

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

Memoria de Título

**ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN FUNCIÓN DE LA  
TEMPERATURA, EN UN BIODIGESTOR TIPO CHINO**

**NINOSKA LORETO GAJARDO ALARCÓN**

**Santiago, Chile**  
**2013**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

Memoria de Título

**ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN FUNCIÓN DE LA  
TEMPERATURA, EN UN BIODIGESTOR TIPO CHINO**

**BIOGAS PRODUCTION STUDY BASED ON TEMPERATURE,  
USING CHINESE DIGESTER**

**NINOSKA LORETO GAJARDO ALARCÓN**

**Santiago, Chile**  
**2013**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN FUNCIÓN DE LA  
TEMPERATURA, EN UN BIODIGESTOR TIPO CHINO**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

**NINOSKA LORETO GAJARDO ALARCÓN**

<b>Profesores Guías</b>	<b>Calificaciones</b>
Sra. María Teresa Varnero Moreno Químico Farmacéutico	6,0
Sr. Ian Homer Bannister Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,0
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Sra. Verónica Díaz Martínez Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.	6,5
Sr. Fernando Santibáñez Quezada Ingeniero Agrónomo, Dr. Es. Sci.	6,0

**Santiago, Chile**  
**2013**



*A mi amado Jesús, por demostrar el verdadero amor, revelar a Dios Padre Todopoderoso,  
dar sentido a mi vida y permitirme llegar hasta aquí.*

*A mis abuelos,  
Esmérita Lizama F., José Alarcón B., Ana Luisa Rojas R. y Luis Gajardo R.; por  
brindarme las hermosas y numerosas familias a las cuales pertenezco.*

*A mis padres,  
María Inés Alarcón L. y Germán Gajardo R.; por ser mis mayores ejemplos de esfuerzo y  
perseverancia. En especial a mi mamá por su incondicional apoyo en toda mi educación.*

*A mis hermanos, Valeska y Aarón; por ser mis regalos del cielo.*

*A mi compañero de vida, pololo y amigo, Claudio Durán A.; por su amor.*



## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los maestros que estuvieron involucrados en mi formación educacional, en especial a Gladys Villar Z., Braulio Gálvez M., María Luisa Morales y Claudio Aravena J., por entregarme valiosas herramientas.

A la familia Camus Gatica, por haber sido un importante apoyo en mi educación.

A todos mis compañeros de la generación 2006 y a los amigos que en ella encontré, Stephani Torres F., Jorge Soto W., Camila Cantillana O., Christian Pérez H., Tania Salazar C. y Javiera Ferreyra B., por todos los momentos compartidos estos años.

A Jorge Chamorro M. y Gilberto Villar M., por su tiempo y disposición todos estos años.

A don Jaime Gaete C., por su importante apoyo profesional.

A Erik Pereda N., Claudio Durán A. y Valeska Gajardo A., por sus importantes aportes en el presente trabajo.

A los profesores María Teresa Varnero M. y Fernando Santibáñez Q. A mis compañeros de trabajo, Javiera Suárez F., Karina Galleguillos S., Fabián Abarza V., Orlando Macari R., Pablo Perry C., Hugo Sierra G., Marcela Martínez M., Dominique Frankenne, Paulina González M. y en especial a Carolina Caroca T., Cecilia Melillán F. y Paula Santibáñez V. A cada uno de ellos, por ser parte del periodo de transición entre la universidad y la vida laboral.

Por último agradezco a Sol, Kayser, Alcachofa, Maida y mi Valentín; por entregarme alegría y cariño en todo momento.



## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
Palabras clave.....	1
ABSTRACT.....	2
Keywords .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVOS .....	6
General .....	6
Específicos .....	6
ANTECEDENTES .....	7
Biodigestor .....	7
Digestión anaeróbica.....	7
Hidrólisis.....	8
Acidogénesis (etapa fermentativa).....	8
Acetogénesis .....	8
Metanogénesis.....	9
Parámetros ambientales.....	11
Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	11
Relación carbono nitrógeno (C/N).....	11
pH.....	12
Velocidad de carga orgánica (VCO).....	12
Agitación.....	12
Sólidos totales (ST).....	13
Sólidos volátiles (SV) .....	13
Temperatura .....	13
Biogás.....	15
Efluente estabilizado (bioabono) .....	17
MATERIALES .....	19
Biodigestor tipo chino semi continuo .....	20
Estanque de agua y colector solar .....	21
Guano de bovino .....	21
Sensor de temperatura termocupla J .....	23
Data logger Em5b Decagon Devices .....	23
Sensores de temperatura ECT .....	24
Sensor de humedad ECH <sub>2</sub> O EC-5.....	24
Analizador de gas Dräger (X-am 7000).....	25
Estación meteorológica.....	25
Set de información climática para Chile .....	25
MÉTODO .....	27
Obtención de datos Periodo 1 .....	27
Temperatura .....	27

Gas .....	28
Obtención de datos Periodo 2 .....	28
Temperatura .....	28
Gas .....	30
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
Periodo 1 .....	31
Correlación entre la temperatura del aire y la del colector solar .....	35
Correlación entre la temperatura del aire y la del estanque .....	35
Correlación entre la temperatura del aire y la de suelo.....	36
Correlación entre la temperatura del aire y la descarga.....	36
Correlación entre la temperatura del aire y la del biodigestor .....	37
Correlación entre la temperatura de suelo y la descarga.....	37
Correlación entre la temperatura del colector y la del estanque .....	38
Periodo 2 .....	40
Temperatura .....	40
Promedios móviles.....	41
Anomalías .....	45
Relación funcional entre variables.....	47
Zonificación para Chile.....	50
Análisis de composición de biogás.....	53
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS Y APÉNDICES .....</b>	<b>65</b>
Apéndice I: Compilación de datos febrero 2011 .....	65
Apéndice II: Compilación de datos marzo 2011.....	66
Apéndice III: Compilación de datos abril 2011 .....	67
Apéndice IV: Compilación de datos mayo 2011 .....	68
Apéndice V: Compilación de datos junio 2011 .....	69
Apéndice VI: Compilación de datos julio 2011.....	70
Apéndice VII: Temperatura del aire 2011 .....	73
Apéndice VIII: Temperatura de carga 2012 .....	74
Apéndice IX: Temperatura de descarga 2012.....	75
Apéndice X: Temperatura de suelo a 0,5 m de profundidad 2012 .....	76
Apéndice XI: Temperatura de suelo a 1 m de profundidad 2012 .....	77
Apéndice XII: Temperatura del aire 2012 .....	78
Apéndice XIII: Humedad de suelo a 1 m de profundidad 2012 .....	79
Apéndice XIV: Análisis de gases semanales con filtro desulfurizador 2012 .....	80
Apéndice XV: Análisis de gases semanales sin filtro desulfurizador 2012.....	80

## RESUMEN

La temperatura es un parámetro importante para el desarrollo de la digestión anaeróbica, que es la base de la producción de biogás; puede limitar sectores para aplicar la tecnología, regular la eficiencia, ayudar en la eliminación de patógenos, afectar el tiempo de retención de la materia e incrementar la producción de biogás. Este trabajo se desarrolló para evaluar la dinámica de producción de biogás en función del régimen térmico, estableciendo la relación entre las temperaturas que afectan a un biodigestor tipo chino y proponer zonas en Chile que posean mayor aptitud para aplicar esta tecnología. El biodigestor utilizado con capacidad de 10 m<sup>3</sup>, se alimentó tres veces por semana con una mezcla de relación 3:1 agua/estiércol (v/v). Se realizaron monitoreos en dos periodos, febrero a julio (2011) y enero a agosto (2012); en este último se instalaron sensores de registro continuo (temperatura y humedad) y se realizaron análisis de la composición del biogás generado cada semana. En el primer periodo se aplicaron correlaciones lineales a las variables, obteniendo que la temperatura del aire afectó en mayor proporción a la temperatura de descarga, estanque y la del biodigestor. Para el segundo periodo se analizaron las tendencias de las variables, se aplicaron análisis de anomalías para series de tiempo, promedios móviles y ajustes funcionales de las variables más relevantes en el estudio. De los resultados se obtuvo, que la temperatura interna del biodigestor mantuvo una temperatura promedio de 22°C y la temperatura media del suelo se ajustó mejor a la temperatura media máxima del aire. Los análisis de composición fluctuaron de 55 a 85% de CH<sub>4</sub> (metano) y de 16 a 35% de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). La zonificación se realizó aplicando el “índice térmico” propuesto en un estudio previo, pero esta vez con información térmica actualizada para todo el país; obteniendo que a partir de la región de Los Lagos y a lo largo de la cordillera de Los Andes, no es apta la aplicación de esta tecnología. Así es posible afirmar que estos biodigestores favorecen la estabilidad térmica interna y que Chile posee un importante potencial para su implementación.

