

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL**



## **“PROYECTO DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO PARA LA CAPTURA Y COMBUSTION DEL BIOGAS DEL RELLENO SANITARIO HUAYCOLORO”**

**INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUIMICO**

**POR LA MODALIDAD DE EXPERIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**WILIAM SALVADOR SEGURA RODRIGUEZ**

**LIMA – PERU**

**2009**

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres y  
hermanos por su infinito amor  
y apoyo.

A mí querida esposa Miriam  
por su enorme amor y  
comprensión.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mí querida alma mater por enseñarme a través de sus docentes una ingeniería química con visión de futuro.

A la empresa PETRAMAS SAC por la oportunidad de aplicar mis conocimientos de ingeniería y ponerlos al servicio del país.

Al Ing. Miguel A. Morán Tello, por apoyarme en la revisión de este informe.

### **DESEO:**

Que la luz de este proyecto no se extinga pues contribuye al desarrollo sostenible de la humanidad.



## RESUMEN

El presente informe de competencia profesional, esta basado en mi experiencia laboral en PETRAMAS SAC en gestión y operación de proyectos, específicamente en el proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) para la captura y combustión del biogas del relleno sanitario Huaycoloro.

El objetivo general de este informe es mostrar aspectos técnicos y de gestión de proyectos MDL en relleno sanitario. Para lo cual he creído conveniente tocar tópicos conceptuales de cambio climático y protocolo de Kyoto, así como también desarrollar el ciclo completo del proyecto MDL aplicado al relleno sanitario.

Con el desarrollo de este primer proyecto MDL en el Perú en el relleno sanitario Huaycoloro se ha logrado reducir el equivalente a **235,619.00** toneladas de CO<sub>2</sub> en 02 años de operación desde el 05 de marzo del 2007 hasta el 04 de marzo del 2009 (ver tablas 16 y 17, Pág. 82), situando a PETRAMAS SAC como la empresa ambiental más importante en el sector residuos sólidos.

El presente informe, también estima conservadoramente la cantidad de bonos de carbono que el Perú desperdicia, contados desde el 2009 hasta el 2021(ver tabla 22, Pág. 96), por no orientar la disposición final de residuos sólidos hacia proyectos MDL, y que son equivalentes a **€139,248,481.00**. Para llegar a esta importante conclusión se ha realizado un breve estudio sobre el mercado del carbono y se ha utilizado los índices de corredores de REUTERS para los precios futuros de los bonos de carbono.

Entendiendo que el biogas tiene muchas aplicaciones prácticas, se ha estudiado la posibilidad de enriquecerlo para su uso como combustible vehicular; por lo que espero que el presente informe sirva a los alumnos y docentes de la FIQT como punto de partida para la investigación y desarrollo de diversos proyectos sustentables que añadan valor a las inversiones ambientales de las empresas.

## INDICE

I.	INTRODUCCION	08
II.	EL ORGANO EMPRESARIAL	10
2.1	Datos de la Empresa	10
2.2	Estructura Orgánica	10
2.3.	Líneas de Producción	11
	A) Servicio integral	11
	B) Servicio de barrido de calles y vías	12
	C) Servicio de recolección y transporte	12
	D) Disposición final de residuos municipales	13
2.4.	Diagrama de Líneas de Producción	15
III.	RELACION PROFESIONAL-EMPLEADOR	18
3.1.	Condición de relación laboral	18
3.2.	Documentos Probatorios	18
IV.	TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO	18
4.1.	Cargos desempeñados	18
4.2.	Funciones asignadas a cada cargo	19
4.3.	Principales Actividades desarrolladas	22
V.	DESARROLLO DE UNA O MAS ACTIVIDADES PROFESIONALES:	24
	<b>“PROYECTO DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO PARA LA CAPTURA Y COMBUSTION DEL BIOGAS DEL RELLENO SANITARIO HUAYCOLORO”</b>	
5.1.	Antecedentes	24
	A) Cambio Climático	24
	B) Convención Marco de las naciones unidas sobre cambio Climático	28
	C) Protocolo de Kioto	29

5.2.	Ciclo del proyecto MDL aplicado al RS Huaycoloro	31
	A) Preparación y revisión del proyecto	32
	B) Establecimiento de línea de base	51
	C) Documento de diseño de proyecto (PDD)	53
	D) Aprobación del país anfitrión	54
	E) Validación	56
	F) Registro	56
	G) Negociación del ERPA	57
	H) Implementación	58
	I) Auditoria de verificación inicial del proyecto.	70
	J) Operación y monitoreo del proyecto.	71
	K) Certificación y emisión periódica de CERs	85
5.3.	Breve análisis sobre el mercado de carbono	86
5.4.	Propuesta 1: Oportunidad para el sector residuos en el Perú	93
5.5.	Propuesta 2: Proyecto de tratamiento de biogás de relleno sanitario para ser utilizado como combustible vehicular.	98
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
VII.	BIBLIOGRAFIA	109
VIII.	APENDICE	112
	APENDICE A: Constancia de trabajo	112
	APENDICE B: Plano del captación y Transporte de biogás	113

## **LISTADO DE ABREVIATURAS Y ACRONIMOS**

CERs	: Certificado de emisiones reducidas equivalente a 1ton de CO2
COP	: Conferencia de partes
CONAM	: Consejo Nacional del Ambiente (hoy Ministerio del Ambiente)
DOE	: Entidad Operacional Designada
DNA	: Autoridad Nacional Designada
EB	: Junta Ejecutiva del MDL
EPS-RS	: Empresa prestadora de Servicios de Residuos Sólidos
ERPA	: Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones
FONAM	: Fondo Nacional del Ambiente
GEI	: Gas de Efecto Invernadero
GWP	: Potencial de Calentamiento Global
HPDE	: Polietileno de Alta Densidad
LGRS	: Ley General de Residuos Sólidos
LFG	: Biogas de Relleno Sanitario
MINAM	: Ministerio del Ambiente
MDL	: Mecanismo de Desarrollo Limpio
MR	: Reporte de Monitoreo
PAMA	: Programa de Adecuación y Manejo Ambiental
PCF	: Fondo Prototipo del carbono
PDD	: Documento Diseño del proyecto
PIN	: Nota Idea del proyecto
PK	: Protocolo de Kioto
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
USEPA	: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos
RSU	: Residuos Sólidos Urbanos
SCFM	: Pies Cúbicos Estándar por Minuto
tCO2e	: Tonelada de Dióxido de carbono equivalente

## I. INTRODUCCION

La gestión de Residuos Sólidos Municipales en el Perú es preocupante y se encuentra en estado de emergencia; esta adolece de financiamiento, conciencia ambiental, capacidad técnica y capacidad de fiscalización. La Ley General de Residuos Sólidos (LGRS), ley N° 27314 establece que la gestión de residuos sólidos urbanos son responsabilidad municipal <sup>(1)</sup>, la limpieza pública consistente en barrido de calles, pistas, avenidas, recolección de residuos, transporte de residuos y la disposición final de los residuos generados son asumidos enteramente por los municipios quienes cada año destinan mayores recursos para poder efectuar estos servicios.

La situación se complica si indicamos que de los 198 municipios provinciales solamente 40 han cumplido con presentar sus respectivos planes integrales de gestión de residuos sólidos dentro del plazo que manda la LGRS y de los cuales Lima como capital del Perú no ha cumplido con presentarla<sup>(2)</sup>

Para el año 2001, se estimó para el Perú una generación de 12,986.23 toneladas diarias de residuos sólidos del ámbito municipal urbano, de los cuales 2,559.58 ton/día se disponen en rellenos sanitarios, 5,972.37ton/día se disponen en botaderos a cielo abierto con un control precario, 1,908.98ton/día se reciclan y 2,545.30 ton/día son eliminados al ambiente, siendo los ríos y playas los principales receptores. Esto representa una grave contaminación por su acumulación y persistencia en el medio; situación que pone en serio riesgo la estabilidad de los ecosistemas y la salud de las personas <sup>(3)</sup>. Los costos por servicios de limpieza pública, son trasladados a la población a través del pago de arbitrios; sin embargo el índice de morosidad existente en la mayoría de municipios del país es alarmante, por lo que este servicio esta descuidado y puede verse basura en casi todo el país convirtiéndose en un grave problema ambiental.

Actualmente podemos decir que los servicios de limpieza pública han mejorado en Lima, sin embargo la situación en el resto del país sigue siendo preocupante especialmente en la parte de la disposición final de residuos sólidos; el Perú debería tener mínimamente 198 rellenos sanitarios distribuida uno por provincia, y solamente tiene 8 rellenos sanitarios<sup>(4)</sup> (Huaycoloro; Zapallal; Portillo Grande; Ancón; Modelo del Callao; Befesa ; Huaraz; Carhuaz) de los cuales los 6 primeros se encuentran en Lima y los dos últimos en Ancash, por lo tanto esta situación no ha cambiado desde el 2002 a la fecha existiendo aun cientos de botaderos de basura en todo el país.

La cantidad y calidad de profesionales en Gestión de Residuos Sólidos, diseño y operación de Rellenos Sanitarios es muy limitada; esta formación no es brindada extensivamente en las universidades del país por lo que DIGESA como ente fiscalizador del Estado no se alimenta de personal especializado para poder elaborar normas técnicas realistas para la gestión eficaz de residuos sólidos.

De los lugares de disposición final existentes en el País, destaca el relleno sanitario de Huaycoloro, este es el único relleno sanitario privado del Perú y es de propiedad de PETRAMAS SAC. En este relleno sanitario se viene operando el primer proyecto de captura y quema de emisiones de metano bajo las reglas del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto; convirtiéndose en una experiencia importante para realizar modelos de gestión en la disposición final de residuos.

Es en este contexto que el desarrollo de proyectos MDL en el sector de residuos sólidos, se convierte en una oportunidad para los municipios de clausurar sus botaderos; controlar sus emisiones gaseosas y acceder a los bonos de carbono para financiar una parte sustantiva de los costos que implica manejar un relleno sanitario; con lo cual no solo se reduciría emisiones nocivas al clima global, sino que también se podría cumplir con cuidar la salud pública, contribuyendo así al desarrollo sustentable nacional<sup>(5)</sup>.

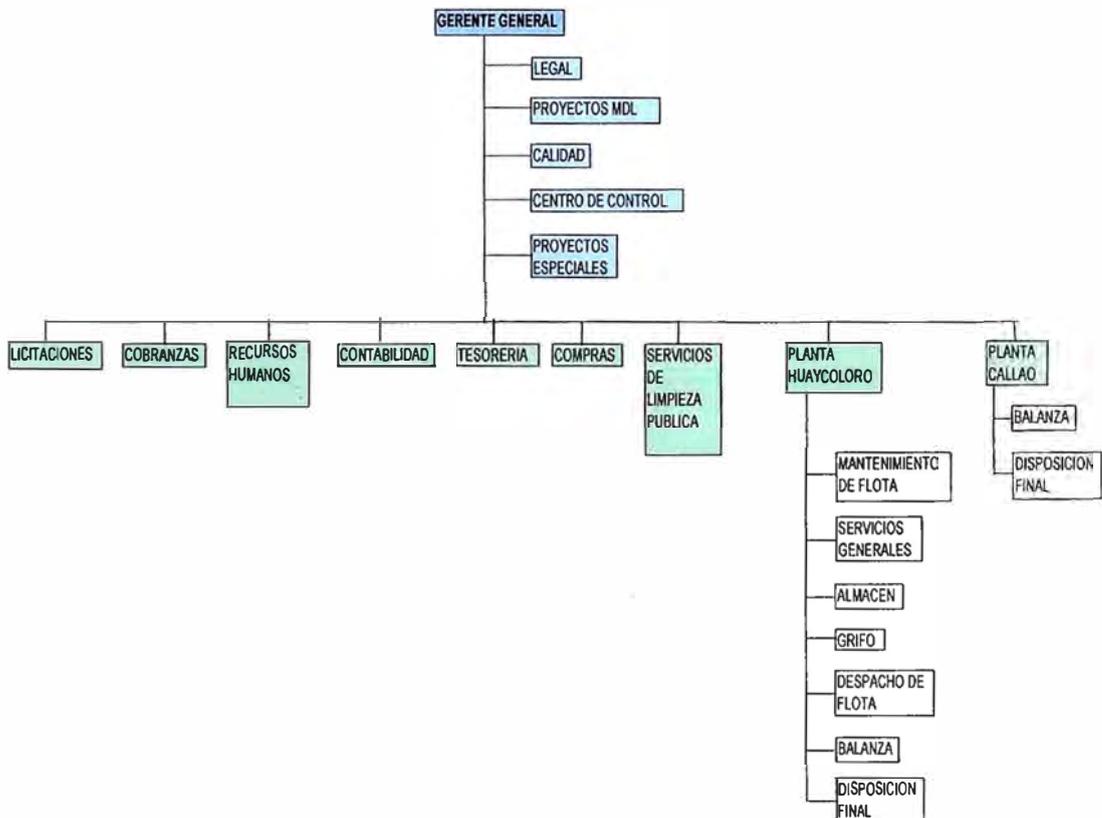
## II. EL ORGANO EMPRESARIAL

### 2.1 DATOS DE LA EMPRESA

RAZON SOCIAL : PETRAMAS SAC  
RUC : 20297566866  
DIRECCION LEGAL : Av. Tomas Marsano 2813-piso 8  
TELEFONO : 271-6337  
Nº REGISTRO EPS-RS : 363-08

### 2.2 ESTRUCTURA ORGÁNICA

PETRAMAS SAC tiene un modelo de estructura orgánica que tiende a ser proyectizada, puesto que los miembros del equipo están frecuentemente ubicados en un mismo lugar. La mayoría de los recursos de la organización están involucrados en el trabajo del proyecto y los directores de proyecto cuentan con independencia y autoridad <sup>(6)</sup>



## 2.3 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

PETRAMAS SAC, tiene por misión el manejo integral y sanitario de los residuos sólidos previniendo el deterioro ambiental y mejorando la salud de la población. Para este efecto viene desarrollando los siguientes servicios:

- Servicio integral de limpieza pública
- Servicio de barrido de calles, avenidas y vías.
- Servicio de recolección y transporte de residuos.
- Servicio de disposición final de residuos sólidos municipales.

Como estos servicios se brindan esencialmente a los municipios, estos se logran a través de las diversas licitaciones y concurso públicos convocado por los municipios cada cierto periodo y que se encuentran regulados por la ley de contrataciones y adquisiciones del estado. A continuación se describirá brevemente las características de cada servicio:

### A) SERVICIO INTEGRAL

El Servicio Integral consiste en el desarrollo de todas las actividades de limpieza pública tales como: El barrido de calles, avenidas y vías; recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos y mantenimiento de áreas verdes. A la fecha PETRAMAS SAC brinda estos servicios a los municipios de JESÚS MARÍA, LA MOLINA y LIMA METROPOLITANA EN LAS VÍAS A CARGO DE EMAPE.



**Foto 01:** Trabajadores brindando servicio integral

## **B) SERVICIO DE BARRIDO DE CALLES Y VIAS**

Este servicio consiste en la eliminación de residuos sólidos de las vías públicas. La cantidad de trabajadores se determinan en función a la eficiencia de barrido que es 1.5Km lineales/trabajador en una jornada de trabajo de 08horas.



**Foto 02:** Trabajadora del servicio de barrido de calles

## **C) SERVICIO DE RECOLECCION Y TRANSPORTE**

Este servicio se caracteriza por recoger los residuos provenientes de las actividades del barrido de calles, residuos domiciliarios, etc. Para este fin en función de la generación de residuos y su caracterización se define el número de unidades compactadoras de recolección así como la capacidad de las mismas y la cantidad de ayudantes de recolección; se determina la ruta de recolección así como la frecuencia de las mismas.

Típicamente se manejan indicadores de recolección como Ton/unidad; Ton /Km. que son evaluados diariamente por el personal supervisor a cargo.

Actualmente PETRAMAS SAC realiza el servicio de recolección y transporte, con unidades modernas y rutas especialmente diseñadas para brindar un servicio eficiente en distritos como SAN JUAN DE LURIGANCHO y BELLAVISTA.



**Foto 03:** Trabajadores del servicio de recolección

#### **D) DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS MUNICIPALES**

Este servicio se caracteriza por el confinamiento sanitario de los residuos en celdas; para ello los residuos se reciben, empujan, compactan y sellan con un material limo arcilloso de la zona. También se controla la generación de líquidos o lixiviados, la proliferación de vectores y la generación de biogás. PETRAMAS SAC Brinda el servicio de disposición final en nuestros dos rellenos sanitarios

- “Relleno sanitario Huaycoloro”, ubicado en la provincia de Huarochirí, a 25 Km. del centro de la ciudad de Lima.
- “Relleno Sanitario Modelo del Callao”, ubicado en la margen derecha del río Chillón a la altura del Km. 19 de la carretera a Ventanilla - Callao.

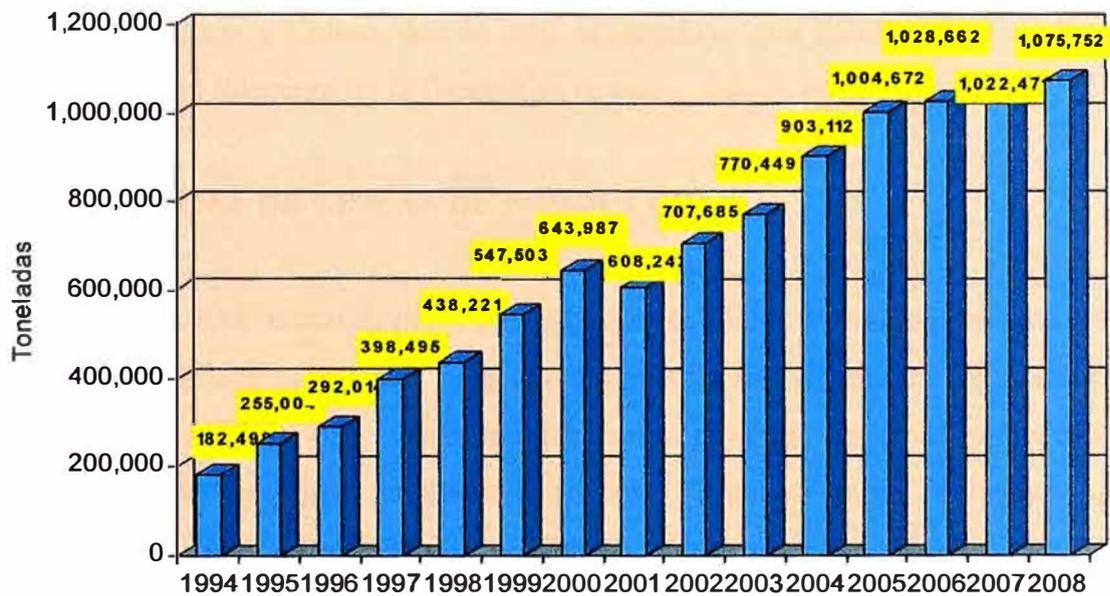


**Foto 04:** Relleno Sanitario Huaycoloro

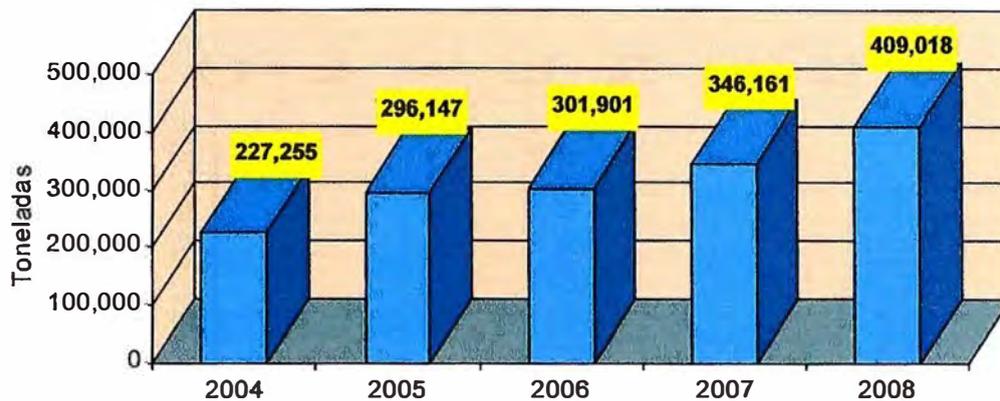


**Foto 05:** Relleno Sanitario Modelo del Callao

Las figuras 01 y 02 muestran la estadística de cantidad de residuos sólidos dispuestos en nuestros 02 rellenos sanitarios desde el inicio de sus operaciones



**Figura 01:** Residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Huaycoloro desde el año 1994 al año 2008. (Fuente: PETRAMAS SAC)



**Figura 02:** Residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Modelo del Callao desde el año 2004 al año 2008. (Fuente: PETRAMAS SAC)

Realizando un análisis de la cantidad total de residuos recibidos en nuestros 02 rellenos sanitarios podemos decir que en PETRAMAS SAC se dispone más de 4,000 toneladas al día, y de un total de 6,750ton/día<sup>(7)</sup> de residuos sólidos dispuestos en los distintos rellenos sanitarios de Lima y Callao; esto representa aproximadamente el 60% del mercado local de disposición final o más de 30 distritos de Lima y Callao; con lo cual se concluye que PETRAMAS SAC ha consolidado su liderazgo en la Gestión de residuos sólidos en el país.

## 2.4 DIAGRAMA DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

PETRAMAS SAC como empresa prestadora de servicios de residuos sólidos esta comprometida con la calidad, para ello ha establecido claramente su mapa de procesos (ver figura 03) clasificándolos como procesos de direccionamiento; procesos operacionales y procesos de soporte. Todas las líneas de negocio de PETRAMAS SAC se encuentran certificadas con el estándar internacional a la calidad ISO 9001:2000 con número de certificación 4405-I; esto es otorgado por la certificadora ICONTEC y reconocido mundialmente por la red de certificadoras IQNET. (Ver fotografía 06)

# MAPA DE PROCESOS

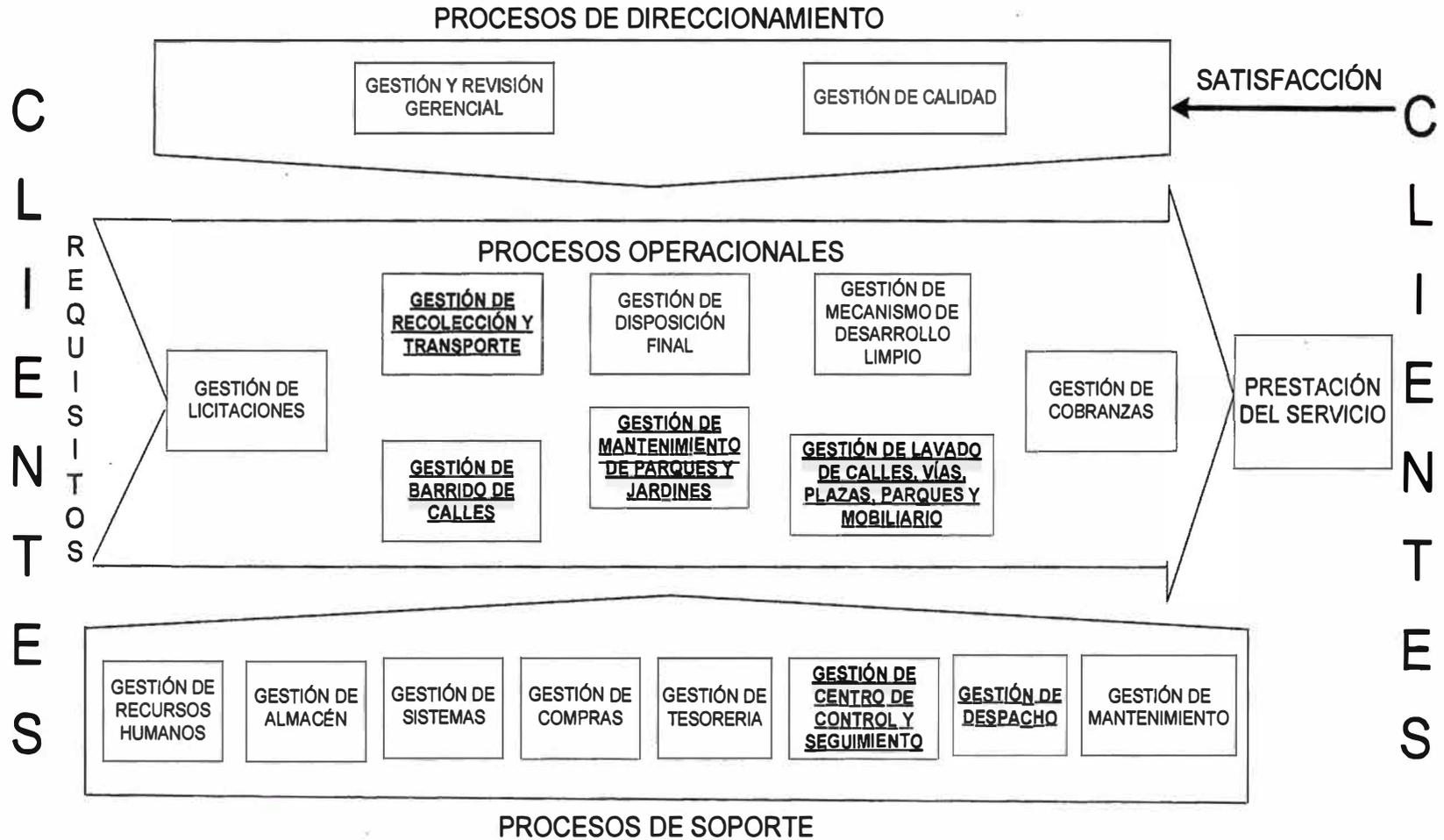


Figura 03: Mapa de procesos de PETRAMAS SAC



ICONTEC certifica que el Sistema de Gestión de la Calidad de:  
ICONTEC certifies that the Quality Management System of:

## PETRAMAS S.A.C.

Oficina central: Av. Tomás Morúa No. 2013, Bvo. Piso, Urb. Miguereza,  
Santiago de Surco, Lima, Perú.  
Rutero Sanitario de Mayayo Loro, Quebrada de Mayayo Loro, Km. 7,  
Vta San Antonio, Muecchil, Lima, Perú.

ha sido evaluado y aprobado con respecto a los requisitos especificados en:  
has been assessed and approved based on the specified requirements of

### ISO 9001:2000

Este Certificado es aplicable a las siguientes actividades:  
This certificate is applicable to the following activities:

Servicio de recolección y transporte de residuos sólidos; servicio de barrido de calles; servicio de mantenimiento de parques y jardines; servicio de lavado de calles, vías, plazas, parques y mobiliario; y servicio de disposición final de residuos sólidos urbanos municipales e industriales no peligrosos, en el Relleno Sanitario "Mayayo Loro" de Lima (Perú)

Collection and transportation service, streets sweeping service, parks and gardens maintenance service, streets, roads, squares, parks and urban furniture washing service and final disposal of municipal and industrial not hazardous solid waste at the "Mayayo Loro" mechanized land fill in Lima, Peru

Esta aprobación está sujeta a que el sistema de gestión se mantenga de acuerdo con los requisitos especificados, lo cual será verificado por ICONTEC

This approval is subject to the maintenance of the management system according to the specified requirements, which will be verified by ICONTEC

Certificado BC 4405-1  
Certificate

Fecha de Aprobación:  
Approval Date

2007 01 24

Fecha Última Modificación:  
Last Modification Date

2008 04 26

Fecha de Renovación:  
Renewal Date

Fecha de Vencimiento:  
Expiration Date

2010 01 23

ICONTEC es un organismo de certificación acreditado por  
ICONTEC is a certification body accredited by

Pablo Tognin  
Licenciado en Ingeniería Civil



oto 06: Certificado ISO 9001:2000 otorgados a PETRAMAS SAC

### **III. RELACION PROFESIONAL-EMPLEADOR**

#### **3.1 CONDICIÓN DE RELACIÓN LABORAL**

En mi condición de Jefe de Proyecto MDL; la relación con PETRAMAS SAC es de empleado a plazo fijo con un contrato renovable cada 03 meses.

