

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA INDUSTRIA PANELERA DEL  
DEPARTAMENTO DEL TOLIMA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS  
MDL, BASADOS EN EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA A  
PARTIR DE HORNILLAS MEJORADAS**

**ANA MARCELA RICARDO ARRIETA  
EDER CANO NAVARRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA**

**2012**

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA INDUSTRIA PANELERA DEL  
DEPARTAMENTO DEL TOLIMA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS  
MDL, BASADOS EN EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA A  
PARTIR DE HORNILLAS MEJORADAS**

**ANA MARCELA RICARDO ARRIETA  
EDER CANO NAVARRO**

**MONOGRAFÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DIRECTOR:  
MSR RODRIGO BUITRAGO TELLO  
INVESTIGADOR CORPOICA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA  
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA SANTANDER**

**2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimiento a Dios por habernos dado la oportunidad de cumplir con esta meta. A nuestros padres por brindarnos el apoyo y la oportunidad de seguir adelante.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN _____	17
1. GENERALIDADES _____	18
1.1. LOCALIZACIÓN GENERAL _____	18
1.2. LA INDUSTRIA PANELERA EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA _____	18
1.2.1. Tipo de Hornillas Paneleras en el Tolima. _____	19
1.2.2. Parámetros evaluar en una Hornilla Panelera _____	22
1.2.2.1. Capacidad de producción _____	22
1.2.2.2. Combustión en las hornillas _____	22
1.2.2.3. Eficiencia térmica de las hornillas _____	25
1.3. CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO _____	29
1.3.1. El Cambio _____	29
1.3.2. Efecto Invernadero _____	30
1.3.3. El Protocolo de Kioto. _____	31
1.4. EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL) _____	31
1.4.1. Objetivos del MDL. _____	32
1.4.2. Beneficios para las Poblaciones _____	32
1.4.3. Tipos de Proyectos MDL. _____	33
1.4.3.1. Proyectos de reducción de emisión vs proyectos sumidero _____	33
1.4.4. Escala de Proyecto _____	33
1.4.4.1. Proyectos Pequeña Escala (SSC) _____	34
1.4.4.2. Reglas simplificadas para proyecto SSC _____	34
1.5. CICLOS DE PROYECTOS MDL. _____	35
1.5.1. Formulación _____	36
1.5.2. Elaboración y cálculo de la línea base _____	36
1.5.3. Selección del período de acreditación. _____	37

1.5.4. Elaboración del plan de monitoreo	37
1.5.5. Validación.	37
1.5.6. Registro.	38
1.5.7. Monitoreo	38
1.5.8. Verificación	39
1.5.9. Expedición de las reducciones certificadas de las emisiones.	39
1.6. BONOS DE CARBONO	40
1.7. PROYECTOS MDL EN COLOMBIA	41
1.8. PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO - MDL CON APROBACIÓN NACIONAL A PARTIR DEL AÑO 2002.	43
2. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA INDUSTRIA PANELERA DEL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS MDL, BASADOS EN EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA A PARTIR DE HORNILLAS MEJORADAS.	46
2.1. DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE LA LÍNEA BASE Y LA HORNILLA MEJORADA	47
2.1.1. Tipo de Flujo.	47
2.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE HORNILLAS	48
2.2.1. Caracterización técnica del trapiche.	49
2.2.2. Determinación de la capacidad de molienda, extracción y eficiencia de operación del molino.	49
2.2.3. Determinación de las temperatura, velocidad de calentamiento y contenido de sólidos solubles de los jugos y mieles	49
2.2.4. Determinación de la capacidad de producción.	50
2.2.5. Determinación de la producción de cachaza y melote.	50
2.2.6. Determinación del consumo de combustible por la hornilla	50
2.2.7. Determinación de la composición de los gases de combustión	50
2.2.8. Determinación de la temperatura de los gases de combustión	51

2.3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA LÍNEA BASE Y LA HORNILLA MEJORADA	51
2.3.1. Condiciones de evaluación	53
2.3.2. Metodología Bundling (por Agrupación).	54
3. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE HORNILLAS MEJORADAS Y LA VENTA DE CERS.	56
3.1. ANÁLISIS POR TRAPICHE	57
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	63

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla No. 1 Composición elemental del bagazo.....	23
Tabla No. 2. Proyectos de Mecanismo de desarrollo limpio en Colombia .....	41
Tabla No. 3 Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio/Participación Sector.	42
Tabla No. 4 Portafolio de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio.....	42
Tabla No. 5 Proyectos de mecanismo de desarrollo limpio MDL registrados ante la CMNUCC.....	43
Tabla No. 6 Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL con Aprobación Nacional a partir del año 2002 .....	44
Tabla No. 7 Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL con certificado de Reducción de Emisiones CERs .....	44
Tabla No. 8 Proyecto desarrollados en Colombia.....	44
Tabla No. 9 Valores medidos en campo para la línea base - hornilla mejorada ...	52
Tabla No. 10 Parámetros de cálculo de CERs para un trapiche.....	57
Tabla No. 11 Costos transaccionales MDL para un trapiche .....	58
Tabla No. 12 Balance de flujo neto efectivo con MDL sin MDL para un trapiche ..	58
Tabla No. 13 Parámetros de cálculo de CERs para 238 trapiches .....	59
Tabla No. 14 Costos transaccionales proyecto MDL con 238 trapiches .....	60
Tabla No. 15 Balance de flujo neto efectivo con MDL y sin MDL.....	60

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura No. 1 Modelo de hornilla tradicional del Tolima .....	20
Figura No. 2 Tipos de pailas .....	21
Figura No. 3 Ciclo de Proyectos MDL.....	36
Figura No. 4 Hornilla con flujo paralelo .....	48
Figura No. 5 Hornilla con flujo combinado .....	48
Figura No. 6 Perfil de temperatura de los gases para la línea base y la hornilla mejorada.....	53
Figura No. 7 Balance de flujo neto efectivo con y sin proyecto MDL para 238 trapiches .....	61

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo No. A Flujo de caja proyecto para un trapiche con proyecto MDL .....	63
Anexo No. B. Flujo de caja proyecto para un trapiche sin proyecto MDL .....	64
Anexo No. C.Flujo de caja proyecto para 238 trapiches con proyecto MDL .....	65
Anexo No. D.Flujo de caja proyecto para 238 trapiches sin proyecto MDL .....	66

**TITULO:** ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA INDUSTRIA PANELERA DEL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS MDL, BASADOS EN EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA A PARTIR DE HORNILLAS MEJORADAS.

**AUTOR:** EDER CANO NAVARRO, ANA MARCELA RICARDO ARRIETA

**PALABRAS CLAVES:** Emisiones, Hornilla, MDL, Tecnología más limpia.

**CONTENIDO:**

La implementación de una hornilla mejorada está basada en una tecnología más limpia que busca mejorar las condiciones ambientales reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero basándose en el aumento de la eficiencia energética, es por esto que se busca implementar un sistema que nos permita tener una producción estable, que genere más ingresos y menos daño al ambiente. En el departamento del Tolima actualmente se han desarrollado tecnologías que permiten aumentar la eficiencia de las hornillas hasta un 50 % aproximadamente, pero la mayoría de los productores no cuentan con recursos suficientes para acceder a estas. Debido a la problemática existente es que se realiza un análisis costo beneficio que permita determinar si es probable que con la venta de bonos de carbono se alcance suplir gastos que tienen que ver con la restauración y mejoramiento de las hornillas y así promover un proyecto de mecanismo de desarrollo limpio (MDL)

Para la realización de este proyecto se obtuvo información secundaria de estudios realizados en el departamento del Tolima por la corporación colombiana de investigación agropecuaria "proyecto sobre el desarrollo de modelos demostrativos de hornillas paneleras para cinco regiones del país (2011), en las que se encontraba el departamento del Tolima".<sup>1</sup>

Para los países en vía de desarrollo, los proyectos de mecanismo de desarrollo limpio son una gran oportunidad tanto para impulsar la economía de sectores con bajo desarrollo económico, como para disminuir el impacto ambiental causado por los gases de efecto invernadero de una determinada industria, en este caso, la industria panelera, que no ha tenido grandes cambios a nivel empresarial. En este sentido, este trabajo hace un aporte importante para el sector agropecuario del país.

---

<sup>1</sup>Proyecto de Grado.

<sup>11</sup>Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: MsC. Rodrigo BuitragoTello. Ingeniero Químico.

**TITLE:** ANALYSIS OF THE TOLIMA'S PANELERA INDUSTRY POTENTIAL FOR THE DEVELOPMENT OF CDM, PROJECTS BASED ON THE ENHANCEMENT OF ENERGETIC EFFICIENCY DUE TO IMPROVED HORNILLAS.

**AUTHORS:** EDER CANO NAVARRO, ANA MARCELA RICARDO ARRIETA.

**KEY WORDS:** Emissions, Hornilla, CDM, Clean technology.

**CONTENT:**

The implementation of an improved oven is based on a new technology that increases the energetic efficiency and reduces the greenhouse gases emissions would allow the panela industry, to have a stable production that generates more incomes and less environmental damage. Nowadays, new technologies have been developed in the Tolima department, to increase the efficiency of the panela oven up to almost 50%, but most of the producers do not count with enough resources to access them. In this work investigation, it is presented a cost-benefit analysis wich would help establishing whether is possible carbon credits sales that cover the restoration and improvement of the panela oven and promote a Clean Development Mechanism project (CDM).

This work was based on the study "proyecto sobre el desarrollo de modelos demostrativos de hornillas paneleras para cinco regiones del país (2011)" developed in the Tolima department, by the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.<sup>2</sup>

For developing countries, projects of clean development mechanism is a great opportunity to boost the economy with low economic development sectors, to reduce the environmental impact caused by greenhouse gases in a particular industry, here, the panel industry, which had no major changes at the enterprise level. In this sense, this work makes an important contribution to the country's agricultural sector.

---

<sup>2</sup>B. Sc. Thesis

<sup>22</sup>Physico-chemical engineering faculty. Chemical Engineering school. Director: MsC. Rodrigo Buitrago Tello. Chemical Engineer

## GLOSARIO

**BONOS DE CARBONO:** Son un mecanismo de descontaminación del medioambiente propuesto en el Protocolo de Kioto.

**BENEFICIO:** Término utilizado para designar la ganancia que se obtiene de un proceso o actividad económica.

**CER:** Corresponde a un crédito otorgado por la reducción de emisión (o fijación) de una tonelada de CO<sub>2</sub>.

**COSTO:** Gasto económico que representa la fabricación de un producto o la prestación de un servicio.

**CREDITO:** Es una manifestación en especie o en dinero donde una persona física o jurídica se compromete a devolver la cantidad solicitada en el tiempo o plazo definido según las condiciones establecidas para dicho préstamo más los intereses devengados.

**DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>):** Es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra).

**EFICIENCIA ENERGÉTICA:** Es el consumo inteligente de la energía.

**EMISIONES:** Son todos los fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o

sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana o natural (por ejemplo: las plantas emitan CO<sub>2</sub>).

**GEI:** Gases de efecto invernadero.

**HORNILLAS PANELERAS:** Horno usado en la elaboración de la panela.

**MDL:** Mecanismo de Desarrollo Limpio o Mecanismo para un Desarrollo Limpio.

**LÍNEA BASE:** Son las emisiones que se producirían en ausencia del proyecto MDL.

**RENTABILIDAD:** Capacidad que tiene algo para generar suficiente utilidad o beneficio.

**TRAPICHE:** Molino utilizado a fin de extraer el jugo de determinados frutos de la tierra, como la aceituna o la caña de azúcar.

**VIABILIDAD:** Se evalúa ante un determinado requerimiento o idea para determinar si es posible llevarlo a cabo satisfactoriamente y en condiciones de seguridad con la tecnología disponible.

## INTRODUCCIÓN

La presente monografía se desarrolla con el fin de dar una alternativa de solución a la problemática que enfrenta la industria panelera en el departamento del Tolima, la cual ha presentado un leve desarrollo a través del tiempo por la baja eficiencia que presentan las hornillas paneleras y el bajo presupuesto de los productores para la implementación. Este hecho es causado por diversos factores como una inadecuada operación, pailas evaporadoras con baja transferencia de calor, combustiones incompletas, etc. Lo expuesto anteriormente tiene impactos negativos de carácter económico y sobretodo ambiental, porque es alto el consumo de llantas y biomasa utilizada como combustible y por ende una alta generación de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono, monóxido de carbono y gases de azufre y nitrógeno.