## Palabras clave

Digestión anaeróbica, biogás, régimen térmico, biodigestor tipo chino, zonificación, índice térmico

## **ABSTRACT**

Temperature is an important parameter for the development of anaerobic digestion, base of biogas production. Limit sectors to apply technology, regulate efficiency, assist in the elimination of pathogens, affect the retention time and increase the biogas production. This work was developed to assess, the dynamics of biogas production based on the thermal regime, linking between temperatures affecting a chinese digester and propose areas in Chile that have greater ability to apply this technology. A digester with 10 m<sup>3</sup> of capacity was fed three times a week with a 3:1 mixture of water/manure. Monitorings were applied in two periods, february to july (2011) and january to august (2012); installing continuously recording sensors and analyzes compositional of biogas generated weekly. In the first period were applied linear correlations to the variables, it was found that the air temperature affects mainly the discharge, the pond and the digester temperature. In the second period was performed trend analysis, anomalies, moving averages and functional adjustments, it was found that temperature inside of digester was 22°C average and the soil average temperature is more similar with the air average temperature. In the analysis of composition, methane ranged from 55 to 85% and 16 to 35% of carbon dioxide. The zoning was performed by “thermal index”, it was found that since the region of Los Lagos and Andes mountain, range is not suitable the application of this technology. So it can be said that these digesters favor internal thermal stability and that Chile has significant potential for implementation.

## **Keywords**

Anaerobic digestion, biogas, thermal regime, chinese digester, zoning, thermal index

## INTRODUCCIÓN

Según Polpreasert (1989, citado por Lopes *et al.*, 2004), la digestión anaeróbica consiste en la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. En este proceso se genera metano, dióxido de carbono, amonio, trazas de otros gases y ácidos orgánicos de bajo peso molecular.

Deublein y Steinhäuser (2008), mencionan que la formación de metano es un proceso biológico que ocurre de forma natural cuando la materia orgánica se descompone en un ambiente húmedo en ausencia de aire, pero en presencia de un grupo de microorganismos naturales los cuales son metabólicamente activos. En la naturaleza el metano se forma en pantanos, en el tracto digestivo de los animales rumiantes, en plantas de compostaje húmedo y en campos de arroz inundados.

Hacia finales del siglo XVIII, en el año 1776 el físico italiano Alessandro Volta identificó por primera vez el metano (CH<sub>4</sub>) como un gas inflamable emergente de los pantanos (FAO *et al.*, 2011).

Según Muñoz *et al.* (1987, citado por Veyna 2007), en 1868 Beauchamp establece que en el proceso de formación de metano, están involucrados algunos microorganismos. Posteriormente Pasteur descubre que el aumento de la temperatura, favorece el desarrollo de los microorganismos y en 1884 investiga de la producción de biogás a partir de residuos animales, proponiendo su utilización en la iluminación de las calles.

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en India y en 1896 en Inglaterra (Exeter), el alumbrado público era alimentado con el gas de biodigestores que captaban los lodos cloacales de la ciudad (Hilbert, 2001).

En la segunda guerra mundial fue muy importante la utilización de biogás, dado la escasez de combustibles. Al finalizar la guerra vuelve el fácil acceso a combustibles, razón por la cual se paraliza el desarrollo de esta energía. A comienzos de los años 60', se impulsó en India la producción de biogás con excretas de bovino, tanto para generar energía como para obtener biofertilizante. En los años 70', en China se comenzó la construcción de biodigestores (FAO *et al.*, 2011).

En los países industrializados el desarrollo de la digestión anaeróbica ha sido promovido no sólo por el tema energético, también el medioambiental; ya que es posible estabilizar lodos activados, provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas (Veyna, 2007).

Recién a partir de los años 70' y a raíz de la crisis energética, en todo el mundo se reinicia la investigación y extensión de esta energía, incluyendo a países latinoamericanos; investigaciones que fueron fructíferas dado los avances a nivel de laboratorio con los que antes no se contaba (Hilbert, 2001).

Según McGarry y Stainforth (1978), una de las ventajas más importantes de la digestión anaeróbica sobre las excretas, es la reducción en el riesgo de transmitir enfermedades. Ya que el reciclaje de las excretas tanto animales como humanas, en biodigestores que operan a una temperatura interna entre 30 y 35°C, se puede destruir hasta el 95% de los huevos de parásitos y casi todas las bacterias y protozoarios causantes de disentería (enfermedad infecciosa).

Por otro lado, Santana (1985, citado por Osorio *et al.*, 2007) señala que el proceso de digestión anaeróbica no se afecta por el incremento de unos pocos grados de temperatura; sin embargo un decrecimiento súbito en unos pocos grados, podría retardar la producción de metano sin afectar la actividad de las bacterias acidificantes, dando paso a una acumulación excesiva de ácidos y una posible falla en el biodigestor.

Piedrahita (2000) expresa que se presenta una relación casi directa entre la temperatura y la producción de biogás, lo que se considera importante ya que debe procurarse por mantener un microclima cálido en el biodigestor, manteniendo de esta forma una tasa de producción de biogás alta.

Además Pedraza *et al.* (2001), indican que existe una tendencia a aumentar la producción de biogás con el incremento de la temperatura del efluente y el ambiente.

Botero y Preston (1987) mencionan que dentro de los beneficios generados a raíz de la digestión anaeróbica, es posible mencionar que: proporciona combustible (biogás), reduce la contaminación ambiental (eliminando microorganismos patógenos, larvas, huevos de parásitos, semillas de malezas e insectos), genera abono orgánico (bioabono) útil para suelo cultivable y para el desarrollo de fitoplancton y/o zooplancton.

El biogás es una energía limpia y renovable que podría en especial para el sector rural, sustituir las fuentes convencionales de energía (Yadvika *et al.*, 2004).

Como se mencionó, una de las aplicaciones más comunes del biogás es la generación de calor, por medio de la combustión. Es posible utilizarlo para calefacción y agua caliente, calentamiento de biodigestores, incineración, secado de forraje, cocina, lámparas o quemadores de estufa a gas. El mayor problema que se presenta en la implementación de esta tecnología, es la ubicación de la zona de consumo con respecto al lugar donde se genera la energía; ya que el biogás presenta un bajo poder calorífico y por esto no es rentable su traslado por tuberías (Cuesta *et al.*, 2009).

El biogás en Chile es considerado como una “Energía Renovable no Convencional” (ERNC); según Chamy y Vivanco (2007), se han realizado diferentes estudios enfocados en analizar los tipos de biomasa disponibles para su generación, con fines energéticos, eléctricos y/o térmicos; de modo de aportar una herramienta al incremento de la participación de las ERNC en la matriz energética.

Considerando que según el INE (2007), la cantidad de cabezas de bovino presentes en Chile para el año 2007, era de 3.718.532 cifra de la cual es posible obtener 37.185 ton de excretas por día y 13.572.641 ton por año. Con la cantidad generada de estos residuos, es importante buscar, implementar y difundir alternativas para la utilización de éstos. La utilización de biodigestores podría ser una oportunidad de paliar problemas energéticos presentes en las zonas rurales, donde se utiliza de forma tradicional la leña, como principal combustible.

Según el INE (2012) la producción y consumo de energía en el año 2010, fue de 185.814 TJ<sup>1</sup> con leña y de 362 TJ con biogás. Por otra parte, la producción y consumo bruto para el mismo año, fue de 12.680 miles de ton para leña y  $1,5 \cdot 10^7$  m<sup>3</sup> para biogás.

La utilización de biodigestores podría producir múltiples beneficios a los productores, por una parte ahorrar en combustible; ya que sería posible la generación de energía, también utilizar materias que antes eran consideradas como residuos (evitando la acumulación de posibles vectores infecciosos y contaminación), generando un producto adicional a la digestión (bioabono), utilizándolo de manera cíclica para mejorar las propiedades del terreno de producción, aumentar la energía limpia promoviendo un desarrollo sostenible y mejorar la calidad de vida protegiendo el medio ambiente.

El presente trabajo se enmarcó en el proyecto de investigación “Desarrollo de herramientas de evaluación del potencial de producción de biogás en Chile como fuente de energía renovable”, del Programa Domeyko en Energía. Su objetivo fue analizar la incidencia de la temperatura externa en un biodigestor tipo chino de 10 m<sup>3</sup> de capacidad; estudiando su capacidad en la disminución de variaciones e impactos generados por las oscilaciones térmicas tanto diarias como estacionales y realizar una zonificación en función de la temperatura, basada en la factibilidad de instalación de estos biodigestores en Chile.

