

# **BONOS DE CARBONO: PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE UNA PLANTA DE BIOGÁS**

Chavanne, Gonzalo, Vega, Álvaro, Barnes, Norma, Chauvet Susana

*Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología  
Universidad Nacional de Tucumán  
Avda. Independencia 1800 - CP 4000 – Tucumán  
schauvet@herrera.unt.edu.ar*

## **RESUMEN.**

Debido al cambio climático, avanzar en los niveles de bienestar y desarrollo humano, y mantener la estabilidad y el crecimiento económico supone un reto social y tecnológico para las empresas. La respuesta internacional se ha materializado en dos instrumentos jurídicos, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto. El objetivo principal de la CMNUCC fue lograr la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, a un nivel que impidan interferencias antropógenas peligrosas, pero no indica cuáles deberían ser los niveles de concentración de los gases. El Protocolo de Kyoto es el primer instrumento legal que establece un compromiso de limitación de gases de efecto invernadero (GEIs). Cada uno de los países desarrollados y con economías de transición que son parte del Protocolo de Kyoto se han comprometido a reducir las emisiones de GEIs en un porcentaje de 5,2% por sobre las emisiones del año 1990 (año de base). Adicionalmente, con el objetivo de asegurar la reducción de las emisiones mundiales de GEIs de manera eficaz en función de los costos y lograr el cumplimiento de los compromisos adquiridos, el protocolo de Kyoto incorporó tres mecanismos flexibles: Comercio de Emisiones (CE), Implementación Conjunta, y Mecanismo para el Desarrollo Limpio (MDL). El objetivo del presente trabajo fue diseñar los Procedimientos para el Control de la planta de Biogás en una Citrícola, ubicada en Tucumán, registrada en Naciones Unidas como proyecto MDL, asegurando así la asignación de bonos de carbono que representa un ingreso económico muy importante para la empresa. Como conclusión se puede decir que la empresa dispone de los procedimientos de mejora y el programa de capacitación de personal que le permitirá superar las auditorías y asegurar el objetivo de todo proyecto MDL.

**Palabras Claves:** Cambio climático, Convención Marco; Protocolo de Kyoto, efecto invernadero

## 1. INTRODUCCIÓN

Tras un largo proceso de negociación, la respuesta internacional ante el reto del cambio climático se ha materializado en dos instrumentos jurídicos, la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kyoto [1], que desarrolla y dota de contenido concreto las prescripciones genéricas de la Convención.

Por un lado se puede decir que el objetivo principal de la Convención fue lograr la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero [2] en la atmósfera, a un nivel que impidan interferencias antropógenas peligrosas (ocasionadas por la actividad humana) en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitiendo que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Teniendo como base el “Principio de Precaución” que indica que la ausencia de certeza científica no debe ser una excusa para posponer acciones frente a una amenaza seria o un daño irreversible [3], la Convención no especifica cuáles deberían ser los niveles de concentración de los gases, sólo señala que no deben ser peligrosos. De esta manera la Convención reconoce que, actualmente no existe certeza científica acerca de los índices de concentración que podrían catalogarse como peligrosos. No obstante lo anterior, el objetivo de la Convención mantiene su validez independientemente de la evolución de la ciencia.

Por otro lado, el Protocolo de Kyoto [1] es el primer instrumento legal que establece un compromiso de limitación de gases de efecto invernadero, para los países desarrollados y con economías de transición de mercado.

El Protocolo entró en vigencia en Febrero de 2005 y establece, para los países desarrollados y con economías en transición, una limitación o reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs) [2].

Cada uno de los países desarrollados y con economías de transición que son parte del Protocolo de Kyoto se han comprometido a reducir las emisiones de GEIs en un determinado porcentaje por sobre las emisiones del año 1990 (año de base). La reducción de emisión global de GEIs es de un 5,2% respecto a la del año base.