#### **3.2 DOCUMENTOS PROBATORIOS**

El apéndice A se muestra una copia de constancia de trabajo otorgado por la empresa.

### **IV. TRABAJO PROFESIONAL DESARROLLADO**

#### **4.1 CARGOS DESEMPEÑADOS**

Durante mi permanencia en PETRAMAS SAC he tenido la oportunidad de desarrollarme en puestos claves de la empresa (ver tabla 1), cuyos logros la han venido consolidando con el transcurrir de los años hasta convertirse en una empresa muy sólida en su rubro.

**Tabla 1:** Cargos desempeñados en PETRAMAS SAC

<b>CARGO DESEMPEÑADO</b>	<b>PERIODO</b>
Jefe de Proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio	Noviembre 2006-actualidad
Jefe de Gestión de Calidad ISO 9001:2000	Octubre 2006-Setiembre 2007
Asesor de Proyectos	Mayo 2006-Setiembre 2006
Asesor de Calidad	Agosto 2005-Abril 2006

Puedo decir que por los cargos desempeñados, la labor realizada y los logros obtenidos y mantenidos he contribuido con PETRAMAS a lograr y mantener el liderazgo en gestión de residuos sólidos y en el cuidado ambiental, por haber implementado exitosamente el primer proyecto de mecanismo de desarrollo limpio para la captura y combustión de biogas en relleno sanitario.

## **4.2 FUNCIONES ASIGNADAS A CADA CARGO**

### **JEFE DE PROYECTO MDL**

1. Realizar estudios de diseño y optimización del proyecto en coordinación con la Gerencia General.
2. Realizar el Procedimiento de Cálculo de Reducción de Emisiones (PCRE); siguiendo la metodología aprobada por Naciones Unidas establecidas en el documento diseño el proyecto y presentar anualmente el reporte de monitoreo del proyecto ante las Naciones Unidas.
3. Elaborar, Implementar y mantener el sistema de gestión de calidad del proyecto.
4. Realizar los requerimientos técnicos del proyecto, Coordinando con Compras el abastecimiento necesario para garantizar el funcionamiento continuo del proyecto.
5. Monitorear la generación de biogás por pozo estableciendo las acciones a tomar en caso de baja de producción y reportar diariamente a la Gerencia General los valores de concentración y flujo de biogás registrados por el sistema en cada hora de operación.
6. Programar el mantenimiento y calibración de equipos e instrumentos del proyecto velando por su correcto cumplimiento.
7. Programar la construcción pozos de captación de biogás así como las obras de termofusión de tuberías.
8. Inspeccionar el terreno para detectar tuberías en contra pendiente y zonas con fisuramiento por cambio en la topografía del terreno.
9. Programar los trabajos diarios a realizar en la plataforma y en la estación de succión y quemado así como supervisar su correcto cumplimiento.
10. Participar de otros proyectos que indique la Gerencia General.

### **JEFE DE CALIDAD**

1. Planificar la implementación y el mantenimiento del Sistema de Gestión de Calidad y otros Sistemas de Gestión que la Gerencia General autorice.
2. Verificar y controlar la ejecución de los planes de Gestión de la empresa.
3. Controlar la implementación de indicadores de gestión.
4. Proponer procedimientos y registros de control, así como validarlos.
5. Asegurarse que los procedimientos y funciones sean adecuados y se encuentren implementados.
6. Programar las inspecciones y auditorías internas y externas.
7. Participar en los diversos comités de trabajo que la Gerencia General encargue.
8. Verificar que las no conformidades detectadas en las auditorías internas y externas se eliminen.
9. Programar y efectuar la medición de satisfacción de cliente interno y externo.
10. Efectuar otras funciones afines y encargos que le asigne la Gerencia General.

### **ASESOR DE CALIDAD**

1. Asesorar a todas las áreas de la empresa en la elaboración de sus procedimientos, instructivos, registros y planes.
2. Mantener actualizados los manuales, procedimientos, registros, indicadores del sistema de gestión de calidad de la empresa.
3. Controlar la distribución de documentos y registros de calidad de la empresa.
4. Supervisar que el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa se aplique correctamente.
5. Entrenar, capacitar y evaluar al personal de la empresa en el Sistema de Gestión de Calidad, y en otros Sistemas de Gestión que autorice la Gerencia General.
6. Participar en los procesos de auditorías internas y externas.

7. Hacer seguimiento a las no conformidades detectadas en las auditorías internas y externas, hasta la eliminación de las mismas.
8. Procesar la información de la medición de satisfacción del cliente interno/externo y reportar oportunamente los resultados al Jefe de Calidad.
9. Participar en los diversos comités de trabajo que el Jefe de Calidad encargue.
10. Efectuar otras funciones afines que le asigne el Jefe de Calidad.

### **ASESOR DE PROYECTOS**

1. Elaborar proyectos técnicos según las indicaciones del Jefe de Licitaciones y del Gerente General.
2. Realizar estudios de costo de los proyectos, según indicaciones del Jefe de Licitaciones y del Gerente General.
3. Recabar la información necesaria sobre los proyectos que se están llevando a cabo y sobre los proyectos encargados por la Jefatura del Área o por la Gerencia General.
4. Analizar y desarrollar propuestas para incursionar en nuevos mercados.
5. Recopilar información sobre los costos de los Servicios y Planta.
6. Realizar cuadros de costos de los servicios y planta.
7. Realizar un informe de cada uno de los Servicios.
8. Elaborar información detallada de los clientes que sustenten los ingresos de la Empresa; gastos operativos y administrativos de la empresa.
9. Asistir en la elaboración de propuestas técnicas y económicas
10. Efectuar otras funciones afines que le asigne el Jefe de Proyectos Especiales.

### 4.3 PRINCIPALES ACTIVIDADES DESARROLLADAS

#### **Cargo: Jefe de Proyecto MDL**

**Periodo:** Del 01/11/2006 hasta la actualidad

**Función Principal:**

Diseño, ejecución, operación y administración del Proyecto de captura y quema de biogás en el relleno sanitario Huaycoloro.

**Principal(es) Logro(s) Obtenido(s):**

- a) Obtención del registro ante las Naciones Unidas, del primer proyecto de captura y quema de biogás en el marco del protocolo de Kyoto en el relleno sanitario Huaycoloro.
- b) Aprobación de la primera verificación inicial del proyecto a cargo de la certificadora TUV SUD.
- c) Monitoreo continuo y optimización del proyecto.
- d) Aprobación de la primera auditoria de seguimiento a cargo de la certificadora TUV SUD para la entrega de los Bonos de carbono.
- e) Diseño, ejecución e inauguración del proyecto de electrificación de la planta Huaycoloro.
- f) Aprobación del EIA y del proyecto de Infraestructura de disposición final del relleno de Seguridad Huaycoloro.

#### **Cargo: Jefe de Calidad**

**Periodo:** Del 01/10/2006 al 31/09/2007

**Función Principal:**

Implementación, sostenimiento y consolidación del sistema ISO9001:2000 para la empresa.

**Principal(es) Logro(s) Obtenido(s):**

- a) Obtención de la certificación ISO 9001:2000 para el servicio de disposición final de residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario Huaycoloro.

- b) Aprobación de la auditoria de seguimiento ISO 9001:2000

**Cargo: Asesor de proyectos**

**Periodo:** Del 01/05/2006 al 30/09/2006

**Función Principal:**

- a) Estudio de proyectos de iniciativas privadas para la concesión de servicios de limpieza publica.
- b) Diseño de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos para los proyectos de concesión de servicios.
- c) Estudios de Costos de servicios de limpieza pública

**Principal(es) Logro(s) Obtenido(s):**

- a) Determinación de los costos de los servicios brindados por la empresa.
- b) Presentación de 03 iniciativas privadas de concesión de Limpieza pública para la Municipalidad Provincial del callao; Municipalidad Provincial de arequipa y Municipalidad provincial de Cajamarca.

**Cargo: Asesor de calidad**

**Periodo:** Del 01/08/2005 al 30/04/2006

**Función Principal:** Implementación de la norma ISO 9001:2000

**Principal(es) Logro(s) Obtenido(s):**

- ❖ Desarrollo e implementación de la documentación para la obtención del ISO 9001: 2000

## V. DESARROLLO DE UNA O MAS ACTIVIDADES PROFESIONALES

### “PROYECTO DE MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO PARA LA CAPTURA Y COMBUSTION DEL BIOGAS DEL RELLENO SANITARIO HUAYCOLORO”

#### 5.1 ANTECEDENTES

##### A) CAMBIO CLIMÁTICO

Por cambio climático se entiende que es una variación en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables <sup>(8)</sup>. El cambio climático es considerado como una de las amenazas más serias para el medio ambiente global; tiene un impacto negativo sobre la salud de los seres humanos, su seguridad alimentaria, la actividad económica, el agua y otros recursos naturales. El clima global varía naturalmente, pero los científicos concuerdan en que las crecientes concentraciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera de la Tierra (ver tabla 02) están conduciendo a un cambio climático; siendo los países mas pobres los que mas sufren las consecuencias por no estar suficientemente preparados para estos eventos. La figura 04 muestra la esencia de cómo se genera el efecto invernadero.

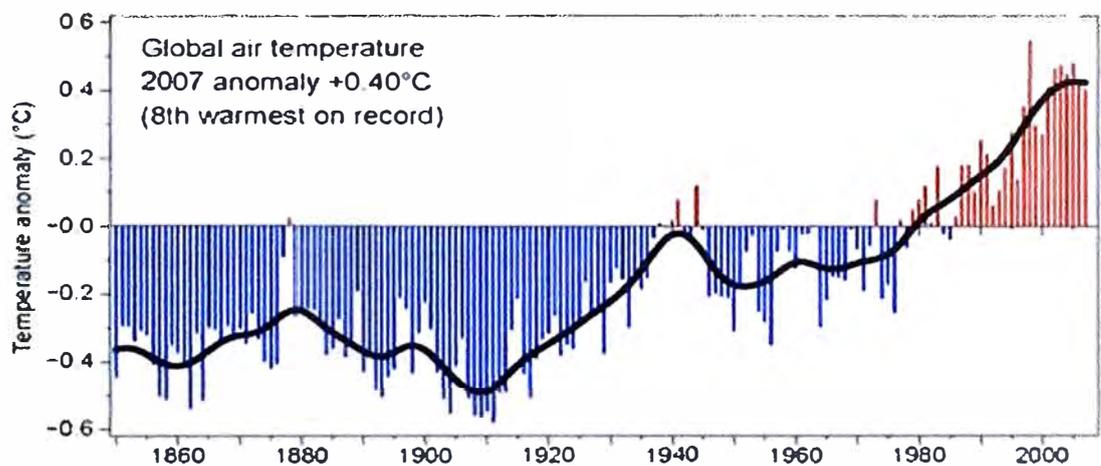
**Tabla2:** Gases de efecto invernadero GEI reconocidos por el Protocolo de Kioto

NOMBRE	FORMULA	PODER DE CALENTAMIENTO DE LA TIERRA	PRINCIPAL FUENTE DE GENERACION
DIOXIDO DE CARBONO	CO <sub>2</sub>	1	Combustion de combustibles fosiles
METANO	CH <sub>4</sub>	21	Mineras de carbon, Relleno Sanitario, ganaderia
OXIDO NITROSO	N <sub>2</sub> O	296	Fabricas de fertilizantes y combustion de combustibles
HIDROFLUOROCARBONADOS	HFC	1300	Refrigerantes industriales, Aire acondicionado
PERFLUOROCARBONADOS	PFC	6500-9200	Refrigerantes industriales
HEXAFLUORURO DE ASUFRE	SF <sub>6</sub>	22000	Produccion de magnesio



Figura 04: Esquema gráfico del efecto invernadero

Durante el proceso de efecto invernadero; el sol emite radiaciones ultravioletas (UV) de las cuales una parte es filtrada por la capa de ozono y otra porción llega a la tierra, quien para mantener su equilibrio térmico emite radiaciones infrarrojas (IR) que son absorbidas por los llamados gases de efecto invernadero presentes en la atmosfera, no permitiendo el paso total de la radiación hacia el espacio exterior y calentando la atmosfera, generando así un desbalance térmico de consecuencias graves en la actualidad. La figura 05 muestra la tendencia de la variación de la temperatura global



**Figura 05** Variaciones en la temperatura global entre 1850 y 2007 según CRU

En esta situación de calentamiento, son múltiples los fenómenos globales que tienen lugar en nuestros días, que son claras evidencias del calentamiento global y ha creado impactos sin solución derivados de procesos como:

- a) El deshielo de los glaciares de montaña (Himalayas, Andes, Alpes...), de las grandes superficies heladas del Hemisferio Norte y sur (el Océano Glaciar Ártico, Groenlandia y el permafrost de Siberia, Alaska y la Antártida).
- b) Olas de calor, sequías e incendios forestales-. Es evidente que un calentamiento global significa mayores temperaturas (figura 2) así que, de una u otra manera, debemos notarlo con un incremento de grados en las condiciones climáticas

- c) Incremento de las tormentas en fuerza y número: Hemos tenido un mayor número de huracanes en América Central y del Norte (con el *Katrina* como hito destacado), de tifones en el Pacífico asiático y de tormentas europeas.
- d) Modificación de ecosistemas: En Europa ha habido notables cambios en la distribución de las especies tanto animales como vegetales (a la vid, verbigracia, le favorece el aumento de las temperaturas y se extiende cada vez más hacia el norte europeo al tiempo que gana en calidad en sus áreas habituales).

### **La situación País:**

La situación peruana no es ajena al calentamiento global; entendiendo que este fenómeno no conoce fronteras, existen evidencias de que nuestro país ya presenta evidencias cuantificables de su impacto:

- a) Incremento aproximado del nivel del mar en Paita de 0,24 cm/ año, desde 1988.
- b) Se registró los más bajos niveles de producción de la industria de harina de pescado a causa del Niño 1997-98
- c) El algodón, el maíz, el mango, etc. son los cultivos más afectados por el cambio climático en el año 1997
- d) Es probable la ocurrencia de por lo menos un evento El Niño durante el período 2009-2015
- e) Pérdida del 50% del glaciar Coropuna que irriga las Pampas de Majes en los últimos 50 años.
- f) Pérdida del 22% de la superficie glaciar a nivel nacional en los últimos 22 a 35 años (previos a 1998); El agua perdida asciende a 7 000 millones de metros cúbicos, equivalente al agua que toma Lima en 10 años.



**Foto 07:** Deshielo del Glaciar Yanamarey (Cordillera Blanca; 4786msnm)

Bajo el supuesto de que el calentamiento global es un proceso exponencial, es decir, a mayor incremento de gases invernadero, mayor calentamiento y finalmente, mayores consecuencias, entonces tendríamos un futuro catastrófico para la humanidad.

### **B) La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático**

La respuesta política internacional al cambio climático comenzó en 1992 con la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). Esta convención estableció un marco para la acción cuyo objetivo es la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, para evitar que interfiera peligrosamente con el sistema climático.

En esta Convención los países miembros o partes se comprometieron a:

1. Desarrollar, actualizar y publicar inventarios nacionales de emisiones de GEI
2. Desarrollar programas para la mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones y el uso de sumideros;
3. Establecer medidas para la adaptación al cambio climático;
4. Promover y cooperar en el desarrollo de tecnologías, prácticas y procesos que controlen, reduzcan o prevengan la emisión de GEI, incluyendo a los sectores agrícola y forestal.

La UNFCCC entró en vigencia el 21 de marzo de 1994, y está integrada hoy por 188 estados parte (países miembros) siendo EEUU y China los grandes ausentes y quienes tienen los más altos niveles de emisiones de GEI

### **C) El Protocolo de Kyoto (COP-3, 1997)**

Con el fin de poner en práctica lo establecido por la UNFCCC se realizan anualmente las conferencias de países involucrados, llamadas conferencia de las partes (COPs) para discutir y tomar decisiones. En diciembre de 1997, durante la COP-3, realizada en Kyoto, Japón, se acordó el Protocolo de Kyoto (PK), que compromete a los países desarrollados y a los países en transición hacia una economía de mercado a alcanzar objetivos cuantificables de reducción de emisiones. Estos países, conocidos en la UNFCCC como Partes del Anexo I, se comprometieron a reducir su emisión total de seis gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; N<sub>2</sub>O; HFC; PFC; SF<sub>6</sub>); hasta al menos 5,2 por ciento por debajo de los niveles de emisión de 1990 durante el periodo 2008-2012 (el primer periodo de compromiso), con objetivos específicos que varían de país en país.

El PK ya entró en vigor, 136 partes han ratificado o aceptado el Protocolo, incluyendo 37 partes del Anexo I. La tabla 03 muestra el nivel de compromiso de los países ANEXO I reflejados en el Anexo B del PK en forma de porcentajes respecto del año base (1990).

Como resultado del inventario de emisiones realizado por las partes y los compromisos asumidos en el PK, algunas partes concluyeron que no lograrían la meta teniendo posición de comprador de emisiones reducidas generando la demanda y algunos otros proyectaron que excederían la meta pudiendo vender sus excedentes.

**Tabla 03:** Posición de países en el marco del Protocolo de Kioto al 2010 en millones de toneladas de CO<sub>2</sub> según sus prácticas más usuales

País (Anexo B)	Compromiso de reducción (% del nivel de 1990)	Demanda / oferta de emisiones( Millones de tCO <sub>2</sub> e)		Posible posición para el 2010
		Ultimo reporte (1999)	proyecciones OAU para el 2010	
Australia	108	31	18	Comprador
Austria	92	9	9	Comprador
Bélgica	92	19	8	Comprador
Bulgaria	92	-45	-10	Vendedor
Canadá	94	117	103	Comprador
República Checa	92	-38	-27 a -53	Vendedor
Dinamarca	92	+6.5	+12	Comprador
Finlandia	92	+7	+37	Comprador
Francia	92	+49	+70	Comprador
Alemania	92	-95	+66	Comprador
Grecia	92	+24	+32 a +49	Comprador
Hungría	94	-8	-10	Vendedor
Italia	92	+63	+103	Comprador
Japón	94	+176	+319	Comprador
Holanda	92	+34	+53	Comprador
Nueva Zelanda	100	+2	+15	Comprador
Noruega	101	+6.7	+16	Comprador
Polonia	94	-130	-3 a -85	Vendedor
Portugal	92	+16	+16	Comprador
Rumanía	92	-80	+41	Comprador
Rusia	100	-1073	-89 a -122	Vendedor
Eslovaquia	92	-17	-5.4 a -13	Vendedor
España	92	+82	+84	Comprador
Suecia	92	+6.4	+9	Comprador
Suiza	92	+4.3	+4.2	Comprador
Ucrania	100	-455	-152 a -68	Vendedor
Reino Unido	92	-11	+5	Vendedor
Estados Unidos	93	+1033	+715	Comprador
<b>TOTAL</b>		Anexo B sin EEUU: -1299	Anexo B sin EEUU: +690	
Compradores		+ 653	+1020.2	
UE total		+168	+473	

Fuente: Protocolo de Kioto

Los resultados indican que, para poder cumplir con las metas de emisiones, los países compradores del Anexo B que demandan créditos de carbono sería de alrededor de 690 millones de toneladas de dióxido de carbono (tCO<sub>2</sub>e) anuales.<sup>(9)</sup>

El Protocolo estableció tres mecanismos para asistir a las Partes del anexo I en el logro de sus objetivos nacionales de un modo costo-efectivo:

a. **El comercio de emisiones entre países desarrollados:** Consiste en transferir reducciones de carbono entre países industrializados basado en compras de derechos de emisión a países que están por debajo de sus cuotas.

Las unidades de venta se denominan Assigned Amount Units (AAU).

b. **El Mecanismo de Implementación Conjunta (IC)**: Consiste en transferir créditos de emisiones entre países desarrollados, basado en proyectos de reducción de carbono que permite acreditar unidades de reducción de emisiones a favor del país inversor.

Las unidades de venta se denominan Emission Reduction Units (ERU).

c. **El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)**: Consiste en desarrollar proyectos de inversión que mitigue o secuestre GEI en países en desarrollo, para que estos puedan obtener beneficios económicos adicionales, lograr un desarrollo sostenible y ayudar a los países del Anexo I a cumplir sus compromisos cuantificados.

Las unidades de venta se denominan Certificados de Emisiones Reducidas (CER) y representan el equivalente a 1 ton CO<sub>2</sub>

A pesar que EEUU es el mayor emisor de GEI del mundo, no ha ratificado el PK, y que este Protocolo ha entrado en vigor tardíamente a principios del año 2005, la implementación de estos mecanismos ha dado lugar a un emergente mercado global de carbono, atractivo para las inversiones medioambientales en todo el mundo, ya que existe la percepción de que en el futuro las restricciones a la emisión de GEI serán mayores.

## **5.2 CICLO DEL PROYECTO MDL APLICADO AL RELLENO SANITARIO HUAYCOLORO**

La figura 6, muestra gráficamente los criterios a seguir por todo proyecto que busca ser acreditado como MDL; se debe completar los mismos pasos para estar en capacidad de negociar sus reducciones cuantificadas de gases de efecto invernadero en el mercado de carbono; el primer paso consiste en determinar si el proyecto es elegible como MDL, y el último es la certificación y venta de los CERs. El MDL estará sujeto a la autoridad y dirección de la conferencias de partes y a la supervisión de la Junta Ejecutiva (EB) del MDL <sup>(10)</sup>. La función principal del EB es supervisar el MDL y las entidades operacionales designadas

(DOE) que certifican las reducciones de emisiones de proyectos MDL y por lo tanto, valida esta reducción de emisiones para ser usada por los países con compromisos de reducción de GEI en el marco del PK para cumplir con sus cuotas.