---

<sup>1</sup> Terajoules, unidad utilizada como base comparativa en todos los productos energéticos, equivale a un millón de millones de joules.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la dinámica de producción de biogás en un sistema (biodigestor) de carga semi continua en función del régimen térmico

### **Específicos**

Establecer la relación entre la temperatura del suelo y la producción de biogás (calidad y cantidad) en un biodigestor tipo chino.

Proponer zonas en Chile en función del régimen térmico, con mayor aptitud para el establecimiento de biodigestores tipo chino.

## ANTECEDENTES

### **Biodigestor**

Es un depósito cerrado en el cual se introducen los residuos orgánicos mezclados con agua, para ser digeridos por microorganismos (Lagrange, 1979) y llevar a cabo la digestión anaeróbica. Los biodigestores pueden construirse enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales en su construcción.

Según FAO *et al.* (2011), el biogás producido por la fermentación puede almacenarse en la parte superior del mismo depósito, en una estructura llamada “domo o campana de gas” (rígida o flotante) y en otros casos, puede almacenarse separada del biodigestor, esta estructura se llama “gasómetro”. Para que operen de manera correcta, los biodigestores deben contar con las siguientes características: ser herméticos, contar con una válvula de seguridad de presión, contar con estructuras y medios para carga y descarga del sistema, acceso a mantención, contar con algún medio para romper natas o costras formadas y estar aislado de manera térmica. Esta última característica es mencionada por GTZ (1999), donde se postula que “las fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche, no son un problema relevante para las plantas construidas de manera subterránea; ya que la temperatura de la tierra a una profundidad de un metro, es prácticamente constante”.

### **Digestión anaeróbica**

Es un proceso biológico complejo y degradativo donde en ausencia de oxígeno ( $O_2$ ), una fracción de la materia orgánica sea ésta residuos animales y/o vegetales, fangos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas o efluentes de industrias (alimentaria, fermentativa, papelera o química); es convertida en biogás. Los principales productos obtenidos, son el biogás y un efluente estabilizado o “bioabono” (FAO *et al.*, 2011).

Para describir la digestión anaeróbica, se han desarrollado diferentes estudios tanto bioquímicos como microbiológicos. En el presente trabajo, se describirá lo que postulan Campos (2001), Verma (2002), Carrillo (2003) y González y Sandoval (2005); quienes dividen el proceso en cuatro etapas (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis), en las que intervienen diferentes tipos de bacterias.

## Hidrólisis

Es el primer paso para que la materia orgánica compleja se degrade. Las bacterias hidrolíticas en esta etapa, actúan sobre las macromoléculas orgánicas despolimerizándolas de manera enzimática en los correspondientes monómeros o fragmentos más sencillos. De este modo los lípidos son degradados por lipasas (enzimas hidrolíticas) a ácidos grasos de cadena larga y glicerina. Las proteínas son hidrolizadas por proteasas en proteosomas, péptidos y aminoácidos, y los polisacáridos son convertidos en monosacáridos.

## Acidogénesis (etapa fermentativa)

Los compuestos solubles obtenidos en la etapa anterior, son transformados por bacterias acidogénicas en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles), alcoholes, amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Los principales ácidos grasos volátiles son: ácido acético ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$  ó  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ), ácido propiónico ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$  ó  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ ), ácido butírico ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$  ó  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ) y ácido valérico ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$  ó  $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$ ). En esta etapa es necesario que se tenga control en la cantidad de hidrógeno, porque el metabolismo de las bacterias acidogénicas depende de este elemento.

Según FAO *et al.* (2011), algunos de los productos generados en esta etapa, serán después oxidados por las bacterias acetogénicas. Estas bacterias son de gran importancia; ya que además de producir el alimento de los grupos de bacterias que actuarán después, también eliminan cualquier traza de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) disuelto en el medio.

## Acetogénesis

Cuando algunos productos de la fermentación (hidrógeno y ácido acético) pueden ser metabolizados de forma directa por las bacterias metanogénicas, los productos intermedios (ácido propiónico, ácido butírico y otros) necesitan ser transformados en productos más sencillos, por medio de las bacterias acetogénicas. Los principales productos obtenidos son ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, los que más tarde pueden utilizarse por las bacterias metanogénicas. Al igual que en la etapa anterior, las bacterias acetogénicas requieren de control en la concentración de hidrógeno, debido a que una alta presión de este elemento reduce la tasa de formación de acetato ( $\text{CH}_3\text{-COO}$  ó  $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ), produciendo ácido propiónico, ácido butírico o etanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  ó  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) en vez de metano ( $\text{CH}_4$ ).

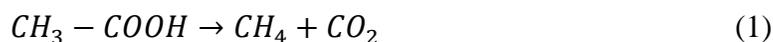
Según FAO *et al.* (2011) en esta etapa del proceso anaeróbico, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa, dando como resultado, la eliminación de los productos de desecho de sus células. En la siguiente etapa, estos

productos (ácidos volátiles sencillos) serán utilizados por las bacterias metanogénicas como sustrato.

### **Metanogénesis**

Es la última etapa del proceso, las bacterias metanogénicas utilizan el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono para transformarlo en metano y dióxido de carbono. Las bacterias encargadas de este proceso son llamadas “anaeróbicas estrictas”.

En esta etapa hay dos tipos de microorganismos o bacterias que realizan el proceso de degradación, aquellas que utilizan el ácido acético para transformarlo en metano y dióxido de carbono, son llamadas “bacterias metanogénicas acetoclásticas” (1) y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno para transformarlo en metano y agua, son llamadas “bacterias metanogénicas hidrogenotróficas” (2).



La reacción (1) es la manera principal de formación de metano, en la que se produce alrededor del 70 % del metano total. Este proceso es lento y constituye la etapa limitante del proceso de la degradación anaeróbica.

Las etapas y bacterias presentes en el proceso de digestión anaeróbica, pueden observarse de manera esquemática en la Figura 1 mostrada a continuación.

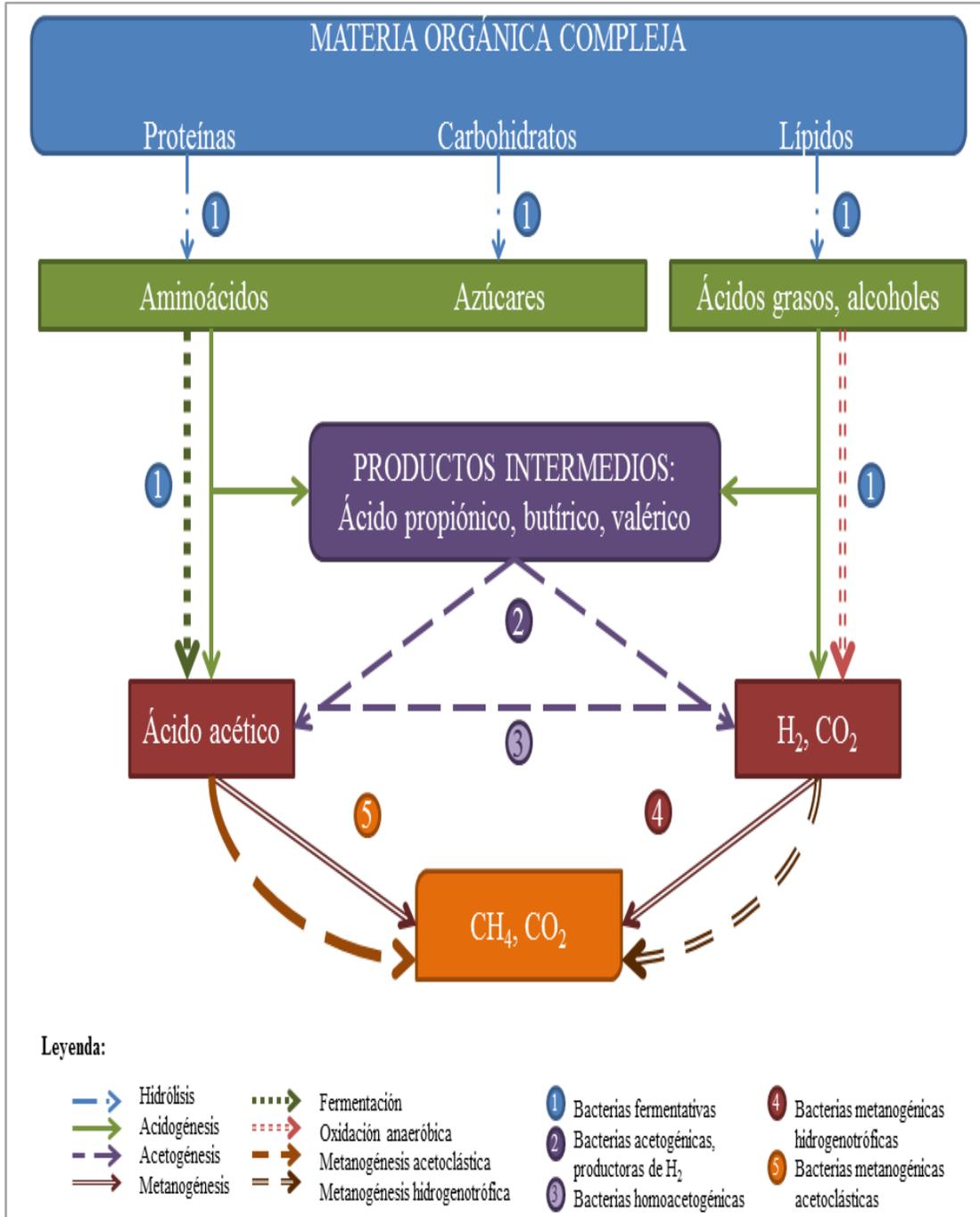


Figura 1: Etapas de la digestión anaeróbica  
Fuente: Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991

## Parámetros ambientales

Algunos de los parámetros ambientales más importantes que se deben controlar en la digestión anaeróbica, son descritos a continuación.

### Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Según Campos *et al.* (2001), este concepto se refiere al tiempo que el sustrato permanece en el biodigestor sometido a la acción de los microorganismos. Existe un tiempo de retención mínimo, el cual limitaría el desarrollo del proceso. En un sistema de mezcla completa, este tiempo de retención hidráulico deberá ser como mínimo el correspondiente a la velocidad de crecimiento de los organismos. Cuanto mayor sea el tiempo de retención, mayor será la producción de biogás por unidad de materia orgánica introducida. El tiempo de retención usado entre 25 y 45°C (rango mesófilo), para residuos ganaderos y lodos de depuradora, está entre los 15 y 20 días, sin embargo el tiempo estará estrechamente relacionado con el tipo de biodigestor utilizado.

### Relación carbono nitrógeno (C/N)

Los sustratos con los cuales se alimenta el biodigestor, deben contener ciertos nutrientes, los cuales permitan el desarrollo de los microorganismos durante la digestión anaeróbica, éstos son carbono (C) y nitrógeno (N).

Según FAO *et al.* (2011), estos dos elementos son la principal fuente de alimentación para las bacterias metanogénicas; el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para la formación de nuevas células. Las bacterias metanogénicas consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo cual la relación óptima para estos elementos (C/N) en la materia prima, debiera ser 30:1, sin embargo el rango tolerable es hasta 20:1. Cuando la relación C/N es superior a 35:1, la descomposición de la materia ocurrirá de manera lenta, pero el periodo de producción de biogás será más prolongado; por otra parte, si la relación C/N es menor a 8:1, la actividad bacteriana será inhibida debido a la excesiva formación de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), el cual en cantidades no adecuadas llega a ser tóxico e inhibir el proceso.

Sin embargo es importante lo que menciona Hilbert (2001), quien destaca que el proceso microbiológico no sólo requiere fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también debe existir un cierto equilibrio de sales minerales, tales como azufre (S), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), zinc (Zn), cobalto (Co), selenio (Se), tungsteno (W), níquel (Ni) y otros menores.

## **pH**

Los microorganismos que participan en la digestión anaeróbica, necesitan un pH que se encuentre cercano a la neutralidad para un desarrollo correcto, entre 6,5 y 7,5. Si bien se permite una cierta oscilación del parámetro (Clark y Speece, 1989), pueden presentarse problemas si existe una disminución por debajo de 6 o si sube sobre 8,3 (Lay *et al.*, 1997), lo que podría inhibir el proceso de fermentación o hasta detenerlo (Guevara, 1996).

Sin embargo en algunas etapas, es necesario intervalos de pH óptimos; así para microorganismos hidrolíticos es entre 7,2 y 7,5; para los acetogénicos entre 7 y 7,2 y para los metanogénicos entre 6,5 y 7,5 (Cuesta *et al.*, 2009).

## **Velocidad de carga orgánica (VCO)**

Se refiere a la cantidad de materia orgánica que se introduce a diario en el biodigestor por unidad de volumen, es dependiente de la composición y concentración de sustrato, así como también del tiempo de retención. Cuando no hay inhibidores, altas cargas orgánicas proporcionan altas producciones volumétricas de biogás (FAO *et al.*, 2011).

Bajos valores de VCO implican una baja concentración en el afluente y elevados tiempos de retención hidráulica; por otra parte cuando existe un incremento en la VCO, implican reducción en la producción de biogás por unidad de materia orgánica introducida. Así existirá una velocidad de alimentación óptima para cada biodigestor según su tamaño, la cual producirá la máxima cantidad de biogás (Yadvika *et al.*, 2004).

## **Agitación**

Es necesario mantener un grado de agitación en el medio de digestión tanto para mezclar y homogenizar el sustrato, distribuir el calor de manera uniforme (homogenizando la temperatura), favorecer la transferencia de gases, evitar la formación de espumas o sedimentación (Cuesta *et al.*, 2009), también ayuda a distribuir de manera uniforme los microorganismos (Karim *et al.*, 2005) y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica (FAO *et al.*, 2011). La agitación aumenta la producción de biogás y disminuye el tiempo de retención hidráulica.

Es posible utilizar diferentes mecanismos de agitación, desde la manera mecánica (batido manual) o el provocado por la entrada y salida de los líquidos, hasta otros más sofisticados en el cual se utilizan equipos que involucran agitadores a hélices, recirculadores de sustrato o manera neumática con burbujeo de biogás recirculado a una presión adecuada (Castillo, 2010).

### **Sólidos totales (ST)**

La materia orgánica está compuesta por agua y una porción sólida o “sólidos totales”. El porcentaje de sólidos totales que debe contener la mezcla con la cual se cargará un biodigestor, es un importante factor a considerar para que el proceso pueda efectuarse de manera correcta; ya que la movilidad de las bacterias metanogénicas, puede verse limitada a medida que aumenta el contenido de sólidos, por lo tanto puede afectar la eficiencia y la producción de biogás (FAO *et al.*, 2011).

Según Cuesta *et al.* (2009) el residuo que se diluye en agua, debiera llegar a una concentración máxima de 15%, aunque lo habitual es que la concentración esté comprendida entre un 7 y 12%.

### **Sólidos volátiles (SV)**

Corresponde a la porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C. Estos sólidos contienen componentes orgánicos, los que en teoría se convertirán en metano (FAO *et al.*, 2011).

### **Temperatura**

Es un importante parámetro para la digestión anaeróbica igual a lo que ocurre con otros sistemas biológicos, ya que debido a su naturaleza biológica, la tasa de degradación del proceso se ve incrementada en forma geométrica con aumentos de la temperatura (Silva, 1991); afectando la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados en el proceso, los cuales crecerán de manera directa al aumento de ésta variable (Van Lier *et al.*, 1993).

La velocidad de reacción en los procesos biológicos de la digestión anaeróbica, también se ven afectados con el incremento de ésta variable, los cuales aumentarán su velocidad en los rendimientos de producción de biogás y generarán una disminución de los tiempos de retención de los sustratos a degradar (Silva, 1991).

Las temperaturas más bajas implican tiempos de retención más largos para asegurar el desarrollo del proceso (Veeken y Hamelers, 1999).

Según Taylhardat (1986), este factor es capaz de definir las zonas donde puedan implementarse biodigestores; ya sea por la latitud y/o altura. Además se ha visto que puede aumentar la eficiencia del sistema, en especial en el área de saneamiento.

Según FAO *et al.* (2011), hay tres rangos de temperatura en los cuales pueden desarrollarse los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C).

En general los biodigestores sin calefacción, pueden funcionar de manera eficiente cuando las temperaturas medias anuales están sobre los 20°C o cuando la temperatura promedio diaria es por lo menos de 18°C. Cuando la temperatura está por debajo de los 15°C, la producción de gas será muy baja que el biodigestor dejará de ser rentable (GTZ, 1999).

En el Cuadro 1 se puede observar que para cada uno de los rangos mencionados, existe un intervalo en el cual la tasa de crecimiento de los microorganismos se hará máxima, de esta manera se determina la temperatura de trabajo óptimo en cada uno de los rangos posibles de operación (FAO *et al.*, 2011).

Cuadro 1: Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
Psicrófila	4-10°C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesófila	15-20°C	25-35°C	35-45°C	Entre 30 y 60 días
Termófila	25-45°C	50-60°C	75-80°C	Entre 10 y 15 días

Fuente: Lagrange, 1979

El rango psicrófilo se plantea como poco viable, dado las grandes dimensiones que debería tener el reactor para generar biogás. Sin embargo, tiene la ventaja de que los problemas presentados son mínimos, ya que mantiene una mayor estabilidad de temperatura a diferencia de los otros rangos.