Adicionalmente, con el objetivo de asegurar la reducción de las emisiones mundiales de GEIs de manera eficaz en función de los costos y lograr el cumplimiento de los compromisos adquiridos, el protocolo de Kyoto [1] incorporó tres mecanismos flexibles:

- Comercio de Emisiones (CE), permite a una parte exceder el volumen de emisiones que se ha asignado, comprando lo que otra parte redujo por debajo de su propia asignación
- Implementación Conjunta, permite la inversión en proyectos de reducción de emisiones o de fijación de carbono. El país inversor se beneficia de la adquisición de Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs) a un precio menor del que le hubiese costado en el ámbito nacional, la misma reducción de emisiones. Las unidades obtenidas con el proyecto las utiliza para cumplir con su compromiso de reducción.
- Mecanismo para el Desarrollo Limpio (MDL) que promueve la inversión en proyectos que reduzcan o capturen emisiones de gases efecto invernadero en países en vía de desarrollo. Es el único mecanismo del protocolo de Kyoto [1] que promueve las alianzas entre países desarrollados y en vía de desarrollo.

En Argentina se están llevando a cabo varios proyectos registrados como MDL, entre ellos se tienen por ejemplo: Proyecto de Extracción y Captación de Biogás para los Rellenos de González Catán y Ensenada, Proyecto de Aprovechamiento del Biogás del Centro de Disposición Final Puente Gallego, Ciudad de Rosario, Pcia. de Santa Fe, Reducción de Emisiones de Gases Efecto Invernadero en la Planta de Aluar Aluminio Argentino SAIC [4].

Los procesos de MDL [5] exigen que la empresa disponga de procedimientos para asegurar que los variables medidas, involucradas en los cálculos de las emisiones, sean obtenidos por medio de equipo o instrumentos calibrados o verificados para certificar la calidad de la medición. De esta manera se incrementa las posibilidades que le asignen a la empresa los bonos de carbono que le corresponde, factor determinante de la viabilidad económica de un proyecto de este tipo. Esto genera que las empresas deben ser cuidadosas en la aplicación y puesta en marcha del proceso de control, de manera que la asignación de los bonos de carbono se efectiva.

Las industrias cuentan con distintas alternativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La sustitución de combustibles como carbón y derivados del petróleo por gas natural o biomasa, disminuye asimismo las emisiones. La cogeneración utiliza eficientemente la energía y representa una opción de actividad de proyecto del MDL. La captura del metano generado por la descomposición de la biomasa en rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales, evita la emisión de este gas a la atmósfera. Si el metano capturado es utilizado para generar energía eléctrica o térmica, reduce además las emisiones que hubieran tenido lugar al generar esta energía con combustibles fósiles.

Un proyecto MDL debe seguir un conjunto de pasos establecidos, con el fin obtener las Reducciones Certificadas de las Emisiones, que constituyen el bien final que puede ser negociado

con empresas y países que tengan compromisos de reducción de emisiones. Estos pasos se presentan en la Figura 1.

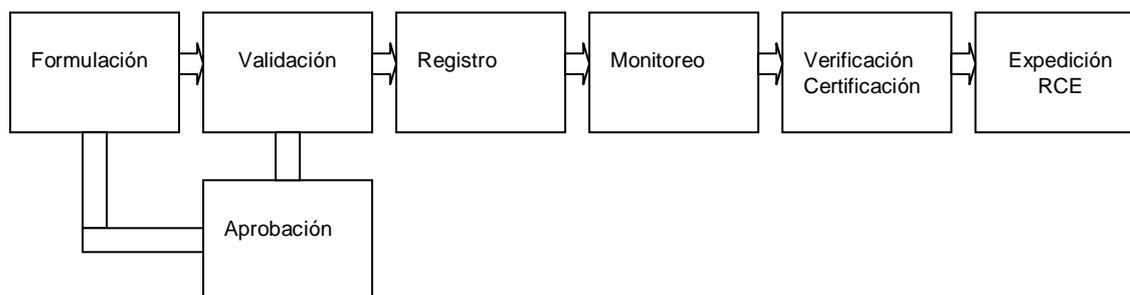


Figura 1 Ciclo de Proyectos MDL

En la provincia de Tucumán existe una industria Citrícola que presentó un proyecto MDL de una Planta de Biogás que procesa los efluentes del Packing y de la Planta que industrializa el limón en Jugos Concentrados, Aceite esencial de limón y Cáscara Deshidratada. Este proyecto MDL ha superado las etapas Formulación, Aprobación por la Autoridad Nacional Designada, Validación y Registro, encontrándose en la etapa de monitoreo.