**Figura 06:** Etapas del ciclo del proyecto MDL

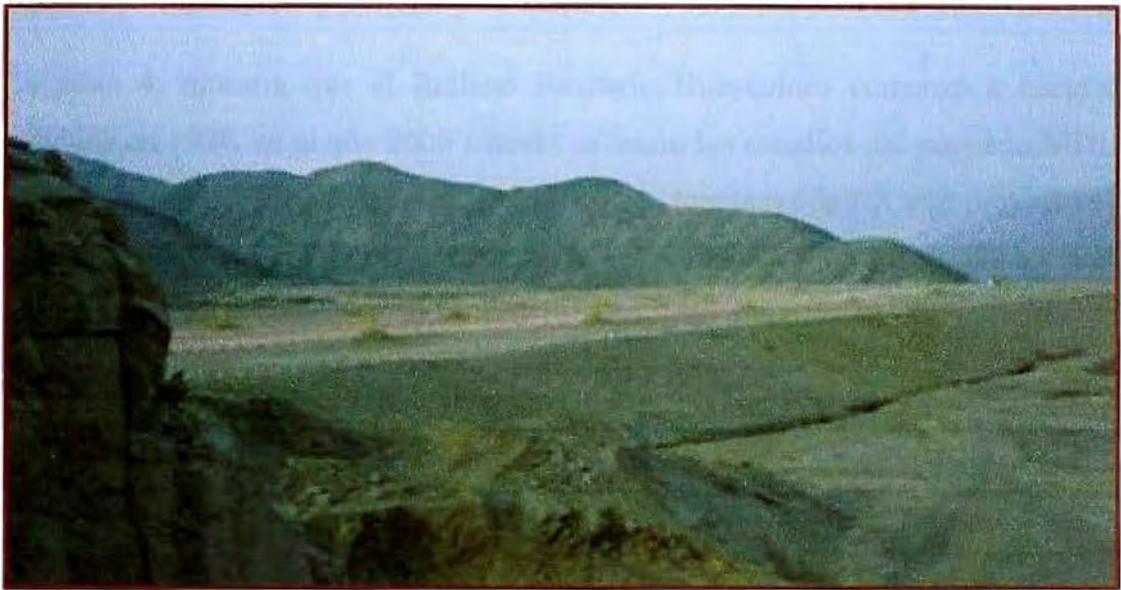
A continuación se describirá cada etapa del proyecto enfatizando la parte que como experiencia se tuvo en el relleno sanitario Huaycoloro.

### **A) PREPARACIÓN Y REVISIÓN DEL PROYECTO.**

En esta etapa se determina si el proyecto es elegible como proyecto MDL para lo cual el desarrollador del proyecto prepara un perfil que es entregado para su evaluación a expertos y compradores de carbono y así determinar preliminarmente su factibilidad a la luz de las reglas del MDL; con esto se decide si vale la pena proseguir con estudios más avanzados evitando incurrir en costos elevados.

Con la finalidad de implementar el primer proyecto MDL en residuos sólidos en Relleno sanitario Huaycoloro, PETRAMAS realizó un estudio en el año 2005 con auspicio del Banco Mundial; cuyos aspectos relevantes se hará mención.

En principio es necesario diferenciar un relleno sanitario de un botadero. Los rellenos sanitarios a diferencia de los botaderos; son Instalaciones debidamente equipadas y operadas con conceptos y métodos de ingeniería tal que permiten disponer sanitaria y ambientalmente segura los residuos sólidos<sup>(11)</sup>



**Foto 8:** Relleno sanitario Huaycoloro. Año 2005



**Foto 9:** Botadero de Reque-Trujillo; Año 2008

### A.1 EL RELLENO SANITARIO HUAYCOLORO

El Relleno Sanitario de Huaycoloro esta ubicado en la Quebrada Huaycoloro Km. 19, distrito de San Antonio de Chaclla, ciudad de Lima, Perú. Tiene una extensión de 1575Has y es propiedad de PETRAMAS quien a su vez se encarga de gestionar las operaciones, siendo considerada la más moderna en el Perú.

La tabla 4, muestra que el Relleno Sanitario Huaycoloro comenzó a aceptar residuos en 1994, en el año 2005 cuando se inicio los estudios del proyecto MDL se tenían acumulados alrededor de 6 millones de toneladas de RS y se proyectó el llenado de las celdas a futuro considerando un incremento anual de 1.5% hasta el año 2040 que es donde se alcanzara la capacidad máxima de 40 millones de toneladas.

**Tabla 04:** Historial de disposición de residuos en el Relleno Sanitario Huaycoloro

<b>AÑO</b>	<b>TOTAL ANUAL (Toneladas)</b>	<b>TOTAL ACUMULADO (Toneladas)</b>	<b>AÑO</b>	<b>TOTAL ANUAL (Toneladas)</b>	<b>TOTAL ACUMULAD (Toneladas)</b>
1994	182,498.00	182,498.00	2018	898,100.00	16,954,549.00
1995	255,004.00	437,502.00	2019	911,600.00	17,866,149.00
1996	292,014.00	729,516.00	2020	925,300.00	18,791,449.00
1997	398,495.00	1,128,011.00	2021	939,200.00	19,730,649.00
1998	438,221.00	1,566,232.00	2022	953,300.00	20,683,949.00
1999	547,503.00	2,113,735.00	2023	967,600.00	21,651,549.00
2000	643,987.00	2,757,722.00	2024	982,100.00	22,633,649.00
2001	608,242.00	3,365,964.00	2025	996,800.00	23,630,449.00
2002	707,685.00	4,073,649.00	2026	1,011,800.00	24,642,249.00
2003	718,300.00	4,791,949.00	2027	1,027,000.00	25,669,249.00
2004	729,100.00	5,521,049.00	2028	1,042,400.00	26,711,649.00
2005	740,000.00	6,261,049.00	2029	1,058,000.00	27,769,649.00
2006	751,100.00	7,012,149.00	2030	1,073,900.00	28,843,549.00
2007	762,400.00	7,774,549.00	2031	1,090,000.00	29,933,549.00
2008	773,800.00	8,548,349.00	2032	1,106,400.00	31,039,949.00
2009	785,400.00	9,333,749.00	2033	1,123,000.00	32,162,949.00
2010	797,200.00	10,130,949.00	2034	1,139,800.00	33,302,749.00
2011	809,200.00	10,940,149.00	2035	1,156,900.00	34,459,649.00
2012	821,300.00	11,761,449.00	2036	1,174,300.00	35,633,949.00
2013	833,600.00	12,595,049.00	2037	1,191,900.00	36,825,849.00
2014	846,100.00	13,441,149.00	2038	1,209,800.00	38,035,649.00
2015	858,800.00	14,299,949.00	2039	1,227,900.00	39,263,549.00
2016	871,700.00	15,171,649.00	2040	736,451.00	40,000,000.00
2017	884,800.00	16,056,449.00			

Fuente: PETRAMAS

Actualmente Huaycoloro recibe 3,200 toneladas diarias (más de 1'000,000.00 toneladas anuales) y se ha dispuesto más de 9 millones de toneladas de residuos en casi 60 hectáreas del relleno. El conocimiento del historial de disposición final de residuos y la proyección futura de recepción es importante para el proyecto MDL pues ayudara a estimar el volumen de generación anual de biogas.

## **A.2 CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE RELLENO SANITARIO**

La Tabla 5, muestra la composición física de los residuos existentes en las diversas plataformas del RS Huaycoloro en la cual puede notarse que el 64,4% es predominantemente orgánico y fácilmente degradable, lo cual es importante para el proyecto MDL pues son estos los que generaran biogas.

**Tabla 05:** Composición de los residuos Sólidos del RS Huaycoloro

<b>Componente</b>	<b>Composición</b>
<b>Residuos de alimentos y vegetación</b>	<b>47,5%</b>
<b>Papeles y cartones</b>	<b>16,9%</b>
<b>Plásticos</b>	<b>6,8%</b>
<b>Caucho, cuero, telas, huesos</b>	<b>4,0%</b>
<b>Metales</b>	<b>5,5%</b>
<b>Madera</b>	<b>3,1%</b>
<b>Vidrio</b>	<b>1,5%</b>
<b>Otros residuos inorgánicos</b>	<b>14,7%</b>
<b>Total</b>	<b>100,0</b>

Fuente: PETRAMAS SAC

## **A.3 COMPOSICION DEL BIOGAS DE RELLENO SANITARIO**

Se puede concebir a un relleno sanitario como un gran reactor biológico con residuos sólidos y agua como entradas principales y con gases (biogas) y lixiviado como principales salidas. El biogas se puede recuperar para producir energía o

quemar bajo condiciones controladas para disminuir la emisión de contaminantes dañinos a la atmósfera.

El Biogas está compuesto de varios gases presentes en grandes cantidades tales como el CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO; H<sub>2</sub>; NH<sub>3</sub>; H<sub>2</sub>S; O<sub>2</sub> y de trazas conformadas por más de 100 oligogases conformadas por compuestos orgánicos volátiles (COVs) cuya composición típica del biogas se muestran en la tabla 6

**Tabla 06:** Composición típica del biogas tomado de 66 Rellenos de California<sup>(12)</sup>

Componente	Porcentaje en base seca
Metano	45-60
Dióxido de carbono	40-60
Nitrógeno	2-5
Oxígeno	0.1-1.0
Sulfuros, disulfuro, mercaptanos	0-1.0
Amoniaco	0.1-1.0
Hidrógeno	0-0.2
Monóxido de carbono	0-0.2
Componentes en trazas*	0.01-0.6

\*12 compuestos traza importantes: Etilbenceno, tolueno, tetracloroetano, benceno, 1,2dicloroetano, tricloroetano, 1,1,1 tricloroetano, tetracloruro de carbono, cloroformo, 1,2dicloroetano, diclorometano, cloruro de vinilo.

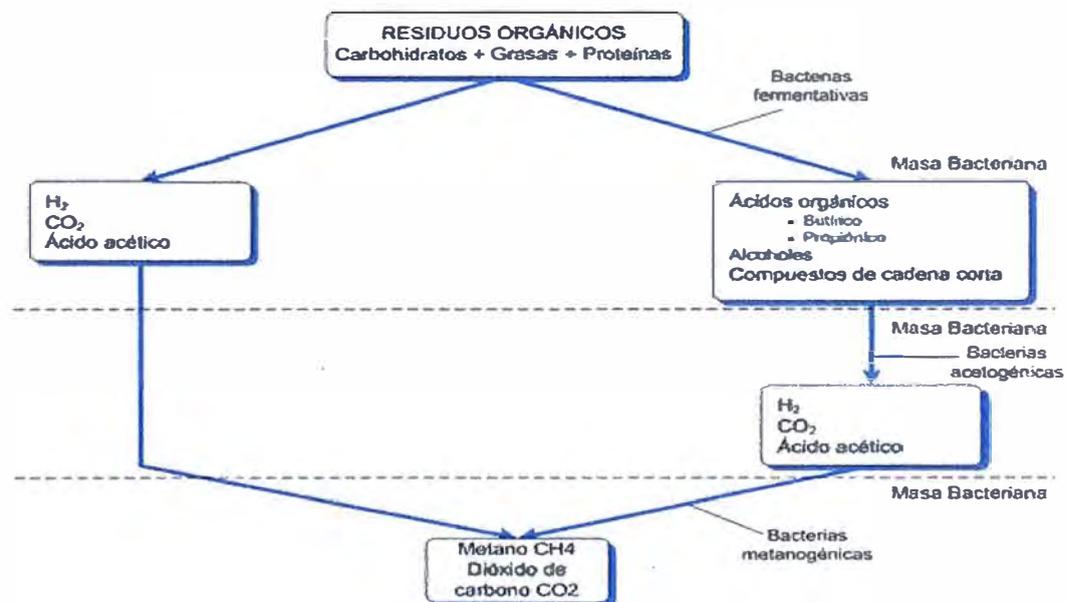
Debido a que cada relleno sanitario es particular en composición de biogas se midió la composición del biogas en las chimeneas existentes del Relleno sanitario Huaycoloro utilizando un equipo GEM 500 cuyos resultados se ven en la tabla 07 y se puede apreciar que el 47,4% es metano CH<sub>4</sub>.

**Tabla 07:** Composición del biogas del Relleno Sanitario Huaycoloro

COMPONENTE	%
Metano	47,4
Dióxido de Carbono	47
Nitrógeno	3,7
Oxígeno	0,8
Hidrocarburos parafinados	0,1
Hidrocarburos de ciclo aromático.	0,2
Hidrógeno	0,1
Sulfuro de hidrógeno	0,1
Monóxido de carbono	0,1
Trazas otros compuestos	0,5

#### A.4 GENERACIÓN DE BIOGAS

El biogas de relleno sanitario se forma por degradación anaerobia de los residuos sólidos; sin embargo para llegar a esta condición dentro del relleno sanitario suceden en 05 etapas de fermentación bacteriana tal como describirán a continuación y se verán graficadas en las figuras 07 y 08



**FIGURA 07:** Proceso de fermentación bacteriana para generar biogas

### **FASE I -FASE AEROBIA - FASE DE AJUSTE INICIAL**

En esta fase los componentes orgánicos biodegradables de los residuos sólidos urbanos sufren descomposición microbiana mientras se colocan en el relleno y poco después se produce la descomposición biológica bajo condiciones aerobias porque hay cierta cantidad de aire atrapado dentro del relleno. La fuente principal de organismos aerobios como anaerobios, responsables de la descomposición de los residuos es el material del suelo que se utiliza como cubierta diaria y final.

Esta fase demora en un aproximado de 1 semana

### **FASE II-FASE ANAEROBIA ACIDOGÉNICA-FASE DE TRANSICION**

En esta etapa desciende el nivel de oxígeno y comienza a desarrollarse condiciones anaerobias. Mientras el relleno se vuelve anaerobio los nitratos y sulfatos se reducen a gas nitrógeno y sulfuro de hidrógeno a potenciales de reducción son del orden de -50 a -100mV. El metano se genera a potenciales de reducción de -150 a -300mV y mientras sigue bajando el potencial redox, los miembros de la comunidad microbiana responsables de la generación del metano y CO<sub>2</sub> empiezan un proceso de tres pasos con la conversión de material orgánico complejo en ácidos orgánicos y otros productos intermedios, como consecuencia de esto el pH del lixiviado comienza a descender.

Esta fase demora en un aproximado de 1 semana a 6 meses

### **FASE III-FASE ANAEROBIA METANOGENICA INESTABLE- FASE ACIDA**

En esta fase se acelera la actividad microbiana iniciada en la fase II con la producción de cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrógeno. El primer paso implica la transformación medida por enzimas de compuestos de alto peso molecular (por ejemplo lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos) en compuestos aptos para ser utilizados por los microorganismos como fuente de energía y de carbono celular. El segundo paso en el proceso de acidogénesis implica la conversión microbiana

de los compuestos resultantes del primer paso en compuestos intermedios de bajo peso molecular como el  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

El  $\text{CO}_2$  es el principal gas generado durante esta fase III; también se producirán cantidades pequeñas de  $\text{H}_2$  y los microorganismos acidogénicos son las bacterias anaerobias facultativas. El pH del lixiviado caerá a 5 o menos debido a la presencia de ácidos orgánicos, elevada concentración de  $\text{CO}_2$  y algunos metales pesados serán disueltos

Esta fase demora en un aproximado de 3 meses a 3 años

#### **FASE IV-FASE ANAEROBIA METANOGÉNICA ESTABLE - FASE DE FERMENTACION DEL METANO**

En esta etapa un segundo grupo de microorganismos llamados metanogénicas convierten el ácido acético y gas hidrogeno en metano y  $\text{CO}_2$ . Estos microorganismos son estrictamente anaerobios y se forman al final de la fase III. El pH subirá a valores entre 6.8 a 8 reduciendo la conductividad eléctrica y el nivel de metales pesados.

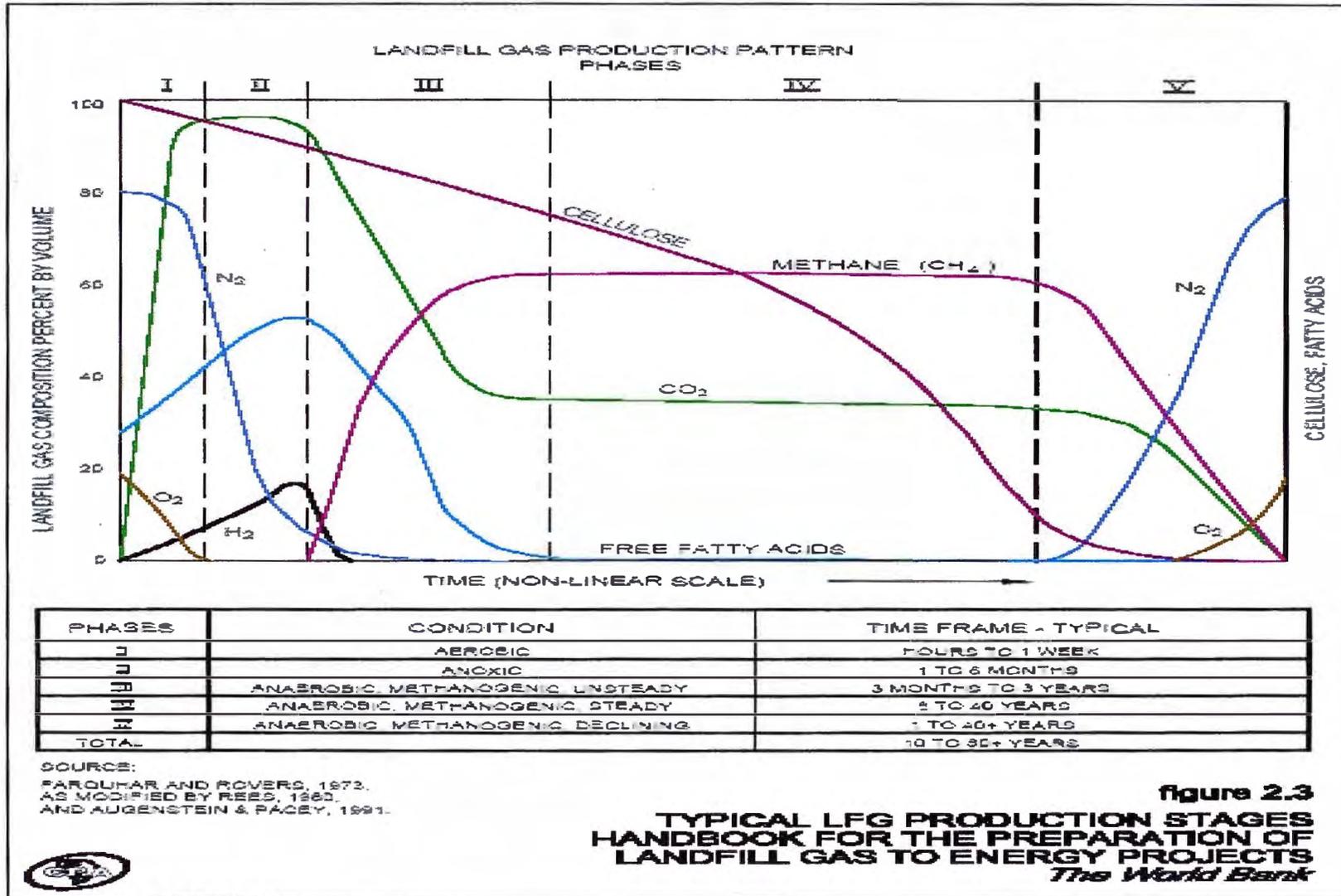
Esta fase demora en un aproximado de 8 años a 40 años

#### **FASE V-FASE ANAEROBIA METANOGÉNICA EN DECLINACIÓN**

En esta fase la velocidad de generación del biogas disminuye considerablemente porque la mayoría de nutrientes se han separado con el lixiviado y el sustrato se encuentra degradado.

Esta fase demora en un aproximado mayor de 40 años

Figura 08: Producción de biogás de relleno sanitario por etapas (13)



### A.5 ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE BIOGAS GENERADO

La reacción química generalizada para la descomposición anaerobia de residuos sólidos puede escribirse de la siguiente forma:



Para estimar la cantidad de biogas generado en todo el relleno sanitario Huaycoloro basado en el historial de acumulación de residuos en las diferentes plataformas del relleno, la proyección de recepción de residuos sólidos, los resultados del análisis de la composición de los residuos y las condiciones climáticas del entorno; se utilizó la siguiente Ecuación de primer orden conocido como modelo Landgem USEPA:

$$Q_M = \sum_{i=1}^n 2 k L_o M_i (e^{-kt_i}) \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n$  = suma del año de apertura + 1 ( $i=1$ ) durante el año de proyección ( $n$ )

$Q_M$  = máximo índice de flujo de generación de biogas (LFG) esperado ( $\text{m}^3/\text{año}$ )

$k$  = constante del índice de descomposición de generación de metano ( $1/\text{año}$ )

$L_o$  = potencial final de generación de metano ( $\text{m}^3/\text{Mg}$ ): 81

$M_i$  = masa de residuos sólidos dispuestos en el año  $i$  (Mg)

$t_i$  = antigüedad de los residuos dispuestos en el año  $i$  (años)

La ecuación (1) se utiliza para estimar la generación de biogas (LFG) para un año específico a partir de todos los residuos dispuestos durante ese año. Las proyecciones que abarcan varios años se realizan variando el año de proyección y reapplicando las ecuaciones. El año de máxima generación de LFG normalmente ocurre el año de cierre o el año siguiente a éste (dependiendo del índice de disposiciones del año final).

### Entradas del Modelo

En el caso Huaycoloro por ser el primer relleno sanitario peruano en aplicar este modelo, comparó su modelo con los rellenos de EEUU mas parecidos en cuanto a condiciones climáticas y tipos de residuos y con sistemas LFG activos.

Se tomó en cuenta la composición típica de los residuos enterrados en el Relleno Sanitario de Huaycoloro y se comparó los datos de la composición de los residuos del lugar con los datos de caracterización de los residuos municipales de EEUU<sup>(14)</sup> realizados en 1995 resultando la tabla 8.

**Tabla 8:** Comparación de la Composición de los Residuos (%)

<b>Componentes</b>	<b>RS Huaycoloro</b>	<b>EEUU Típico</b>	<b>Categoría de Degradabilidad</b>
Residuos de alimentos y vegetación	47,5%	22,7%	1 y 2
Madera	3,1%	10,3%	3
Papel	16,9%	26,6%	2
Plásticos	6,8%	9,7%	4
Caucho, cuero, telas	4,0%	6,9%	3
Metales	5,5%	5,4%	4
Vidrio	1,5%	5,3%	4
Otros residuos orgánicos	--	1,6%	1 y 2
Otros residuos inorgánicos	14,7%	11,5%	4

Una diferencia particularmente importante entre los dos grupos de datos es que el flujo de residuos en el Relleno Sanitario de Huaycoloro contiene una cantidad considerablemente mayor de residuos de alimentos (los cuales son altamente degradables) que los residuos estadounidenses típicos. Debido a que estos residuos se degradan rápidamente, producen LFG más pronto, pero durante menos tiempo, teniendo un menor rendimiento sostenible a largo plazo que el índice de generación de residuos con componentes de más lenta degradación. En el modelo, este efecto se refleja en el parámetro ( k).

### Constante del Índice de Descomposición de Metano (k)

El valor (k) refleja la fracción de residuos que disminuye en un año determinado y produce metano. Una manera alternativa para calcular el valor de una k única para todo el relleno sanitario es asignar valores de k a diferentes porciones del flujo de residuos, en base a sus índices de descomposición relativos. Investigaciones realizadas en laboratorios indican que los residuos orgánicos de rápida degradación, como los residuos de alimentos, normalmente se degradan 5 veces más rápido que los materiales de índice de desintegración medio, como el papel mojado, y 20 veces más rápido que el índice de componentes de desintegración lenta, como las telas <sup>(15)</sup>. Debido a que el contenido de humedad del relleno sanitario afecta de manera considerable los índices de descomposición, también habrá variación en los valores de los índices de descomposición para las fracciones de los residuos de descomposición rápida, media y lenta. No obstante, se espera que los índices relativos de descomposición permanezcan constantes, a pesar de la variación en la humedad del relleno sanitario.

Se utilizó tres constantes del índice de generación de metano (k) para el modelamiento preliminar de la recuperación de LFG en el Relleno Sanitario de Huaycoloro fueron los siguientes:

- Residuo de descomposición rápida: 0,100 anual
- Residuo de descomposición media: 0,020 anual
- Residuo de descomposición lenta: 0,005 anual

### Potencial de Recuperación de Metano (Lo)

Como, el flujo de residuos en el Relleno Sanitario de Huaycoloro contiene una fracción orgánica total un poco más alta (por peso en seco) que los residuos de EEUU, así como un nivel mayor de humedad principalmente debido a los residuos de alimentos y vegetación.

El mayor contenido orgánico resultará en un aumento de potencial para la generación de metano por tonelada de residuos. No obstante, el mayor contenido de humedad (que es inerte) dentro del residuo resultará en una disminución de potencial para la generación de metano por tonelada de residuos. En este modelo, se tomó el valor de Lo de 81m<sup>3</sup>/Mg que pueden verse en la tabla 9.