El rango mesófilo es el más utilizado, dado que el rango en el cual trabaja puede ser alcanzado sin dificultad en diferentes zonas.

El rango termófilo en el último tiempo ha sido cada vez más implementado, ya que está relacionado con una mayor velocidad en el proceso de digestión anaeróbica, la higienización del residuo y la eliminación de larvas, semillas de malas hierbas y organismos patógenos (Ahring, 1995); sin embargo, una de las dificultades para llevarlo a cabo es la inestabilidad y sensibilidad a cualquier cambio en las condiciones de operación, además puede producirse una mayor toxicidad de determinados compuestos a altas temperatura, por ejemplo el nitrógeno amoniacal (Gallert *et al.*, 1998) o los ácidos grasos de cadena larga (Hwu *et al.*, 1997).

En el Cuadro 2, se detallan los rangos de temperatura y la variación máxima en grados Celsius que pueden presentar en intervalos de una hora. Si se superan estos rangos, se podría inhibir el proceso de digestión anaeróbica.

Cuadro 2: Intervalos de sensibilidad para las bacterias anaeróbicas

Bacterias	Sensibilidad
Psicrófila	$\pm 2^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$
Mesófila	$\pm 1^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$
Termófila	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}^{-1}$

Fuente: GTZ, 1999

### Biogás

Es el producto gaseoso de la digestión anaeróbica de los compuestos orgánicos, una mezcla de gases que contiene como compuestos principales el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); así como también en menor porción, trazas de otros gases tales como sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ). Sin embargo, la composición variará dependiendo del material a digerir y el funcionamiento del proceso (Ortega, 2002).

Dentro de sus características generales está el contenido energético de 0,6 a 6,5  $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-3}$ , la equivalencia en combustible de 0,60 a 0,65 L de petróleo por cada  $\text{m}^3$  de biogás, el límite de explosión de 6 a 12% de biogás en el aire, la temperatura de ignición de 650 a 750°C, la presión crítica de 74 a 88 atm, la temperatura crítica de -82,5°C, la densidad normal de 1,2  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , olor a huevo podrido (el olor de biogás desulfurado es imperceptible) y masa molar de 16,043  $\text{kg}\cdot\text{kmol}^{-1}$  (Deublein y Steinhauser, 2008). Su poder calorífico está en el orden de las 5500  $\text{kcal}\cdot\text{m}^{-3}$  (Cuesta *et al.*, 2009) y según Houghton (2001, citado por Weiland, 2006 y Bolin, 1995), el efecto que tendría la emisión directa a la atmósfera, reduciría el efecto positivo que tiene la producción de biogás; debido a que el potencial al calentamiento global del metano, es un factor de 21 veces superior en comparación con el del dióxido de carbono.

Para purificar el biogás se requiere extraer el dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, agua y las partículas sólidas que presente (Weiland 2006). Existen diferentes métodos de purificación del biogás, por un lado los de tipo “físico-químico”: adsorción, filtración por membranas, absorción (Pinjin *et al.*, 2001) y también los de tipo “biológico o de biofiltración” (Soreanu *et al.*, 2005).

Con los métodos de purificación, se busca principalmente eliminar el sulfuro de hidrógeno contenido en el biogás; ya que al combinarse con agua se genera ácido sulfhídrico, un compuesto corrosivo que puede destruir de manera paulatina algunas instalaciones metálicas y/o partes vitales de éstas. El método más común para purificar el biogás es la absorción (Horikawa *et al.*, 2004), haciéndolo pasar por un filtro (“desulfurizador”) que contenga hidróxido de hierro ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ); éste se mezcla con el sulfuro de hidrógeno, originando la formación de sulfuro de hierro ( $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ).

El biogás al salir del biodigestor está saturado de vapor de agua, el cual a medida que se enfría, es condensado en las cañerías. Por este motivo, las cañerías deben presentar una leve pendiente (al menos 1%) hacia un recipiente llamado “trampa de agua” o filtro deshidratador, donde el agua es almacenada y extraída del biogás (Hilbert, 2001).

Según Cuesta *et al.* (2009), actualmente el biogás es aprovechado principalmente para combustión directa, producción de calor y generación de electricidad. Sin embargo, existe un creciente interés para aplicarlo de manera alternativa, ya sea como combustible de automóviles y/o su introducción en la red de distribución de gas natural. Entre las dificultades que se tienen para la aplicación de estas dos últimas alternativas, está la necesidad de realizar una serie de tratamientos previos antes de su aplicación, entre las que es posible mencionar, una acabada purificación del biogás y no tan sólo una desulfurización. En la Figura 2, se presentan las etapas a las cuales debe ser sometido el biogás dependiendo el fin para el cual quiera ser utilizado.

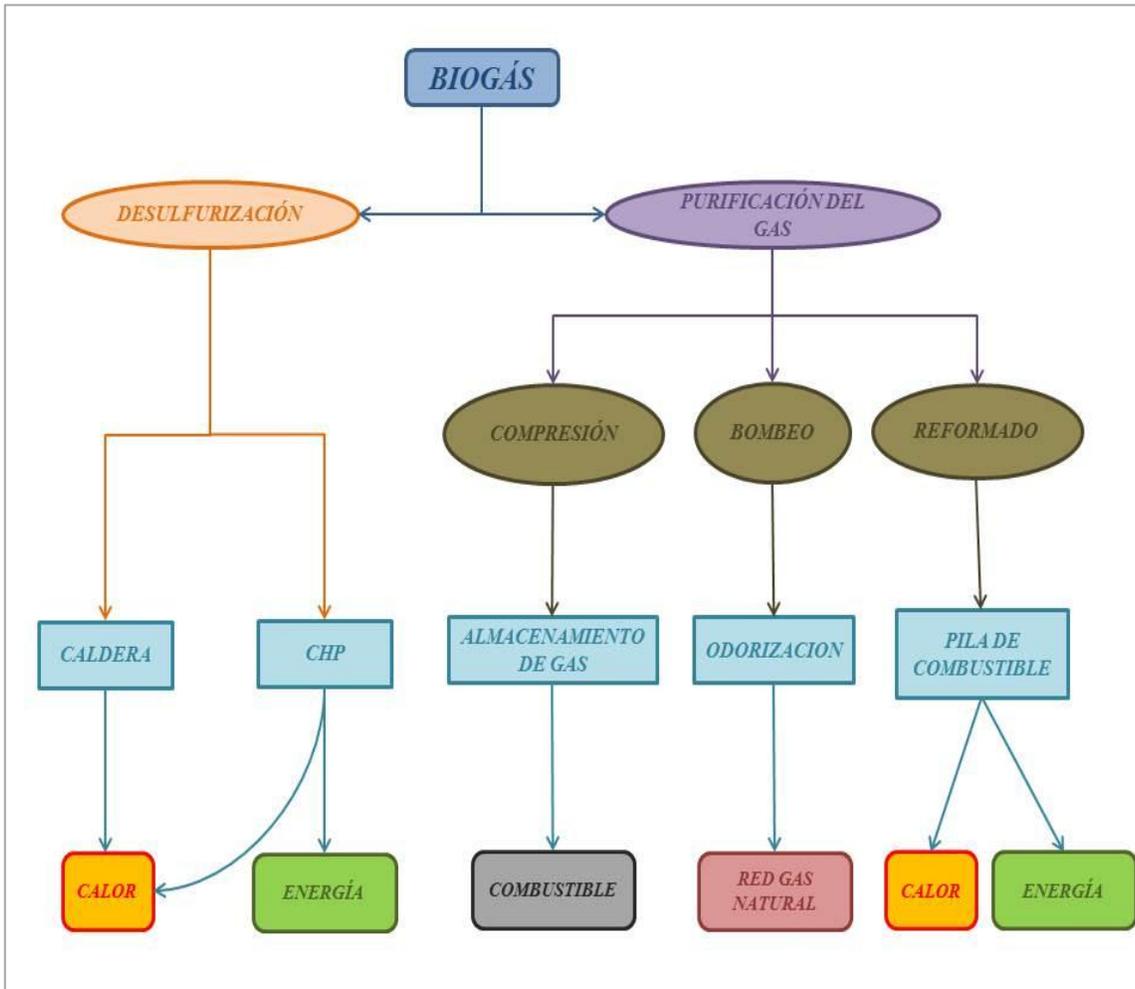


Figura 2. Alternativas para el uso del biogás y sus requerimientos de purificación  
Fuente: Weiland, 2006

En el Cuadro 3, se presentan los valores promedios de la composición del biogás, en función del sustrato utilizado para su generación.