El objetivo del presente trabajo fue diseñar los Procedimientos de Control que aseguren la realización correcta de las mediciones de modo tal que las etapas de verificación y certificación no sean objetadas.

## 2. MATERIALES Y METODO

La industria citrícola es una fuente importante de contaminación líquida, sólida y de emisiones a la atmósfera, si no mantiene una adecuada disciplina tecnológica y asegura un eficiente manejo de todos sus recursos.

Los residuales líquidos que se generan durante los procesos contienen ácidos, álcalis, materiales orgánicos y tóxicos como los aceites esenciales que son descargados en distintos períodos de tiempo, y en ocasiones a altas temperaturas.

El residuo sólido, comúnmente llamado hollejo, está compuesto principalmente por la cáscara, pulpa y semillas.

Las emisiones gaseosas a la atmósfera se generan por el uso de equipos que utilizan combustibles para generar vapor usados en los procesos de concentración del jugo, el transporte tanto del personal como del producto terminado, así como la utilización de gases refrigerantes ( $\text{NH}_3$ ) en las cámaras de enfriamiento.

Entre las alternativas para tratar el efluente líquido se puede utilizar procesos aeróbicos y/o anaeróbicos.

En el caso particular de la Industria cítrica bajo estudio, se utiliza un proceso de descomposición anaeróbico para capturar el biogás generado con un doble propósito:

- Lograr la asignación de bonos de carbono por parte de Naciones Unidas.
- Reemplazar el gas natural por el biogás generado (como por ejemplo en una caldera), con lo que, aparte de ahorrar en combustibles, se asignan bonos de carbono por el reemplazo de combustibles fósiles generado.

Los requisitos de los proyectos registrados como MDL se traducen en determinados controles de variables como ser temperaturas, caudales, etc.) para asegurar que las mismas se monitorean y ponen en evidencia la generación de biogás y así poder cuantificar los bonos de carbono que corresponden [5]. La definición general dice que los bonos de carbono (también llamados "Créditos de Carbono") son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente y como ya se dijo, es uno de los tres mecanismos propuestos en el Protocolo de Kyoto [1] para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero. Un proyecto recibe 1 (uno) Bono de Carbono por parte de Naciones Unidas cuando ha logrado recuperar una tonelada de Dióxido de Carbono que se deja de emitir a la atmósfera.

Es necesario que cada uno de los equipos de medición, que permiten efectuar el monitoreo, cuenten con todos los controles sobre el equipo y la documentación que respalde que se encuentra en óptimas condiciones de funcionamiento y que asegure la exactitud de la medición.

La figura 2 muestra el diagrama de flujo del proceso de producción de biogás que es utilizado en la citrícola. La descarga del efluente de los distintos procesos del Empaque de Fruta y de la industrialización se recoge en un pozo de bombeo. Desde allí se bombea el efluente hacia tamices que tienen la función de eliminar la pulpa del efluente, que puede obstaculizar la fluidez del proceso.