**TABLA 9:** Potencial de recuperación del metano (Lo) en Rellenos Sanitarios

	<b>EEUU</b>	<b>Huaycoloro</b>	<b>Proporción: Huaycoloro/EEUU</b>
Orgánico %	68,2%	71,5%	1,048
Peso en seco %	80,3%	66,2%	0,8244
Valor Lo	93,1 m <sup>3</sup> /Mg	<b>81,0 m<sup>3</sup>/Mg</b>	0,87

### RESULTADOS DEL MODELO

La tabla 10; muestra el resultado del modelo utilizado el cual estima una generación inicial de biogas de 4449m<sup>3</sup>/hr para el 2005 y un máximo de 9143m<sup>3</sup>/hr para el 2019.

**Tabla 10:** Estimación de generación de biogas en (m<sup>3</sup>/hr) del Relleno Sanitario Huaycoloro según la ecuación 1.

Año	Ton/año	Ton/acumulado	Índice de Recuperación Potencial de LFG (m <sup>3</sup> /hr)
2005	740.000	6.261.049	4.449
2006	751.100	7.012.149	4.887
2007	762.400	7.774.549	5.302
2008	773.800	8.548.349	5.695
2009	785.400	9.333.749	6.070
2010	797.200	10.130.949	6.429
2011	809.200	10.940.149	6.772
2012	821.300	11.761.449	7.102
2013	833.600	12.595.049	7.419
2014	846.100	13.441.149	7.727
2015	858.800	14.299.949	8.025
2016	871.700	15.171.649	8.314
2017	884.800	16.056.449	8.597
2018	898.100	16.954.549	8.873
2019	911.600	17.866.149	9.143

Del análisis de la tabla, y en base a la experiencia del BM en este rubro se estimaron los parámetros de cobertura del sistema; la capacidad proyectada en MW y las tCO<sub>2</sub>e que reduciríamos a futuro, los cuales se muestran en la tabla 11.

**Tabla 11: Resultados finales de modelamiento del proyecto**

Año	Índice de Recuperación Potencial LFG (m3/hr)	Cobertura Estimada del Sistema (%)	Índice de Recuperación Real LFG Proyectado (m3/hr)	Capacidad Proyectada del Proyecto (MW)	Toneladas equivalentes de CO <sub>2</sub> (CERs)
2005	4.449	50%	2.224	3,7	68.021
2006	4.887	75%	3.665	6,1	224.156
2007	5.302	75%	3.976	6,6	243.177
2008	5.695	75%	4.272	7,1	261.239
2009	6.070	75%	4.553	7,5	278.438
2010	6.429	75%	4.821	8,0	294.866
2011	6.772	75%	5.079	8,4	310.606
2012	7.102	75%	5.326	8,8	325.735
2013	7.419	75%	5.565	9,2	340.314
2014	7.727	75%	5.795	9,6	354.408
2015	8.025	75%	6.018	10,0	368.072
2016	8.314	75%	6.236	10,3	381.357
2017	8.597	75%	6.448	10,7	394.311
2018	8.873	75%	6.655	11,0	406.975
2019	9.143	75%	6.858	11,3	419.387

La tabla 11, muestra que para el año 2005 se estimó una proyección de “recuperación real” de gas de aproximadamente 2224 m<sup>3</sup>/h, y un incremento estable hasta llegar a alrededor de 5326m<sup>3</sup>/h en 2012, hasta 6858 m<sup>3</sup>/h hacia el año 2019.

El proyecto también contempló la puesta en marcha de una planta de energía en el año 2006, donde se estima que habrá suficiente gas disponible para soportar una planta de energía de 5,3 MW como mínimo, con potencial para aumentar su producción por medio de una expansión de la planta a alrededor de 7,1 MW en 2012.

Con la puesta en marcha de un sistema de recolección e incineración de LFG a mediados de 2005, Se estimó que reduciría un aproximado de 2.006.000 toneladas de CO<sub>2</sub>e para el periodo entre los años 2005 y 2012. También parte del estudio se realizaron las recomendaciones para el diseño del sistema de captura y quema de biogas el cual consiste en lo siguiente:

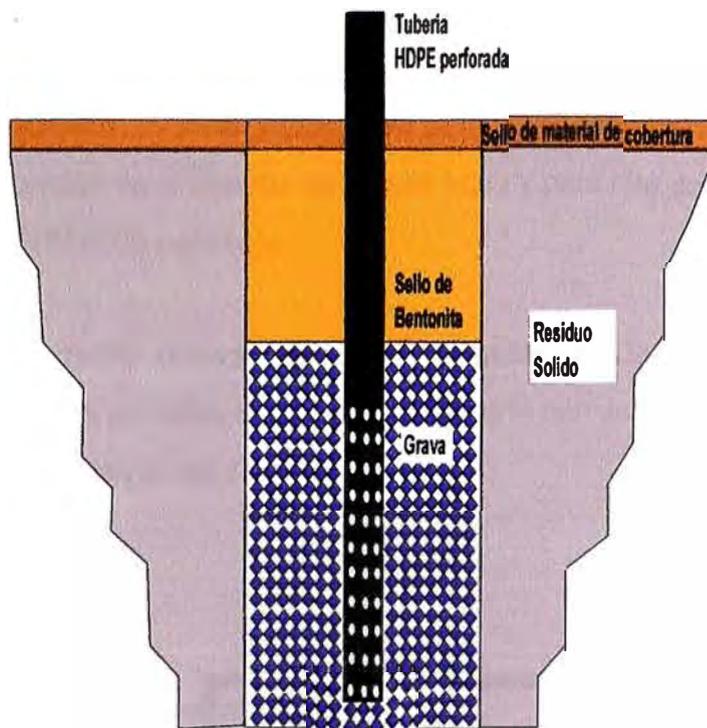
#### **A.6 POZOS DE BIOGAS**

Para capturar el biogás generado se planteo realizar un sistema de captación mediante pozos verticales de 1m de diámetro a profundidades de 8, 10 y 12m de acuerdo ala altura de las plataformas y espaciados cada 40m en las plataformas nuevas y 32m en las plataformas antiguas. La figura 09, muestra el esquema del diseño de un pozo se biogas que tiene las siguientes características:

- ❖ Utilizar tuberías de HDPE SDR 11 de 160mm de diámetro, que debe tener perforaciones de 3/8” de diámetro en su superficie con una relación entre tubería sólida y tubería perforada de 50%.
- ❖ Usar grava lavada para colocarlo entre la tubería y el pozo
- ❖ Usar geomembrana para colocarlo sobre la grava
- ❖ Usar Bentonita sobre la geomembrana hasta culminar el pozo

Para poder realizar las mediciones de presiones estática y diferencial en el pozo así como la composición de biogas en el pozo y temperatura se recomendó Cabezales de Pozo ACCU FLO de la Cía. Landtec que puede verse en al foto 10.

**Figura 09:** Esquema de diseño de pozo de biogas



**Foto 10:** cabezal de pozo



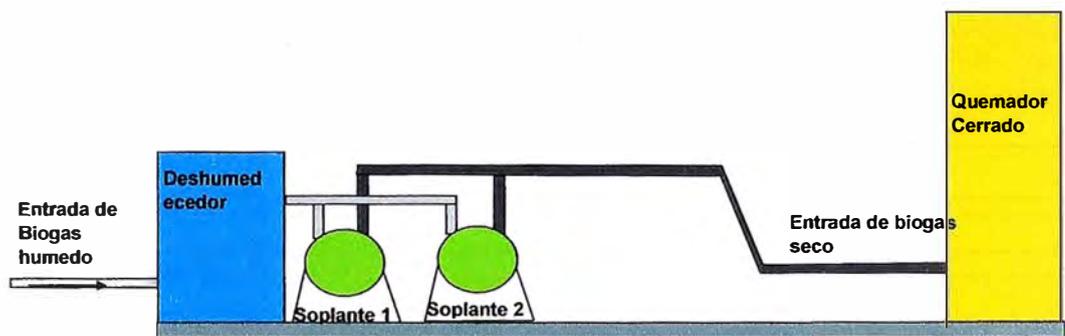
### **A.7 SISTEMA DE TRANSPORTE DE BIOGAS**

Se diseñó un sistema de transporte cerrado con tuberías de 315mm de diámetro; 250mm, 160mm y 110mm. Este sistema es cerrado para compensar todas las fuerzas de presión existentes en la red. Para ello la troncal principal debería tener una pendiente mínima de 3% y el manejo de condensados se realizara usando un cárcamo de condensado (Ver . Apéndice B)

### **A.8 SISTEMA DE SUCCION Y QUEMADO**

La figura 10, muestra un esquema de estación de succión y quemado propuesto para el proyecto MDL Huaycoloro el cual se estimo que debería tener una capacidad de transporte de máxima de 6796 m<sup>3</sup>/h y mínima de 1790 m<sup>3</sup>/h, con una perdida de presión en el sistema de 50pulg H<sub>2</sub>O y para ello deberá contar con dos blowers de 3398m<sup>3</sup>/h cada uno.

El sistema de quemado deberá tener una capacidad máxima de 6796m<sup>3</sup>/h y mínima de 679,6m<sup>3</sup>/h así como una eficiencia de 98% que deberá ser comprobada 180 días antes del arranque del sistema.



**Figura 10:** Esquema de estación de succión y quemado

### **A.9 ESTIMADO DE COSTOS DEL PROYECTO Y ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO**

Para la puesta en marcha del proyecto que contempla solamente la quema de biogás se estimo una inversión de US\$ 1,708.5; así como también se estimó los gastos de operación y ampliación de 4 pozos de US\$ 211,000.00 anuales; finalmente se estimó una inversión adicional de US\$ 5'300,000.00 para un proyecto de generación de electricidad con 03 motores de combustión interna que generarían 5,7MW.

También se analizó los diversos escenarios para los aspectos económicos del proyecto, que incluyeron la duración del proyecto (hasta el 2012 o 2019), el

porcentaje de inversión en acciones inicial (25 o 100 por ciento), el tipo de proyecto (sólo incineración o generación de energía), y el precio CER (\$5 por tonelada de CO<sub>2</sub>e). Los resultados del análisis indican que la factibilidad del proyecto es lo suficientemente favorable como para tener posibilidades de atraer a desarrolladores e inversionistas para construirla, en la mayoría de escenarios si los ingresos CER son de \$5/tonelada o más. La tabla 12 muestra un resumen de los indicadores económicos a una tasa de \$5.

**Tabla 12:** Resultados de escenarios de análisis económico financiero.

Escenario – Periodo del proyecto	Precio CER (\$/ton)	Inversión de acciones inicial (%)	Valor actual neto (x1.000 \$)	Tasa de rendimiento interna (%)	
Planta de energía	2005 – 2012	5	100	\$2.180	16,7%
	2005 – 2012	5	25	\$1.981	31,9%
	2005 – 2019	5	100	\$8.772	25,5%
	2005 – 2019	5	25	\$8.577	50,8%
Sólo incineración	2005 – 2012	5	100	\$ 2.633	46,8%
	2005 – 2012	5	25	\$ 2.584	123,7%
	2005 – 2019	5	100	\$ 5.805	50,8%
	2005 – 2019	5	25	\$ 5.757	140,8%

Con los resultados del estudio PETRAMAS SAC elabora la nota idea del proyecto (PIN) y se entrega al Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) a fin de promocionar el proyecto con los financiadores de proyectos; el PIN es un documento inicial que sirve para evaluar rápidamente la factibilidad de los proyectos MDL y tiene implícito un test para determinar la elegibilidad del proyecto como MDL, para lo cual se debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Presentar un cálculo aproximado de la reducción de emisiones que generaría el escenario con proyecto en comparación con el escenario sin proyecto, o línea de base.

2. Explicar cómo se va financiar el proyecto.
3. Evaluar el impacto ambiental y económico.

Además, el proyecto debe estar en alguna de estas categorías:

1. uso de fuentes de energía renovables;
2. cambio de combustibles de alta intensidad de carbono a combustibles de menor intensidad de carbono;
3. eficiencia energética;
4. combinación de generación de calor y electricidad;
5. forestación y reforestación;
6. proyecto en el sector transporte;
7. reducción de emisiones de rellenos sanitarios y otros medios de disposición final de residuos.

Por último, para participar en el MDL se deben cumplir dos requisitos:

1. Que país anfitrión del proyecto ha ratificado el PK.
2. Que el país Anfitrión ha designado a la Autoridad Nacional MDL para que apruebe los proyectos en función de su contribución al desarrollo sostenible del país.

Nuestra experiencia en este tipo de búsqueda de financiamiento ha demostrado que para los potenciales compradores de carbono los criterios más importantes son:

1. Si el proyecto cuenta con financiamiento,
2. Si va a reducir lo suficiente para cubrir los costos de transacción,
3. Si no hay problemas ambientales y socioeconómicos,
4. Si el proyecto es adicional.

Finalmente PETRAMAS SAC y luego de evaluar las diferentes ofertas, toma la iniciativa de asumir el 100% de la inversión del proyecto en la parte de la incineración y desarrollar el primer proyecto de Mecanismo de Desarrollo limpio en el sector residuos sólidos en el país y uno de los primeros en latino America.

## **B) ESTABLECIMIENTO DE LINEA DE BASE**

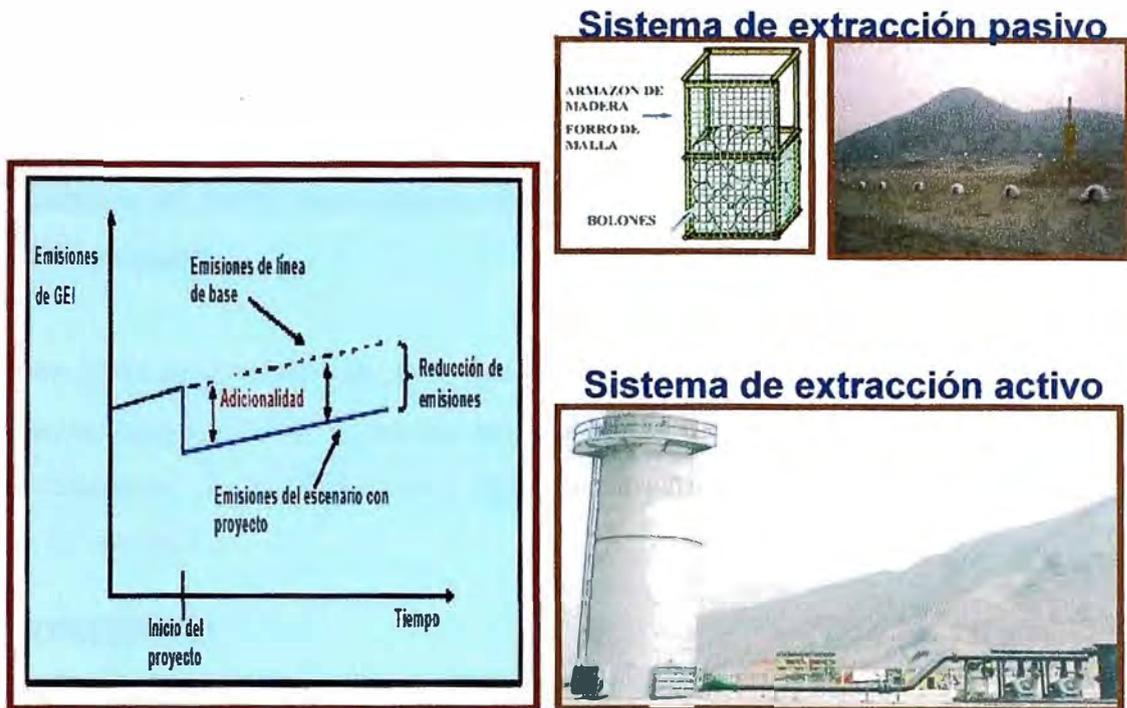
Como el proyecto tuvo el visto bueno de expertos o potenciales compradores de carbono, se preparó el Estudio de Línea de Base, definido por los Acuerdos de Marrakech como “el escenario que razonablemente representa las emisiones antropogénicas por fuentes de gases de efecto invernadero que ocurrirían en ausencia de la actividad del proyecto propuesto”<sup>(16)</sup>.

El propósito del Estudio de Línea de Base es proveer información consistente de qué es lo que hubiera ocurrido en ausencia del proyecto en términos de emisiones, basados en algunas de las tres opciones o enfoques establecidos en el acuerdo de Marrakech:

- a. Emisiones actuales existentes o históricas.
- b. Emisiones de la tecnología que representa el curso atractivo de acción, tomando en cuenta las barreras a la inversión.
- c. Emisiones promedio de actividades similares al proyecto en los últimos cinco años, en lo que concierne a sus circunstancias sociales, económicas, ambientales y tecnológicas, y cuyo desempeño está entre el 20 por ciento superior de su categoría.

El Estudio de Línea de Base es crucial, porque debe demostrar la adicionalidad del proyecto. Dicho de otra manera, se debe probar que la actividad del proyecto trae como resultado un menor volumen de emisiones de GEI en relación con el escenario sin proyecto o línea de base.

Se demostró que el proyecto MDL en el relleno sanitario Huaycoloro es adicional (ver figura 11) por las siguientes razones:



**Figura 11:** Esquema grafico de la línea base para el relleno Sanitario Huaycoloro

1. *El Proyecto MDL no es parte de la línea de base*, ya que entonces no estaría reduciendo nada. Para comprobar esto en base a la práctica más usual de tratamiento de biogas se demostró que el proyecto no es la opción económicamente más atractiva y que enfrenta barreras para su desarrollo. En el caso Huaycoloro la ley general de residuos sólidos LEY 27314 no establece claramente que se debe hacer con el biogas, lo usual y practica común es ventilar los gases a la atmosfera por lo tanto este es el escenario en ausencia del proyecto, mientras que con el proyecto de inversión se tendría un sistema de captura y quema de biogas eficiente.

2. *Que el proyecto se puede realizar gracias, entre otras cosas, al incentivo económico del MDL* como resultado de la venta de los CERs

3. *Que se reduzca emisiones respecto de la línea de base*. Esto quiere decir que existe una metodología existente y aprobada por la Junta ejecutiva del MDL y es la metodología ACM 0001 para proyectos de gas de rellenos sanitarios

### **C) DOCUMENTO DE DISEÑO DE PROYECTO (PDD)**

El formato del Documento de Diseño de Proyecto ha sido elaborado por la Junta Ejecutiva del MDL para que los desarrolladores puedan presentar el Proyecto MDL propuesto.

Este PDD sirve como base para que el proyecto sea evaluado por las entidades operacionales (DOE) durante las auditorías de validación, verificación y certificación. Todo PDD tiene la siguiente estructura establecida por la UNFCCC en la versión 3.1:

#### **CONTENIDO**

- A. Descripción general de la actividad del proyecto
- B. Aplicación de una metodología de línea de base
- C. Duración de la actividad del proyecto / Periodo de crédito
- D. Aplicación de una metodología de monitoreo y plan
- E. Cálculo de emisiones de GEI según sus fuentes
- F. Impactos ambientales
- G. Comentarios de las partes interesadas

#### ***Anexos***

Anexo 1: Información de contacto de los participantes en la actividad del proyecto

Anexo 2: Información concerniente a financiamiento público

Anexo 3: Información de la línea de base

Anexo 4: Plan de Monitoreo

Nuestra experiencia en el caso Huaycoloro ha demostrado que el PDD puede tener varias versiones antes de su aceptación formal por la junta Ejecutiva del MDL; esto se debe a que constantemente las metodologías van actualizándose y el PDD debe aprobarse con la última versión de la metodología aprobada.

Huaycoloro aprobó el PDD con la versión 03 y las metodologías ACM 001 ver04 establecida para combustión de biogas de relleno sanitario y AMS-ID ver 09 para la parte de la generación eléctrica. La tabla 13, muestra el recalcu los CERs a emitir desde el 01/12/2006 al 01/12/2013 es de **2,092,970 tCO<sub>2</sub>e** como consecuencia de las nuevas versiones en las metodologías<sup>(17)</sup>

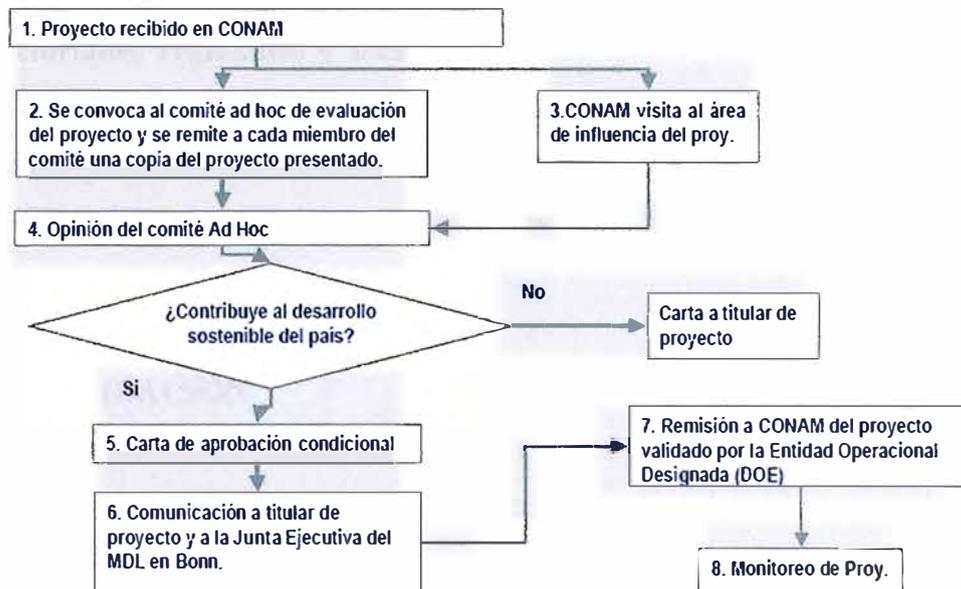
**Tabla 13:** Estimación anual de reducción de emisiones

<b>Estimación anual de emisiones</b>	<b>Reducción ( Ton CO<sub>2</sub>e)</b>
<b>2006*</b> ( del 01/12/2006 al 31/12/2006)	<b>17,754</b>
<b>2007</b>	<b>252,759</b>
<b>2008</b>	<b>269,926</b>
<b>2009</b>	<b>286,271</b>
<b>2010</b>	<b>301,884</b>
<b>2011</b>	<b>316,842</b>
<b>2012</b>	<b>331,218</b>
<b>2013**</b> ( del 01/01/2013 al 01/12/2013)	<b>316,316</b>
Estimación de reducciones (ton de CO <sub>2</sub> e)	<b>2,092,970</b>
Promedio anual (ton de CO <sub>2</sub> e)	<b>298,996</b>

En el PDD se describe claramente como se van a obtener y administrar todos los datos generados por el proyecto con los cuales se reclamaran los CERs; así como también la estructura organizativa del proyecto y el respectivo plan de control y monitoreo de los equipos e instrumentos que se utilizaran. También contiene un listado de los compromisos de desarrollo sostenible que la empresa adquiere con la población dentro de su ámbito de influencia (ver Tabla 18)

#### **D) APROBACIÓN DEL PAÍS ANFITRIÓN**

Para calificar como proyecto MDL PETRAMAS SAC, tramitó la aprobación del país anfitrión ante el CONAM (hoy MINAM) como Autoridad Nacional para el MDL siguiendo los pasos establecidos en la figura 12.



**Figura 12:** Proceso de aprobación nacional.

El país anfitrión tiene la responsabilidad de confirmar si el proyecto propuesto contribuye al desarrollo sostenible del país. En base a los siguientes criterios:

- **Que el proyecto sea tecnológicamente viable.** Esto se demostró a través del estudio realizado y citando la experiencia internacional del relleno sanitario de Monterrey en México, en el cual se emplean los procedimientos y tecnologías asociadas a un proyecto MDL.
- **Que el proyecto sea social y ambientalmente responsable.** Para esto Huaycoloro tiene un PAMA aprobado por la autoridad competente y cuenta con la aceptación de las comunidades presentes en el área de influencia del proyecto. Esto se demostró a través de la presentación de actas de acuerdos comunales, informes de responsabilidad social y compromisos firmados con la comunidad y que fue comprobada por CONAM mediante una visita al área de influencia del proyecto para conocer de cerca las apreciaciones de la comunidad así como para constatar los potenciales impactos ambientales del proyecto.

- **El proyecto debe cumplir con todos los requisitos legales (nacionales, sectoriales, regionales y locales) para su ejecución.** Huaycoloro demostró la conformidad legal del proyecto presentando todas las autorizaciones necesarias y presentando una declaración jurada afirmando que el proyecto no presenta conflictos legales (juicios, autorizaciones condicionales, temporales, apelaciones, etc.) de ningún tipo.