Es por esto que se hace un Análisis del potencial de la industria panelera del departamento del Tolima para el desarrollo de proyectos MDL, basados en el aumento de la eficiencia energética a partir de hornillas mejoradas, permitiendo conocer las toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub> que se emiten antes de la implementación de las hornillas mejoradas y después de estas. Así mismo, realizar un análisis costo-beneficio que permita conocer a grosso modo, la viabilidad que tiene la implementación de las hornillas mejoradas en el proceso de la elaboración de panela en el departamento del Tolima.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. LOCALIZACIÓN GENERAL**

Tolima es un departamento de la República de Colombia, situado en la región Andina, en el centro-occidente del país, localizado entre los 02°52'59" y 05°19'59" latitud norte, y los 74°24'18" y 76°06'23" longitud oeste. Cuenta con una superficie de 23.582 Km<sup>2</sup> lo que representa el 2.1% del territorio nacional. Limita por el norte y el oriente con el departamento de Caldas; por el oriente con el departamento de Cundinamarca; por el sur con los departamentos del Huila y Cauca, y por el occidente con los departamentos de Valle del Cauca, Quindío y Risaralda.

### **1.2. LA INDUSTRIA PANELERA EN EL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA**

Según cálculos de la Federación Nacional de Paneleros – Fedepanela, existen en el país alrededor de 23.000 trapiches<sup>3</sup>, con capacidad de proceso entre 50 y 300 kg/hora de panela, diferencia dada por condiciones geográficas y de minifundio o de mediana explotación, lo que a su vez influye en el tipo de tecnología empleada. En el 2005 se produjeron en el Tolima 80.684 toneladas de panela, lo que representa el 5 % de la producción nacional<sup>4</sup>. Como se carece de información precisa acerca de las unidades productoras existentes en el departamento, según la producción anual, se estima que funcionan unos 1200 trapiches con producciones entre 70 Kg/h y 100 Kg/h, teniendo en cuenta que cerca del 83% de las unidades productoras se sitúan en el rango de “pequeñas” (capacidad

---

<sup>3</sup> El sector panelero colombiano. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. Bogotá. 2006.

<sup>4</sup> Castellanos, Oscar Fernando. Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de la panela y su agroindustria en Colombia. Grupo de investigación y desarrollo en gestión, productividad y competitividad BioGestión. UNAL. Bogotá D.C. 2010.

instalada menor a 100 Kg / hora), 15% en el rango de “medianas” (capacidad instalada menor a 150 a 250 Kg / hora) y tan solo 2% se clasifican como unidades productoras “grandes” (capacidad instalada superior a 250 Kg/ hora)<sup>5</sup>.

Los municipios con la actividad panelera más importante en el departamento son San Sebastián de Mariquita y Palocabildo, en los cuales se ha desarrollado gran parte del trabajo investigativo. La producción de las hornillas de esta región del país varía entre 80 Kg/h y 100 Kg/h de panela. Las eficiencias globales de estas hornillas varían entre 20 % y 30 %, un valor que no es favorable.

En esta región los trapiches se caracterizan por ser un negocio familiar determinado por el área sembrada de caña perteneciente a cada núcleo en particular. Este parámetro define el modelo administrativo lo que obliga a trabajar sólo una molienda por semana, subutilizando la hornilla de manera considerable

### **1.2.1. Tipo de Hornillas Paneleras en el Tolima.**

El horno usado en la elaboración de la panela, generalmente llamado hornilla panelera, es el implemento del trapiche encargado de transformar la energía del bagazo o demás combustibles que se empleen, en energía calórica, para evaporar el agua contenida en los jugos extraídos de la caña, hasta lograr el producto final, la panela.<sup>6</sup>

En la

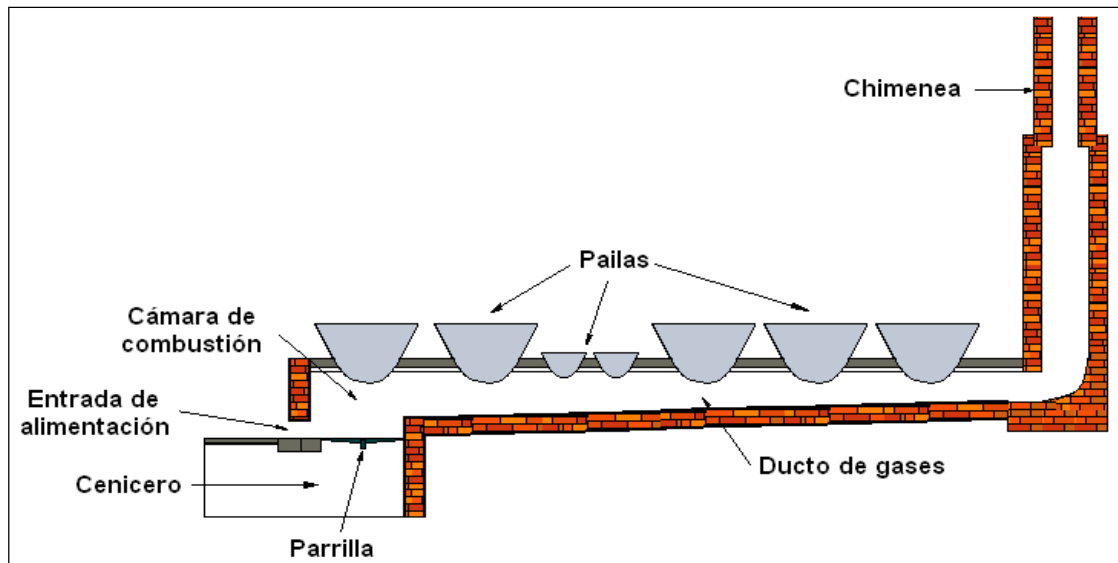
---

<sup>5</sup> Comunicación FDP – 413-2005 Fedepanela.

<sup>6</sup> GORDILLO Gerardo y GARCÍA Hugo, Manual para el diseño y operación de hornillas paneleras. Convenio de investigación y divulgación para el mejoramiento de la industria panelera ICA–Holanda CIMPA, Barbosa, 1992.

**Figura No. 1** se observa el modelo típico de la hornilla que se encuentra en el departamento del Tolima. Esta es comúnmente llamada de tipo *tradicional* y está compuesta por:

**Figura No. 1** Modelo de hornilla tradicional del Tolima



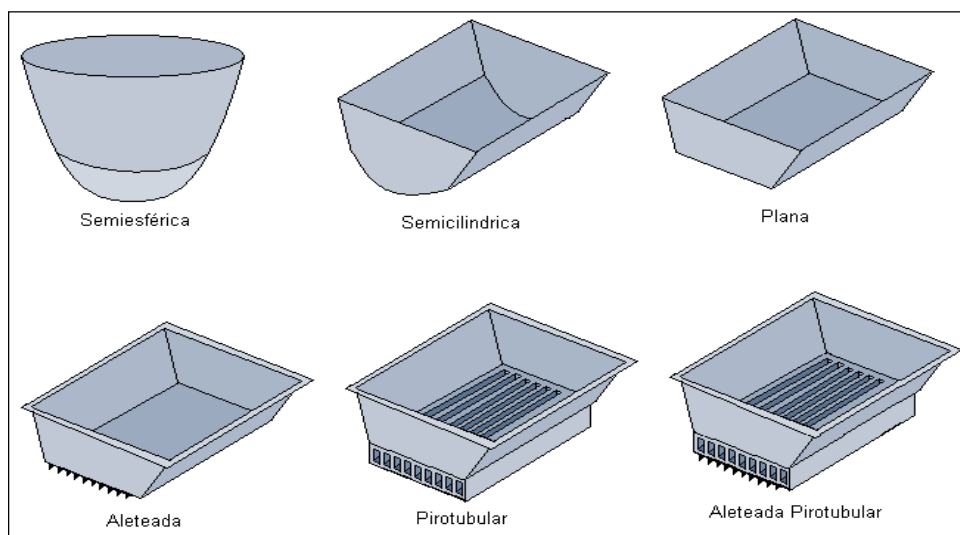
Fuente: CORPOICA

**La cámara de combustión:** es un espacio confinado que se encuentra ubicado en la parte baja de la hornilla. Allí se lleva a cabo el proceso de ignición entre el combustible y el oxígeno. Está compuesta de una entrada para la alimentación del combustible, una parrilla y un cenicero.

**Las pailas:** son intercambiadores de calor, a través de las cuales se realiza la transferencia de energía por medio de la superficie metálica, entre los gases de combustión y los jugos ó mieles, para llevar a cabo las etapas de recepción, clarificación, evaporación y concentración, del proceso de elaboración de la panela. El tamaño, la forma y el material de fabricación de las pailas, puede variar según las necesidades propias de cada trapiche y el desarrollo tecnológico. Se fabrican generalmente en cobre, aluminio, hierro ó acero inoxidable. Los tipos de

pailas pueden ser: semiesférica, semicilíndrica, plana, aleteada, pirotubular y aleteada–pirotubular (Ver **Figura No. 2**). Las tres últimas fueron desarrolladas por Corpoica con el fin de aumentar el área de transferencia de calor de la paila, y así aprovechar mejor la energía generada por la combustión.

**Figura No. 2** Tipos de pailas



**Fuente:** CORPOICA

**El ducto de gases:** está compuesto de paredes, muros de soporte, pisos, arcos y pailas. Su función es guiar los gases de combustión, para que transfieran calor a los jugos y mieles a través de las pailas, mediante procesos conocidos como conducción, convección y radiación. Para disminuir las pérdidas de energía a través del piso y las paredes, el ducto se aísla térmicamente, utilizando doble pared y doble piso; entre las dos paredes, se deja una cámara de aire estanco o en su defecto, en el mejor de los casos, se rellena esta cámara con cascarilla de arroz.

**La chimenea:** es un conducto vertical ubicado al final de la hornilla y que se empalma con el ducto de gases; puede estar construido en ladrillo o en lámina de hierro. Su forma puede ser cilíndrica, trapezoidal o cónica. Sus dimensiones

dependen de su forma y del tamaño de la hornilla. Su función es la de producir la succión de aire necesaria para quemar el combustible y generar el tiro requerido (una diferencia de presión o densidad, entre el aire atmosférico y los gases de combustión dentro de la hornilla). El tiro, es tanto más intenso cuanto más alta sea la chimenea, aunque depende de la resistencia que ofrece el ducto de los gases y de las características constructivas de la propia chimenea; puede ser regulado por medio de una válvula tipo mariposa ubicada en la base. La chimenea también cumple con la función de evacuar los gases hacia la atmósfera.

## **1.2.2. Parámetros evaluar en una Hornilla Panelera**

### **1.2.2.1. Capacidad de producción**

La Capacidad de Producción es el máximo nivel de producción que puede alcanzarse con las condiciones de operación actuales y se mide en Kg/h de panela producida.

### **1.2.2.2. Combustión en las hornillas**

La energía utilizada en las hornillas proviene generalmente de la combustión del bagazo que se genera por la extracción del jugo de la caña, aunque en ciertos casos, se ha visto el empleo de leña, caucho y carbón, entre otros. Para los materiales sólidos, el poder calorífico es función de la composición química elemental y del contenido de humedad. Para el bagazo, el poder calorífico neto está definido como:

$$PCN=17.850 - 20.350 \times \frac{H_c}{100} - 20.350(\% \epsilon)$$

Donde,

PCN: Poder calorífico neto del bagazo (kJ/kg)

H<sub>C</sub>: Humedad del bagazo a la entrada de la cámara (%)

%ε: Porcentaje de cenizas (%)

La composición química elemental del bagazo seco, en promedio, se muestra en la **Tabla No. 1**.<sup>7</sup>

**Tabla No. 1** Composición elemental del bagazo

Elemento	(%)
Carbono	47,0
Oxígeno	44,0
Hidrógeno	6,5
Cenizas	2,5

Fuente: Hugot. 1982

A medida que el porcentaje de humedad aumenta, el valor calorífico neto del bagazo disminuye. Por lo anterior, el bagazo antes de ser utilizado tiene un proceso de secado hasta alcanzar un valor cercano al 30% de humedad (según el tipo de cámara de disponga la hornilla). La energía producida en la combustión se afecta por el contenido de humedad en el combustible, pues la presencia de agua origina considerable pérdida de calor, la cual se utiliza para su evaporación.

El oxígeno para la combustión proviene del aire. La cantidad mínima de aire para que la combustión del bagazo se lleve a cabo de forma completa es:

$$A_{\min} = 4,31 \times (2,667C + 8H - O)$$

Donde,

A<sub>min</sub>: Aire mínimo para la combustión (kg de aire)

---

<sup>7</sup> HUGOT E., Manual para ingenieros azucareros, Cia. Editorial Continental, S.A.; México, 1982.