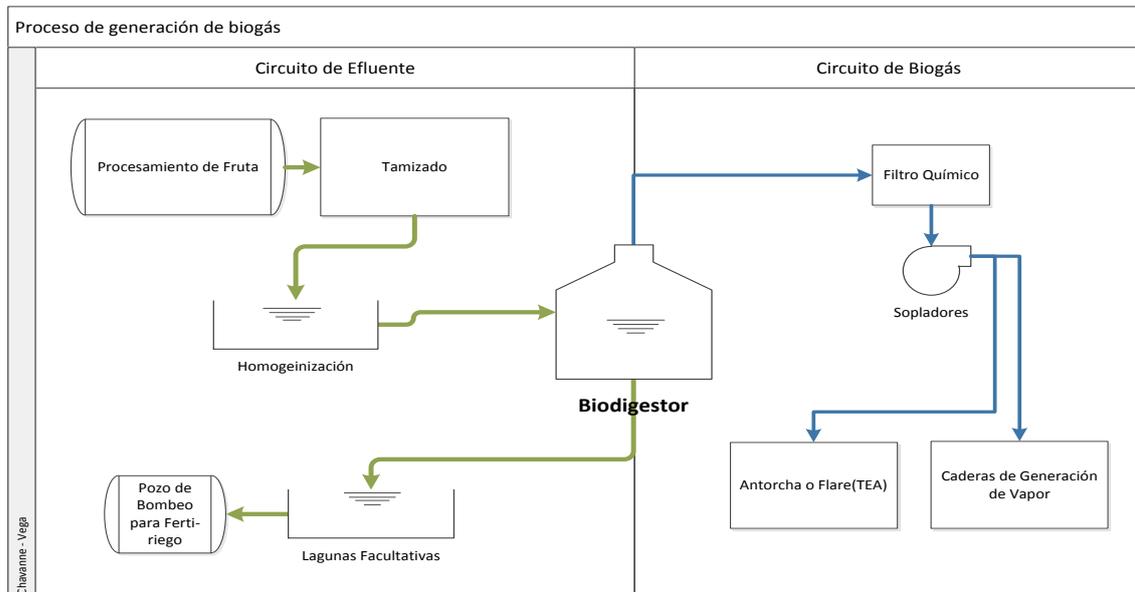


Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de producción de biogás

Una vez que la pulpa es tamizada, el efluente se recibe en una laguna de homogenización, donde se equilibra la composición del efluente así como otras variables (pH, temperatura, etc.). El efluente decantado se alimenta a los biodigestores, donde se produce la descomposición anaeróbica generando biogás. El efluente tratado se conduce a lagunas facultativas donde continúa la disminución de la carga orgánica. De allí se envía a un pozo de bombeo para el fertiriego.

El biogás generado en el biodigestor es filtrado para eliminar principalmente humedad y azufre. Luego es impulsado mediante efecto sifón por unos sopladores hasta las calderas para ser usado como combustible, para la generación de vapor. Durante la temporada de Inter-zafra el biogás remanente del efluente es quemado en una válvula de escape. La composición del biogás recuperado a partir de efluente cítrico, contiene un valor promedio de 65% CH<sub>4</sub>, valor que depende de las características del efluente, de los movimientos de agitación y de la temperatura. El monitoreo de algunas variables (como por ejemplo caudal de biogás, temperatura, etc.) es controlado de manera automática por un sistema SCADA (software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia) y se guardan en un servidor dispuesto para tal fin.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables que deben ser monitoreadas y por consiguiente controladas en la planta de biogás, deben ser medidas con los equipos calibrados o verificados de modo de asegurar la exactitud de las mismas. Ellas son:

- Caudal de efluente crudo (m<sup>3</sup>/s) medido a la entrada del biodigestor
- Demanda química de oxígeno del caudal de efluente crudo medido a la entrada del biodigestor (mg/l)
- Demanda química de oxígeno del caudal de efluente tratado medido a la salida del biodigestor (mg/l).
- Concentración de metano del biogás (%CH<sub>4</sub>) medido a la salida del biodigestor
- Caudal Total de biogás (m<sup>3</sup>/s) (Caudal total= Caudal Biogás enviado a calderas + Caudal de Biogás a la antorcha).
- Caudal de Biogás enviado a calderas (m<sup>3</sup>/s), medido en la entrada a la caldera. Este medidor es independiente del que mide caudal total de biogás.
- Caudal de Biogás a la antorcha (m<sup>3</sup>/s). Este medidor es independiente del que mide caudal total de biogás.
- Temperatura de llama en la antorcha (°C)
- Consumo de energía eléctrica generada por la actividad del proyecto (Mwh)
- Consumo de energía eléctrica por los equipos de la línea base (Mwh)

La Figura 3 muestra la ubicación de las variables críticas en el Diagrama de Flujo del Proceso de Generación de Biogás.