### **E) VALIDACIÓN**

Una vez finalizado el PDD, y cuando el proyecto cuenta con la opinión local favorable y la aprobación del país anfitrión, se dio inicio al proceso de validación ante la junta ejecutiva del MDL. La validación es el proceso por el cual se realiza una evaluación independiente de todos los documentos relevantes de un Proyecto MDL. Esta labor es realizada por una entidad independiente llamada entidad operacional (DOE), según todos los requerimientos establecidos en el MDL. Las entidades operacionales deben estar acreditadas por la Junta Ejecutiva del MDL.

PETRAMAS SAC, envió el PDD, la metodología de línea de base, el reporte con el resumen de los comentarios de los agentes locales y la aprobación del país anfitrión a la certificadora SGS quien fue designado como DOE por la junta ejecutiva del MDL.

Durante este proceso además de realizar una consulta internacional del proyecto, se va al sitio del proyecto para verificar la existencia del mismo así como la conformidad de la población Local.

### **F) REGISTRO**

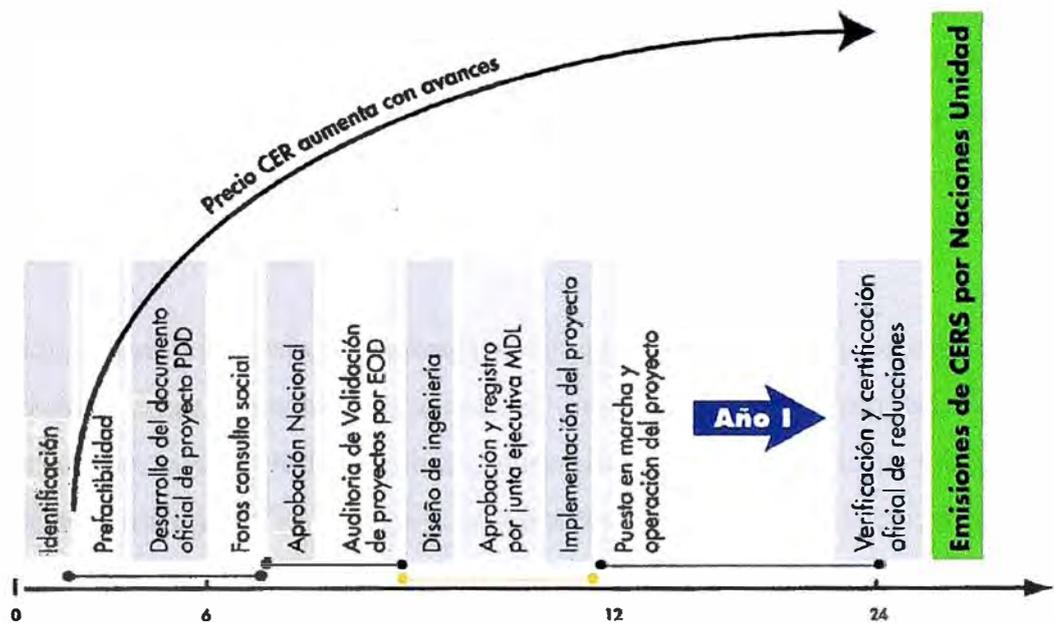
Una vez obtenido el reporte de conformidad; SGS realizó el pedido de registro mediante el reporte de validación y aprobación del país anfitrión. El proceso de registro por la Junta Ejecutiva del MDL finaliza en un plazo máximo de ocho semanas, a menos que una revisión sea solicitada.

Finalmente el proyecto Huaycoloro se registro el 04 de marzo del 2007 como proyecto 708 y a partir del día siguiente de esa fecha ya podía iniciar operaciones para reducir emisiones que pudiesen ser reclamados como CERs

### G) NEGOCIACIÓN DE ERPA

En esta etapa se termina de elaborar la documentación legal y se firma el Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones (ERPA ). Se debe tener claro que el incumplimiento de la entrega de los CERs pactados en los ERPA traen penalidades por lo que es potestad del dueño del proyecto establecer una formula inteligente de entregas de estos CERs por periodo.

La figura 13, muestra gráficamente el precio del CERs de acuerdo a las etapas del proyecto las cuales se estiman que un proyecto MDL típicamente desde su concepción hasta la emisión de CERs demoran 24 meses<sup>(18)</sup>.



**Figura 13:** Variación del precio del CERs con la evolución del proyecto MDL

La práctica usual empleada es que la mayoría compra y vende CERs antes de que estén registrados. Huaycoloro no fue la excepción y ha comprometido el 25% de

sus CERs estimados al fondo Holandés, a pesar de que el proyecto no estaba registrados en las Naciones Unidas por la Junta Ejecutiva del MDL, y solo se contaban con la validación realizada por SGS. Sin embargo a pesar de que se hace esta práctica usual el precio pagado por CERs de un proyecto no registrado es muy bajo en comparación al precio pagado por un CERs consolidado debido a la existencia del riesgo de que el proyecto fracase en su intento de registrarse o produzca menos de lo pactado.

Point Carbón, es un portal que indica la variación del precio de los CERs consolidados; por lo tanto en base a esta información un dueño de proyecto puede vender una primera parte de sus CERs antes de que el proyecto sea registrado para conseguir fondos para la construcción del proyecto y luego otra porción de CERs puede venderlas después de que el proyecto sea registrado y el proyecto se encuentre en marcha.

#### **H) IMPLEMENTACIÓN**

Luego de que el proyecto es registrado en la Junta Ejecutiva del MDL, el proyecto puede comenzar a operar y desde este momento, el desarrollador del proyecto comienza a ejecutar el Protocolo de Monitoreo y enviarlo periódicamente a la DOE para la verificación y entrega de CERs.

Debido a que no existía experiencia nacional en el desarrollo de este tipo de proyectos, existen muchos compradores internacionales de proyecto que se encargan de invertir todo el dinero necesario para poder iniciar y operar el proyecto y así asumir los riesgos y beneficios que genera el proyecto; finalmente solo entregan al dueño del proyecto una regalía. PETRAMAS, analizando el mercado de carbono optó audazmente por asumir los costos de construcción del proyecto, operación y riesgos de tal modo que los beneficios del proyecto serian íntegramente para la empresa para lo cual estimó un presupuesto de **US\$ 1'447,925.00** que contemplaba gruesamente lo establecido en la tabla 14.

**Tabla 14:** Resumen de inversión Inicial; proyecto MDL Huaycoloro

<b>CONCEPTO</b>	<b>MONTO (US\$)</b>
Suministro e instalación de tuberías, perforación de pozos y obra civil	750,480
Equipo de quemador y succionador	565,816
Ingeniería/Contingencias (10% otros costos)	131,630
<b>INVERSION TOTAL ESTIMADA</b>	<b>1,447,926</b>

La ejecución de este presupuesto se realizo en las siguientes actividades

### **H1. PREPARACIÓN DE TUBERÍAS PARA POZO**

Se prepararon un total de 142 tuberías verticales de polietileno de alta densidad (HPDE) de 160mm de diámetro; para la captación de biogás en pozos de tamaños de 8m; 10m y 12m los cuales tienen en su parte inferior un tapón y en la superficie de la tubería tienen perforaciones superficiales de 1/4” hasta alcanzar 4m; 5m y 6m respectivamente.

Las tuberías para pozos presentan las siguientes características:

- Material : HDPE
- Diámetro de Perforaciones : 1/2”
- Espacio entre perforaciones : 10cm
- Diámetro de tubería : 160mm
- Distribución de perforaciones: Triangulo equilátero
- Longitud de tubería a perforar: 50% de la longitud de la tubería.



**Foto 11:** Tubería de captación de biogas.

## **H2. CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE CAPTACIÓN DE BIOGAS.**

Los pozos de captación de biogas se distribuyeron triangularmente en un plano del proyecto (ver apéndice B) y se ubicaron georeferencialmente en el terreno, verificando que los triángulos tengan de 40m de lado.

Debido a los altos costos de perforación utilizando equipos perforadores convencionales (US\$ 400 por metro perforado), los pozos de captación de biogás se construyeron utilizando la excavadora de brazo chico para las plataformas 02 y 03 y para las plataformas 04, 04 y 06 se utilizaron una excavadora de brazo largo.

Inicialmente se construyeron 142 pozos de captación de biogás el cual se ha ido incrementando hasta alcanzar actualmente 200 pozos de captación de biogás construidos de acuerdo al plano (Ver APENDICE B).

En la práctica la construcción de pozos de biogas es una actividad riesgosa por la exposición al biogas a la que el personal esta sometido y por los posibles caídas a distinto nivel que pudiesen tener como consecuencia de los deslizamientos de basura; es por ello que este tipo de actividades se debe realizar con personal protegido adecuadamente con mascarillas de doble vía y continuamente supervisado durante la construcción.

A continuación se describe gráficamente la construcción de pozos de biogás.



**Foto 12:** Excavación de un pozo



**Foto 13:** Colocado de tubería



**Foto 14:** Sellado con arcilla



**Foto 15:** Sellado con Liner



**Foto 16:** Pozo terminado



**Foto 17:** Colocado de cabezal

### **H3. CONSTRUCCION DE LA RED DE TRANSPORTE DE BIOGAS**

En esta etapa el objetivo es realizar el tendido de toda la red de transporte de biogás para poner operativo el sistema de captura y quema de biogás de acuerdo al plano de diseño. PETRAMAS, asumió con su propio personal esta etapa a pesar de que existen compañías locales que pudieron hacerlo, para lo cual adquirió las tuberías de polietileno de alta densidad HDPE SDR 17 PN 8 PE 80 mostradas a continuación:

<b>Diámetro</b>	110mm	160mm	250mm	315mm	400mm	500mm
<b>Cantidad</b>	5 568m	885m	1 453m	1 040m	938m	223m

A si mismo se adquirió tuberías de acero para proteger los tubos que atraviesan las vías de acceso hacia la plataforma de operación.

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripcion de la tuberia CEDULA 40 ASTM A53</b>
2	pza	6"x12m
3	pza	12"x6m
5	pza	14"x12m
7	pza	14"x6m



**Foto 18:** Estudio de plano de proyecto



**Foto 19:** Tendido de red de transporte de biogas

#### **H4. TERMOFUSIÓN DE TUBERÍAS**

La termofusión de tuberías es un proceso que consiste en calentar la superficie de tubería utilizando maquina portátil de modo que el polietileno de alta densidad es calentado a una presión y temperatura apropiados de tal manera que logra fundir los topes de la unión a ser soldada; luego se juntas estos topes a una presión adecuada por un tiempo programado y finalmente se deja de presionar y esperar que la unión soldada se enfríe naturalmente.



**Foto 20:** Termofusión de tuberías

Se debe tener cuidado en termofusionar tuberías en contra de la pendiente por lo cual el drenaje del agua es dificultoso; así como también en verificar que las tuberías pegadas deben estar totalmente limpias pues de otra manera se

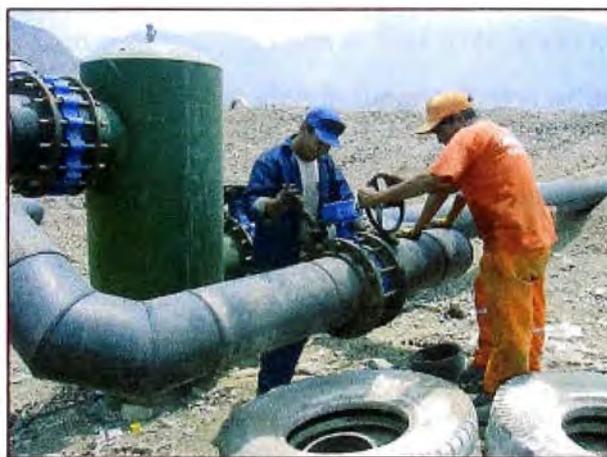
encontrarán en los tanques virutas de polietileno, piedras y bolsas que obstruirán el sistema ocasionando paras en el sistema.



**Foto 21:** Tanque de condensación obstruido

#### **H5. INSTALACIONES DE TANQUES DE CONDENSACIÓN.**

A fin de eliminar los condensados generados por el transporte de biogas a través de las tuberías de HDPE Se instalaron un total de 04 tanques de captura de condensados (uno por troncal) con un sistema de By Pass para evitar las obstrucciones del sistema por mantenimiento.



**Foto 22:** Montaje del Tanque de condensación

También se fabricó 01, cárcamo de condensación a la llegada de la troncal principal hacia la estación de succión. Este cárcamo de condensación funciona

con una bomba neumática tipo pistola que mantiene un nivel de condensado constante.



**Foto 23:** Cárcamo de condensación

## **H6. PRUEBA DE HERMETICIDAD**

Una vez culminada con la termofusión de tuberías de toda la red, se procede a la prueba de hermeticidad para garantizar la efectividad de la soldadura en la termofusión. Por norma técnica la prueba de hermeticidad debe realizarse a un 50% adicional a la presión máxima admisible por la operación por un tiempo no menor a 2 horas <sup>(19)</sup>. Como en nuestro caso se está trabajando a vacío se comprobó esta prueba de hermeticidad a 20 bar siendo los resultados satisfactorios.



**Foto 24:** Prueba de hermeticidad

## **H7. INSTALACIÓN DE ESTACIÓN DE QUEMADO**

La estación de quemado se compone de un quemador (Flare) cerrado tipo ZTOF de la Cía. John Zink, de 32 ton de peso, y dimensiones de 20ftx50ft revestido internamente con fibra de cerámica que resiste mas de 1000 °C ; este Flare tiene como componentes 07 quemadores internos; 04 termocupla de control; 01 blower de purga; 01 scanner de llama UV; 01 piloto de encendido con su fuente de ignición; 02 puertos de muestreo a la salida del flare; 01 corta llamas a la entrada del flare y 04 dampers de regulación mecánica y automática de la entrada del aire.

El montaje de este flare se realizó con 02 grúas con barra de izaje a fin de que puedan suspender conjuntamente en el aire al flare, para luego depositarlo sobre una superficie de concreto preparada especialmente para este fin y que cuenta con pernos de anclaje para fijar el flare.



**Foto 25:** Izaje del flare



**Foto 26:** Vista del interior del flare

## **H8. INSTALACIÓN DE ESTACIÓN DE SUCCIÓN**

Para realizar la instalación de la estación de succión, primeramente debe realizarse un estudio de suelo y en base a las recomendaciones se construye una estructura antisísmica a donde va a ir anclada la estación de succión. Es importante que la superficie del suelo esté nivelados para evitar desalineamientos en los acoples de los motores que reducirán su tiempo de vida.

Toda la estación de succión viene montada sobre una estructura metálica o SKID cuya función es mantener la estabilidad de la estación y reducir vibraciones por funcionamiento de equipos. Además este SKID viene con unas orejas metálicas en sus extremos a fin de que puedan ser levantados con una grúa apropiada para su peso.

Es conveniente que una vez que la grúa deposite sobre la superficie el skid, se realice el anclaje de este skid por seguridad.



**Foto 27:** Montaje del Blower skid Assembly de la Cía. John Zink

### **H9. INTERCONEXIÓN DE TUBERÍAS DEL SKID AL FLARE**

En esta etapa se colocó una tubería de HDPE de 350mm entre el skid y el flare a fin de que todo el biogás expulsado por los sopladores puedan transportarse hacia los quemadores; esta tubería tiene una junta de expansión que absorbe las vibraciones producidas en el skid, un medidor de flujo de masa térmico para determinar el caudal normalizado de biogás que llega hacia el flare y un arresta llamas para evitar el retorno del fuego desde el flare a la tubería.



**Foto 28:** Interconexión del skid al flare

### **H10. INTERCONEXIÓN ELECTRICA/ELECTRONICA**

Se contrató a la empresa ELECONT INGENIERIA para los trabajos de instalaciones eléctricas desde el Skid al Flare, así como para las instalaciones de la instrumentación del flare, Blower de purga; 04 termocuplas; 01 scanner de flama; 02 Dampers automáticos y la fuente de ignición del piloto de encendido.



**Foto 29:** Personal de Elecont Ingeniería SA

### **H11. INSTALACION DE PUESTA A TIERRA**

Se diseñó y construyó pozos a tierra de 04ohmios para proteger los sistemas eléctricos y electrónicos del quemador.

### **H12. INTERCONEXIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA**

Debido a que la Planta Huaycoloro no contaba con energía eléctrica proveniente de la red pública, se compró un generador eléctrico de 300Kw para el funcionamiento del sistema

### **H13. INTERCONEXIÓN DE SISTEMA DE GAS PROPANO**

Se instalo una red de alimentación de gas propano al piloto de encendido a fin de que provea de 10psi para el encendido del sistema

### **H14. PRUEBAS DE ARRANQUE INICIAL**

Para este efecto una vez conectado el sistema de captura y quemado a la red de captación y transporte de biogas, se procedió a comunicar al fabricante de los equipos John Zink para que realizara las pruebas de arranque inicial del equipo vendido.

Estas pruebas consisten en desarrollar el siguiente protocolo de pruebas:

- Revisión de las conexiones eléctricas y electrónicas.
- Revisión de la alimentación de gas.
- Revisión de la secuencia de operación del programa automatizado.
- Revisión y prueba del scanner de llama así como del sensor de flama, verificando su funcionamiento en el controlador lógico programable (PLC).
- Prueba de arranque de los sopladores, verificando el sentido de la rotación.
- Prueba de arranque del compresor, fijando la presión de trabajo para el funcionamiento de la válvula de bloqueo.
- Prueba de funcionamiento del Analizador de % de metano, calibrando el sistema
- Verificación del panel de control y del sistema de registro grafico

- Verificación del funcionamiento y sentido de giro del soplador de aire de purga.
- Revisión del actuador de la válvula de bloqueo
- Calibración de los Damper
- Revisión del funcionamiento del transmisor del flujo de masa
- Verificación del funcionamiento del piloto de ignición
- Puesta en operación del sistema completo
- Entrenamiento al personal en la operación del sistema y calibración del analizador de metano.



**Foto 30:** Pruebas de arranque inicial realizada por John Zink

## **I) AUDITORIA DE VERIFICACION INICIAL DEL PROYECTO**

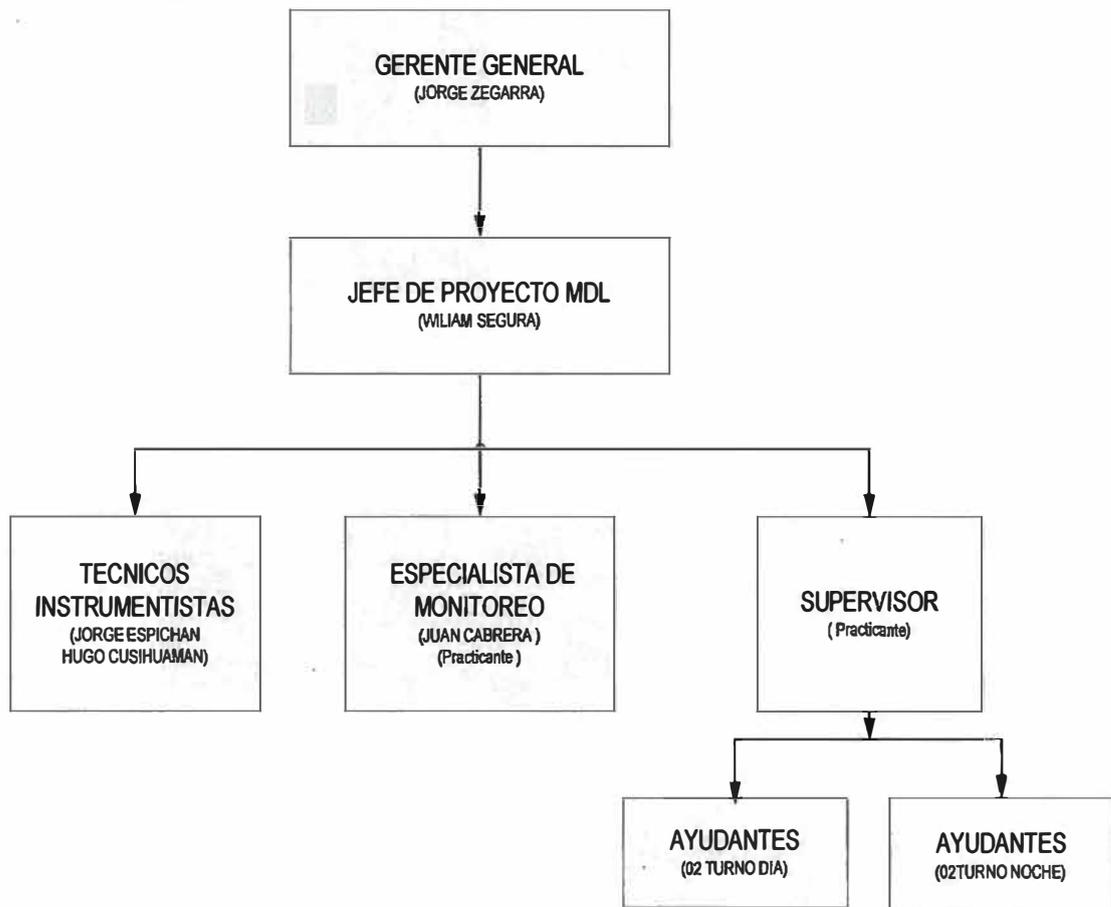
En esta etapa Naciones Unidas envía una DOE para verificar el inicio del proyecto; donde básicamente se evalúa como se encuentra el proyecto en cuanto a lo indicado en el PDD. Para esta ocasión TUV SUD fue la DOE seleccionada. La auditoria de verificación inicial se efectuó los días 26 y 27 de marzo del 2007; teniendo como resultado la conformidad por parte de la quema de biogás y la no conformidad por parte de la generación eléctrica; en esa semana se resolvió que la generación de la electricidad era una actividad a futuro para PETRAMAS.

Es importante indicar que para fines de auditoria se realiza una comprobación de toda la data del proyecto así como de las calibraciones realizadas a los equipos debiendo existir coherencia en los resultados y trazabilidad.

## J) OPERACIÓN Y MONITOREO DEL PROYECTO.

### J.1 Organización del proyecto MDL

La figura 14 muestra el organigrama del proyecto MDL para fines de organización; debido a que PETRAMAS SAC cuenta con la certificación ISO 9001:2000 se establecieron planes de trabajo, caracterización del proceso así como se determinaron las funciones, procedimientos, instructivos, registros de trabajo y de programas de calibración y mantenimiento.



**Figura 14:** Organigrama del proyecto MDL

## **J.2 Revisión y supervisión del sistema:**

Los instrumentistas del proyecto monitorean todas las variables del funcionamiento del skid de modo que aseguren el continuo funcionamiento del sistema y las paradas de producción sean mínimas; así como también controlan los mantenimientos programados de los equipos e instrumentos.



**Foto 31:** Revisión de sistemas de fuerza

**Foto 32:** Revisión de instrumentación



**Foto 33:** Revisión del alineamiento láser de motor soplador

### **J.3 Monitoreo de biogás:**

El monitoreo de pozos se realiza con equipo GEM 500 y GEM 2000; se tienen personal entrenado y dedicado a tiempo completo a medir y regular los pozos de biogás (ver foto 35). Se utilizan varios criterios para el ajuste del pozo; el criterio principal es la calidad del metano pues es un excelente indicador del estado anaeróbico del relleno sanitario y por consiguiente de manejo adecuado del sistema de recolección del gas de relleno sanitario <sup>(20)</sup>. Se han establecieron indicadores con alertas de semáforo para ilustrar el estado del pozo :

Pozos verdes: %CH<sub>4</sub>> 45%,

Pozos amarillos: 40% <%CH<sub>4</sub>< 45% y

Pozos rojos: %CH<sub>4</sub>< 40%)

Posteriormente se grafica un plano global del estado de los pozos con la idea de recuperar lo pozos que caen en el rango de rojo y/o amarillo (ver figura 15)

También se regula el contenido de oxígeno por pozo a valores menores a 5%, se verifican que la temperatura del pozo debe ser menor a 55°C y la existencia de presión negativa.



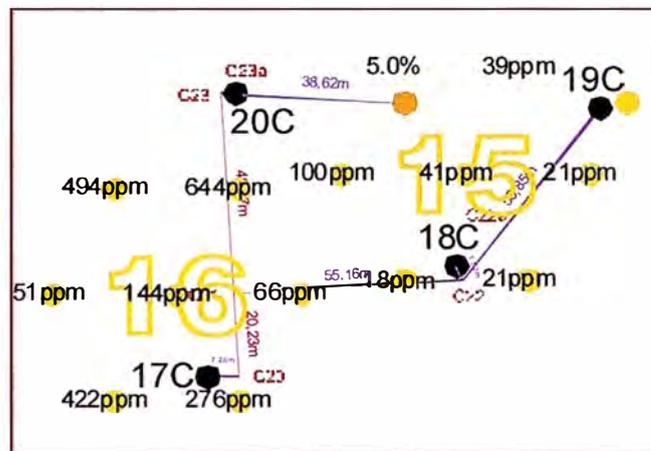
**Foto 34:** Monitoreo de biogas en pozo



**Figura 15:** Plano de estado de pozos

#### **J.4 Monitoreo de emisiones superficiales**

Esta operación, se realiza cada mes con un equipo SEM 500 en donde se marcan las zonas con emisiones mayores a 500 partes por millón de CH<sub>4</sub>, para luego programar un resellado de la zona y monitorear después de 10 días para ver el efecto de la acción. La integridad del relleno se monitorea cada 4 meses para detectar fisuras o asentamientos diferenciales.