Cuadro 3. Composición del biogás por sustrato utilizado

Componente	Residuos agrícolas	Lodos de depurado	Residuos industriales	Gas de vertedero
CH <sub>4</sub>	50-80%	50-80%	50-70%	45-65%
CO <sub>2</sub>	30-50%	20-50%	30-50%	34-55%
H <sub>2</sub> O	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
H <sub>2</sub>	0-2%	0-5%	0-2%	0-1%
H <sub>2</sub> S	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0,5-100 ppm
NH <sub>3</sub>	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
CO	0-1%	0-1%	0-1%	Trazas
N <sub>2</sub>	0-1%	0-3%	0-1%	0-20%
O <sub>2</sub>	0-1%	0-1%	0-1%	0-5%
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm*

\*terpenos, esterres.

Fuente: Coombs, 1990

Según Guardado (2008), la equivalencia comparativa para 1 m<sup>3</sup> de biogás (de 70% CH<sub>4</sub> y 30% CO<sub>2</sub>) con otras fuentes de energías es: 0,7 L de gasolina, 1,3 L de alcohol, 0,7 L de gasoil o diésel, 1,5 m<sup>3</sup> gas de ciudad y 2,7 kg de madera.

### Efluente estabilizado (bioabono)

Es el producto que queda de la digestión anaeróbica, se considera como la mezcla del influente rico en elementos minerales estabilizado y de la biomasa microbiana producida.

Su calidad está ligada al tipo de biodigestor utilizado, las materias primas y el manejo de los parámetros en el proceso (Ortega 2002). En el desarrollo de la digestión anaeróbica, una porción de la materia orgánica es transformada en metano, por lo tanto el contenido de materia orgánica en el bioabono es menor al presentado por las materias primas (FAO *et al.*, 2011).

Para los biodigestores discontinuos el bioabono es sólido y en los continuos es un efluente líquido. El sólido es un buen fertilizante y al secarlo es de fácil comercialización, el líquido es utilizado en gran medida para riego, pero su estado físico de presentación dificulta su comercialización (FAO *et al.*, 2011).

Según Hilbert (2001), el efluente de biodigestores también ha sido utilizado en la preparación de compost, en la aplicación en suelos, para fertirriego, en la alimentación de algas, peces y animales (cabras, pollos, cerdos, patos) en raciones balanceadas.

## MATERIALES

El estudio se desarrolló en los periodos febrero a julio de 2011 y enero a agosto de 2012, en un biodigestor tipo chino, en la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en Avenida Santa Rosa N° 11.315, comuna de La Pintana en la Región Metropolitana, Santiago, Chile. La región Metropolitana posee una altitud de 520 msnm, temperatura media anual de 13,9°C (verano 22,1°C e invierno 7,7°C) y el promedio anual de precipitación es de 356,2 mm (BCN, s.a). En la Figura 3, se muestra la zona donde se desarrolló el estudio.

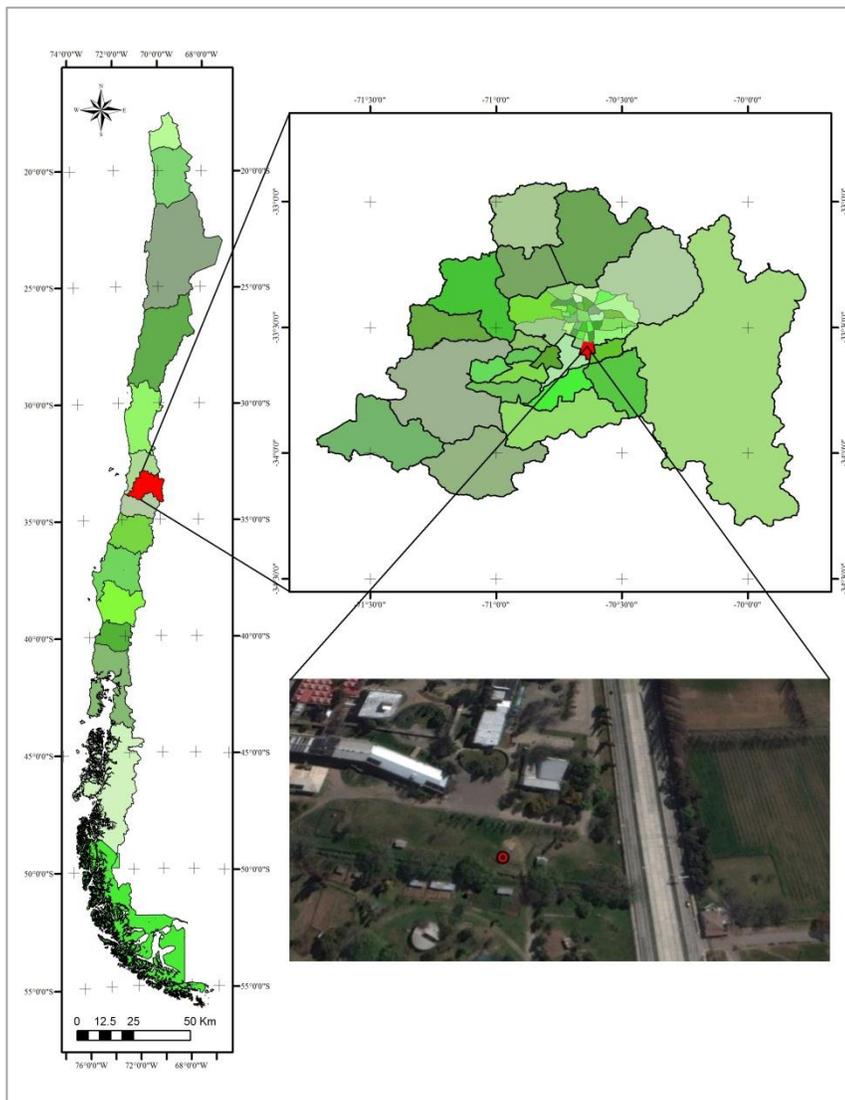


Figura 3: Ubicación geográfica del estudio

### Biodigestor tipo chino semi continuo

Su forma a grosso modo, es un tanque cilíndrico con el techo y piso en forma de domo, además una de las características más importantes, es que se construye en su totalidad enterrado (FAO, 1986), el esquema del biodigestor utilizado se presenta en la Figura 4.

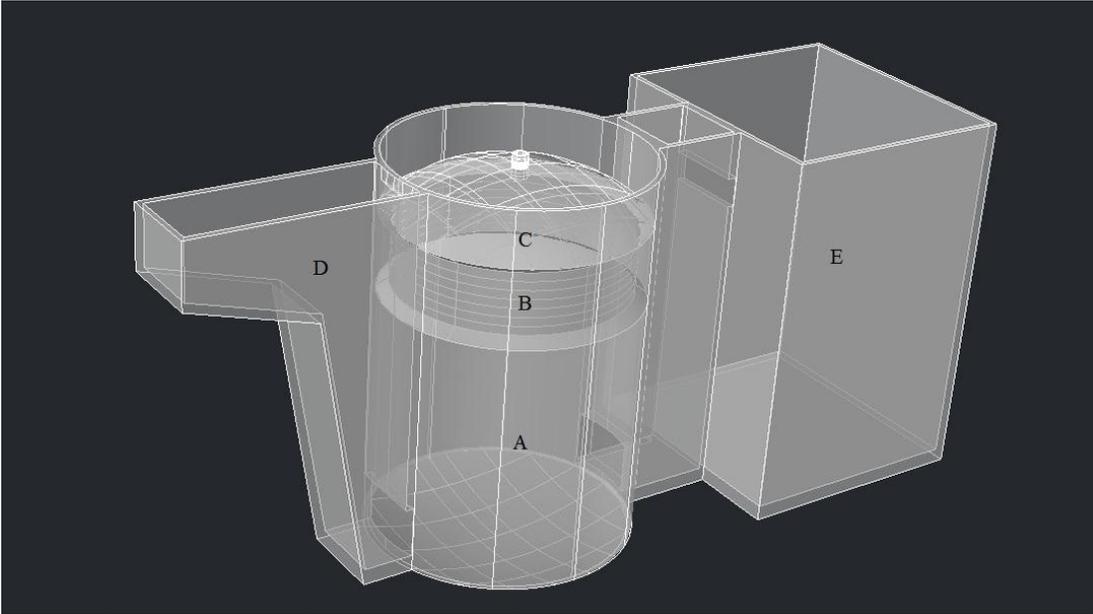


Figura 4: Estructura del biodigestor

Se le llama “semi continuo” dado que en la primera carga se introdujo gran cantidad de materia prima. El volumen de las cargas, fueron calculadas en función del tiempo de retención hidráulica y del volumen total del biodigestor (FAO *et al.*, 2011).