C: masa de carbono en el bagazo (kg de C)

H: masa de hidrógeno en el bagazo (kg de H)

O: masa de oxígeno en el bagazo (kg de O)

Durante una combustión real no se puede quemar completamente todo el combustible empleando la cantidad de aire mínima y necesaria, ya que es imposible que cada partícula de combustible esté rodeada del oxígeno necesario que requiere su combustión total, pues en un horno, por ejemplo, existirían lugares con exceso y otros con defecto de aire. Por tanto, es necesario suministrar una mayor cantidad de aire para lograr una mejor combustión. El exceso de aire se define como:

$$\lambda = \frac{A_{\text{entra}}}{A_{\text{min}}}$$

Donde,

$\lambda$ : Exceso de aire

$A_{\text{entra}}$ : Aire suministrado para la combustión (kg de aire)

No obstante, mientras mayor sea el aire en exceso, mayor será la pérdida de combustible y menor la eficiencia del horno, puesto que los gases de combustión se desplazarán rápidamente por el ducto, evitando que el calor generado se aproveche satisfactoriamente. Si se usa una cantidad insuficiente de aire, el carbono no se quemará completamente hasta dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), sino que se formará una cierta cantidad de monóxido de carbono (CO). El criterio a seguir es lograr el porcentaje más alto de  $\text{CO}_2$  en los gases de combustión evitando la formación de CO. Las mejores condiciones para la combustión del bagazo en las

hornillas se dan cuando el exceso de aire se encuentra entre el 40 y el 60% del aire teórico.<sup>8,9</sup>

### 1.2.2.3. Eficiencia térmica de las hornillas

La eficiencia térmica es la relación que existe entre el calor suministrado por la combustión del bagazo y el calor aprovechado para calentar y concentrar los jugos durante todo el proceso. Esta energía se calcula teniendo en cuenta el calor sensible y latente, en cada una de las etapas (precalentamiento, clarificación, evaporación y concentración).

El calor sensible (cuando hay cambio de temperatura), se calcula de la siguiente forma:

$$Q_s = \frac{m_n C_{p_n} (T_f - T_i)}{3600}$$

$$C_{p_n} = 4,18(1 - 0,006B_n)$$

Donde,

$Q_s$ : calor sensible (kW)

$m_n$ : flujo másico de jugo en la etapa  $n$  (kg/h)

$C_{p_n}$ : calor específico de los jugos en la etapa  $n$  (kJ/kg °C)

$T_f$ : temperatura final (°C)

$T_i$ : temperatura inicial (°C)

$B_n$ : sólidos solubles de los jugos en la etapa  $n$  (°B)

---

<sup>8</sup>BEDAUX., An investigation on the improvement of the evaporation installations as used in the traditional cane sugar industry of Colombia. Barbosa, 1988. Tesis de maestría en ingeniería mecánica. University of technology delf, Department of mechanical engineering.

<sup>9</sup>PERILLA C. Y SIERRA R. Proceso de transferencia de calor para pailas en la industria panelera, Barbosa. 1991. Tesis pregrado ingeniería química. Universidad de América. Facultad de ingeniería química.

El calor sensible se da con mayor frecuencia por el calentamiento de los jugos en la paila recibidora y clarificadora porque en estas se calientan los jugos de la temperatura ambiente hasta el punto de ebullición a la concentración inicial de los jugos (aprox. 18 °Brix).

El calor latente (cuando hay evaporación del agua contenida en los jugos, y por tanto una concentración de los sólidos solubles), se calcula de la siguiente manera:

$$Q_l = \frac{\Delta H_v (m_{H_2O, \text{evap}})}{3600}$$

Donde,

$Q_l$ : calor latente (kW)

$m_{H_2O, \text{evap}}$ : flujo másico de vapor de agua (kg/h)

$\Delta H_v$ : calor latente de evaporación del agua (igual a 2260 kJ/kg)<sup>10</sup>

El calor latente se da en la paila clarificadora, evaporadora, y concentradora. La cantidad de agua evaporada se calcula partiendo de la siguiente relación:

$$m_f = \frac{m_i B_i}{B_f}$$

Donde,

$m_i$ : flujo másico de la etapa  $i$  (kg/h)

$m_f$ : flujo másico de la etapa  $f$  (kg/h)

$B_i$ : contenido de sólidos solubles de la etapa  $i$  (°B)

$B_f$ : contenido de sólidos solubles de la etapa  $f$  (°B)

---

<sup>10</sup> KOSHKIN Shirkévich. Manual de Física elemental, Edt. Mir, 1975 p. 74–75.

Conociendo el flujo másico de la etapa  $i$ , y el contenido de sólidos solubles de las etapas  $i$  y  $f$ , es posible determinar el flujo másico de la etapa  $f$ . Así, la cantidad de agua evaporada, es la diferencia de los flujos másicos de las dos etapas:

$$m_{\text{H}_2\text{O, evap}} = m_f - m_i$$

El contenido de agua en una etapa se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Agua}_{\text{contenida}} = m \times \left( 1 - \frac{B}{100} \right)$$

El calor aprovechado en el proceso de elaboración de panela, está dado por la suma de los calores en cada una de las etapas:

$$Q_{\text{apr}} = Q_{\text{rec}} + Q_{\text{clr}} + Q_{\text{evp}} + Q_{\text{con}} + Q_{\text{mel}}$$

Donde,

$Q_{\text{apr}}$ : calor aprovechado en el proceso (kW)

$Q_{\text{rec}}$ : calor aprovechado en la etapa de recepción de jugos (kW)

$Q_{\text{clr}}$ : calor aprovechado en la etapa de clarificación (kW)

$Q_{\text{evp}}$ : calor aprovechado en la etapa de evaporación (kW)

$Q_{\text{mel}}$ : calor aprovechado en la melotera (kW)

El calor generado por el bagazo suministrado a la cámara, está dado por la siguiente relación:

$$Q_{\text{sum}} = \frac{\text{Bagazo}_{\text{suministrado}} \times \text{PCN}}{3600}$$

La eficiencia térmica global, es la relación que hay entre el calor aprovechado para la producción de panela y el calor suministrado por el bagazo6:

$$Eft = \frac{Q_{apr}}{Q_{sum}} \times 100\%$$

La eficiencia térmica determina la cantidad de energía aprovechada en el proceso, y su autosuficiencia energética, es decir, si el bagazo producido en el molino (a la humedad de suministro en la hornilla), es mayor, menor o igual a la cantidad de bagazo suministrado a la hornilla.

La cantidad de bagazo producido en el molino es:

$$m_{BV} = m_c \times (1 - EM)$$

Donde:

$m_c$ : masa de caña que ingresa al molino (kg/h de caña)

EM: extracción del molino (kg de jugo/100kg de caña)

El peso del bagazo producido en el molino disminuye por el efecto del secado en la bagacera, hasta la humedad de suministro en la hornilla; la cantidad de bagazo producido a dicha humedad es:

$$m_{BS} = m_{BV} \times \frac{(100 - H_{BV})}{(100 - H_{BS})}$$

Donde,

$H_{BV}$ : humedad del bagazo a la salida del molino (%)

$H_{BS}$ : humedad del bagazo suministrado en la hornilla (%)

$m_{BS}$ : masa de bagazo a la humedad de suministro en la hornilla (kg/h de bagazo)

La masa de bagazo requerida por la hornilla debe ser menor o igual a la del bagazo producido para que ésta sea autosuficiente:

$$m_B = \frac{Q_{sum}}{VCN} \times 3600$$

Donde,

$$m_{BS} \geq m_B$$

### **1.3. CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

El Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), se estableció en el año 1992 durante la Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible en Río de Janeiro, y ha sido firmada por 189 países decididos a hacer frente al problema del cambio climático, mediante el control de las emisiones de gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera.

La CMNUCC divide a los países en dos grupos: las Partes Anexo I, que son los países industrializados que históricamente han contribuido mayormente al cambio climático, y las Partes No Anexo I, que son principalmente los países en desarrollo.

**1.3.1. El Cambio Climático** El clima en la Tierra está condicionado por un continuo flujo de energía que proviene desde el Sol. Esta energía llega en forma de radiación, y alrededor del 30% de ella es inmediatamente reflejada por la superficie terrestre y la atmósfera, y el 70% restante pasa a través de la atmósfera y es absorbida por la superficie terrestre, calentándola y entibiando la atmósfera inferior. Esta energía es redistribuida por las circulaciones atmosféricas y oceánicas, y es irradiada nuevamente al espacio.

Para la media anual y para la Tierra en su conjunto, la energía de la radiación solar que ingresa se equilibra con la radiación terrestre saliente. Cualquier factor que altere la radiación recibida del Sol o la radiación liberada al espacio por la Tierra, o que altere la redistribución de energía dentro de la atmósfera y entre la atmósfera, tierra y océano, puede afectar el clima.

El clima global varía naturalmente, pero los científicos concuerdan en que las crecientes concentraciones de emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera de la Tierra están conduciendo a un cambio climático, que es considerado como una de las amenazas más serias para el medio ambiente global; según se prevé, tendrá un impacto negativo sobre la salud de los seres humanos, su seguridad alimentaria, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales y de infraestructura física.

**1.3.2. Efecto Invernadero.** Mientras que la atmósfera es relativamente transparente a la radiación solar, pequeñas cantidades de gases que constituyen menos del 1% de la atmósfera - conocidos como Gases de Efecto Invernadero GEI absorben la radiación infrarroja emitida por la Tierra, actuando como un manto que impide el escape directo de esta radiación hacia el espacio, provocando entre otros efectos, un incremento del calentamiento de la superficie terrestre. A su vez, procesos climáticos de acción recíproca (como la radiación, las corrientes de aire, la evaporación, formación de nubes y tormentas) transportan finalmente dicha energía hacia altas esferas de la atmósfera y de ahí se libera al espacio.

Este es el denominado Efecto Invernadero, el cual ha operado en la atmósfera de la Tierra por millones de años, debido a la presencia de los GEI naturales: el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el

ozono (O<sub>3</sub>). Si no existiesen estos gases, la temperatura promedio de la Tierra sería 30°C más baja que en la actualidad, haciendo la vida imposible en ella.

Debido a la actividad humana, en los últimos 200 años ha aumentado significativamente la emisión de los GEI naturales, además de que el hombre ha producido compuestos no naturales, como son los gases fluorados (CFC, HFC, CF, PFC, SF<sub>6</sub>), los cuales tienen un mayor potencial de calentamiento global.

**1.3.3. El Protocolo de Kioto.** El Protocolo de Kioto (PK) es un instrumento legal vinculante adoptado por la CMNUCC por el cual se establecen metas para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que son obligatorias para los países Anexo I. Estas metas de reducción se han establecido para un primer período que va desde el año 2008 al 2012. Los países No Anexo I no tienen obligaciones de reducción de emisiones.

El Protocolo de Kioto establece tres (3) mecanismos bajo los cuales los países del anexo I, pueden alcanzar sus compromisos de reducción de emisiones de GEI, en el periodo de tiempo establecido:

- El comercio de emisiones
- La implementación conjunta
- El mecanismo de desarrollo limpio

Los dos primeros aplican solo entre los países Anexo I y solo el tercer mecanismo permite realizar las transacciones entre los países del Anexo I y los países no Anexo I

#### **1.4. EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)**

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) es un instrumento innovador basado en el mercado de reducción de emisiones que puede ser aplicado en sectores como el industrial, energético, forestal, de residuos y de transporte en el ámbito nacional, que generen emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)<sup>11</sup>.

El Mecanismo de Desarrollo Limpio permite a los países industrializados (que se han comprometido a reducir su emisión de gases efecto invernadero) a implementar proyectos que reduzcan las emisiones de gases en los territorios de los países en desarrollo. Las reducciones Certificadas de las Emisiones (CERs) - generadas por tales proyectos pueden ser utilizadas por los países industrializados para cumplir con su cuota de reducción de emisiones, y al mismo tiempo los proyectos ayudan a los países en desarrollo a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al cumplimiento del objetivo principal de la Convención.

#### **1.4.1. Objetivos del MDL.**

Los objetivos de un proyecto MDL se pueden reducir en:

- Ayudar a las partes del Anexo 1 a cumplir con sus compromisos de mitigación (reducción de emisiones de GEI).
- Ayudar a los países en desarrollo (Partes no Anexo 1) a generar un desarrollo sostenible.
- Contribuir al objetivo último de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) que es lograr un impacto real sobre el cambio climático global.

**1.4.2. Beneficios para las Poblaciones.** La existencia de beneficios sociales, económicos y ambientales en un proyecto MDL no solo proporciona evidencia que

---

<sup>11</sup><http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=1265&conID=7715>.

el proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país, que es un requisito del MDL, sino que también es un factor de permanencia (por ejemplo, este asegura que el carbono absorbido o la reducción de emisiones logrado por el proyecto tiene mayor probabilidad de mantenerse a largo plazo).

**1.4.3. Tipos de Proyectos MDL.** Hay varias categorías de proyectos MDL dependiendo en los tipos, escala y el esquema a ser aplicado. Los desarrolladores de proyecto deben seleccionar las metodologías apropiadas, modalidad y procedimientos, el formato del PDD etc. son determinados de acuerdo a la categoría del proyecto.

#### **1.4.3.1. Proyectos de reducción de emisión vs proyectos sumidero**

Las actividades de proyectos MDL pueden ser categorizadas en “proyecto de reducción de emisión” y “proyecto sumidero”. Los proyectos de reducción de emisión son para reducir la emisión de GHG en todas las fuentes tales como instalaciones de generación de energía con combustible fósil, vertederos y sistemas de tratamiento de agua residual. Mientras tanto, los proyectos de sumideros son para absorber carbono mediante las actividades de deforestación y reforestación.