**Figura 16:** Reporte de emisiones

Es necesario entender que en condiciones normales, los gases producidos en el suelo se emiten a la atmósfera mediante difusión molecular. En el caso de los rellenos sanitarios activos la presión interna normalmente es mayor que la presión atmosférica y biogas saldrá mediante difusión debido al gradiente de concentración<sup>(21)</sup> y flujo convectivo conducido por la presión. Otros factores que influyen en el movimiento de los gases es la absorción de estos en los lixiviados y sólidos así como también los consumos de estos durante las diversas etapas de generación del biogas.<sup>(22)</sup>

Para poder estimar el caudal de biogas que se difunde por la superficie del relleno se puede emplear la ecuación simplificada de Fick o también puede determinarse experimentalmente por métodos empírico.

$$N_{CH_4} = - \frac{D \cdot \alpha^{4/3} \cdot (C_{CH_4(atm)} - C_{CH_4(vert)})}{L} \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$N_{CH_4}$ : Flujo gaseoso de metano, g/cm<sup>2</sup>.s

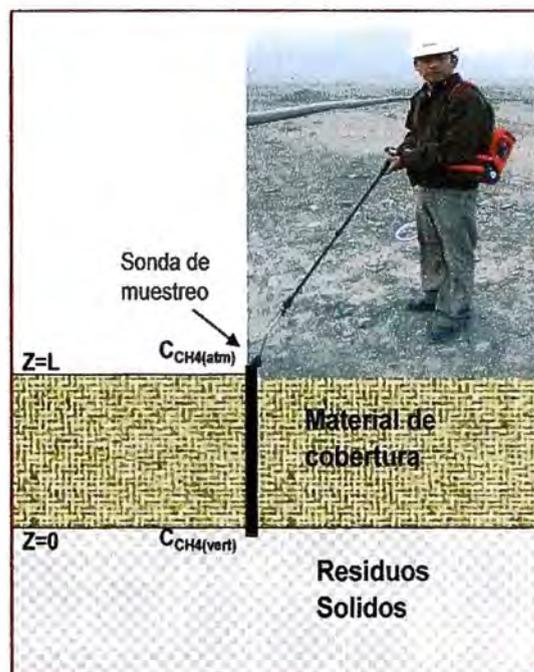
$L$ : profundidad del material de cobertura

$C_{CH_4 (atm)}$ : Concentración de metano en la superficie de cobertura del relleno.

$C_{CH_4 (vert)}$ : Concentración de metano en el fondo de cobertura del relleno.

$D$ : Coeficiente de difusión del metano: 0.20cm<sup>2</sup>/s

$\alpha$ : Porosidad del material de cobertura: 0.20

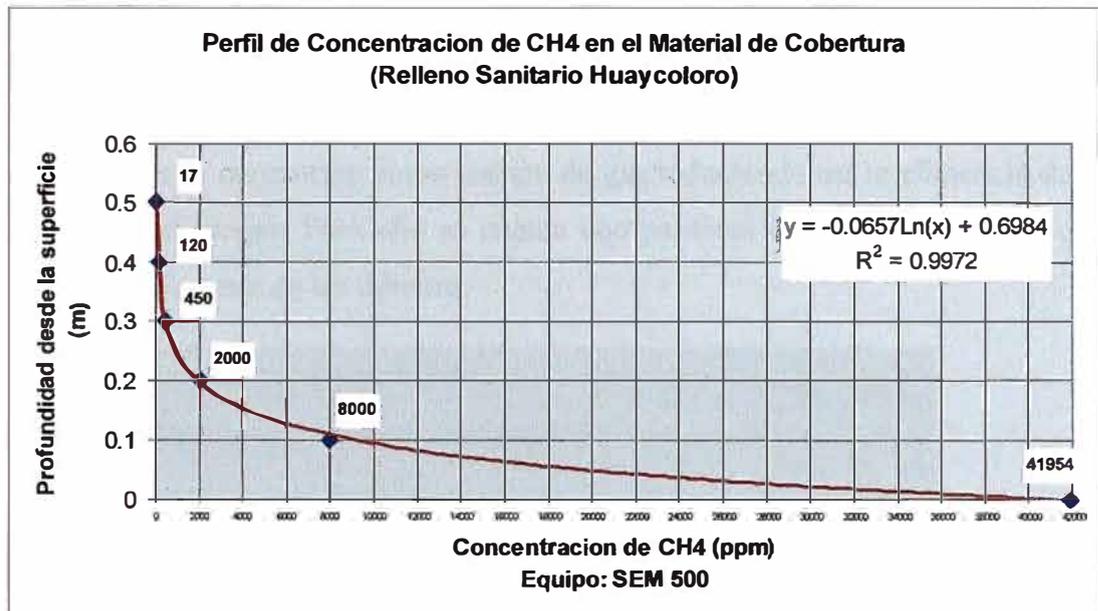


**Foto 35:** Medición de emisiones

En aplicación de la ecuación (2), se procede a introducir una sonda de muestreo en el material de cobertura y a medir la concentración del metano a diferentes profundidades (ver foto 35) para conocer en principio el perfil de concentración del metano en el terreno y finalmente para determinar el valor de flujo de metano en la superficie que resulto ser de 0.51gCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h, el cual es equivalente a la emisión de 930 tCO<sub>2</sub>e por hectárea (ver tabla 15 y Figura 17)

**Tabla 15:** Resultados de medición de emisiones superficiales de metano

Altura (Z)	Concentración CH <sub>4</sub> (ppm)	Flujo (g/m <sup>2</sup> .h)	tCO <sub>2</sub> e/año.ha
0.5	17	0.51	930
0.4	120	0.63	1160
0.3	450	0.83	1535
0.2	2000	1.20	2216
0.1	8000	2.05	3767
0	41954		



**Figura 17:** Perfil de concentración de metano en el terreno

La determinación de flujos de fuga de metano en diferentes puntos del terreno da una idea del potencial de recuperación del metano los cuales se estiman en 55,825 tCO<sub>2</sub>e para las 60 hectáreas de trabajo actual.

### **J.5 Gestión de lixiviados:**

Los lixiviados presentes en algunos pozos han demostrado ser un obstáculo para la extracción de biogas, para ello se ha detectado los pozos con lixiviados de altura mayor a 4m y se le extrae con una motobomba notándose una recuperación del pozo por la difusión efectiva del biogas.



**Foto 36:** Extracción de lixiviados.

### **J.6 Revisión de pendientes:**

Debido a la operación y a la degradación continua de la basura existen asentamientos diferenciales en el terreno que modifican la topografía de la superficie ocasionando que las tuberías se coloquen en contra pendiente y los condensados se comporten como trampa de gas reduciendo así la eficiencia de la captación del biogas. Para ello se cuenta con personal dedicado a asegurar una pendiente adecuada de las tuberías.



**Foto 37:** Personal corrigiendo la pendiente de las tuberías

### **J.7 Revisión de estado de pozo**

Esto tiene por finalidad garantizar el correcto cuidado del cabezal de pozo, verificando que todos los puertos de muestreo se encuentren operativos, así como el estado de los acoples flexibles.



**Foto 38:** personal revisando el pozo D1

### **J.8 Gestión de condensados**

Esta actividad tiene por objetivo determinar cuanto condensado se recoge del sistema de captación de biogas en los 04 tanques de condensación; se ha demostrado que el sistema produce 600gal/día de condensado. Lo importante de esto es que se debe evitar que el tanque de condensación obstruya el paso del biogas por lo que el condensado debe eliminarse oportunamente.



**Foto 39:** Personal eliminando el condensado de los tanques.

### **J.9 Ampliación de la red.**

Desde el inicio del proyecto se ha incrementado el número de pozos de captación de biogás desde 142 pozos iniciales en el 2007 hasta tener un aproximado de 200 pozos a diciembre del 2008. Esto se debe a que el relleno esta en continua operación y cada cierto periodo existe la suficiente área para realizar la construcción de pozos e incorporarlos a la Red existente.

Esta operación a traído incrementos importantes en la producción de biogas ya que se ha establecido que un pozo en promedio genera un flujo de 10 pies cúbicos por minuto estándar (scfm) al 50% de CH<sub>4</sub> y un pozo recién construido puede llegar a triplicar este volumen generado.

### **J.10 Supervisión y Control**

Permanentemente se esta supervisando el sistema de captura y combustión del biogas de tal manera que se tiene reportes en línea de las variables de operación tales como concentración; temperatura y flujo. También se brinda exhaustivamente entrenamiento al personal a fin de que conozca las especificaciones técnicas de las labores operativas a realizar y se mejore el control de las operaciones.



**Foto 40:** Supervisión y control del sistema

### **J.11 Mejoras del proyecto**

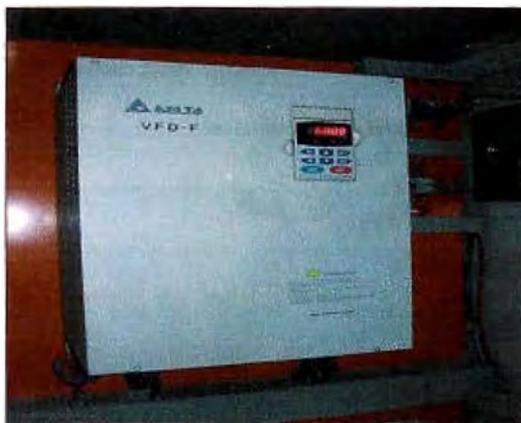
Se mejoraron en los siguientes aspectos:

1. Se adquirió un estabilizador (UPS) para proteger los datos electrónicos de los picos de corriente que entrega el generador de tal manera que en una interrupción de energía eléctrica; este equipo otorga el tiempo suficiente para poder apagar el sistema correctamente.



**Foto 41:** UPS

2. Tendido de Red Eléctrica. Debido al gasto en combustible del proyecto MDL se contrato a LUZ DEL SUR para que realice la interconexión desde la red más cercana hasta la planta Huaycoloro para lo cual se colocaron 03 transformadores de las siguientes capacidades:  
**100 KVA: 22.9-10KV/230V:** para la planta Huaycoloro (oficinas, taller, zona de lavado, grifo)  
**160KVA. 22.9-10KV/480V:** para la planta de Biogás  
**250KVA 22.9-10KV/400V:** Para la planta de reciclaje de Pet
3. Adquisición de Variadores de velocidad. Con el proyecto la energía eléctrica provenientes de la red pública, se adquirieron dos variadores de velocidad a fin de poder amortiguar la alta corriente de arranque que podrían dañar el transformador.



**Foto 42:** Variador de velocidad modelo VFD-F.

4. Instalación de termocupla de control. Se coloco este instrumento en el sistema del arresta llama para controlar la temperatura a la entrada del flare.



**Foto 43:** Termocupla a la entrada del biogás al flare

Nuevo cabezal de pozo. Se inventó un nuevo cabezal de pozo el cual nos permitirá dejar de importar cabezales de pozo reduciendo los costos hasta un 75%.



**Foto 44:** Cabezal de pozo nuevo

### **J.12 Resultados del proyecto**

De todo el trabajo realizado se han contabilizado y procesado para el primer año 525,600.00 datos, revisado y comparado con los archivos originales mediante técnicas de muestreo.

La manera de operar el calculo de los CERs esta descrita en el PDD por lo que hay que seguir estrictos procedimientos de cálculos teniendo la precaución de guardar la información madre para que el auditor realice la trazabilidad.

La tabla 16, muestra que el proyecto redujo el primer mes 3,337.45 CERs y redujo el ultimo mes del periodo anual un total de 8,933.04 CERs; reduciendo en total con un total de 84,070.00 CERs; cada mes se ha ido incrementando la producción, lo cual muestra el esfuerzo y realizado por el personal del proyecto.

Actualmente se están reclamando ante la junta ejecutiva ( EB) los 84,070.00 CERs del primer periodo de monitoreo comprendido entre 5marzo del 2007 al 4 marzo del 2008.

**Tabla 16:** Calculo de emisiones reducidas por el proyecto Huaycoloro<sup>(23)</sup> primer periodo de monitoreo

The Project ERs Calculation					
Month	(MDproject,y) x GWPC <sub>H4</sub>	Total ERs for Methane Destruction (tCO <sub>2e</sub> )	Total ERs for Displacement (tCO <sub>2e</sub> )	Total Project Emissions (tCO <sub>2e</sub> )	Total Project Ers (tCO <sub>2e</sub> )
0 December 1st, 2006 - March 4th, 2007	0	0	0	0	0
1 March 5th, 2007 - April 4th, 2007	3,504.24	3,388.60	0	51.15	3,337.45
2 April 5th, 2007 - May 4th, 2007	5,041.66	4,875.28	0	51.15	4,824.14
3 May 5th, 2007 - June 4th, 2007	7,926.28	7,664.71	0	51.15	7,613.57
4 June 5th, 2007 - July 4th, 2007	7,890.76	7,630.36	0	51.15	7,579.22
5 July 5th, 2007 - August 4th, 2007	8,784.63	8,494.74	0	51.15	8,443.60
6 August 5th, 2007 - September 4th, 2007	7,334.61	7,092.57	0	51.15	7,041.42
7 September 5th, 2007 - October 4th, 2007	6,810.69	6,585.93	0	51.15	6,534.79
8 October 5th, 2007 - November 4th, 2007	6,517.14	6,302.07	0	51.15	6,250.93
9 November 5th, 2007 - December 4th, 2007	6,883.16	6,656.02	0	51.15	6,604.87
10 December 5th, 2007 - January 4th, 2008	8,822.83	8,531.68	0	51.15	8,480.53
11 January 5th, 2008 - February 4th, 2008	8,768.10	8,478.75	0	51.15	8,427.60
12 February 5th, 2008 - March 4th, 2008	9,290.78	8,984.19	0	51.15	8,933.04
<b>Total</b>	<b>87,574.87</b>	<b>84,684.00</b>	<b>0</b>	<b>614.00</b>	<b>84,070.00</b>

ERs: 84,070.00

La tabla 17, muestra al proyecto MDL en un segundo periodo con lo cual desde el 5 de marzo del 2008 hasta el 4 de marzo del 2009 tiempo en que se cierra el segundo periodo se logro reducir 151, 549.00 CERs que representa un 80% mas respecto de que se ha logrado en el primer periodo.

**Tabla 17:** Calculo de emisiones reducidas por el proyecto Huaycoloro- Segundo periodo de monitoreo

The Project ERs Calculation					
Month	(MDproject,y) x GWPC <sub>H4</sub>	Total ERs for Methane Destruction (tCO <sub>2e</sub> )	Total ERs for Displacement (tCO <sub>2e</sub> )	Total Project Emissions (tCO <sub>2e</sub> )	Total Project Ers (tCO <sub>2e</sub> )
1 March 5th, 2008 - April 4th, 2008	12,503.68	12,091.05	0	51,15	12,039,91
2 April 5th, 2008 - May 4th, 2008	11,755.56	11,367.62	0	51,15	11,316,48
3 May 5th, 2008 - June 4th, 2008	12,138.69	11,738,11	0	51,15	11,686,97
4 June 5th, 2008 - July 4th, 2008	13,269,18	12,831,30	0	51,15	12,780,16
5 July 5th, 2008 - August 4th, 2008	14,235,01	13,765,26	0	51,15	13,714,11
6 August 5th, 2008 - September 4th, 2008	13,381,04	12,939,47	0	51,15	12,888,32
7 September 5th, 2008 - October 4th, 2008	14,763,02	14,275,84	0	51,15	14,224,70
8 October 5th, 2008 - November 4th, 2008	12,515,23	12,102,23	0	51,15	12,051,08
9 November 5th, 2008 - December 4th, 2008	11,378,38	11,002,90	0	51,15	10,951,75
10 December 5th, 2008 - January 4th, 2009	13,021,45	12,591,75	0	51,15	12,540,60
11 January 5th, 2009 - February 4th, 2009	14,589,30	14,107,85	0	51,15	14,056,71
12 February 5th, 2009 - March 4th, 2009	13,805,65	13,350,07	0	51,15	13,298,92
<b>Total</b>	<b>157,356,21</b>	<b>152,163,00</b>	<b>0</b>	<b>614,00</b>	<b>151,549,00</b>

ERs: 151,549,00

Esto demuestra que el proyecto se ha manejado de manera técnica y correcta pues de otra manera no se hubiese podido alcanzar estos niveles. Sin embargo lo

logrado por Huaycoloro no es lo estimado en el PDD; y se tiene la certeza de que de acuerdo a los reportes de monitoreo (MR) de proyectos similares en LAC, ningún proyecto MDL ha logrado lo proyectado en su PDD <sup>(24)</sup>. Este error que puede llegar al 60% radica esencialmente en la estimación de los parámetros de los modelos de generación de biogas ya que son muy optimistas y no conservadores. Esta falsa expectativa hace que los dueños de proyectos corran el riesgo de no obtener lo estimado y más aun si comprometen toda su producción estimada en su PDD en ERPAS tendrían penalidades que asumir con lo cual un proyecto MDL puede fracasar.

### **Efectos de los movimientos telúricos**

Existen tres eventos sísmicos importantes en la vida del proyecto MDL que han mermado su creciente producción y que pueden notarse en la tabla 16 y tabla 17:

\* El terremoto sucedido en agosto del 2007, fue un evento que causo mucho daño a la producción del sistema de biogás; tal como se puede comprobar la tabla 16 el terremoto trajo problemas de disminución en los meses de setiembre, octubre y noviembre.

\* Se presento un sismo de grado 4 en la escala de RITCHER en Octubre del 2008 y el 1ero de noviembre también; esto ha causado una disminución en la producción de CERs desde octubre 2008 hasta diciembre del 2008

El efecto de los terremotos o sismos ocurridos trae como consecuencia la disminución en la generación del biogás en un orden del 33% pues al descompactarse el material de cobertura el sistema se aerobiza por difusión del aire al sistema; así como también el biogas se escapa en mayor cantidad por la superficie. Típicamente un sistema demora en recuperarse entre 03 a 06 meses después de ocurrido el evento sísmico.

### **J.13 Plan de Monitoreo de Desarrollo Sostenible**

La tabla 18, muestra el Plan de monitoreo de desarrollo sostenible que PETRAMAS se ha comprometido con la población que se encuentra dentro de su ámbito de influencia directa.

**Tabla 18. Plan de Monitoreo**

<b>Objetivo 1: Indicador de sostenibilidad ambiental</b>		
<b>Iniciativa</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>objetivo</b>
Calidad del agua	M <sup>3</sup> de residuos sólidos retirados del río Huaycoloro	<b>12 600</b>
Calidad del suelo	M <sup>2</sup> de terreno que ha sido reforestado en parques y áreas de acceso	<b>210</b>
Otro	Gastos presupuestales incurridos en estudios de proyectos de sistemas de agua y desagüe	<b>US\$ 308.21</b>

<b>Objetivo 2: Indicador de sostenibilidad Socio-Económica</b>		
<b>Iniciativa</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>Progreso anual acumulativo</b>
Estándares económicos	Numero de empleados contratados de la población joven local	<b>10</b>
	Numero de días que La Florida, Saracoto Alto y Sol de Cajamarquilla recibieron el suministro de al menos 3,000 galones de agua.	<b>365</b>
	Numero de Km. de caminos (hasta 2 Km.) que han sido mejorados	<b>980m</b>
	Gastos presupuestales incurridos en el proyecto de granja porcina y comercialización	<b>US\$ 1 000</b>
Iniciativa nueva	En caso que el sponsor desee incorporar una iniciativa a la lista de iniciativas ambientales –de sostenibilidad, ésta deberá ser aprobada por el verificador	<b>N/D</b>



**Foto 45:** PETRAMAS SAC contribuyendo con la reforestación del parque de la Juventud del AAHH La Florida

## **K) CERTIFICACIÓN Y EMISIÓN PERIÓDICA DE CERS**

La certificación es la garantía escrita por una DOE de que durante un tiempo específico la actividad del proyecto ha reducido una cantidad de emisiones verificada de acuerdo con todos los criterios previamente establecidos en el Protocolo de Monitoreo.

El reporte de certificación elaborado por la consiste en una solicitud dirigida a la Junta Ejecutiva para que esta emita la cantidad de reducción de emisiones verificadas por la entidad operacional en forma de CER.

Cuando la Junta Ejecutiva aprueba la emisión de CER, los envía a los desarrolladores del proyecto.

La primera verificación periódica la realizo TUV SUD en abril del 2008 y se esta gestionando que el EB autorice la entrega de la primera remesa de CERs de **84,070.00**

Durante esta auditoria la DOE sigue el siguiente protocolo:

1. Revisión de procedimiento de cálculo de CERs

2. Comprobación del correcto funcionamiento de los sensores y equipos
3. Revisión de procedimientos y manuales referidos al sistema de gestión de la calidad del MDL
4. Verificación de autenticidad de los certificados de calibración de los equipos
5. Verificación de la validez de los monitoreos ambientales realizados
6. Revisión de perfiles de cargo del personal y las capacitaciones brindadas.
7. Revisión de plan de contingencias como seguridad del proyecto
8. Revisión del sistema de captura de Datos así como la inviolabilidad de los mismos.
9. Verificación de la trazabilidad de la información registrada
10. Verificación de la pericia del personal para el manejo del sistema.

### **5.3 BREVE ANALISIS SOBRE EL MERCADO DE CARBONO**

Se puede afirmar que no existe un solo mercado de carbono. El “mercado de carbono” es un conjunto de transacciones en el que se intercambian cantidades de reducciones de emisiones de GEI; en una se desarrollan las transacciones de carbono que buscan cumplir con el marco establecido por el PK, y en la otra hay, iniciativas paralelas de comercio de emisiones fuera del PK, como las iniciativas voluntarias de restricción de emisiones y las decisiones federales y estatales de los Estados Unidos para mitigar GEI, país que, como ya se mencionó, no es parte del PK.

#### **A) Mercados no Kyoto**

Existen Mercados voluntarios conformados por muchas corporaciones de gran tamaño han establecido metas de reducción de GEI voluntariamente. Compañías como ABB, DuPont, Entergy, IBM, Shell, Ontario Power Generation, Toyota de los Estados Unidos, Marubeni, United Technologies Corp., TransAlta, entre otras, se han comprometido de manera voluntaria a alcanzar metas de reducción y dan la bienvenida al mercado de carbono para cumplir con estos compromisos.

## **B) Mercados dentro del marco del PK**

### **Gobiernos**

Los gobiernos han establecido diversos esquemas para poder cumplir con los compromisos de Kyoto. Los principales hasta el momento son los de comercio de la Comunidad Europea, del Reino Unido y del Gobierno Holandés. En este último caso, más que un esquema doméstico, ha decidido trabajar directamente sobre los mecanismos de mercado del PK.

### **Entidades internacionales**

Las entidades internacionales tales como el fondo prototipo del carbono (PCF); fondo holandés para el MDL( NCDF) y el programa latinoamericano del carbono (PLAC) han incursionado en el mercado de carbono tienen el encargo de comprar reducciones de emisiones para los países que aportan los fondos que administran. Lo que implica que asumen riesgo de mercado, realizan contratos de compra a futuro y es posible que adelanten un porcentaje de los pagos.

### **Brokers**

Otros desarrolladores de mercado incluyen brokers, traders, entidades financieras, consultores e instituciones auditoras, que están creciendo en número y tamaño. Firmas de corretaje como NatSource, CO2e.com y MGM International están cumpliendo un papel importante en el desarrollo del mercado, como lo están haciendo también algunas firmas consultoras especialistas en los mecanismos flexibles o de mercado de Kyoto, como EcoSecurities.

## **C) Precios de mercado**

El objetivo de los análisis de mercado y precios CER es de informar a sobre las últimas tendencias de demanda, oferta y precios de CER Emitidos en el corto, mediano y largo plazo. Este análisis del mercado y precios CER introduce los indicadores que se deben revisar regularmente para administrar los proyectos MDL. Esta información de precios es suministrada por REUTERS CARBON y es

la fuente que se usa por su alta credibilidad y su agregación de información de múltiples fuentes del mercado global.

Se busca presentar la información más precisa sobre precios de CER de proyectos MDL y los certificados europeos (EUA-II), del cual se deriva el precio de los CER. Esta información permitirá que se puedan observar el valor de los CER Emitidos ayer, hoy y mañana, de manera instantánea, para asistir en la toma de decisiones de inversión y venta de sus CER.

La tabla 19, compila los precios de las últimas transacciones de compra y venta de CER efectuadas por los grandes corredores y las Bolsas de Carbono. Se ordenan con relación al momento de entrega esperada al comprador, empezando en el primer momento de cumplimiento forzoso de Kyoto, Diciembre 2008.