La tecnología y estructura del biodigestor fue la ocupada por Puxin Biogás, desarrollada por la empresa China Censen Puxin Science & Technology Co. La construcción del biodigestor de hormigón armado, se terminó de instalar en febrero del 2010. La estructura se caracteriza por ser un sistema de presión hidráulica, sus componentes básicos son el biodigestor de concreto (de 10 m<sup>3</sup>) y un contenedor de gas (de 1,2 m<sup>3</sup>). En la Figura 4 es posible observar sus componentes: estómago “A”, cuello “B”, contenedor de gas “C”, caja del afluente “D” y del efluente “E”.

En la Figura 5 se observa el esquema completo del biodigestor. La salida del biogás se realizó mediante una manguera para gas de 9 mm y 6 m de largo, conectada desde la parte superior del contenedor de gas hacia la superficie. A lo largo de la manguera se contó con 2 filtros deshidratadores (trampas de agua) y con 2 filtros desulfurizadores. La parte final de la manguera, se conectó a un manómetro para medir la presión a la cual salía el biogás y un flujómetro (m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>) para contar el volumen de biogás liberado; este flujómetro era capaz de contar caudales entre 0,025 y 4 m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>, resistiendo presiones de gas hasta de 10 kPa.

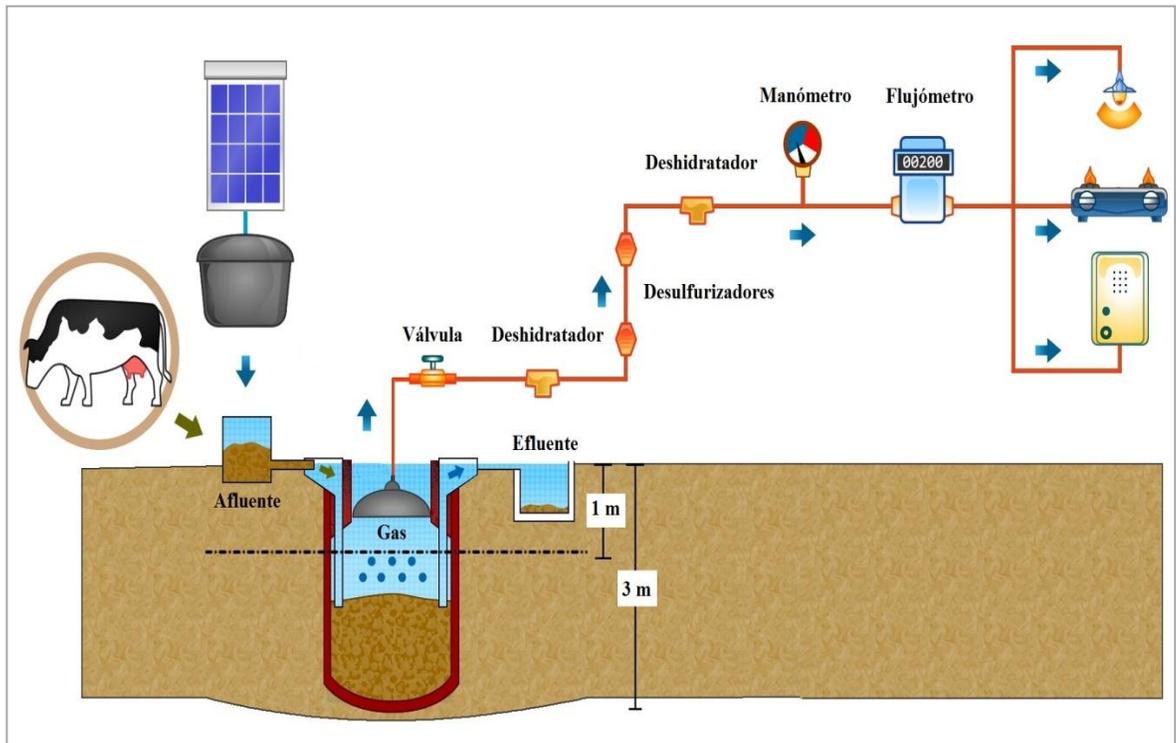


Figura 5: Esquema del biodigestor en el que se realizó el estudio

### Estanque de agua y colector solar

Se contó con un estanque de capacidad aproximada de 600 L, en el cual se acumuló agua no clorada para realizar la carga de materia prima. Lo anterior debido a que si se utilizaba agua clorada, se podía afectar la vida en las colonias de microorganismos y/o afectar su actividad metabólica en el proceso de digestión (Guardado, 2008). Este estanque conectado a un colector solar, buscaba mantener estable la temperatura al momento de realizar la carga, evitando choques térmicos en el interior del biodigestor.

### Guano de bovino

Según FAO *et al.* (2011), las características de residuos como éste, permiten el desarrollo y la actividad de microorganismos en el sistema anaeróbico. Pero la degradación dependerá del tipo animal y su alimentación.

Varnero y Arellano (1990), estudiaron la composición bioquímica de diferentes materias primas, dentro de las cuales también se analizó el guano de bovino; obteniendo la composición química de: lípidos 3,23%, proteínas 9,05%, celulosa hemicelulosa 32,49%,

lignina 35,57% y ceniza 19,66%; por otra parte, el rango de nutrientes obtenidos fueron: carbono entre 17,4 y 40,6%, nitrógeno entre 0,3 y 2%,  $P_2O_5$  entre 0,1 y 1,5%,  $K_2O$  0,10%,  $CaO$  0,35% y  $MgO$  0,13%.

Nunca debe introducirse en el biodigestor un estiércol seco ni fresco en cantidades excesivas sin dilución en agua (Botero y Preston, 1987). Por lo anterior, la mezcla utilizada para el desarrollo del estudio, se obtuvo mezclando 200 L de agua no clorada con 40 kg de guano fresco de bovino 3 veces por semana. Obteniendo según FAO *et al.* (2011), un 5% de sólidos totales en cada carga.

$$40 \text{ kg de excretas} + 200 \text{ L de agua} = 240 \text{ L de mezcla día}^{-1}$$

El tiempo de retención hidráulico según GTZ (1999) para el estiércol de bovino líquido, en condiciones mesófilas es de 20 a 30 días. Para este estudio se utilizó la relación propuesta en FAO (2011) (3), donde al dividir el volumen total de biodigestor ( $m^3$ ) por el volumen de carga diaria ( $m^3 \cdot \text{día}^{-1}$ ), se obtiene el tiempo de retención hidráulico (días); para el estudio este valor fue de 41 días.

$$V_D = V_C * TRH \quad (3)$$

Donde:

$V_D$  = Volumen total del biodigestor

$V_C$  = Volumen de la carga

TRH = Tiempo de retención hidráulico

Reemplazando con los datos del biodigestor en estudio:

$$10 (m^3) = 0,24 (m^3) * TRH(\text{días})$$

$$TRH = 10/0,24$$

$$TRH = 41,6 \text{ días}$$

La materia orgánica utilizada, fue obtenida de la Granja educativa perteneciente a la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile. Según Varnero (1991), la disposición de esta materia podría producir al mes, un equivalente en gas licuado de 2 balones de 15 kg.

### Sensor de temperatura termocupla J

Generador termoeléctrico, capaz de transformar el calor en electricidad. Funciona en base al efecto Seebeck, el cual es producido al unir entre sí por sus extremos a dos conductores diferentes, los cuales son sometidos a una diferencia de temperatura, entre ambos puntos es generada una diferencia de potencial, flujo de electrones o fuerza electromotriz (fem), ésta aumenta de manera proporcional a la variación de temperatura, por convención el flujo se inicia desde el área de mayor a la de menor temperatura.

Para el desarrollo del estudio el sensor utilizado tuvo por conductor (+) al hierro (Fe) y por conductor (-) la unión de cobre (Cu) con níquel (Ni) más conocido como “constantano”, esta aleación podía identificar temperaturas en el rango de  $-180^{\circ}\text{C}$  a  $750^{\circ}\text{C}$ . La fuerza electromotriz generada se tradujo a unidades de grados Celsius, mediante un termómetro digital para este tipo de termocupla. En las figuras 6 y 7 se muestran el sensor y el termómetro digital (traductor) para termocupla.

### Data logger Em5b Decagon Devices

Registrador de datos autónomos, con 5 puertos de sensores independientes y un puerto de comunicación (conexión para computador), con memoria capaz de almacenar un número aproximado de 3300 mediciones. Resistente a condiciones de intemperie, ideal para uso al aire libre. Utilizando el software incluido con el instrumento, fue posible establecer los intervalos de medición para capturar datos y configurar en cada puerto el tipo de sensor conectado. Para la entrega del dato, el instrumento suma el valor captado en cada segundo del intervalo configurado y calcula el promedio. Fabricación en Estados Unidos de América. En la Figura 8 se muestra el registrador.