**1.4.4. Escala de Proyecto.** Los proyectos MDL pueden ser clasificados en “proyecto de gran escala” y “proyecto de pequeña escala” dependiendo de la escala de los proyectos. Los proyectos de pequeña escala son los que pueden ser aplicados las modalidades y procedimientos simplificados.

Hay dos tipos de metodologías, metodologías de Pequeña Escala y metodologías de Gran Escala (escala máxima). Los desarrolladores de proyectos deben

seleccionar la metodología a aplicar basada sobre las condiciones de aplicabilidad incluyendo la escala del proyecto.

#### **1.4.4.1. Proyectos Pequeña Escala (SSC)**

Para los proyectos se define a continuación, las modalidades y procedimientos simplificados pueden ser aplicados:

- Tipo I: Actividades de proyecto de energía renovable con una capacidad de producción máxima equivalente a un máximo de 15 MW (o un equivalente apropiado);
- Tipo II: Actividades de proyecto de mejora de la eficiencia energética que reducen en consumo de energía, en el suministro/o lado de la demanda limitada a aquellas con un máximo de producción de 60 GWh por año (o un equivalente apropiado);
- Tipo III: Otras actividades de proyecto limitada a aquellas que resulten en reducción de emisiones de menos o igual a 60.000 Ton CO2 equivalente anualmente

El Total de proyectos agrupados deben regirse por estos límites:

- 15MW equivalente para generación de energía
- 45MW equivalente uso térmico
- 60,000tCER/año para otros proyectos

#### **1.4.4.2. Reglas simplificadas para proyecto SSC**

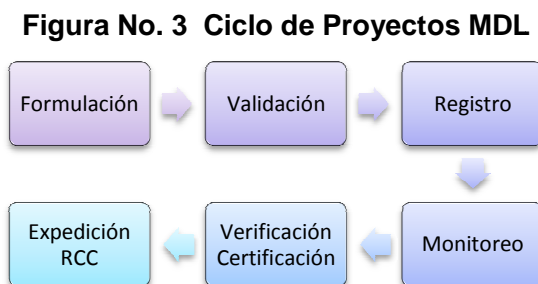
Desde el punto de vista de la promoción del desarrollo sostenible en países en desarrollo, el beneficio potencial de los proyectos de pequeña escala tales como proyectos de energía renovable incluyendo proyectos de generación de energía por desechos es insignificante. Basado en esto, los proyectos de pequeña escala pueden ser considerados como proyectos muy beneficiosos para comunidades locales en los países en desarrollo. Por tanto, con el fin de fomentar proyectos de pequeña escala, las modalidades y procedimientos son simplificados.

El principal punto simplificado y diferente de los proyectos MDL normal son los siguientes:

- Agrupamiento de actividades de proyecto, las cuales pueden ahorrar mucho trabajo en el ciclo de proyecto tal como: Preparación de PDD, validación, registro, monitoreo, verificación y certificación aun si la escala total excede el límite de elegibilidad de los proyectos de pequeña escala por agrupamiento, estos proyectos son elegibles para proyectos de pequeña escala).
- Reducción de los requisitos para el PDD; Introducción de metodologías de línea de base simples por categoría de proyecto y planes de monitoreo para reducir el desarrollo y costo de monitoreo.
- La misma entidad operacional puede llevar a cabo la validación, y verificación y certificación.
- La reducción de los costos relacionados al registro (compartir beneficios para cubrir los gastos administrativos y cuota de registro).
- Reducción de periodo después de la fecha de recibo de la solicitud para registro (8 semanas → 4 semanas), a menos que haya una solicitud para revisar la actividad del proyecto MDL propuesta.

## 1.5. CICLOS DE PROYECTOS MDL<sup>12</sup>.

Un proyecto MDL se desarrolla a partir varias etapas o ciclos que se pueden observar en la **Figura No. 3**.



**Fuente:** [www.minambiente.gov.co/contenido/categoria.aspx?catID=828](http://www.minambiente.gov.co/contenido/categoria.aspx?catID=828)

**1.5.1. Formulación.** La formulación de un proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio debe cumplir con los requisitos establecidos por las instancias internacionales y por la Autoridad Nacional Designada del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Las instancias internacionales se refieren a la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en calidad de reunión de las Partes del Protocolo de Kioto) y a la Junta Ejecutiva del MDL. Para efectos del trámite del proyecto, el responsable o promotor debe diligenciar el formato oficial de proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio o documento de proyecto (Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático, 2002 a) 3. Los elementos fundamentales que debe contener la formulación del proyecto son los siguientes:

Descripción general del proyecto. El promotor del proyecto debe proveer información básica sobre el mismo: determinación de las actividades a ser

---

<sup>12</sup><http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

desarrolladas, descripción de la tecnología a ser empleada, participantes, localización y explicación de la manera como el proyecto reduce o captura emisiones de gases de efecto invernadero.

**1.5.2. Elaboración y cálculo de la línea base.** La línea base constituye el escenario hipotético más probable, que representa lo que hubiera ocurrido si el proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio no se llevara a cabo. En términos generales, establece el nivel de emisiones y captura de gases de efecto invernadero que tendría lugar si no se ejecutan las actividades propuestas por el proyecto. La línea base debe construirse de manera específica para cada proyecto, siguiendo alguna de las metodologías aprobadas por la Junta Ejecutiva del MDL (Secretaría de la Convención sobre el Cambio Climático, 2002).

**1.5.3. Selección del período de acreditación.** Los proyectos del MDL deben elegir la duración del periodo de tiempo durante el cual solicitarán la certificación de las reducciones o capturas de gases de efecto invernadero. Para los proyectos de reducción de misiones por fuentes, los promotores deben elegir entre un periodo de hasta diez años, o un periodo de hasta siete años, renovable en dos oportunidades. En el caso de los proyectos forestales, es posible elegir entre un periodo de hasta 30 años, o un periodo de 20 años que puede ser renovado hasta en dos ocasiones.

**1.5.4. Elaboración del plan de monitoreo.** El responsable del proyecto debe definir un plan de monitoreo que permita la estimación o medición de las emisiones de gases de efecto invernadero atribuibles al proyecto, así como la recopilación de la información necesaria para determinar la línea base.

El plan debe diseñarse siguiendo alguna de las metodologías aprobadas por la Junta Ejecutiva del MDL y ejecutarse de conformidad durante todo el periodo de acreditación.

**1.5.5. Validación.** El propósito de esta etapa es establecer su conformidad con los requisitos y procedimientos del Mecanismo de Desarrollo Limpio. La validación por la Entidad Operacional Designada consiste en la revisión de los elementos de la formulación del proyecto, tal como se presentan en el documento del proyecto. Entre estos elementos se encuentran la construcción de la línea base, el diseño del plan de monitoreo, el trámite a los comentarios de los interesados y el análisis de los impactos ambientales. Igualmente, la Entidad Operacional Designada constará que el proyecto ha sido aprobado por la Autoridad Nacional Designada y confirmará el carácter adicional de las actividades del proyecto, es decir que las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero son superiores a las que tendrían lugar de no llevarse a cabo el proyecto.

**1.5.6. Registro.** El registro constituye la aceptación oficial del proyecto por la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio.

El reporte de validación debe contener el documento del proyecto, la explicación del trámite dado a los comentarios de los interesados durante el periodo de consulta al que tuvo que someterse el proyecto y las cartas de las Autoridades Nacionales Designadas de cada uno de los países participantes, manifestando la participación voluntaria en el proyecto y confirmando la contribución al desarrollo sostenible del país en donde se desarrollarán las actividades del proyecto. El registro se considera definitivo, de no existir objeción de alguna de las Partes participantes en el proyecto o de al menos tres de los diez miembros de la Junta Ejecutiva.

**1.5.7. Monitoreo.** El monitoreo o vigilancia consiste en la puesta en marcha del plan de seguimiento propuesto en el documento de proyecto. Durante el periodo de acreditación, el responsable del proyecto debe obtener y registrar permanentemente la información pertinente para determinar las reducciones de gases de efecto invernadero que el proyecto da a lugar durante su ejecución. Como se dijo anteriormente, el plan debe proveer los procedimientos para recopilar los datos que permitan determinar la línea base y estimar o medir las emisiones de las fuentes correspondientes al proyecto y de aquellas fuera de su frontera, pero que sean afectadas por el mismo (fugas). La ejecución del plan de monitoreo debe registrar y documentar la información mencionada y aplicar las medidas relevantes para asegurar la calidad del procedimiento.

**1.5.8. Verificación.** La verificación consiste en la revisión de los cálculos y procedimientos realizados por el responsable del proyecto durante el monitoreo para cuantificar las reducciones de gases de efecto invernadero. dicha revisión o verificación es realizada por una entidad operacional que puede o no ser la misma que efectuó con anterioridad la validación del proyecto. la entidad operacional comprueba que el procedimiento seguido por el responsable del proyecto se ajusta a lo establecido en el protocolo de monitoreo consignado en el documento del proyecto. Durante el proceso de verificación corrobora la información suministrada efectuando las inspecciones pertinentes y acudiendo a fuentes adicionales.

Con base en los resultados de la verificación, la entidad operacional designada elabora un informe de verificación que remite a la junta ejecutiva del mecanismo de desarrollo limpio, a las partes interesadas y a los participantes del proyecto. Finalmente, procede a expedir una certificación de las reducciones o capturas de

gases de efecto invernadero resultantes de la ejecución de las actividades del proyecto.

**1.5.9. Expedición de las reducciones certificadas de las emisiones.** La entidad operacional remite el informe de certificación de las reducciones y capturas de gases de efecto invernadero a la Junta Ejecutiva, para que ésta proceda a expedir el Certificado de Reducción de Emisiones (CER)<sup>13</sup>. La expedición de los CER se hará efectiva si no existe objeción de alguna de las Partes participantes en el proyecto o de al menos tres miembros de la Junta Ejecutiva. Dichas CER constituyen el bien final que puede ser negociado por el responsable del proyecto con el fin de obtener recursos financieros adicionales.

## **1.6. BONOS DE CARBONO**

Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kioto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero).

El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la contaminación generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a contaminar como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado. La transacción de los bonos de carbono, un bono de carbono representa el derecho a contaminar emitiendo una tonelada de dióxido de carbono permite mitigar la generación de

---

<sup>13</sup><http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=1266&conID=7716&pagID=908>  
9

gases contaminantes, beneficiando a las empresas que no contaminan o disminuyen la contaminación y haciendo pagar a las que contaminan más de lo permitido.

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER). Un CER equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países Anexo I (industrializados, de acuerdo a la nomenclatura del protocolo de Kioto).

En Colombia la autoridad nacional que se designa para la aprobación de los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio en Mayo 2002 es el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, a través de la Oficina Colombiana para la Mitigación de Cambio Climático, quién es la encargada de desarrollar líneas de acción que promuevan la ejecución de actividades de mitigación, el lanzamiento de esta oficina se hace el lanzamiento en agosto del 2002, mediante proyectos de reducción y captura de gases de efecto invernadero de alta calidad.

## 1.7. PROYECTOS MDL EN COLOMBIA<sup>14</sup>

En las **Tabla No. 2** a la **Tabla No. 4** se encuentran resumidos los proyectos que se encuentran en proceso de acreditación y en proceso de validación.

**Tabla No. 2.** Proyectos de Mecanismo de desarrollo limpio en Colombia

INFORMACIÓN GENERAL SOBRE MDL EN COLOMBIA	
Total proyectos MDL portafolio Nacional	154

---

<sup>14</sup><http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

INFORMACIÓN GENERAL SOBRE MDL EN COLOMBIA	
Potencial Anual de Reducción de Emisiones de Gases efecto de Invernadero (TonCO2e/año)	20.935.440
Proyectos con Aprobación Nacional	66
Proyectos Registrados ante Naciones Unidas	29
Proyectos con CERs emitidos	10
Ingresos por venta de CERs en Colombia de 2007 a 2010 (Mlls dólares)	91.230.000

**Fuente:** <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

**Tabla No. 3** Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio - Participación Sector

SECTOR	NUMERO DE PROYECTOS
Energía	26.62%
Forestal	11.04%
Industrial	39.61%
Residuos	14.29%
Transporte	8.44%
Total	100

**Fuente:** <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

De estos 154 proyectos, 66 cuentan con Aprobación Nacional, 29 proyectos se encuentran registrados ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático CMNUCC y 10 proyectos con Certificado de Reducción de Emisiones CERs.<sup>15</sup>

**Tabla No. 4** Portafolio de proyectos de mecanismo de desarrollo limpio

---

<sup>15</sup><http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

SECTOR	NÚMERO DE PROYECTOS	POTENCIAL ANUAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES GEI ( TONCO <sub>2</sub> E/AÑO)
Energía	17	655.854
Forestal	4	482.140
Industrial	21	1.969.658
Residuos	18	2.173.004
Transporte	6	617.131
Total	66	5.897.787

Fuente: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como Autoridad Ambiental designada cuenta con:

- 66 proyectos con aprobación nacional
- Estimado de reducción y/o captura de 5.897.787 ton CO<sub>2</sub> al año.