**Tabla 19 : Precios de mercado e índice de corredores REUTERS<sup>(25)</sup>**

EUA Prices (EU-ETS)	Date	Dec 09	Dec 10	Dec 11	Dec 12	Dec 13	Dec 14
FUTURES (ECX)	03-mar	€ 10.98	€ 11.41	€ 12.13	€ 13.12	€ 14.49	€ 15.49
SPOT (BlueNext)	03-mar	€ 10.77					
<b>CER Prices (CDM)</b>		<b>Dec 09</b>	<b>09-12 Strip</b>		<b>Dec 12</b>		
<b>Broker</b>							
TFS Energy	03-mar	€ 9.70	€ 9.85	€ 9.90	€ 10.05	€ 10.20	€ 10.35
Evolution Markets	03-mar	€ 9.65	€ 9.85	€ 9.90	€ 10.10	€ 10.20	€ 10.40
Cantor CO2e	03-mar	€ 9.75	€ 9.85	€ 9.95	€ 10.05	€ 10.20	€ 10.30
Tullet Prebon	03-mar	€ 9.70	€ 9.80	€ 9.90	€ 10.10	€ 10.25	€ 10.35
ICAP	03-mar	€ 9.65	€ 9.85	€ 9.89	€ 10.09	€ 10.20	€ 10.40
MF Global Energy	03-mar	€ 9.80	€ 9.90	€ 9.95	€ 10.10	€ 10.20	€ 10.40
Spectron	03-mar	€ 9.70	€ 9.80	€ 9.91	€ 10.01	€ 10.20	€ 10.30
GFI Group	03-mar	€ 9.70	€ 9.90	€ 9.90	€ 10.10	€ 10.00	€ 10.20
		<b>Dec 09</b>		<b>Strip</b>		<b>Dec 12</b>	
*Reuter CER Index	03-mar	€ 9.78		€ 9.99		€ 10.26	
Next Chg/% Chg		€ 0.59	6.41%	€ 0.58	6.20%	€ 0.56	5.73%
Implied Percentage/Spread		89.05%	€ 1.20	84.09%	€ 1.89	78.80%	2.76
<b>Exchange</b>		<b>Dec 09</b>	<b>Net Chg</b>	<b>Volume</b>	<b>Dec 12</b>	<b>Net Chg</b>	<b>Volume</b>
ECX CERs	03-mar	€ 9.90	€ 0.73	91.00	€ 10.40	€ 0.72	116.00
Nord Pool CERs	03-mar	€ 9.90	€ 0.75	0.00	€ 10.35	€ 0.70	0.00
		<b>Close</b>	<b>Net Chg</b>	<b>Volume</b>			
BlueNext (SPOT) CERs	03-mar	€ 10.16	€ 0.35	63.00			
		<b>may-09</b>	<b>Net Chg</b>	<b>Volume</b>			
India's MCX (INR)	26-feb	559.00	17.50	50.00			

El mercado usa como referencia los precios de los CER ya EMITIDOS porque son papeles homogéneos, transables en mercados secundarios, y dignos para cumplimiento inmediato en todos los países del Anexo B sin riesgo alguno al

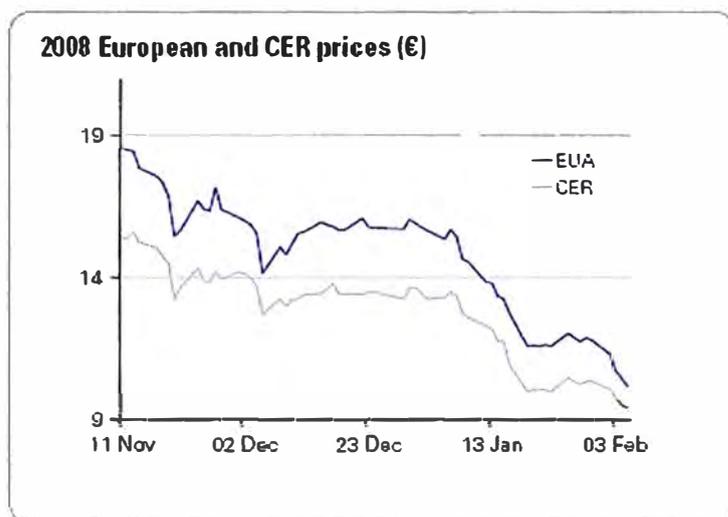
comprador. Es un excelente indicador del valor de los CER de un proyecto MDL maduro, a punto de generar CERs. No se incluyen precios de CER “primarios” (antes de ser registrados o emitidos), porque son precios muy heterogéneos y relacionados específicamente al nivel de desarrollo del proceso aprobatorio MDL y a los riesgos propios de cada proyecto (financieros, administrativos, de seguridad, etc).

El índice de corredores de CERs de Reuters, compila un promedio ponderado de las últimas transacciones reportadas por Tradition Financial Services Energy, Evolution Markets, Cantor CO2e, Tullet Prebon , ICAP MF Global Energy; Spectron y GFI Group. Estos corredores, con oficinas en Europa, EEUU, Canadá y Japón, lideran el mercado en volumen de transacciones de CER. El indicador “Flujo 2009-012” es el precio pagado en contratos de compra-venta de flujos multianuales de CER a futuro con garantía absoluta de entrega; es decir, si el vendedor no logra generar los CER a tiempo, tiene que ir al mercado a comprarlos de terceros y entregarlos al comprador en el momento acordado de entrega.

Point Carbón y CAEMA son analistas de mercado que también muestran la evolución de precios de los CERs



**Figura 18:** Gráfica histórica de precios de CERs a 30 días atrás<sup>(26)</sup>



**Figura 19:** Evolución histórica de precios de CER y EUA<sup>(27)</sup>

De la figura 19, además de los precios de CER, es importante observar los precios de EU Allowances (EUA) que son los certificados transables del sistema Europeo de control de emisiones para el periodo 2008-12, porque este es el indicador que representa el mayor volumen de transacciones para cumplimiento en el mundo, y porque los precios de los CER Emitidos son derivados del precio EUA-II.

Históricamente los precios EUA son un poco mayores que los CERs; El CER es un sustituto perfecto para un EUA-II en términos de cumplimiento ante Kyoto, es transable y re-vendible en más mercados que el EUA-II, y su calidad ambiental es verificada por el país anfitrión y el auditor de Naciones Unidas. Sin embargo, en el mercado dominante de Europa, los compradores finales todavía tienen más confianza en el EUA-II.

#### **EXPECTATIVAS DE PRECIOS PERIODO 2008-2012.**

Debido a que ha comenzado el periodo de cumplimiento forzoso de las metas del Protocolo de Kyoto 2008-12, los países industrializados que ratificaron el Protocolo de Kyoto necesitan reducir un total de 707<sup>(28)</sup> millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e por año, o 3.5 mil millones de toneladas durante el quinquenio.

Además de estas reducciones, la Comunidad Económica Europea ha impuesto reducciones aun mayores sobre todos los miembros actuales y los entrantes. Por ejemplo, países como la republica Checa y Polonia, que hoy no tienen déficit de emisiones ante el PK, sí tienen metas de reducción significativas bajo el régimen de reducción de emisiones del Sistema de Control de Emisiones de la Unión Europea. Esto ha aumentado en un 15% la demanda por CER.

Al lado de la oferta, los flujos de CER esperados para el periodo de los 806 proyectos MDL aprobados y registrados por UNFCCC a diciembre del 2007 son cuantificados en 1,050,000,000 CER. Sin embargo, los mercados consideran que no más de la mitad (50%) de esos CERs serán generados al mercado por problemas de inversión, administración, u otros riesgos al nivel de los proyectos.

Actualmente el mercado internacional de CER emitido, se ha consolidado y los compradores están dispuestos a pagar entre 14 y 16 € ; este es un excelente precio y los proyectos que quieren negociar sus CER antes de que su proyecto esté Registrado o implementado, tendrán que aceptar un descuento significativo de este precio, con el nivel del descuento determinado por una negociación con el comprador respecto al conjunto de riesgos específicos (aprobatorios, financieros, tecnológicos, administrativos, de seguridad, etc.) asociados a su proyecto. Se espera que el precio de cada CER Emitido para el periodo 2008-2012 este en el rango probable de 15 y 22.88Euros<sup>(29)</sup>

La figura 18 y 19 muestran que el precio de los CERs esta tendiendo a la baja debido a la crisis mundial pues los países Europeos están produciendo menos emisiones de los que les otorgan sus permisos Europeos y como en este año no van a tener excedentes de emisiones, estos los comercializaran entre ellos para cumplir sus metas por lo que la demanda de CERs disminuyen y es de esperarse que esta tendencia disminuya a menos de €10.00. Esta tendencia de precios no debe alarmar al generador de proyectos pues a marzo del 2007 los precios habían caído a 3 € y luego en los siguientes meses habían alcanzado picos de 30€.

## **EXPECTATIVAS DEL MERCADO POST-2012.**

De nuevo, la Unión Europea esta liderando al mundo en la fijación de metas de reducción en el largo plazo. En la última ronda presidencial sobre cambio climático del 2007, la Unión Europea estableció una meta de reducción de emisiones para el año 2020 para el conjunto de sus países miembros de 20% mas allá de la meta establecida por Kyoto para 2012. En la reunión de la G8 el 7 de Junio 2007 en Heilegendamm, Alemania, la G8 se comprometió a reducir sus emisiones en el 50% para el año 2054. Además, se prepara la introducción de metas de reducción para dos sectores no cubierto hasta la fecha en el mercado europeo, las emisiones de Transporte AEREO y de Buques. Después de 2012, estos dos sectores también recibirán metas cuantiosas de reducción de sus emisiones, que por sus altos costos de reducción internas, se manifestaran en la demanda por CER.

La confianza en el mercado a largo plazo se ve en el comportamiento de los inversionistas. Dos grandes bancos, el Banco Mundial y el European Investment Bank (EIB), han lanzado fondos de inversión para comprar los CER de proyectos más allá del 2013. El fondo del EIB, llamado el “European Post-2012 Carbon Fund”, cuenta con compromisos de cuatro estados europeos de 150 millones de dólares anuales para la compra de certificados de emisiones reducidas en el largo plazo. La Global Carbon Markets Research del Deutsche Bank en el 2007 emitió su primer pronóstico del Mercado hacia el largo plazo, donde concluye que los EUAs van a llegar a €35 hacia el 2020. Asumiendo que el CER sigue transándose a un descuento de 70% de los CER, el precio de los CER podría subir hacia 25 euros.<sup>(30)</sup>

La tabla 19 muestra que Transacciones más allá de 2012 ya se están dando en el mercado, pero no son reportados consistentemente todavía; esperamos la consolidación de estos indicadores en la medida que se consoliden las negociaciones sobre las metas del segundo periodo de cumplimiento de Kyoto.

## 5.4 PROPUESTA 1: OPORTUNIDAD PARA EL SECTOR RESIDUOS EN EL PERU

El presente trabajo puede utilizarse como una guía conservadora para demostrar el potencial de generación de biogas ocasionado por los residuos sólidos en el Perú y que servirán de base para tomar decisiones económicas de inversión con miras a clausurar botaderos de residuos sólidos y promover los rellenos sanitarios como medida de disposición final de residuos.

Partamos por que a principio del año 2002 el país tenía una población de 26'469,144 y la población urbana representaba el 69% quienes en total generaban 12,986.23ton/día de residuos con la siguiente composición:

**Tabla 20.** Composición nacional de los residuos sólidos año 2001<sup>(31)</sup>

<b>ITEMS</b>	<b>Composición (%)</b>	<b>Ton</b>
<b>Orgánicos</b>	54.50	7,077.49
<b>Papel</b>	6.49	842.81
<b>Plásticos</b>	4.30	558.41
<b>Vidrios</b>	3.39	440.23
<b>Metales ferrosos</b>	2.20	285.70
<b>Textiles y trapos</b>	1.56	202.58
<b>Cartón</b>	0.97	125.97
<b>Maderas</b>	0.93	120.77
<b>Cueros y caucho</b>	0.30	38.96
<b>Metales no ferrosos</b>	0.16	20.78
<b>Otros</b>	25.20	3,272.53
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>12,986.23</b>

De este informe se desprende que Lima y Callao tenía una población de 7'694,562 y generaba 5,567.89 ton/día representando el 42.87% de la generación nacional

Al año 2007 Lima y Callao generaban 6,977ton/día<sup>(32)</sup> y debido a que no hay información acerca de la generación nacional se hace el supuesto que Lima representa el mismo porcentaje de generación que a inicios del 2002, entonces al 2007 el Perú estaría generando un aproximado de 16,275.42 ton/día.

Para determinar la proyección de generación de residuos anuales utilizaremos la siguiente formula:

$$G_f = G_0(1+t)^n \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

$G_f$ = generación en el año n

$G_0$ = generación en el año 0

t= Tasa de generación anual

n= numero de años

Para determinar la tasa de generación anual de incremento se toma t=0 al año 2002 y t=5 al año 2007 de los cuales se tiene información de residuos generados.

Por lo que se tiene

$G_f$ : 16,275.42

$G_0$ : 12,986.23

n=5

Reemplazando en la ecuación (1) tenemos que:

$$16,275.42 = 12,986.23(1+t)^5$$

$$t = 0,0461882$$

Por lo tanto la tasa anual de incremento en la generación es de 4,6%

Por lo tanto al reemplazar en la ecuación (1) la proyección de residuos generados para el País desde el 2007 hasta el 2019 se muestra en la tabla 21:

**Tabla 21:** proyección de generación de residuos sólidos a nivel nacional.

<b>AÑO</b>	<b>Generación Anual(ton) (Mi)</b>	<b>Acumulado</b>
2007	5,940,528.30	5,940,528.30
2008	6,214,909.42	12,155,437.72
2009	6,501,963.66	18,657,401.38
2010	6,802,276.35	25,459,677.73
2011	7,116,459.90	32,576,137.63
2012	7,445,154.94	40,021,292.57
2013	7,789,031.76	47,810,324.33
2014	8,148,791.56	55,959,115.90
2015	8,525,167.94	64,484,283.84
2016	8,918,928.40	73,403,212.24
2017	9,330,875.87	82,734,088.11
2018	9,761,850.36	92,495,938.47
2019	10,212,730.71	102,708,669.18

Utilizando la formula corregida del Proyecto MDL Huaycoloro realizaremos los siguientes supuestos

<b>Modelo de generación de biogas : Decaimiento de Primer Orden</b>		
$Q_m = \sum_{i=1}^n 2 k L_o M_i (e^{-kt_i})$		
potencial final de generación de metano (m3/Mg)	K	81
Mi = masa de residuos sólidos dispuestos en el año i (Mg)	Mi	
constante del índice de descomposición de generación de metano (1/año)	Lo	0.02
antigüedad de los residuos dispuestos en el año i (años)	Ti	
máximo índice de flujo de generación de LFG esperado (m3/año)	Q	m3/año

Proyectamos conservadoramente la generación de biogas (columna 02 de la tabla 22) así como su equivalente en tCO<sub>e</sub> (columna 03 de la tabla 22) para lo cual utilizamos el siguiente modelo:

<b>Modelo :</b>		
$t_{CO_2e} = Q_M \times D \times GWP \times EC \times (1 - AF) \times EF$		
Densidad del metano a condición Normal (ton/m3)	<b>D</b>	<b>0.000714286</b>
Eficiencia en la captura de metano	<b>EC</b>	<b>75%</b>
Concentración de metano	<b>C</b>	<b>50%</b>
Poder de calentamiento global que se reduce	<b>GWP</b>	<b>21</b>
Fugas	<b>AF</b>	<b>3.30%</b>
Eficiencia de antorcha	<b>EF</b>	<b>99.80%</b>
Precio de los CERS(€)	<b>Pu</b>	<b>10.02</b>
Volumen de biogás proyectado en m3	<b>Q<sub>M</sub></b>	

**Tabla 22:** Volumen de biogas; CERs e ingreso Nacional por venta de CERs

<b>AÑO</b>	<b>Q<sub>M</sub> (m3)</b>	<b>tCO<sub>2e</sub></b>	<b>Ingreso (€)</b>
<b>2009</b>	59,252,991	321,655	3,222,983
<b>2010</b>	79,682,669	432,557	4,334,221
<b>2011</b>	100,705,611	546,680	5,477,734
<b>2012</b>	122,356,155	664,210	6,655,384
<b>2013</b>	144,670,088	785,341	7,869,117
<b>2014</b>	167,684,717	910,276	9,120,966
<b>2015</b>	191,438,938	1,039,226	10,413,045
<b>2016</b>	215,973,315	1,172,410	11,747,548
<b>2017</b>	241,330,161	1,310,060	13,126,801
<b>2018</b>	267,553,614	1,452,414	14,553,188
<b>2019</b>	294,689,734	1,599,722	16,029,214
<b>2020</b>	322,786,586	1,752,246	17,557,505
<b>2021</b>	351,894,339	1,910,257	19,140,775
<b>TOTAL</b>	<b>2,560,018,919</b>	<b>13,897,053</b>	<b>139,248,481</b>

Finalmente Aplicando un valor de €10.02/tCO<sub>2</sub>e que es el promedio estimado del precio del CERs para dic. 2009 y dic. 2012 dado por REUTERS el 03 de marzo del 2009; en la columna 04 de la tabla 22 se muestra el ingreso que el país debería recibir por aplicar proyectos MDL solamente en el sector de Residuos Sólidos y que desde el 2009 hasta el 2021 se percibiría un total de **139,248,481.00€** lo que es equivalente a un promedio anual de **10,711,421.61€**

Este resultado demuestra que si el país ejecutara una política de clausura de los botaderos, y realizara la disposición final empleando el método de relleno sanitario; acogiéndose a MDL, tendría opciones financieras favorables para hacer sostenible estos esfuerzos.

## **5.5 PROPUESTA 2: PROYECTO DE TRATAMIENTO DE BIOGAS DE RELLENO SANITARIO PARA SER UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE VEHICULAR.**

El presente trabajo busca emplear el biogás de relleno sanitario para ser utilizado como combustible de automóviles específicamente de 28 camiones compactadores de basura que actualmente funcionan con D2.

El biogás se obtiene a partir de la descomposición anaerobia de materia orgánica mezclada con agua, debido a la acción bacteriana, y es una mezcla de gases formada principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y trazas de otros componentes. Para su utilización al transporte se requiere extraer el  $\text{CO}_2$  resultando un gas similar al gas natural y como tal puede ser aplicado a vehículos.

Ambientalmente se le atribuyen al biogás las mismas ventajas que al metano del gas natural ( $\text{CH}_4$  90%-95%) tales como la reducción de  $\text{CO}_2$ , CO,  $\text{NO}_x$ , etc., a lo que se añade que empleándolo por esta vía controlada se evita su emisión espontánea a la atmósfera, contribuyendo así a la mitigación de los gases de efecto invernadero.

Cabe resaltar que actualmente las Naciones Unidas no aprobado metodología alguna para que esta conversión reciba el incentivo de bonos de carbono por lo que, este proyecto percibirá ingresos por venta de combustible y por reducción de emisiones de metano en mercados no Kioto.

Muchos rellenos sanitarios pequeños del país generan poco biogas con lo cual los costos de inversión de un proyecto MDL son muy altos y a veces resulta antieconómico; por lo que este proyecto resulta ser una alternativa viable para aprovechar el poder calorífico del biogas y recibir ingresos por ello dándole sostenibilidad al proyecto.

### 5.5.1. Capacidad de la planta

Para este fin se analizará una planta de tratamiento de biogás de 200Nm<sup>3</sup> por hora (equivalentes a 118scfm) el cual se estima tiene la capacidad suficiente para abastecer a un parque 28 unidades compactadoras que realizan 56 viajes al día.

El espacio requerido para la planta es de aproximadamente 15 x 6 m. esta se encontrará containerizada tal como se muestran en las siguientes fotografías



Foto 46: Enriquetedor de biogás

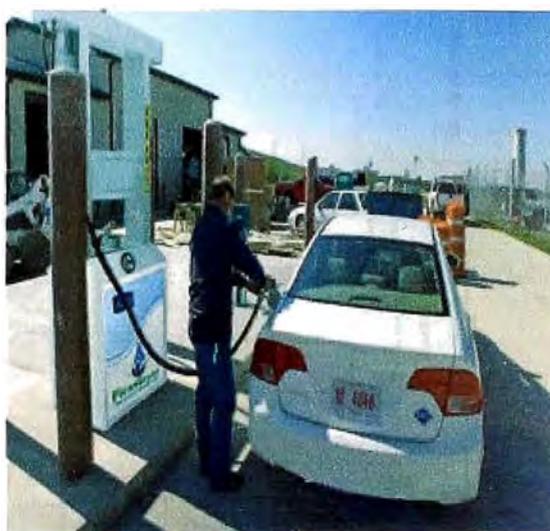
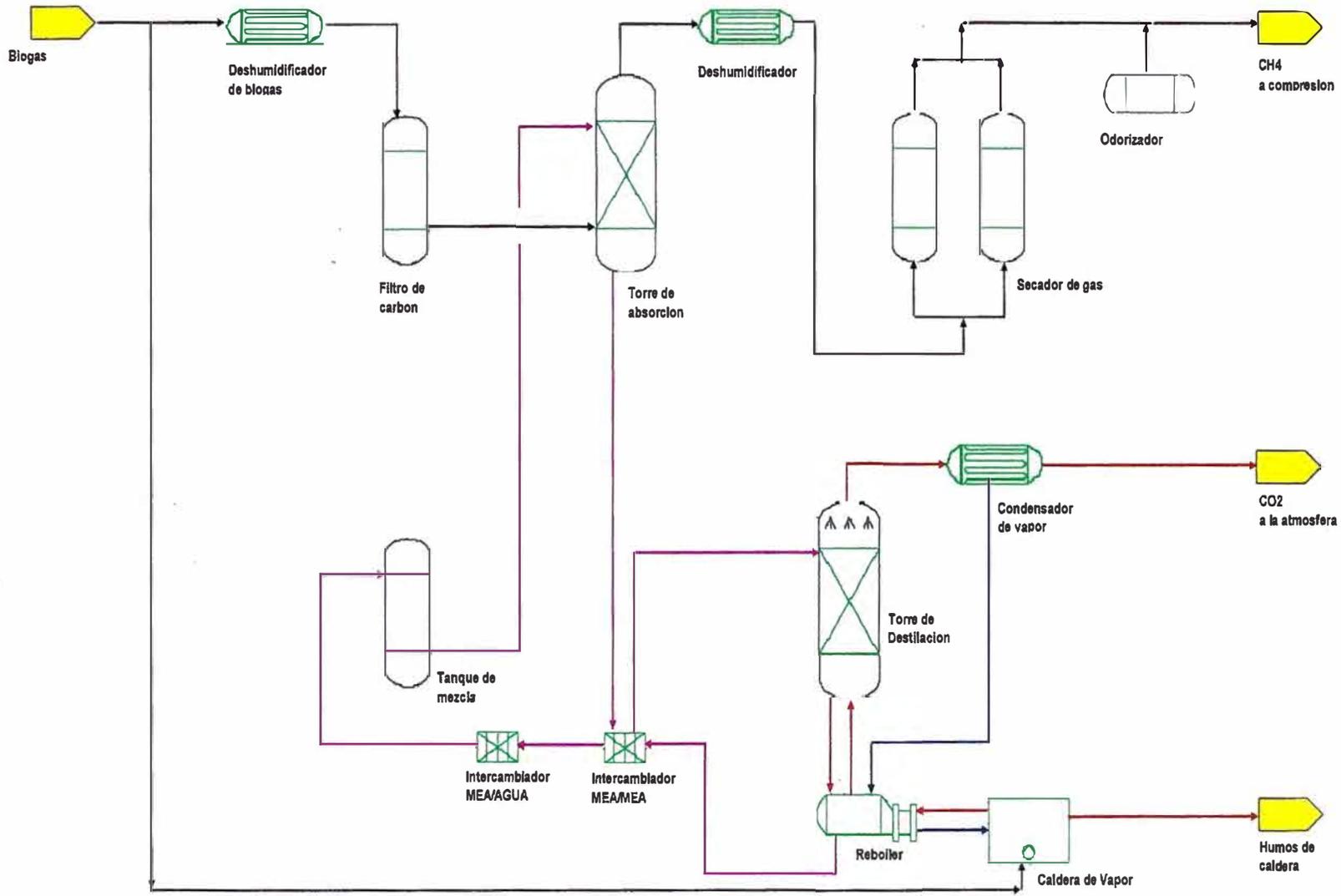


Foto 47: Grifo de Biogás enriquecido

### 5.5.2. Características del proceso.

Las siguientes características son las utilizadas como base del diseño de la planta y están sujetas a tolerancias generales del 5%.

PROPIEDAD	ENTRADA BIOGAS BRUTO	SALIDA BIOGAS LIMPIO
Temperatura	ambiente	ambiente
Presión	250 mbar	150 mbar
Caudal, nominal	200 Nm <sup>3</sup> /h	120 Nm <sup>3</sup> /h
Composición(CH <sub>4</sub> , mín.)	55% CH <sub>4</sub> y 40% CO <sub>2</sub>	96%, CH <sub>4</sub>
Impurezas (H <sub>2</sub> S, máx.)	<200 ppm	5 ppm
Punto de rocío (°C)	saturado	-30°C
Calor específico		> 10 KWh/Nm <sup>3</sup>



5.5.3. Diagrama de proceso

#### 5.5.4. Descripción del proceso

En el diagrama del proceso anterior se describen las etapas básicas del proceso de limpieza del biogás mediante absorción utilizando Mono Etanol Amina (MEA).