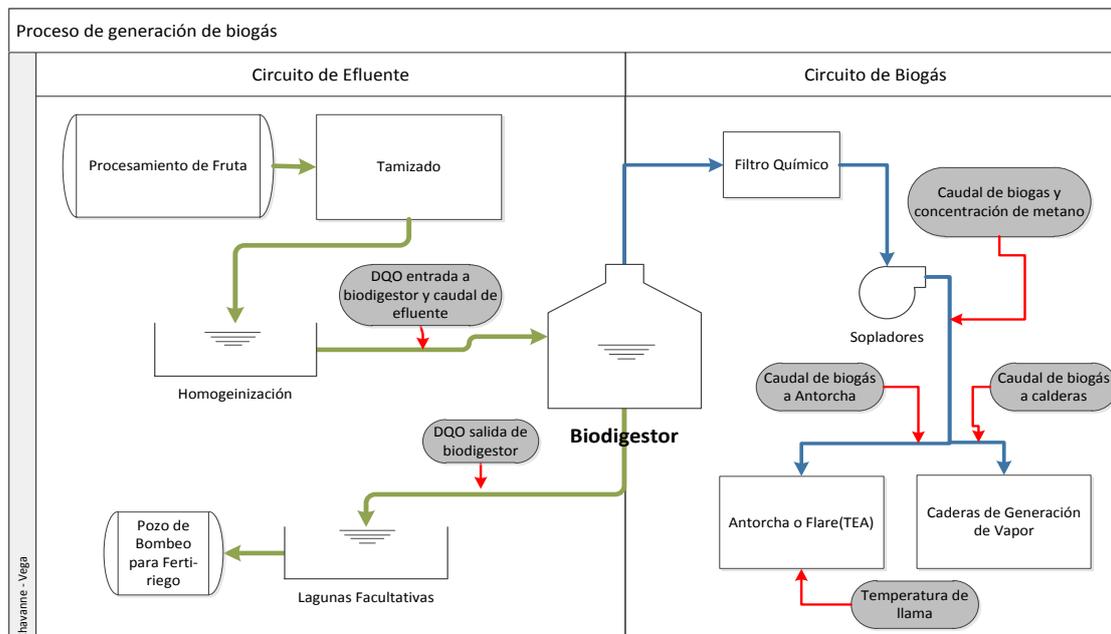


Figura 3 Variables críticas en el Diagrama de Flujo del Proceso de Generación de Biogás.

### 3.1 Procedimiento de Control de las variables

Para cada una de las variables críticas se especifica la metodología y cuidados a tener para asegurar que el monitoreo y la documentación sea aceptada en la auditoría MDL.

Así por ejemplo el Caudal de efluente crudo ( $m^3$ ) medido a la entrada del biodigestor se realiza con un Medidor Ultrasónico de Caudal, que captura y almacena la señal de forma automática en el sistema SCADA. Este sistema tiene salida en un monitor donde se pueden observar estos valores. Es decir, este sistema centraliza toda la información. Las mediciones, también pueden ser realizadas en campo, pero cada instrumento debe tener un display donde se pueda leer la medición.

Por tal razón el Operario de Turno debe tomar los datos del sistema SCADA y registrar en la Planilla “VC-C17 – Recolección de datos Diarios N° 1” que se muestra en la Figura 4.

PLANTA DE BIOGÁS		1					
Formato de recolección de datos diarios N°1							
Cód: VC-C17							
Versión		Operador turno 1: _____					
Editó:		Operador turno 2: _____ Fecha: _____					
Verificó:		Operador turno 3: _____					
Aprobó:							
Área	Punto	Ítem	Unidad	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Observaciones
1. Efluente crudo de entrada al biodigestor							
Alimentación Biodigestor		Caudal acumulado (A la hora de corte)	$m^3$				
		Caudal diario	$m^3/d$				
		Caudal instantáneo	$m^3/h$				

Figura 4 Planilla de recolección de datos diario N° 1.

Como esta planilla debe completarse a lo largo de los tres turnos (recordemos que el proyecto tiene su máxima capacidad operativa durante los meses de zafra, que incluyen turnos rotativos), cada Operario de Turno, debe completar con su nombre.

Los datos que se registran corresponden a: Caudal Acumulado, Caudal Diario y Caudal instantáneo.

Los datos del Caudal Acumulado, los entrega el sistema SCADA y significan la cantidad de efluente acumulada desde el momento en que se inició la medición del mismo. Este valor, puede ser restaurado al valor cero para empezar una nueva medición.