En la **Tabla No. 5** se observan los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL registrados ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático - CMNUCC, a partir del año 2006. <sup>16</sup>

**Tabla No. 5** Proyectos de mecanismo de desarrollo limpio MDL registrados ante la CMNUCC

SECTOR	NUMERO DE PROYECTOS	POTENCIAL ANUAL DE REDUCCIÓN DE EMISIONES GEI ( TONCO <sub>2</sub> E/AÑO)
Energía	7	186.954
Forestal	2	277.918
Industrial	8	1.467.762
Residuos	10	1.1.526.766
Transporte	2	263.517
Total	29	5.897.787

Fuente: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

El ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible cuenta con:

<sup>16</sup><http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

- 29 proyectos MDL registrados ante la CMNUCC.
- potencial estimado de reducción de 3.722.917 ton CO<sub>2</sub>.

### 1.8. PROYECTOS DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO - MDL CON APROBACIÓN NACIONAL A PARTIR DEL AÑO 2002.

Durante el primer semestre y parte del segundo semestre del 2011, el Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible, como Autoridad Nacional Designada ha otorgado la Aprobación Nacional para 15 proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio. Contando así, con un total de 62 proyectos con Aprobación Nacional por parte del Ministerio.

**Tabla No. 6** Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL con Aprobación Nacional a partir del año 2002

AÑO	NÚMERO DE PROYECTOS
2002	1
2004	3
2006	1
2007	12
2008	16
2009	13
2010	17
2011	3

**Fuente:** <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

**Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL con certificado reducción de Emisiones - CERs. Emitidos por los sectores colombianos.**<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup><http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

Actualmente, se han emitido Certificado de Reducción de Emisiones (CERs) por parte de las Naciones Unidas para 9 proyectos de Mecanismos de Desarrollo.

**Tabla No. 7** Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio MDL con certificado de Reducción de Emisiones CERs

SECTOR	NÚMERO DE PROYECTOS	CERS EMITIDOS (TON/CO2)
Energía	5	395.520
Industrial	2	219.060
Residuos	2	102.247
Transporte	1	277.044
<b>Total</b>	10	993.781

Fuente: : <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

**Tabla No. 8** Proyecto desarrollados en Colombia<sup>18</sup>

PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES MDL	
TÍTULO	CATEGORÍA
Jepirachi Carbon Off-set Project	Energía Renovable
Amoyá River Environment Services Project.	Energía Renovable
Oportunidades de reducción de GEI mediante el cambio de la cadena productiva del sector panelero y su conversión a tecnologías limpias y eficientes en la región de Gualivá, proyecto piloto municipio de Útica. Procesadora de Miele Furatena.	Eficiencia Energética
Transporte Masivo para Bogotá – Transmilenio.	Transporte
Agua Fresca Project and Environmental Services.	Energía Renovable
Triple A de Barranquilla S.A. E.S.P. , aprovechamiento del gas del relleno sanitario El Henequen	Residuos
Valorización del biogás y control de emisiones atmosféricas asociadas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Río Frío.	Residuos
Proyecto sombrilla de reducción de emisiones por sustitución de combustibles en la zona cundiboyacense.	Sustitución de Combustibles
Sistema Integrado de Transporte Masivo de Pasajeros para Santiago de Cali.	Transporte
Proyecto sombrilla de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante generación hidroeléctrica sobre el Río Bogotá.	Energía Renovable

Fuente: <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

<sup>18</sup><http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catID=829&conID=3046>

## **2. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LA INDUSTRIA PANELERA DEL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS MDL, BASADOS EN EL AUMENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA A PARTIR DE HORNILLAS MEJORADAS.**

En el departamento del Tolima la mayoría de las hornillas paneleras están compuestas por un tren de pailas semiesféricas. Como las eficiencias son bajas, los gases de chimenea salen a temperaturas de hasta 700 °C, lo que significa que gran parte de la energía suministrada no es transferida a los jugos de caña. Una forma de aprovechar esta energía es incluyendo en el proceso otro intercambiador de calor al final del ducto donde se puedan llevar a cabo las etapas de precalentamiento y clarificación. El proyecto MDL propuesto para este análisis, consiste básicamente en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en las hornillas paneleras del departamento del Tolima, mediante el aumento de la eficiencia energética a partir de esta metodología.

Según los resultados en campo de una investigación realizada por la Corporación colombiana de investigación agropecuaria<sup>19</sup> (Corpoica), esta mejora en la eficiencia de la hornilla se logra mediante el uso de una paila Piro-tubular ubicada próxima a la chimenea. Este tipo de intercambiador tiene un alto coeficiente global de transferencia de calor (U) y un área de transferencia de calor suficiente para que los gases de la chimenea suministren el calor requerido para llevar a cabo las etapas de precalentamiento y clarificación de los jugos. La energía que se pierde en los gases, ahora es aprovechada mediante este intercambiador. De esta manera, el calor transferido se convierte en un aumento de la eficiencia energética y se traduce en menos biomasa consumida por el horno y por ende, menos emisiones de gases de chimenea, los cuales contienen aproximadamente 15 % de CO<sub>2</sub>. Los datos utilizados para el análisis son tomados de la investigación antes citada.

## **2.1. DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE LA LÍNEA BASE Y LA HORNILLA MEJORADA**

Para desarrollar un proyecto de mecanismo de desarrollo limpio es necesario establecer una línea base con la cual se puedan comparar los resultados<sup>20</sup>. Para este caso, se considera como línea base, la hornilla antes de la modificación, reconversión tecnológica, o la mejora que se le vaya a aplicar. Por otra parte, la hornilla mejorada consiste en la modificación del proceso citado anteriormente.

**2.1.1. Tipo de Flujo.** La línea base es operada en flujo paralelo, es decir, que el jugo de caña entra al proceso en la primera paila y se va pasando a las siguientes a medida que este se concentra hasta obtener mieles a 94° brix en la última paila.

---

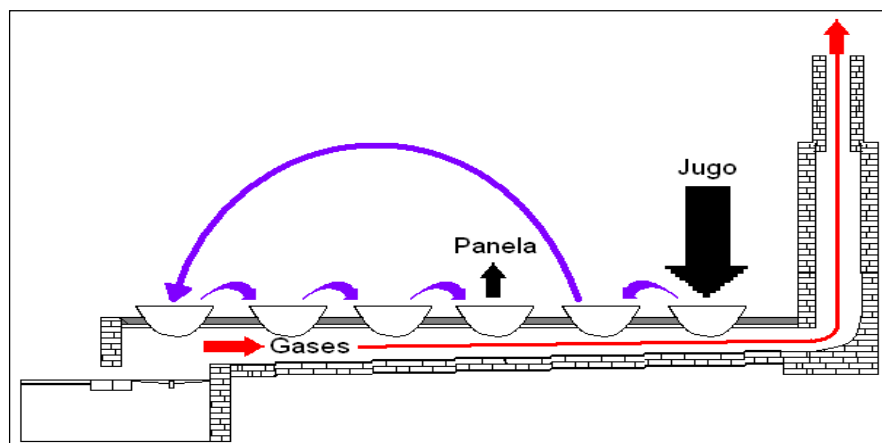
<sup>19</sup> Quinto Informe de avance de proyecto de hornillas en cinco regiones del país. Corpoica. Ministerio de Agricultura. 2011

<sup>20</sup> NTC 14064

Este valor en grados brix se conoce como punto de panela, que es la concentración estándar a la que se elabora este producto. Se llama de flujo paralelo porque los jugos avanzan en la misma dirección que los gases de chimenea.

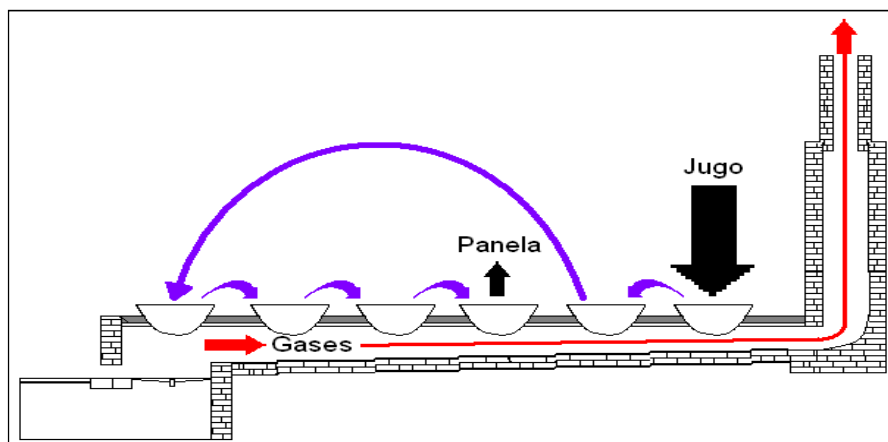
La hornilla mejorada, por su parte, trabaja en flujo combinado (Ver **Figura No. 5**): la paila pirotubular es ubicada al final del ducto próxima a la chimenea y recibe los jugos, que avanzan en sentido contrario a los gases y luego son llevados a la primera paila desde donde continúan en flujo paralelo hasta la paila donde se obtiene el punto de panela.

**Figura No. 4** Hornilla con flujo paralelo



Fuente: CORPOICA

**Figura No. 5** Hornilla con flujo combinado



Fuente: CORPOICA

## 2.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE HORNILLAS

Para poder monitorear y verificar las reducciones de CO<sub>2</sub>, es necesario evaluar las hornillas. Para esto, Corpoica ha utilizado durante los últimos años la siguiente metodología a partir de la cual mide los principales parámetros del proceso de producción de panela. Esta metodología de medición se propone como el medio para verificar y controlar las emisiones durante el proyecto MDL.

**2.2.1. Caracterización técnica del trapiche.** Se realiza una entrevista al propietario y/o administrador del trapiche, con el objeto de recolectar la información técnica del proceso de producción, referente a la identificación del trapiche, equipos utilizados y las zonas de procesos (molienda, bagacera, tren de pailas, cuarto de moldeo y almacenamiento). Se realiza también el levantamiento del trapiche y se generan los planos si estos no existen.

**2.2.2. Determinación de la capacidad de molienda, extracción y eficiencia de operación del molino.** Se utiliza una balanza electrónica marca KERN HCB 200

K 100, con la cual se pesa una muestra de caña. Se pasa la muestra por el molino, se mide el tiempo de consumo y se pesa el bagazo que sale del molino. Posteriormente, se mide el tiempo que el molino estuvo en operación y el tiempo que permaneció apagado.

**2.2.3. Determinación de las temperatura, velocidad de calentamiento y contenido de sólidos solubles de los jugos y mieles.** Para medir la temperatura se utiliza un termómetro digital marca TESTO 735 y una termocupla tipo K para jugos. Para la medición de los sólidos solubles se utiliza un refractómetro digital marca REICHERT AR200 de 0 a 95°B. Se mide la temperatura y el contenido de sólidos solubles, a la salida de cada una de las etapas del proceso en el tren de pailas. Se toman muestras de la panela y del melote producido, para determinarles posteriormente la concentración de sólidos solubles en el laboratorio. Para determinar la velocidad de calentamiento, se mide la temperatura y el tiempo simultáneamente, en las pailas recibidora, clarificadora y concentradora.

**2.2.4. Determinación de la capacidad de producción.** Para determinar la capacidad de producción se utiliza la balanza electrónica. Se toman aproximadamente diez puntos<sup>21</sup> a los cuales se les mide la masa de panela producida y el tiempo entre cada uno de ellos (teniendo en cuenta el calentamiento del primer punto evaluado, es decir, la producción se toma igual a cero en el tiempo inicial). Posteriormente, se utiliza la balanza, para pesar individualmente tres cajas de panela con su embalaje, y un grupo de embalajes vacíos, con el fin de establecer el peso unitario de la panela.

---

<sup>21</sup> Punto: momento en el cual la miel alcanza la temperatura, los sólidos solubles, la humedad y otras características propias de la panela; en dicho instante, la miel se transfiere de la paila concentradora hacia una batea, para su posterior moldeo.

**2.2.5. Determinación de la producción de cachaza y melote.** La cantidad de cachaza que se produce por la limpieza de los jugos se determina a partir del volumen acumulado en la cachacera, y midiendo el tiempo de permanencia en dicho recipiente; con lo anterior, se determina la cantidad de melote producida.

**2.2.6. Determinación del consumo de combustible por la hornilla.** Para determinar el consumo de combustible, se utiliza la balanza electrónica. Se pesa bagazo listo para utilizarse en la cámara de combustión (o el combustible que se esté utilizando), y se ubica cerca de la entrada de alimentación. En el momento que se empieza a introducir el combustible se comienza a medir el tiempo. Esta determinación se hace durante una hora aproximadamente.

**2.2.7. Determinación de la composición de los gases de combustión.** La composición de los gases de combustión, se mide con un analizador de gases marca TESTO 350-S/-XL. Los gases que se miden son: dióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno y óxidos de nitrógeno. La medición se realiza en la chimenea, a una altura de 2m desde la base.