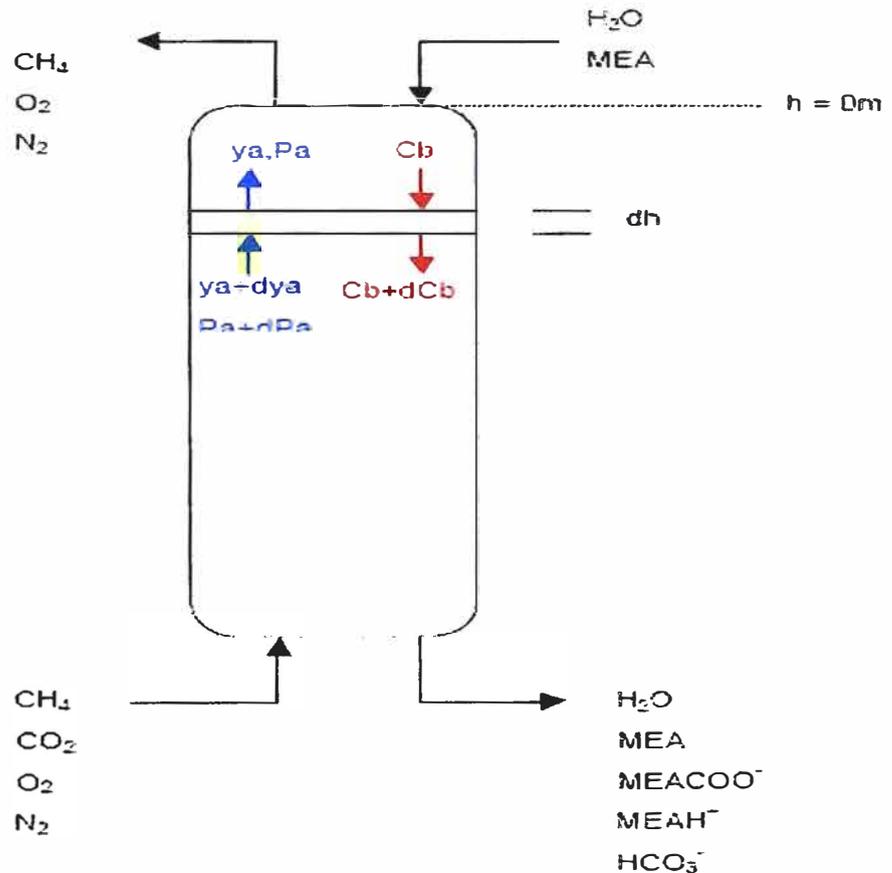
La planta de enriquecimiento de metano consiste básicamente en dos partes diferenciadas: La zona de concentración de biogás y la zona de regeneración del absorbente

##### A) Zona de concentración de biogás

Es la parte de la planta que engloba los equipos necesarios para tratar el biogás con el objeto de enriquecer el nivel de concentración del  $\text{CH}_4$ .

- a) El biogás del relleno proviene de una soplante que eleva su presión de 150mbar a 400mbar, para superar las pérdidas de carga del proceso; este incremento de presión mejora el rendimiento del proceso.
- b) La corriente de entrada de biogás llega a la planta de tratamiento saturada en agua; para evitar su condensación en las tuberías y la saturación en equipos posteriores la máquina se pasa por un condensador que reduce la humedad relativa del biogás hasta un 30% y enfriando la corriente de biogás hasta 30 °C. El punto de rocío del biogás queda en 18°C. Para enfriar se hace pasar por los tubos del condensador una corriente de agua procedente de una máquina de frío.
- c) Posteriormente la corriente de biogás, entra a una torre de adsorción con carbón activado, donde la concentración del  $\text{H}_2\text{S}$  de 400ppm es reducido a 5ppm. La planta está diseñada para que pueda funcionar con dos torres de carbón activo intercambiables cuando uno de ellos se satura. El tiempo de saturación de las torres es de 720 horas. El carbón activo adquirido es capaz de adsorber también hasta un 15% de  $\text{CO}_2$ . A la salida de las torres de carbón activo se encuentra el filtro de partículas que evita la entrada de cualquier sólido en los equipos posteriores.
- d) El biogás que sale de las torres de carbón activo contienen hasta un 38.5% en volumen de  $\text{CO}_2$ . Para la eliminación de  $\text{CO}_2$  se hace pasar el biogás a contracorriente con monoetanolamina (MEA) utilizando una torre de

relleno donde se realiza la reacción química mediante el proceso de absorción que opera a 30°C.



- e) En la absorción se ha eliminado el  $\text{CO}_2$  y se ha saturado la corriente de biogás con agua, que es reducida en un intercambiador que utiliza una corriente de agua procedente de una máquina de frío para la condensación.
- f) La corriente de salida del biogás en el condensador se hace pasar por una torre con sílica gel para poder eliminar la humedad remanente y poder garantizar un nivel de humedad equivalente a  $-40^\circ\text{C}$  de punto de rocío en el gas de salida del proceso. El sistema consta de 02 torres intercambiables cuando uno de ellos se satura. La sílica se regenera mediante la recirculación de una parte del biogás seco y el biogás humedecido se vuelve a introducir al comienzo del sistema, justo antes de la soplante.

- g) Una vez secado el biogás, la corriente de biogas pasa por un filtro de sólidos para la eliminación de cualquier partícula que pueda pasar al proceso de compresión para su despacho en el grifo.
- h) El biogás limpio y seco sale del filtro y es llevado a una estación de odorización en la cual se le añade tetrahidrotiofeno (THT) por seguridad.
- i) El sistema también tiene incorporado un Analizador de gases para metano, carbón activo y oxígeno por infrarrojos.

Rango de medida de  $\text{CH}_4$ : 50-100%

Rango de medida de  $\text{CO}_2$ : 0-5%

## **B) Regeneración del absorbente MEA**

Esta es la parte de la planta que engloba los equipos necesarios para regenerar el absorbente utilizado para limpiar el biogás que permite que vuelva a ser utilizado haciendo rentable el proceso

- a) La corriente de salida de MEA usada desde la torre de absorción sale a  $30^\circ\text{C}$ , este se separa del  $\text{CO}_2$  mediante un proceso de stripping a  $105^\circ\text{C}$ . con vapor de agua suministrado por un reboiler. Una corriente de agua de red es calentado mediante la caldera, que funciona con biogás, e introducido al reboiler. Esta etapa hace necesaria la incorporación de un intercambiador de calor entre las columnas de absorción como la del stripper.
- b) La corriente de MEA regenerada procedente del intercambiador necesita de un posterior enfriamiento para llegar hasta la temperatura de operación de la torre de absorción ( $30^\circ\text{C}$ ). Este enfriamiento se realiza en un intercambiador que utilizará agua procedente de una máquina de frío, un tanque de almacenamiento se instala para aportar MEA nuevo desde la estación de llenado y así compensar las pérdidas que se han tenido en el proceso.
- c) Uno de los productos del proceso es una corriente de dióxido de carbono que sale de la torre de destilación a  $95^\circ\text{C}$  y con una pequeña cantidad de agua; la corriente de  $\text{CO}_2$  se enfría hasta  $30^\circ\text{C}$  en un intercambiador que

usa agua procedente de una máquina de frío; el agua de la corriente es devuelta al proceso para mantener la relación MEA-agua al 20%.

#### Ventajas del proceso

- a) Bajo consumo en la operación del proceso
- b) Se llevarse a cabo a presión atmosférica.
- c) Consumo eléctrico de 0,15KWh/Nm<sup>3</sup> de biogás limpio
- d) El tipo de energía consumida por la caldera es biogás
- e) También es posible que en función de la presión de entrada del biogás y de las características del proceso, se puede realizar la regeneración de la secante mediante N<sub>2</sub> de manera que la pérdida de carga sea menor y se podría suprimir esta soplante.

#### 5.5.5. Suministros generales

A continuación se describen suministros necesarios para el correcto funcionamiento de la planta de los cuales el nitrógeno se utilizara al inicio de la puesta en marcha o por paradas de emergencia como corriente de lavado.

Sistema de aire comprimido	Nitrógeno	Potencia eléctrica	Condiciones de contorno
Consumo, máx: 5.0 m <sup>3</sup> /h	Consumo: 100.0 m <sup>3</sup>	Potencia instalada: 30 KW	Instalación: Exterior
Presión, mín.: 5.0 bar	Presión: 6.0 bar	Pot. Consumida: 25 KW	Temperatura ambiente, máx: 35.0 °C Min: -20.0 °C
Temperatura: Ambiente	Temperatura: Ambiente	Voltaje: 400V/50Hz	Temperatura de diseño: 20°C
Calidad: Libre de aceite, polvo o agua de acuerdo a ISO 8571.1 clase 1.4.1	Contenido de O <sub>2</sub> : < 0.5 %		

### 5.5.6. Inversión

US\$ 1'000,000.00

### 5.5.7. Análisis de consumo de un vehículo compactador y capacidad de abastecimiento

Un camión compactador con motor a GNV tiene 8 cilindros de 70L eq H<sub>2</sub>O, en el que se encuentran contenidos un total de 127m<sup>3</sup> GNV, suficiente para 25h de operación continuada (rendimiento de 5,08m<sup>3</sup>/h).

Cada camión compactador emplea en un turno de trabajo 10h de operación, equivalentes a 50.8m<sup>3</sup> de GNV

Como la capacidad de planta es de 120m<sup>3</sup>/h = 2880m<sup>3</sup> GNV día; con esta producción se pueden cubrir  $2880/50.8 = 56.6$  viajes = 56 viajes al día.

### 5.5.8. Análisis Financiero

Para ello se tomara en cuenta lo siguiente:

- Financiamiento: US\$ 1,000,000.00
- Tipo de cambio US\$: S/ 3.10
- Operación: 365 días de 24 h
- Tasa de descuento : 15%
- Gastos financieros y bancarios: US\$ 100,000 Anual
- Producción de GNV 96% CH<sub>4</sub>: 120m<sup>3</sup>/h
- Precio por m<sup>3</sup> de GNV: S/ 1.39
- Costo de producción por m<sup>3</sup>: S/. 0.6672
- Reducción anual de emisiones: 15,190.16 tCO<sub>2</sub>e
- Precio tCO<sub>2</sub>e = US\$ 15

Por lo tanto del cuadro de estado financiero vemos que el VPN es de US\$ 126,497.38 >0 y la TIR es de 18.49% que es mayor a la tasa de descuento de 15% , por lo tanto el proyecto es viable y tiene un periodo de recuperado de 5 años.

**PROYECTO GNV DE RELLENO SANITARIO**  
**EVALUACION FINANCIERA A PRECIOS CONSTANTES - EN EL HORIZONTE DE 10 AÑOS**  
(En US\$)

Conceptos	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Total
<b>1. Inversiones</b>	1,000,000.00											1,000,000.00
- Capital financiado	1,000,000.00											1,000,000.00
<b>2. Ingresos</b>												
Ingreso por venta de tCO2e		227,858.45	227,858.45	227,858.45	227,858.45	227,858.45	227,858.45	227,858.45	227,858.45	227,858.45	227,858.45	1,139,292.24
Ingreso por venta de GNV		471,344.52	471,344.52	471,344.52	471,344.52	471,344.52	471,344.52	471,344.52	471,344.52	471,344.52	471,344.52	4,713,445.16
I.G.V. 19%		89,555.46	89,555.46	89,555.46	89,555.46	89,555.46	89,555.46	89,555.46	89,555.46	89,555.46	89,555.46	895,554.58
<b>Total Ingresos Netos</b>		<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>609,647.51</b>	<b>6,096,475.06</b>
<b>3. Egresos</b>												
Costos de Operación		226,245.37	226,245.37	226,245.37	226,245.37	226,245.37	226,245.37	226,245.37	226,245.37	226,245.37	226,245.37	2,262,453.68
<b>Total Egresos</b>		<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>226,245.37</b>	<b>2,262,453.68</b>
<b>4. Utilidad Bruta</b>		<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>383,402.14</b>	<b>3,834,021.39</b>
Arrendamiento financiero 12%		120,000.00	120,000.00	120,000.00	120,000.00	120,000.00	120,000.00	120,000.00	120,000.00	120,000.00	120,000.00	1,200,000.00
<b>5. Utilidad Operativa</b>		<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>2,634,021.39</b>
Depreciación (-)		200,000.00	200,000.00	200,000.00	200,000.00	200,000.00						1,000,000.00
<b>6. UAJ</b>		<b>63,402.14</b>	<b>63,402.14</b>	<b>63,402.14</b>	<b>63,402.14</b>	<b>63,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>263,402.14</b>	<b>1,634,021.39</b>
Impuesto a la Renta 30%		19,020.64	19,020.64	19,020.64	19,020.64	19,020.64	79,020.64	79,020.64	79,020.64	79,020.64	79,020.64	490,206.42
<b>7. Utilidad Neta</b>		<b>44,381.50</b>	<b>44,381.50</b>	<b>44,381.50</b>	<b>44,381.50</b>	<b>44,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>1,143,814.97</b>
Depreciación (+)		200,000.00	200,000.00	200,000.00	200,000.00	200,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,000,000.00
<b>8. Flujo Neto de Fondos</b>	<b>(1,000,000.00)</b>	<b>244,381.50</b>	<b>244,381.50</b>	<b>244,381.50</b>	<b>244,381.50</b>	<b>244,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>184,381.50</b>	<b>1,143,814.97</b>
Saldo Inicial		(1,000,000.00)	(755,618.50)	(511,237.01)	(266,855.51)	(22,474.01)	221,907.49	406,288.98	590,670.48	775,051.98	959,433.47	
Saldo Final	<b>(1,000,000.00)</b>	<b>(755,618.50)</b>	<b>(511,237.01)</b>	<b>(266,855.51)</b>	<b>(22,474.01)</b>	<b>221,907.49</b>	<b>406,288.98</b>	<b>590,670.48</b>	<b>775,051.98</b>	<b>959,433.47</b>	<b>1,143,814.97</b>	
<b>Valor Presente Neto Acumulado</b>	<b>(1,000,000.00)</b>	<b>(779,339.51)</b>	<b>(580,097.52)</b>	<b>(400,195.06)</b>	<b>(237,754.91)</b>	<b>(91,082.09)</b>	<b>8,838.49</b>	<b>99,060.23</b>	<b>180,524.55</b>	<b>254,081.50</b>	<b>320,498.61</b>	
Valor Actual Neto: VAN		126,497.38										
Tasa Interna Retorno: TIR		18.49%										

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- 1) En el Perú la gestión de residuos sólidos es deficiente y adolece de fiscalización y control; esta actividad esta mejor llevada en Lima, sin embargo en las provincias del país siguen predominando botaderos de residuos que generan un impacto negativo para la salud y el ambiente.
- 2) El desarrollo del primer proyecto MDL en el sector residuos sólidos en el Relleno Sanitario Huaycoloro constituye la iniciativa medioambiental mas osada del sector por ser la empresa privada quien la promueve y por utilizar ingeniería local para su puesta en marcha y operación.
- 3) Huaycoloro ha logrado reducir un total de **235,619.00 tCO<sub>2</sub>e** en dos años de operación con lo cual el impacto al ambiente y la salud es positivo.
- 4) Con la producción alcanzada en dos años de operación del proyecto Huaycoloro, ha cubierto todos los costos de inversión y operación del proyecto.
- 5) Adicionalmente, existe un potencial de recuperación de **55,825 tCO<sub>2</sub>e** por año, correspondientes a las fugas de metano a través de la superficie del terreno.
- 6) Respecto a las metas de reducción de emisiones establecidas en su PDD en el primer periodo se logro el 33% de lo proyectado y en el segundo periodo se logró el 56%.
- 7) La eficiencia lograda por Huaycoloro demuestra que el modelo matemático utilizado para la estimación del volumen de generación de biogas ha sido muy optimista y corresponde a otra realidad, para lo cual se recomienda utilizar en futuros proyectos MDL en relleno sanitario modelos matemáticos muy conservadores.

- 8) Adicionalmente, no existe proyectos MDL en el sector residuos sólidos a nivel Latinoamérica que hayan alcanzado lo establecido en sus respectivos PDD; cuando mucho la eficiencia a lograr será de 75%.
- 9) Según la tendencia del mercado mundial, existe la necesidad de tener CERs por lo que se recomienda que se desarrollen proyectos de inversión en la clausura y reconversión de botaderos a rellenos cuyo financiamiento se da mediante el desarrollo de un proyecto MDL.
- 10) A nivel país se tiene un potencial de reducción de **13,897,053 tCO<sub>2</sub>e** solamente en el sector residuos sólidos, esto es equivalentes a **139,248,481€**, que podrían recuperarse si se clausura los botaderos y se convierten a rellenos sanitarios durante el periodo 2009-2021.
- 11) Existen mercados voluntarios con las cuales es posible financiar proyectos de capturas de emisiones gaseosas fuera del marco del PK, los cuales también representan una oportunidad de añadir valor ambiental a proyectos pequeños en rellenos sanitarios.
- 12) Es viable económicamente implementar un proyecto de inversión para la utilización del Biogás como combustible vehicular similar al GNV para plantas pequeñas pues el VPN es de US\$ 126,497.38 >0 y la TIR es de 18.49% que es mayor a la tasa de descuento de 15% y tiene un periodo de recupero de 5 años
- 13) Se recomienda que se incluya en la currícula de especialidad de ingeniería química tópicos de gestión de residuos sólidos, gestión de proyectos MDL; así como también se fomente la investigación para aplicaciones de biogás tales como su conversión a gas natural u otros.

## **VI. BIBLIOGRAFIA**

- 1) Presidencia del Consejo de Ministros; Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314); Año 2000; Capitulo III; Art 9
- 2) Sandoval L.; VI Programa de Especialización en Gestión Integral de Residuos Sólidos UNALM; Modulo II; Aplicación de instrumentos de gestión para el manejo de residuos sólidos; ; Año 2008; Pág. 1
- 3) CONAM&OPS; Evaluacion Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales (EVAL 2002); Informe analítico para el Perú; Año 2002; Pág.34.
- 4) Defensoría del Pueblo; Pongamos la basura en su lugar “propuestas para la gestión de residuos sólidos municipales”, Año 2007, Pág.119.
- 5) CONAM; El sector de desechos municipales en el Perú y la reducción de emisiones de GEI; año 2002, Pág.2
- 6) Project Management Institute; PMBOK Guía fundamentos de dirección de proyectos; Año 2000, Pág. 20
- 7) RAGACIALC; Diagnostico de disposición final de residuos sólidos de Lima y Callao; Año 2007; Pág. 6
- 8) ONU; Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático; Año 1992; Pág. 6
- 9) FONAM; El Mecanismo de Desarrollo Limpio; Año 2004; Pág. 17
- 10) ONU; Protocolo de Kyoto; Año 1997; Artículo 12 ; Pág. 17
- 11) Presidencia del Consejo de Ministros; Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314); disposición complementaria, transitorias y finales; Año 2000; 10ma Disposición.
- 12) Tchobanoglous G; Gestión Integral de Residuos Sólidos; Volumen 1; Año 1994; Pág. 431
- 13) World Bank-ESMAP; Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects in Latin America and the Caribbean; Año 2004; Pág. 17
- 14) USEPA ; Residuos Sólidos Municipales en los Estados Unidos: Hechos y Cifras ; junio de 2002; Tabla 3

- 15) Jürgen, E; “Predicción de la Producción de Gas de Pruebas a Escala de Laboratorio”. Residuos de Rellenos Sanitarios LFG; Año 1996.
- 16) FONAM; El Mecanismo de Desarrollo Limpio ; Año 2004; Pág. 28;
- 17) PETRAMAS; Project Design Document “Huaycoloro Landfill capture gas and Combustion”; Año 2007; Pág. 7
- 18) CAEMA; Boletín N° 12; Comportamiento de precios de CER en el mercado internacional de carbono; Año 2007; Pág. 7
- 19) INDECOPI; NTP 111.010; Gas natural seco: Sistemas de tuberías para instalaciones internas industriales; Año 2003; Pág. 30
- 20) LANDTEC; Landfill Gas System Engineering Desing; año 2002; Pág 160.
- 21) Mc Cabe ; Operaciones unitarias en ingeniería química; año 1991; Pág 678
- 22) Tchobanoglous G; Gestión Integral de Residuos Sólidos; Volumen 1; Año 1994; Pág. 444
- 23) PETRAMAS; First Monitoring Report; Huaycoloro Landfill capture gas and combustion; Año 2008; Pág. 11
- 24) Foro Latinoamericano del Carbono; Impacto y desempeño de los proyectos MDL en manejo de residuos ; año 2007  
<http://www.latincarbon.com/2007/presentaciones.htm>
- 25) THOMSON REUTERS; reporte electrónico 03 marzo 2009  
<http://communities.thomsonreuters.com/carbonprices>
- 26) POINT CARBON; reporte electrónico al 17 octubre 2008  
[www.pointcarbon.com](http://www.pointcarbon.com)
- 27) POINT CARBON; boletín N° 4; año 2009; Pág. 2;
- 28) CAEMA; Boletín N° 12; Comportamiento de precios de CER en el mercado internacional de carbono; Año2007; Pág. 4
- 29) CAEMA; boletín electrónico N° 12; Comportamiento de precios de CER en el mercado internacional de carbono; Año 2007; Pág. 3
- 30) CAEMA; boletín electrónico N° 12; Comportamiento de precios de CER en el mercado internacional de carbono; Año 2007; Pág. 6.

- 31) CONAM&OPS. Evaluación Regional de los Servicios de Manejo de Residuos Sólidos Municipales (EVAL 2002) Informe analítico para el Perú, Año 2002; Pág.19.
- 32) RAGACIALC: Diagnostico de disposición final de residuos sólidos de Lima y Callao; año 2007; Pág. 6

## VIII. APENDICE

### APENDICE A: CONSTANCIA DE TRABAJO

**P**etramas s.a.c.



SERVICIO DE RECOLECCION, TRANSPORTE Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLID

#### CONSTANCIA DE TRABAJO

Por medio del presente dejamos constancia que el señor **Segura Rodriguez Wiliam Salvador**, identificado con DNI N° 09781363, trabajador de nuestra empresa desde el 01/08/05, actualmente viene desempeñándose como jefe del proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio.

En el transcurso de su permanencia el indicado trabajador ha destacado en las labores encomendadas por la Gerencia General con grandes resultados tales como:

Del 01/08/05 al 30/04/06; se ha desempeñado como asesor de calidad teniendo como función principal la implementación de la norma ISO 9001-2000, logrando el desarrollo e implementación de la documentación en la empresa.

Del 01/05/06 al 30/09/06; se ha desempeñado como asesor de proyectos teniendo como función principal el estudio de proyectos de iniciativas privadas para la concesión de servicios de limpieza pública, diseño de infraestructuras de disposición final de residuos sólidos, estudios de costos de servicios de limpieza pública, teniendo como resultado presentación de 03 iniciativas privadas de concesión de limpieza pública.

Del 01/10/06 al 31/09/07; se ha desempeñado como jefe de calidad teniendo como función principal la implementación, sostenimiento y consolidación del sistema ISO 9001-2000 para la empresa, logrando la certificación ISO 9001-2000 para el servicio de Disposición Final y aprobación de la auditoría de seguimiento.

Del 01/11/06 hasta la actualidad; se desempeña como jefe de Proyecto MDL, donde tiene como función principal el diseño, ejecución, operación y administración del proyecto de captura y quema de biogás en el relleno sanitario Huaycoloro, obteniendo como logro el registro ante las Naciones Unidas y aprobación de auditoría para la obtención de bonos de carbono. Paralelamente participa de la elaboración y diseño del proyecto de infraestructura de disposición final y planta de tratamiento de residuos peligrosos de nuestra empresa

Se expide la presente constancia de Trabajo a solicitud del interesado para los fines que estime pertinente.

Lima, 06 de agosto del dos mil ocho .....

PETRAMAS S.A.C.  
*Rosemary Ríos*  
ROSEMARY RÍOS RIVERO  
JEFE DE RECURSOS HUMANOS

Petramas S.A.C.  
*Diego Soria*  
Ing. Diego Soria Dall'Orto  
APODERADO

OF. CENTRAL: AV. TOMAS MA ANO 2813 8avo. PISO URB. HIGUERETA - SURCO  
TELEF.: 271-6337 / 271-6378 / 271-5198 FAX. ANEXO 15  
PLANTA: DIFERENCIADA DE HUAYCOLORO KM 7 s/n SAN ANTONIO - HUAROCHIRI

**APENDICE B: PLANO DE CAPTACION Y TRANSPORTE DE BIOGAS**