Los datos de Caudal Diario, también los entrega el sistema SCADA y significa la cantidad de efluente que entró al biodigestor en el día (desde el horario de corte previamente definido hasta el mismo horario de corte). Esta cantidad puede ser verificada restando el acumulado del día de mañana menos el acumulado del día de hoy (Los acumulados son datos que almacena el sistema

SCADA cuando fue configurado para que se almacenen, y significan la suma de las mediciones diarias desde que se inició la medición de esa variable). Para ello el Operario de Turno puede verificar este valor (si así lo desea) con los 2 valores del acumulado. Si hay diferencias debe reportar al Jefe de Planta. Se debe prestar atención a que el aumento del acumulado sea progresivo. Pueden presentarse un reseteo de los acumulados o pérdidas de señal que hacen que el dato se pierda. Cualquier inconsistencia debe ser reportada para su posterior análisis y realizar las correcciones apropiadas frente al dicho evento.

El Caudal Instantáneo lo entrega el sistema SCADA, y significa la cantidad de efluente que está circulando actualmente a través del medidor. Sirve para saber si el medidor está operando normalmente o si el efluente está circulando. En caso de que este valor sea incorrecto se debe reportar al Jefe de Planta para tomar una acción correspondiente y anotar en la columna observaciones cualquier anomalía en la lectura del caudal del efluente o del funcionamiento del Medidor Ultrasónico de Caudal.

De igual modo se procede con las otras variables, para cada una de las cuales se diseñó una planilla con la información requerida.

### **3.2 Control de Equipos de Medición**

Los equipos de medición que realizan las mediciones sobre las variables involucradas en los procesos industriales deben arrojar mediciones deben ser fiables, seguras y con la exactitud fijada. En general, deben permitir la visualización de la continuidad del proceso.

Se entiende por calibración la operación de comparar la salida de un equipo de medida frente a la salida de un patrón de exactitud conocida cuando la misma entrada (magnitud medida) es aplicada a ambos instrumentos [6]. Durante el proceso de calibración el equipo es verificado para un conjunto de puntos representativos de todo su rango de medida.

Un concepto fundamental en la metrología es el de trazabilidad [6]. El mismo corresponde a la cadena de calibración, donde cada equipo es calibrado frente a otro de mayor exactitud, denominado patrón. Esta cadena termina sobre un patrón nacional o internacional.

Un Procedimiento de Calibración documentado permite la uniformidad de los métodos y reduce la incidencia de errores originados en la subjetividad. Sirve además como ayuda al entrenamiento del personal técnico para asegurar el estado de calibración de un instrumento.

Los procedimientos, generalmente describen paso a paso la secuencia de la calibración (incluye ajustes, reparaciones y técnicas de mantenimiento) e identifican el patrón que será la referencia para la calibración. Para llevar a cabo el control de la calibración de los equipos de medición del proyecto de Biogás se sigue los siguientes pasos:

- Selección de equipos a calibrar: se ha tomado a aquellos equipos que miden las variables críticas
- Intervalo de calibración: Para determinar el intervalo de calibración se ha seguido distintas experiencias de negociación entre el Responsable del Proyecto y Naciones Unidas, para cada variable
- Programa de Calibración: Para cada uno de los equipos se define el mecanismo de calibración que será ejecutado
- Control de la Documentación: En base a la información requerida, se indica qué documentación se necesita que acompañen a los equipos, por lo que es fundamental un procedimiento para controlar que dicha documentación cumpla con los requisitos especificados. Por ello se propone que el Jefe o Director de planta sea el encargado de controlar la documentación de cada equipo
- Cumplimiento del Programa de Calibración: La documentación debe guardarse junto con cualquier otro certificado del equipo, así también como el manual de usuario del mismo.

### **3.3 Procedimiento de Mantenimiento**

En el caso del proyecto MDL, se debe asegurar que los equipos involucrados en las mediciones se les efectúen el mantenimiento. Para ello se ha confeccionado el Plan de Mantenimiento que contempla los siguientes aspectos: Listado de equipos existentes; Frecuencia de mantenimiento; Actividades del mantenimiento preventivo; Programa de Mantenimiento Preventivo; Cumplimiento del Programa de Mantenimiento. Para cada uno de estos ítems se diseñaron las planillas correspondientes. En cuanto al Control del cumplimiento del Programa de Mantenimiento se propuso una verificación cruzada entre el Programa de Mantenimiento, y el registro de mantenimiento realizado por equipos.