#### **2.2.8. Determinación de la temperatura de los gases de combustión**

Para determinar la temperatura de los gases de combustión, se utiliza el termómetro digital y una termocupla tipo K para gases. El termómetro se programa para tomar la temperatura cada 20 segundos. La temperatura se mide en la cámara de combustión y en la chimenea.

### **2.3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA LÍNEA BASE Y LA HORNILLA MEJORADA**

Según la investigación, después de evaluar las hornillas antes y después de modificar el proceso, se observó un aumento de la eficiencia en la transferencia de calor de un 30 % a un 50% aproximadamente y la producción en un 33 % con respecto a la línea base, cambios que generan una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de un 25 % aproximadamente, que es la base para el análisis del potencial de proyectos MDL en esta región del país.

Debido a la gran cantidad de trapiches que no fueron posibles evaluar durante el trabajo investigativo, por la dificultad y el costo que conlleva esta actividad, se asumen condiciones de operación similares para poder generalizar los resultados de las mediciones. Como en las bases de datos de fedepanela no se tiene la cantidad real de trapiches en la región, se asume un estimado total de hornillas mencionado anteriormente de 1200 trapiches, con producciones entre 70 y 100 Kg/h.

Para ilustrar el análisis comparativo se toma como base de cálculos un trapiche evaluado en campo<sup>22</sup>. Este trapiche arrojó los siguientes resultados globales mostrados en la **Tabla No. 9**.

**Tabla No. 9** Valores medidos en campo para la línea base y la hornilla mejorada

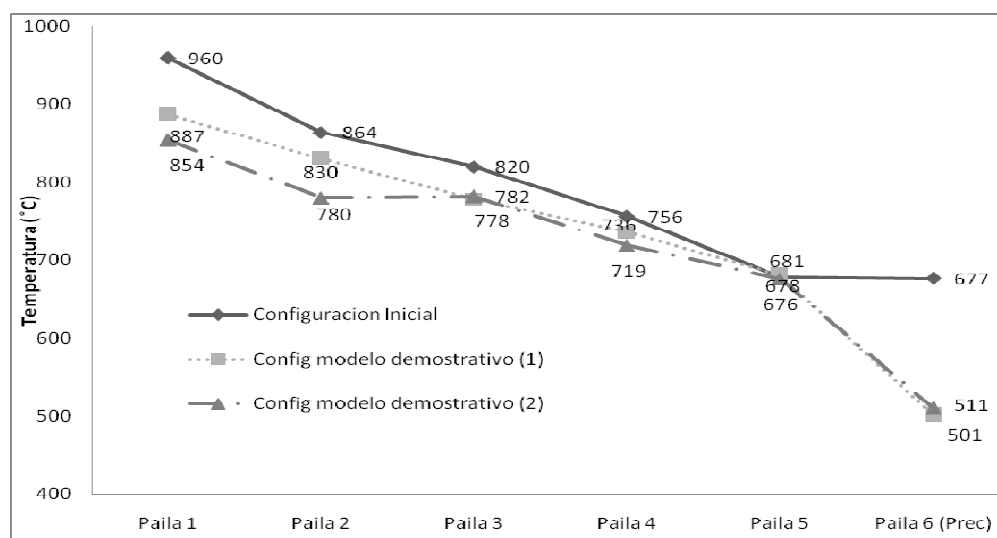
INDICADOR	VALORES MEDIDOS	
	LÍNEA BASE	HORNILLA MEJORADA
Brix Jugo (°Brix)	18	18
Brix panela (°Brix)	94	94
Producción (kg/h)	105	140
Consumo de Bagazo (kg/kg panela)	2,4	1,8
Eficiencia Puntual (%)	35	53
Temperatura de chimenea (°C)	700	500
Potencia suministrado (kW)	910	802

<sup>22</sup> Informe evaluación trapiche Manuel Tiberio Tovar. Mariquita, Tolima. 2011.

Fuente: Corpoica

En la **Figura No. 6** se observa el perfil de temperaturas de la línea base y la hornilla mejorada durante sus respectivas evaluaciones<sup>23</sup>. Es claro el efecto de la paila Pirotubular (paila 6) sobre la temperatura de los gases a lo largo del ducto. En este caso entran a la chimenea a 500 °C.

**Figura No. 6** Perfil de temperatura de los gases para la línea base y la hornilla mejorada



Fuente: CORPOICA

<sup>23</sup>Ibid

**2.3.1. Condiciones de evaluación.** Para poder comparar el trapiche antes y después de la modificación del proceso, es necesario que la cantidad producida en kilogramos de panela, la concentración inicial del jugo de caña y la humedad del bagazo alimentado al horno no cambien en cada una de las evaluaciones.

Durante las moliendas en el trapiche seleccionado, se produjeron aproximadamente 2000 Kg de panela. Los efectos directos de añadir la paila Pirotubular es el aumento en la eficiencia y en la producción debido a que se procesa un mayor volumen de jugo de caña y se transfiere más calor a los jugos. Para la línea base se obtuvo una producción de 105 Kg/h y para la hornilla mejorada de 140 Kg/h, y los tiempos de molienda en ese mismo orden fueron 19 h y 14,3 h.

El consumo de bagazo medido fue de 256 Kg/h aproximadamente para ambos casos. La masa de gases de chimenea fue de 1800 Kg/h y la fracción másica de CO<sub>2</sub> fue de 15,3%, emitiendo de esta manera un total de 5245 Kg y 3934 Kg de CO<sub>2</sub> por semana.

La producción es semanal porque en el Tolima los productores de panela tienden a moler una sola vez en la semana debido a que los sembrados de caña de cada uno, no son suficientes para moler durante varios días, subutilizando de esta manera el trapiche.

Si el trapiche trabaja las 48 semanas del año la producción anual de CO<sub>2</sub> en toneladas sería, para la línea base de 251,8 ton CO<sub>2</sub> /año y para la hornilla mejorada de 188,8 ton CO<sub>2</sub> /año.

De esta manera se puede calcular la reducción anual de emisiones de CO<sub>2</sub> en toneladas que sería de 62,9 ton CO<sub>2</sub> /año, que en el mercado valdrían aproximadamente \$ 906.417.

Si se vendieran estos CERs emitidos a 8 dólares que es un precio alto durante diez años que duraría el proyecto MDL sumarían unos 9 millones de pesos, lo que no alcanzaría para mitigar los costos de transacción de un proyecto de este tipo (US \$400.000), ni siquiera la modificación de la hornilla que cuesta alrededor de 10 millones de pesos sin incluir intereses de crédito.

Para el análisis se calcularon los valores de parámetros como tiempo de acreditación del proyecto (10 años), moliendas por semana (4 moliendas semanales) en cada trapiche y se establecieron los valores que permitían la viabilidad del proyecto.

**2.3.2. Metodología Bundling (por Agrupación).** Por las razones de costos de proyecto antes mencionadas, es claro que jamás será viable un proyecto MDL para un solo trapiche, es necesario entonces establecer una estrategia que permite reducir costos llamada *Bundling* o *por agrupación* que consiste en agrupar varios proyectos MDL de pequeña escala para formar una única actividad de proyecto MDL, o cartera de proyectos, sin perder las características particulares de la actividad de cada proyecto y sin que excedan el límite de reducción de 60.000 Ton CO<sub>2</sub> e/año para poder seguir considerándose de este tipo.

El objetivo del “bundling” es reducir los costos de transacción incluyendo el costo del PDD, validación, verificación, etc. Para desarrollar esta estrategia como un proyecto MDL se deben cumplir ciertas condiciones:

- Una vez registrado un proyecto mdl como “bundling”, no podrá sacarse ni agregar actividades de proyecto.
- Todas las actividades de los proyectos agrupados tendrán un mismo período de acreditación.

- Todos los participantes del proyecto deberán estar de acuerdo con que su actividad individual de proyecto sea parte de un “bundling”.
- Uno de los participantes de proyecto será representante de la agrupación para comunicarse con la junta ejecutiva del MDL.
- Deberá comunicarse la intención de agrupar los proyectos al momento de solicitar el registro.
- Las actividades de proyectos agrupados serán solicitadas como un único proyecto ante la junta ejecutiva del MDL, y recibirá los créditos por la reducción de emisiones por año por la totalidad del bundling.
- La magnitud total del proyecto bundling no podrá exceder el límite de un proyecto mdl de pequeña escala (60.000 ton co<sub>2</sub> e/año).

Una hornilla mejorada trabajando cuatro moliendas por semana alcanza a reducir 251 Ton CO<sub>2</sub> e/año, así que 238 hornillas pueden reducir 59.738 Ton CO<sub>2</sub> e/año, lo que no excede el límite permitido. Este número de hornillas debe conformar el proyecto para cumplir con las normas establecidas para esta metodología.

### **3. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE HORNILLAS MEJORADAS Y LA VENTA DE CERS.**

El análisis costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha tales como el desarrollo de nuevo producto o la adquisición de nueva maquinaria.

Mientras que la relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los

Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

$$B/C = VAI / VAC$$

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad.

$B/C > 1$  → el proyecto es rentable

En este trabajo se toma como referencia el estado de pérdidas y ganancias más reciente, con el fin de compararlo con los resultados esperados con la implementación de las hornillas mejoradas en el trapiche. En la primera parte del análisis se hace un balance por trapiche y luego se realiza el análisis para los 238 trapiches que COMPONEN EL PROYECTO

### 3.1. ANÁLISIS POR TRAPICHE

Para demostrar que un proyecto MDL a pequeña escala con un solo trapiche es inviable debido a los costos de transacción<sup>24</sup> (Ver **Fuente: Los Autores Tabla No. 11**), se realizó un análisis calculando el flujo neto efectivo del trapiche para los diez años que dura la acreditación del proyecto variando los días de molienda por semana. Se tuvieron en cuenta todos los costos de producción de panela incluyendo los del cultivo y el del mejoramiento de la hornilla (crédito). En la **Tabla No. 10** se muestran los valores de los parámetros tenidos en cuenta para el cálculo de los CERs emitidos anualmente y durante todo proyecto.

**Tabla No. 10** Parámetros de cálculo de CERs para un trapiche

---

<sup>24</sup> Vera Kluender. Aspectos financieros de un proyecto bajo el MDL. Taller: Proyectos de generación eléctrica bajo el mecanismo de desarrollo limpio. Guayaquil, Ecuador. 2004.

PARÁMETROS	LINEA BASE	HORNILLA MEJORADA
Panela total/molienda (Kg)	2000	2000
Eficiencia Hornilla (%)	33,9	55,6
Producción (Kg/h)	105	140
Masa gases (Kg/h)	1800	1800
% CO2	15,30%	15,30%
Masa CO2/molienda	5232,6	3938,2
tiempo total (h)/molienda	19,0	14,3
semanas trabajo/año	48	48
Moliendas/semana	4	4
Masa CO2/semana	20930,4	15752,9
Ton CO2 e/año	1004,7	756,1
CERs/año		248,5
Costo unitario CER's (EUROS)		6,23
Valor del euro (\$)		2311,3
Costo Ton CO2 e/año por trapiche		\$ 3.578.536,98
Años proyecto		10
Costo Ton CO2 e/años proyecto por trapiche		\$ 35.785.369,80
No. Trapiches	1	1
Costo Ton CO2 e/año (totalidad de trapiches)		\$ 3.578.536,98
Costo total CERs durante proyecto		\$ 35.785.369,80
Costo unitario modificación hornilla		\$ 10.388.519,20
Costo total modificación de hornillas		\$ 10.388.519,20

Fuente: Los Autores

**Tabla No. 11** Costos transaccionales MDL para un trapiche

ETAPAS MDL	Costo en US\$	Costo en Pesos
Preparación y revisión del Proyecto	15000	\$ 27.000.000
Estudio de Línea Base y Plan de Monitoreo	20000	\$ 36.000.000
Proceso de validación	15000	\$ 27.000.000
Etapa de consulta y evaluación del Proyecto	40000	\$ 72.000.000
Negociación y Documentación Legal	15000	\$ 27.000.000
<b>Costos Totales en la Etapa de Preimplementación</b>	<b>\$ 105.000</b>	<b>\$ 189.000.000</b>
Verificación inicial	5000	\$ 9.000.000
Verificación y Certificación Periódica	25000	\$ 45.000.000
<b>Costos Totales de la Etapa de Implementación</b>	<b>\$ 30.000</b>	<b>\$ 54.000.000</b>
<b>COSTOS DE TRANSACCIONES TOTALES</b>	<b>\$ 135.000</b>	<b>\$ 243.000.000</b>

Fuente: Vera Kluender. 2004

Como en el cálculo del flujo neto se tiene en cuenta el valor de la venta de panela anual, es necesario comparar las cantidades para comprobar que el proyecto si genera activos adicionales y no que parte de este se cubre con las ganancias de la venta del producto. En la **Tabla No. 12** se observan los flujos netos efectivos del trapiche con proyecto MDL y sin proyecto MDL a medida que aumentan los días

de molienda trabajados. Se puede ver que aunque se trabajen 7 días a la semana nunca el flujo será positivo para ambos casos debido a que los costos transaccionales son muy altos: \$ 243.000.000. El flujo de caja completo se encuentra en los anexos.

