a pesar de las constantes visitas de los investigadores a su taller. El avance de la construcción era nulo mes a mes.
6. El 7 de setiembre, 2009 se le entregó al Sr. Landoni una carta en se le establecía como fecha límite el 30 de octubre, 2009. A lo cual también incumplió. (documento adjunto)
7. Se expuso la situación de incumplimiento con la Dirección de Proyectos de la VIE y con el Director de Aprovisionamiento y se tomó la decisión de que se proporcionaría como fecha máxima diciembre, 2009 para la entrega del equipo. Lo anterior con la idea de afectar menos la ejecución del proyecto.
8. El 30 de abril, 2010 le solicitamos a la Dirección de Proyectos, mediante memorando adjunto que proceda legalmente ante el incumplimiento del Sr. Landoni. (documento adjunto)
9. Ante nuestro interés de retirar el equipo inconcluso para tratar de terminarlo con algún otro mecánico de precisión, tanto el asesor legal del TEC (Lic. Carlos Segnini) como el abogado de

Aprovisionamiento nos indicaron que para el retiro de las partes, debía haber un levantamiento de acta. Nos indicaron que nosotros podíamos levantar dicha acta, pero dichas funciones quedan fuera de nuestro ejercicio profesional. Por lo anterior, las partes continúan en el taller del Sr. Landoni.



Memorando

Para: M.Sc. Ileana Moreira
Directora de Proyectos

De: Dra. Floria Roa Gutiérrez *Original Firmado*
Coordinadora del Proyecto "Evaluación de la pirólisis de residuos agroindustriales y plásticos" código 5401-1701-6024

Fecha: 30 de abril, 2010

Asunto: Procedimiento Legal ante incumplimiento de contrato

Durante el mes de setiembre del año 2009, expusimos ante su Dirección y en presencia de Lic. Walter Sequeira (Director de Aprovisionamiento), sobre el incumplimiento del contrato para la construcción del pirolizador para el proyecto "Evaluación de la pirólisis de algunos residuos agroindustriales y plásticos". En ese momento se tomó la decisión de que la interrupción del proceso iba a afectar aún más el avance del proyecto y que se proporcionaría un tiempo máximo hasta diciembre, 2009.

Quisiera exponer de nuevo la problemática, ya que se nos sale de nuestro control al ser una contratación externa, a continuación narro algunos de los hechos:

- 1- Se había entregado una carta a Don Mario Landoni (fecha 7 de setiembre, 2009, adjunta) en el que se le establecía una fecha máxima de entrega para el 30 de octubre, 2009.
- 2- Ante la dificultad de encontrar algún mecánico de precisión con el equipo adecuado para terminar el pirolizador se toma la decisión de darle hasta diciembre, 2009, para entregar el equipo.
- 3- En este tiempo el Dr. Jaime Quesada ha estado trabajando en la construcción de un pirolizador alternativo (de menor escala) que está a un 75% de avance.
- 4- Como coordinadora he realizado las tareas de informes parciales, presentación del proyecto en diciembre, 2009 y recolección y preparación de las biomásas seleccionadas para la pirolisis. Los datos están completos y las biomásas están listas para pirolisis.
- 5- Hemos contado con la colaboración de BQ. Aura Ledezma y M.Sc. Ricardo Starbird ya que el proyecto de policarbonato también requiere del pirolizador.
- 6- Hemos visitado el taller de Don Mario Landoni, sobretodo el Dr. Jaime Quesada quien inclusive ha contribuido como asistente en la construcción con el afán de ver terminado el pirolizador. Sin embargo, esto no está contemplado dentro de las funciones de los investigadores, ni en contrato.
- 7- Hasta enero 2010, vimos un avance lento y no satisfactorio, con el infortunio adicional de que Don Mario sufrió un accidente laboral fracturándose un pie al caerle una herramienta pesada.
- 8- Hasta hoy la construcción del pirolizador no ha avanzado significativamente desde enero, 2010.

Por lo tanto recurrimos a su dirección para solicitar se proceda legalmente ante el incumplimiento del contrato, y de ser posible se nos ayude a identificar algún mecánico de precisión que puede terminar el pirolizador.