### **3.4 Programa de Capacitación**

La capacitación en el área de trabajo es fundamental para la productividad. Este es el proceso de adquirir conocimientos técnicos, teóricos y prácticos que mejorarán el desempeño de los empleados en sus tareas laborales y que en nuestro caso ayudaran a controlar de manera apropiada cualquier actividad y en especial en un Proyecto MDL.

La buena capacitación puede traer beneficios a las organizaciones como mejorar su imagen y la relación con los empleados, además de que aumenta la productividad y calidad del control. Para

los empleados, también hay beneficios como el aumento en la satisfacción del empleo y el desarrollo de sentido de progreso.

El plan de capacitación [7] constituye un factor de éxito de gran importancia ya que se determinan las necesidades y prioridades de capacitación de las personas que trabajan en una empresa. Para poder llevar a cabo el programa de capacitación se necesita planificar:

- Relevamiento y determinación de necesidades de capacitación en base al procedimiento de control.
- Desarrollo de plan de capacitación en base a las necesidades descubiertas
- Registro de asistencia a capacitación.
- Evaluación a los operarios para evaluar los resultados de las capacitaciones y en base a ello determinar el nuevo plan de capacitación que se conformará anualmente.

#### 4. CONCLUSIONES

La citrícola objeto de este trabajo, busca la obtención del registro de un procedimiento como MDL para su Planta de Generación de biogás. Para ello existe un requisito fundamental que se traduce en controles de las variables a lo largo del Proceso de Biogás. Es aquí donde hay que tener especial cuidado, ya que para obtener el registro de Naciones Unidas se reciben auditorías MDL, donde se verifica que las variables se monitorean y ponen en evidencia la generación efectiva de biogás, para poder cuantificar los bonos de carbono. Los auditores deben comprobar la credibilidad de las mediciones y controlar los registros que se obtienen de los valores monitoreados.

Se planteó el diseño de los Procedimientos para el Control de la Planta de Biogás para asegurar la asignación de bonos de carbono y así evitar las fallas que se cometen normalmente en el primer año de asignación.

Los procedimientos elaborados apuntan a controlar el monitoreo de las variables, la calibración de los equipos involucrados, la documentación que avale el estado de calibración de los equipos, el mantenimiento de los equipos, los requisitos a ser exigidos para la compra de los servicios de calibración y/o ensayos y una propuesta de capacitación para asegurar que estos procedimientos pueden ser cumplidos sin dificultades.

Como conclusión de este proyecto se puede decir que si la empresa cuenta con los procedimientos diseñados y el personal capacitado, se incrementa las posibilidades de superar las auditorías y asegurar el objetivo de todo proyecto MDL. Hay que recordar que la asignación de los bonos de carbono representa un ingreso económico muy importante para la empresa.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas. 1998.  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/environment/tackling\\_climate\\_change/128060\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_es.htm)
- [2] Orozco Barrenetxea C., Pérez Serrano A., González Delgado M.N., Rodríguez Vidal F. y Alfayate Blanco J.M. (2008) *Contaminación Ambiental. Una Visión desde la Química*. Mejico 1ª Edición. Editorial Thomson. Mejico.
- [3] Riechmann J. *Introducción: Un principio para reorientar las relaciones de la humanidad con la biosfera*. España. (2002) 1º Edición. Editorial Icaria. Barcelona.
- [4] Fronti de García L. *El sistema contable de gestión ambiental ante el cambio climático*. (2008) Argentina. 1º Edición. Editor Centro de Investigación en Contabilidad Social.  
[http://www.econ.uba.ar/www/institutos/contable/centro\\_social/EI\\_Sistema\\_Contable\\_de\\_Gestion\\_Ambiental\\_ante\\_el\\_Cambio\\_Climatico.pdf](http://www.econ.uba.ar/www/institutos/contable/centro_social/EI_Sistema_Contable_de_Gestion_Ambiental_ante_el_Cambio_Climatico.pdf)
- [5] CDM Watch. Manual del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Un recurso para ciudadanos, activistas y ONGs..(2010) Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania.
- [6] Evans James R., William Lindsay. *Administración y Control de Calidad*. (2008) Mejico. 1º Edición. Editorial Cengage. Mejico.
- [7] Gaither Norman, Frazier Greg. *Administración de Producción y Operaciones*. (2000) Mejico 8º Edición. Editorial Thomson. Mejico.