**Tabla No. 12** Balance de flujo neto efectivo con MDL y sin MDL para un trapiche

NO MOLIENDAS/SEM	FLUJO NETO CON MDL	FLUJO NETO SIN MDL	DIFERENCIA
1	\$ -537.270.176,40	\$ -537.334.353,15	\$ -64.176,75
2	\$ -645.483.512,80	\$ -654.611.866,29	\$ -9.128.353,50
3	\$ -753.696.849,19	\$ -771.889.379,44	\$ -18.192.530,24
4	\$ -861.910.185,59	\$ -889.166.892,58	\$ -27.256.706,99
5	\$ -970.123.521,99	\$ -1.006.444.405,73	\$ -36.320.883,74
6	\$ -1.078.336.858,39	\$ -1.123.721.918,87	\$ -45.385.060,49

Fuente: Los Autores

### 3.2. ANÁLISIS PARA LA ESTRATEGIA BUNDLING25

Como se estableció anteriormente, para desarrollar una estrategia de tipo bundling en este caso, es necesario agrupar 238 trapiches. Para analizar el comportamiento y viabilidad del proyecto, se calculó el flujo neto del trapiche variando los días de molienda tanto para los escenarios con y sin proyecto MDL. En la **Tabla No. 13** se encuentran algunos parámetros de cálculo de los CERs emitidos durante el proyecto.

**Tabla No. 13** Parámetros de cálculo de CERs para 238 trapiches

PARÁMETROS	LINEA BASE	HORNILLA MEJORADA
Panela total/molienda (Kg)	2000	2000
Eficiencia Hornilla (%)	33,9	55,6
Producción (Kg/h)	105	140
Masa gases (Kg/h)	1800	1800
% CO <sub>2</sub>	15,30%	15,30%
Masa CO <sub>2</sub> /molienda	5232,6	3938,2
tiempo total (h)/molienda	19,0	14,3
semanas trabajo/año	48	48
Moliendas/semana	4	4

Masa CO <sub>2</sub> /semana	20930,4	15752,9
Ton CO <sub>2</sub> e/año	1004,7	756,1
CERs/año		248,5
Costo unitario CER's (EUROS)		6,23
Valor del euro (\$)		2311,3
Costo Ton CO <sub>2</sub> e/año por trapiche		\$ 3.578.536,98
Años proyecto		10
Costo Ton CO <sub>2</sub> e/años proyecto por trapiche		\$ 35.785.369,80
No. Trapiches	238	238
Costo Ton CO <sub>2</sub> e/año (totalidad de trapiches)		\$ 851.691.801,25
Costo total CERs durante proyecto		\$ 8.516.918.012,51
Costo unitario modificación hornilla		\$ 10.388.519,20
Costo total modificación de hornillas		\$ 2.472.467.569,60

Fuente: Los Autores

En la **Tabla No. 14** se muestran los costos transaccionales cercanos a los 5140 millones de pesos. Este valor tan alto se debe a la cantidad de unidades productoras a las que se tiene que monitorear y certificar. Para cada trapiche el costo estimado de una evaluación técnica está entre 4 y 6 millones de pesos.

**Tabla No. 14** Costos transaccionales proyecto MDL con 238 trapiches

ETAPAS MDL	COSTO EN US\$	COSTO EN PESOS
Preparación y revisión del Proyecto	\$ 25.000	\$ 45.000.000
Estudio de Línea Base y Plan de Monitoreo	\$ 100.000	\$ 180.000.000
Proceso de validación	\$ 30.000	\$ 54.000.000
Etapa de consulta y evaluación del Proyecto	\$ 150.000	\$ 270.000.000
Negociación y Documentación Legal	\$ 50.000	\$ 90.000.000
<b>Costos Totales en la Etapa de Preimplementación</b>	<b>\$ 355.000</b>	<b>\$ 639.000.000</b>
Verificación inicial	\$ 476.000	\$ 856.800.000
Verificación y Certificación Periódica	\$ 2.380.000	\$ 4.284.000.000
<b>Costos Totales de la Etapa de Implementación</b>	<b>\$ 2.856.000</b>	<b>\$ 5.140.800.000</b>
<b>COSTOS DE TRANSACCIONES TOTALES</b>	<b>\$ 3.211.000</b>	<b>\$ 5.779.800.000</b>

Fuente: Vera Kluender. 2004

Para mostrar de forma clara el comportamiento del proyecto, se calculó el flujo neto efectivo para ambos escenarios tratados anteriormente y la diferencia de estos valores que se observa en la **Figura No. 7**, donde se puede concluir que con 3 y 4 molineras es viable el proyecto, dando una relación beneficio-costos de 2,5

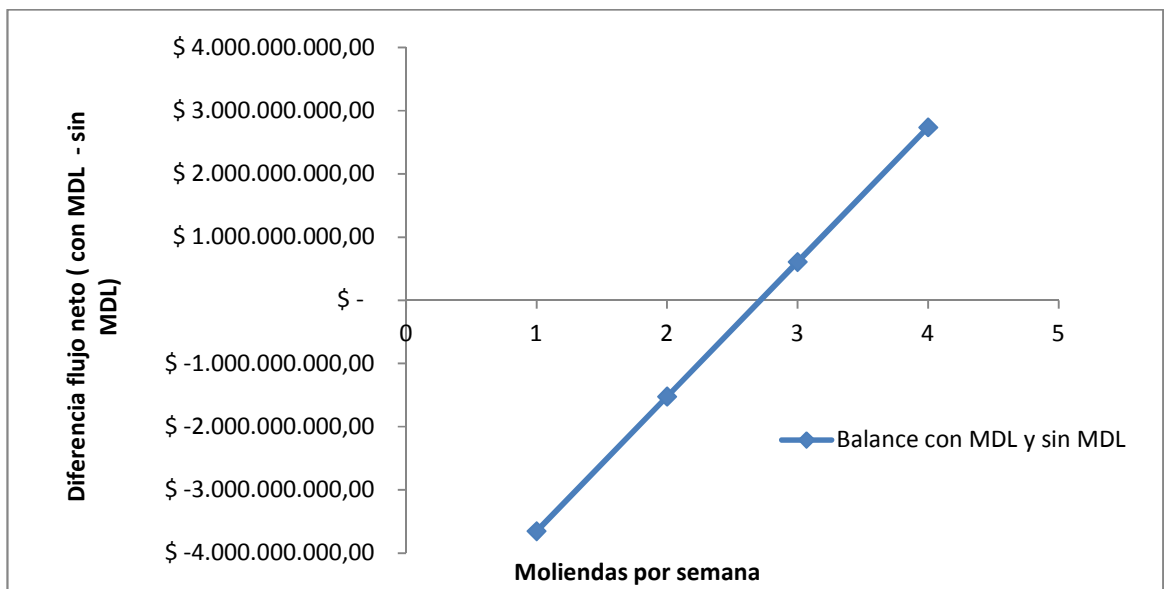
aproximadamente para el último. Con 1 y 2 molindas por semana, la diferencia de flujos es negativa, lo que significa que el proyecto está cubriendo parte de la deuda con la ganancia de la venta de panela. Los flujos de caja se encuentran en los anexos.

**Tabla No. 15** Balance de flujo neto efectivo con MDL y sin MDL

NO MOLIENDAS/SEM	FLUJO NETO CON MDL	FLUJO NETO SIN MDL	DIFERENCIA
1	\$ 260.734.089.415,30	\$ 264.384.659.912,18	\$ -3.650.570.496,87
2	\$ 537.060.124.231,35	\$ 538.581.465.225,09	\$ -1.521.340.993,74
3	\$ 813.386.159.047,39	\$ 812.778.270.538,01	\$ 607.888.509,38
4	\$ 1.089.712.193.863,43	\$ 1.086.975.075.850,92	\$ 2.737.118.012,51

Fuente: Los Autores

**Figura No. 7** Balance de flujo neto efectivo con y sin proyecto MDL para 238 trapiches



**Fuente:** Los Autores 2012.

Tener 3 y 4 moliendas por semana en una hornilla del departamento del Tolima, implica cambiar el modelo administrativo obligándose a trabajar de manera asociada, algo que es difícil porque exige un cambio cultural.

#### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Para unidades productoras tan pequeñas como los trapiches paneleros, sólo es viable un proyecto mdl mediante la estrategia *Bundling* (por agrupamiento).
- La subutilización de las hornillas en el departamento del Tolima (una molienda por semana) es un obstáculo para el desarrollo de proyectos de mejoramiento técnico porque las inversiones no se recuperan en corto tiempo.

- La reducción del tiempo de operación no representa un ahorro en los costos de mano de obra sino un beneficio social para los trabajadores porque el salario depende de la producción y no del tiempo de molienda.
- Para el sector panelero del departamento del Tolima, los costos transaccionales de estudios previos en un proyecto mdl disminuyen debido a que se amortigua la inversión en 238 trapiches, pero los costos de monitoreo y verificación aumentan a causa de este mismo parámetro.
- Se recomienda desarrollar este análisis técnico y financiero para otros departamentos productores en el país con el fin de comparar el comportamiento del proyecto con otros tipos de pailas y otras tecnologías.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- CANO NAVARRO, Eder. Evaluación técnica de cinco trapiches ubicados en zona rural de mariquita (Tolima) para el desarrollo del modelo de hornilla regional. Eder Cano Navarro. Corpoica. Santa Fé de Bogotá. 2010.
- GARCÍA BERNAL, Hugo Reinel. Quinto informe de seguimiento del proyecto: “Desarrollo de modelos demostrativos de hornillas paneleras de alta eficiencia térmica y bajo impacto ambiental de acuerdo con los niveles socioeconómicos y técnicos de las principales regiones productoras de panela en Colombia. Corpoica. 2010.

- GORDILLO, Gerardo. Manual para el diseño y operación de Hornillas Paneleras. Centro de Investigación para el mejoramiento de la panela, CIMPA. Barbosa. 1992.
- MENDIETA, Oscar Andrés. Evaluación del proceso de producción de panela en Trapiches del Tolima.

### **PÁGINAS WEB CONSULTADAS**

- [http://www.accefyn.org.co/web\\_gei\(actualizada\)/archivos\\_gei/mend\\_blanco.pdf](http://www.accefyn.org.co/web_gei(actualizada)/archivos_gei/mend_blanco.pdf)
- <http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/ucc/file/mdl%20en%20colombia.pdf>
- <http://www.minambiente.gov.co//contenido/contenido.aspx?catid=829&conid=3046>
- [http://www.pnud.org.co/img\\_upload/9056f18133669868e1cc381983d50faa/boletinocmccno1.pdf](http://www.pnud.org.co/img_upload/9056f18133669868e1cc381983d50faa/boletinocmccno1.pdf)

## ANEXOS

### Anexo No. A Flujo de caja proyecto para un trapiche con proyecto MDL

Tiempo (moliendas)	AÑOS DE PROYECTO										TOTAL	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10
<b>Ingresos</b>												
Venta de panela		668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	6.687.075.000
Venta de Bonos de Carbono		3.625.671	3.625.671	3.625.671	3.625.671	3.625.671	3.625.671	3.625.671	3.625.671	3.625.671	3.625.671	36.256.707
Total		672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	6.723.331.707
<b>Egresos</b>												
Inversión (Costos de Transacción)		198.000.000	9.000.000		9.000.000		9.000.000		9.000.000		9.000.000	243.000.000
Inversión (Hornillas)		3.870.456	3.870.456	3.870.456	3.870.456	3.870.456						
Total		524.443.712	331.948.188	337.579.752	343.341.837	349.237.973	558.897.030	353.706.128	360.026.644	366.496.388	382.119.435	3.907.797.086
<b>Ingresos Netos</b>		672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	672.333.171	6.723.331.707
												0
<b>Costos directos de operación</b>												0
Establecimiento del cultivo	187.760.000	0	0	0	0	0	211.366.147	0	0	0	0	211.366.147
Sostenimiento del cultivo	112.120.000	114.302.800	116.539.276	118.830.920	121.179.268	123.585.901	126.052.446	128.580.576	131.172.016	133.828.539	136.551.972	1.250.623.714
Corte y transporte de caña	0	89.600.000	90.896.000	92.216.960	93.563.490	94.936.215	96.335.781	97.762.848	99.218.098	100.702.228	102.215.959	957.447.579
Elaboración	0	106.400.000	108.372.000	110.390.960	112.458.167	114.574.945	116.742.656	118.962.703	121.236.530	123.565.621	125.951.504	1.158.655.086
<b>Total costos directos de operación</b>	299.880.000	314.173.256	319.677.732	325.309.296	331.071.381	336.967.517	550.497.030	345.306.128	351.626.644	358.096.388	364.719.435	3.597.444.806
Administrador	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	84.000.000
<b>Total costos indirectos</b>	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	84.000.000
<b>TOTAL COSTOS</b>	308.280.000	322.573.256	328.077.732	333.709.296	339.471.381	345.367.517	558.897.030	353.706.128	360.026.644	366.496.388	373.119.435	3.681.444.806
<b>Total egresos (costos + depreciación)</b>		847.016.968	660.025.920	671.289.048	682.813.218	694.605.490	1.117.794.060	707.412.256	720.053.287	732.992.776	755.238.869	7.589.241.893
Utilidad antes de impuestos (UAI)		174.683.797	12.307.251	1.044.122	10.480.047	22.272.320	-445.460.889	35.079.085	47.720.117	60.659.606	82.905.698	-865.910.186
Utilidad despues de impuestos												
Depreciación												
Valor de salvamento											4.000.000	