C/ Lic. Walter Vargas Director Escuela de Química
Lic. Walter Sequeira Director de Aprovisionamiento
Dr. Jaime Quesada Co-investigador
BQ. Aura Ledezma Investigadora del proyecto sobre Policarbonato
Archivo





Cartago, 7 de setiembre, 2009

Sr. Mario Landoni
Presente.

Estimado Señor:

Durante el mes de noviembre del año pasado, el Instituto Tecnológico de Costa Rica contrató a su empresa para la construcción de un pirolizador, en los términos de dicha contratación se estimó un tiempo máximo de entrega de 8 semanas, por lo que la entrega de dicho equipo debía ocurrir durante los primeros días de febrero, 2009.

El equipo a construir es indispensable para la ejecución de un proyecto, y los estudios correspondientes, incluyendo las pruebas preliminares de funcionamiento no han podido ejecutarse debido al incumplimiento de su parte.

Los investigadores hemos invertido gran cantidad de tiempo en visitas a su taller. Sin embargo, no existe el avance requerido por lo que en estos momentos podríamos sufrir sanciones por incumplimiento por causas que están fuera de nuestro control. Ante el incumplimiento en la construcción del prototipo, hemos consultado con los asesores legales del Instituto Tecnológico de Costa Rica, así como también con las autoridades de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión sobre la forma de proceder al respecto.

Por lo anterior le comunicamos que la fecha límite para la entrega del equipo contratado será el 30 de octubre, 2009. En caso en que el equipo no sea recibido a satisfacción en la fecha indicada, procederemos a dejar el caso a la oficina legal del Instituto Tecnológico de Costa Rica para la demanda correspondiente.

Es nuestro interés que la construcción del pirolizador contratada llegue a buen fin por lo que exigimos que cumpla con dicha contratación y el tiempo.

Atentamente,

Dra. Floria Roa Gutiérrez
Coordinadora del Proyecto de Pirólisis de Biomasa
Escuela de Química

BIBLIOGRAFÍA

- 1) Bridgwater, A V (editor); Fast Pyrolysis of Biomass: A Handbook, vol. 2;.CPL Press, London, 2002.
- 2) Ramírez, F.; Roldán, C.; Villegas, G.; Carazo, E. Encuesta de la Oferta y Consumo Energético Nacional a partir de la Biomasa en Costa Rica. Realizado por la Empresa Interamericana de Desarrollo S.A. para el Instituto Costarricense de Electricidad. Costa Rica. **2007**.
- 3) Alvarez, A.; "El potencial agrícola de la caña de azúcar en Cuba como fuente productora de biomasa energética"; ATAC (Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba), Dpto Agronomía, MINAZ (Ministerio del Azúcar); N°1, Cuba, 1997.
- 4) Carrasco, J. G.; IER-CIEMAT, "Tecnologías de transformación de la biomasa para usos no alimentarios"; Curso "La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria"; 1996.
- 5) N.R. Armeida, Ensayos preliminares de pirólisis de residuos sólidos municipales para la obtención de biocombustibles, Universidad de los Andes, Bogotá, 2005.
- 6) W. Kaminsky, Predel, M., Sadiki, A., Feedstock recycling of polymers by pyrolysis in a fluidised bed, Polymer Degradation and Stability, Elsevier, 24 mayo 2003.
- 7) J. L. Sopelo et al., Reciclado químico de plásticos y aceites lubricantes usados mediante catalizadores zeolíticos, Departamento de ingeniería química, Universidad Complutense de Madrid, 1998.
- 8) Williams E.A., Williams P.T., Analysis of Products Derived from the Fast Pyrolysis of Plastic Waste, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis (347-363) 40-41,1997.
- 9) D. Adam, Human waste used to create green fuel, Noticia en "The guardian", de Londres, 29.11.06. (Ver también sitio-web de Dynamotive).
- 10) B. Lemley, Anything into oil, Reportaje en Discover Magazine, ver en <http://discovermagazine.com/2006/apr/anything-oil> (abril 2007).