	AÑOS DE PROYECTO												
Flujo neto efectivo		-	12.307.251	1.044.122	-	-	-445.460.889	-	-	-	-	-	-861.910.186
Relación Beneficio/Costo (RBC)		0,79	1,02	1,00	0,98	0,97	0,60	0,95	0,93	0,92	0,89	1,72	

Fuente: CORPOICA

### Anexo No. B. Flujo de caja proyecto para un trapiche sin proyecto MDL

	AÑOS DE PROYECTO											
Tiempo (moliendas)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL
<b>Ingresos</b>												
Venta de panela		668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	6.687.075.000
Venta de Bonos de Carbono												0
Total		668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	6.687.075.000
<b>Egresos</b>		524.443.712	331.948.188	337.579.752	343.341.837	349.237.973	558.897.030	353.706.128	360.026.644	366.496.388	373.119.435	3.898.797.086
Inversión (Costos de Transacción)		198.000.000										198.000.000
Inversión (Hornillas)		3.870.456	3.870.456	3.870.456	3.870.456	3.870.456						
Total		524.443.712	331.948.188	337.579.752	343.341.837	349.237.973	558.897.030	353.706.128	360.026.644	366.496.388	373.119.435	3.898.797.086
<b>Ingresos Netos</b>		668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	668.707.500	6.687.075.000
												0
<b>Costos directos de operación</b>												0
Establecimiento del cultivo	187.760.000	0	0	0	0	0	211.366.147	0	0	0	0	211.366.147
Sostenimiento del cultivo	112.120.000	114.302.800	116.539.276	118.830.920	121.179.268	123.585.901	126.052.446	128.580.576	131.172.016	133.828.539	136.551.972	1.250.623.714
Corte y transporte de caña	0	89.600.000	90.896.000	92.216.960	93.563.490	94.936.215	96.335.781	97.762.848	99.218.098	100.702.228	102.215.959	957.447.579
Elaboración	0	106.400.000	108.372.000	110.390.960	112.458.167	114.574.945	116.742.656	118.962.703	121.236.534	123.565.621	125.951.504	1.158.655.086
<b>Total costos directos de operación</b>	299.880.000	314.173.256	319.677.732	325.309.296	331.071.381	336.967.517	550.497.030	345.306.128	351.626.644	358.096.388	364.719.435	3.597.444.806
<b>Costos indirectos</b>												0
Administrador	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	84.000.000
<b>Total costos indirectos</b>	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	84.000.000
<b>TOTAL COSTOS</b>	308.280.000	322.573.256	328.077.732	333.709.296	339.471.381	345.367.517	558.897.030	353.706.128	360.026.644	366.496.388	373.119.435	3.681.444.806

	AÑOS DE PROYECTO											
<b>Total egresos (costos + depreciación)</b>		322.573.256	328.077.732	333.709.296	339.471.381	345.367.517	558.897.030	353.706.128	360.026.644	366.496.388	373.119.435	3.681.444.806
Utilidad antes de impuestos (UAI)		-178.309.468	8.681.580	-2.581.548	14.105.718	25.897.990	449.086.560	38.704.756	51.345.787	64.285.276	77.531.369	-893.166.893
Valor de salvamento											4.000.000	
<b>Flujo neto efectivo</b>		-178.309.468	8.681.580	-2.581.548	14.105.718	25.897.990	449.086.560	38.704.756	51.345.787	64.285.276	73.531.369	<b>-889.166.893</b>
Relación Beneficio/Costo (RBC)		0,79	1,01	1,00	0,98	0,96	0,60	0,95	0,93	0,91	0,90	<b>1,72</b>

Fuente: CORPOICA

### Anexo No. C. Flujo de caja proyecto para 238 trapiches con proyecto MDL

	AÑOS DE PROYECTO											
<b>Tiempo (moliendas)</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Ingresos</b>												
Venta de panela		159.152.385.000	163.926.956.550	168.844.765.247	173.910.108.204	179.127.411.450	184.501.233.794	190.036.270.807	195.737.358.932	201.609.479.699	207.657.764.090	1.824.503.733.773
Venta de Bonos de Carbono		851.691.801	851.691.801	851.691.801	851.691.801	851.691.801	851.691.801	851.691.801	851.691.801	851.691.801	851.691.801	8.516.918.013
<b>Total</b>		160.004.076.801	164.778.648.351	169.696.457.048	174.761.800.005	179.979.103.251	185.352.925.595	190.887.962.609	196.589.050.733	202.461.171.501	208.509.455.892	1.833.020.651.785
<b>Egresos</b>												
Inversión (Costos de Transacción)		1.495.800.000	856.800.000		856.800.000		856.800.000		856.800.000		856.800.000	5.779.800.000
Inversión (Hornillas)		921.168.528	921.168.528	921.168.528	921.168.528	921.168.528						
<b>Total</b>		2.416.968.528	1.777.968.528	921.168.528	1.777.968.528	921.168.528	856.800.000	0	856.800.000	0	856.800.000	10.385.642.640
<b>Ingresos Netos</b>		160.004.076.801	164.778.648.351	169.696.457.048	174.761.800.005	179.979.103.251	185.352.925.595	190.887.962.609	196.589.050.733	202.461.171.501	208.509.455.892	1.833.020.651.785
<b>Costos directos de operación</b>												0
Establecimiento del cultivo	44.686.880.000	0	0	0	0	0	50.305.143.098	0	0	0	0	50.305.143.098
Sostenimiento del cultivo	26.684.560.000	27.204.066.400	27.736.347.688	28.281.759.008	28.840.665.876	29.413.444.491	30.000.482.051	30.602.177.080	31.218.939.765	31.851.192.305	32.499.369.265	297.648.443.927
Corte y transporte de caña	0	21.324.800.000	21.633.248.000	21.947.636.480	22.268.110.525	22.594.819.240	22.927.915.872	23.267.557.922	23.613.907.280	23.967.130.345	24.327.398.160	227.872.523.824
Elaboración	0	14.563.400.000	14.709.942.000	14.857.976.660	15.007.519.724	15.158.587.117	15.311.194.950	15.465.359.521	15.621.097.315	15.778.425.014	15.937.359.491	152.410.861.793

	AÑOS DE PROYECTO											
<b>Total costos directos de operación</b>	71.371.440.000	64.013.434.928	65.000.706.216	66.008.540.676	67.037.464.652	68.088.019.376	118.544.735.971	69.335.094.523	70.453.944.361	71.596.747.664	72.764.126.916	732.842.815.282
<b>Costos indirectos</b>												0
Administrador	1.999.200.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	84.000.000
<b>Total costos indirectos</b>	1.999.200.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	84.000.000
<b>TOTAL COSTOS</b>	73.370.640.000	64.021.834.928	65.009.106.216	66.016.940.676	67.045.864.652	68.096.419.376	118.553.135.971	69.343.494.523	70.462.344.361	71.605.147.664	72.772.526.916	732.926.815.282
<b>Total egresos (costos + depreciación)</b>		66.438.803.456	66.787.074.744	66.938.109.204	68.823.833.180	69.017.587.904	119.409.935.971	69.343.494.523	71.319.144.361	71.605.147.664	73.629.326.916	743.312.457.922
Utilidad antes de impuestos (UA)		93.565.273.345	97.991.573.607	102.758.347.844	105.937.966.825	110.961.515.347	65.942.989.624	121.544.468.086	125.269.906.372	130.856.023.837	134.880.128.976	1.089.708.193.863
Depreciación												
Valor de salvamento											4.000.000	
Flujo neto efectivo		93.565.273.345	97.991.573.607	102.758.347.844	105.937.966.825	110.961.515.347	65.942.989.624	121.544.468.086	125.269.906.372	130.856.023.837	134.884.128.976	<b>1.089.712.193.863</b>
Relación Beneficio/Costo (RBC) Total		2,41	2,47	2,54	2,54	2,61	1,55	2,75	2,76	2,83	2,83	

Fuente: CORPOICA

#### Anexo No. D. Flujo de caja proyecto para 238 trapiches sin proyecto MDL

	AÑOS DE PROYECTO											
<b>Tiempo (moliendas)</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	<b>TOTAL</b>
<b>Ingresos</b>												
Venta de panela		159.152.385.000	163.926.956.550	168.844.765.247	173.910.108.204	179.127.411.450	184.501.233.794	190.036.270.807	195.737.358.932	201.609.479.699	207.657.764.090	1.824.503.733.773
Venta de Bonos de Carbono												0
Total		159.152.385.000	163.926.956.550	168.844.765.247	173.910.108.204	179.127.411.450	184.501.233.794	190.036.270.807	195.737.358.932	201.609.479.699	207.657.764.090	1.824.503.733.773
<b>Egresos</b>												
Inversión (Costos de Transacción)												0
Inversión (Hornillas)		921.168.528	921.168.528	921.168.528	921.168.528	921.168.528						
Total		921.168.528	921.168.528	921.168.528	921.168.528	921.168.528	0	0	0	0	0	4.605.842.640
<b>Ingresos Netos</b>		159.152.385.000	163.926.956.550	168.844.765.247	173.910.108.204	179.127.411.450	184.501.233.794	190.036.270.807	195.737.358.932	201.609.479.699	207.657.764.090	1.824.503.733.773
												0

	AÑOS DE PROYECTO											
<b>Costos directos de operación</b>												0
Establecimiento del cultivo	44.686.880.000	0	0	0	0	0	50.305.143.098	0	0	0	0	50.305.143.098
Sostenimiento del cultivo	26.684.560.000	27.204.066.400	27.736.347.688	28.281.759.008	28.840.665.876	29.413.444.491	30.000.482.051	30.602.177.080	31.218.939.765	31.851.192.305	32.499.369.265	297.648.443.927
Corte y transporte de caña	0	21.324.800.000	21.633.248.000	21.947.636.480	22.268.110.525	22.594.819.240	22.927.915.872	23.267.557.922	23.613.907.280	23.967.130.345	24.327.398.160	227.872.523.824
Elaboración	0	14.563.400.000	14.709.942.000	14.857.976.660	15.007.519.724	15.158.587.117	15.311.194.950	15.465.359.521	15.621.097.315	15.778.425.014	15.937.359.491	152.410.861.793
<b>Total costos directos de operación</b>	<b>71.371.440.000</b>	<b>64.013.434.928</b>	<b>65.009.706.216</b>	<b>66.008.540.676</b>	<b>67.037.464.652</b>	<b>68.088.019.376</b>	<b>118.544.735.971</b>	<b>69.335.094.523</b>	<b>70.453.944.361</b>	<b>71.596.747.664</b>	<b>72.764.126.916</b>	<b>732.842.815.282</b>
<b>Costos indirectos</b>												0
Administrador	1.999.200.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	8.400.000	84.000.000
<b>Total costos indirectos</b>	<b>1.999.200.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>84.000.000</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>73.370.640.000</b>	<b>64.021.834.928</b>	<b>65.009.106.216</b>	<b>66.016.940.676</b>	<b>67.045.864.652</b>	<b>68.096.419.376</b>	<b>118.553.135.971</b>	<b>69.343.494.523</b>	<b>70.462.344.361</b>	<b>71.605.147.664</b>	<b>72.772.526.916</b>	<b>732.926.815.282</b>
<b>Total egresos (costos + depreciación)</b>		<b>64.943.003.456</b>	<b>65.930.274.744</b>	<b>66.938.109.204</b>	<b>67.967.033.180</b>	<b>69.017.587.904</b>	<b>118.553.135.971</b>	<b>69.343.494.523</b>	<b>70.462.344.361</b>	<b>71.605.147.664</b>	<b>72.772.526.916</b>	<b>737.532.657.922</b>
Utilidad antes de impuestos (UAI)		94.209.381.544	97.996.681.806	101.906.656.043	105.943.075.024	110.109.823.546	65.948.097.823	120.692.776.285	125.275.014.571	130.004.332.036	134.885.237.175	1.086.971.075.851
Valor de salvamento											4.000.000	
Flujo neto efectivo		94.209.381.544	97.996.681.806	101.906.656.043	105.943.075.024	110.109.823.546	65.948.097.823	120.692.776.285	125.275.014.571	130.004.332.036	134.889.237.175	<b>1.086.975.075.851</b>
Relación Beneficio/Costo (RBC) Total		2,45	2,49	2,52	2,56	2,60	1,56	2,74	2,78	2,82	2,85	

Fuente: CORPOICA