Figura 6: Termocupla J



Figura 7: Traductor



Figura 8: Data logger

### Sensores de temperatura ECT

Sensores que pueden ser utilizados para monitoreo de temperaturas tanto de suelo como aire, sensible a la exposición directa de radiación solar, resistente al agua, sumergible y diseñado para uso exterior. Con un rango de temperatura de operación de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ , la precisión de medición de temperatura entre  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $-20^{\circ}\text{C}$  de  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ , entre  $5^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$  de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , entre  $40^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $5^{\circ}\text{C}$  menor a  $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ . Sus dimensiones de  $3 \cdot 0,75$  cm, la longitud del cable de 3 m y la velocidad de medición de 10 ms (milisegundos). Fabricación del instrumento en Estados Unidos de América. Se muestra en la Figura 9.

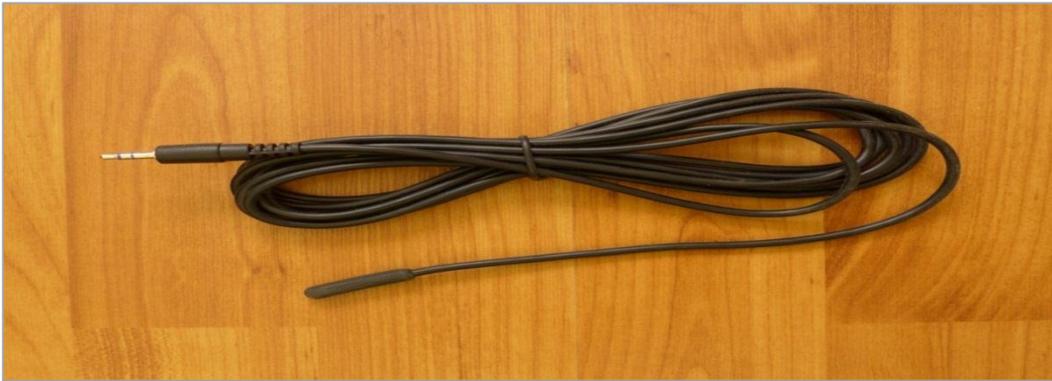


Figura 9: Sensor de temperatura ECT

### Sensor de humedad ECH<sub>2</sub>O EC-5

Utilizado para monitorear con precisión el contenido volumétrico de agua (VWC) en cualquier tipo de suelo o medio de cultivo sin suelo, con una salinidad mínima. Volumen de influencia de 0,3 L, su rango de medición de 0 a 100% VWC, las condiciones necesarias de trabajo de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ , su precisión de medición de  $\pm 3\%$ . Sus dimensiones de  $8,9 \cdot 1,8 \cdot 0,7$  cm, la longitud del cable de 5 m y la velocidad de medición de 10 ms (milisegundos). Fabricación del instrumento en Estados Unidos de América. En la Figura 10 se muestra el sensor.



Figura 10: Sensor ECH<sub>2</sub>O EC-5

### Analizador de gas Dräger (X-am 7000)

Utilizado para detectar de forma simultánea y continua 5 gases. Equipo de fabricación alemana, que permite la combinación a más de 25 sensores diferentes, pudiendo detectar más de 100 gases y vapores diferentes.

Algunas de las características presentadas por el equipo son una memoria que permite registrar hasta 3000 grupos de datos (50 horas de datos si se registra un grupo de datos por minuto), batería recargable con duración hasta de 20 horas, protección incorporada contra el polvo, la humedad y capacidad de sumergirse sin daño hasta 1,5 m.

Sus dimensiones 150 · 140 · 75 mm, peso 600 g y resistente a temperaturas entre -20 y 55°C. La precisión de medición de los sensores con respecto al valor de medición fueron:  $\text{CH}_4 \leq \pm 0,2\%$ ,  $\text{CO}_2 \leq \pm 5\%$ ,  $\text{CO} \leq \pm 1\%$ ,  $\text{O}_2 \leq \pm 1\%$  y  $\text{H}_2\text{S} \leq \pm 5\%$ . En la Figura 11 se muestra el analizador.



Figura 11: Analizador de gas Dräger (X-am 7000)

### Estación meteorológica

La estación ubicada en la Facultad de Agronomía, brindó los datos necesarios de temperatura del aire, para ambos periodos de monitoreo. Esta temperatura se obtuvo a 1 m de altura, con el registro de la variable cada 15 minutos, lo cual permitió obtener la temperatura en los mismos horarios que se realizaron los monitoreos.

### Set de información climática para Chile

Del trabajo generado por Santibáñez *et al.* (2010), se obtuvo información cartográfica, un archivo raster con resolución espacial de 1 km de distancia, con información climática de temperatura mensuales a nivel nacional para todo Chile.



## MÉTODO

La toma de datos se realizó en dos periodos y de dos modalidades diferentes. En el periodo 1 se obtuvieron datos de manera manual a lo largo de 6 meses, entre febrero y julio de 2011. En el periodo 2 se obtuvieron datos de manera automática durante 8 meses, entre enero y agosto de 2012. A continuación se detalla la obtención de datos en ambos periodos.

### Obtención de datos Periodo 1

Comprendido entre los meses de febrero y julio de 2011. Este periodo de recolección en forma manual, recogió información de las temperaturas del colector solar, estanque, aire a 1 m de altura, suelo, descarga y la del biodigestor; también se registraron las variaciones de volumen del biogás producido. Los datos fueron tomados de lunes a viernes en 3 horarios, a las 9:00, 14:00 y 17:00 horas.

**Temperatura:** para el monitoreo de esta variable se utilizaron 3 sensores de temperatura termocupla J, 2 sensores de temperatura instalados en el lugar de estudio y los datos de temperatura de la estación meteorológica ubicada en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Chile.

Para la temperatura del suelo, descarga y del biodigestor (bajo la estructura de concreto), se utilizaron los 3 sensores de temperatura termocupla J. Con un barreno fue posible realizar el orificio en el suelo e instalar el sensor a 50 cm de profundidad y a 50 cm del biodigestor, ubicado el sensor en el orificio, se rellenó con el suelo antes extraído. Para obtener la temperatura del biodigestor, se instaló el sensor bajo la tapa de concreto que cubre el contenedor de gas. Por último las temperaturas de la descarga, se obtuvieron acondicionando un tubo de pvc de 3 m de largo con el sensor en uno de sus extremos; a este tubo se le realizaron marcas cada 50 cm, lo que permitió medir la variación de temperatura a medida que aumentaba la profundidad (hasta 2,5 m). Para obtener la temperatura de estos sensores, se utilizó un termómetro digital (traductor), el cual entregó las mediciones en grados Celsius (°C).

En cada medición también se registraron las temperaturas obtenidas de los 2 sensores de temperatura instalados en el lugar de estudio, los cuales estaban conectados a un monitor de lectura automático; uno de estos sensores registraba la variación de temperatura instantánea al interior del estanque de agua y el otro la del colector solar.

Los datos de temperatura del aire a 1 m de altura, se obtuvieron de la Estación Meteorológica de la Facultad de Agronomía.

**Gas:** se registró a diario su variación de volumen, monitoreando el flujómetro conectado a la salida del biodigestor.

### **Obtención de datos Periodo 2**

Comprendido entre los meses de enero y agosto de 2012. En este periodo se recopiló información de temperaturas de suelo a 2 profundidades diferentes (0,5 m y 1 m), carga, descarga y aire a 1 m de altura; además se monitoreó la humedad de suelo a 1 m de profundidad, las variaciones de producción y un análisis semanal de la composición de biogás (consistente en 2 pruebas cada vez). Los valores de temperatura se obtuvieron en °C y los de humedad en  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ . En este periodo los datos de temperatura y humedad, se registraron de manera continua cada 15 minutos.

**Temperatura:** la instalación de sensores se realizó la segunda semana de diciembre de 2011, el cable de cada uno de los sensores se introdujo en una manguera malla, para protegerlos de desgaste tanto en la instalación como en el futuro.

Con un barreno a 1,5 m de distancia del biodigestor, se realizó un orificio de 1 m de profundidad en el cual se instaló un sensor de temperatura (ECT) y uno de humedad (ECH<sub>2</sub>O EC-5), teniendo especial cuidado de que ambos no quedaran en contacto directo. A continuación se rellenó el orificio con el suelo extraído hasta 0,5 m de la superficie y se instaló otro sensor de temperatura (ECT), sobre el cual se depositó el resto de suelo hasta llegar a nivel de superficie. Es posible observar los sensores en la imagen “A” de la Figura 12.

Los sensores de temperatura para las cajas de carga y descarga, fueron ubicados siguiendo el borde de la tapa del biodigestor y depositados en cada una de las cajas con un “peso” en su extremo sumergido, de este modo se esperaba que los sensores mantuvieran una posición vertical y una misma profundidad en cada medición, en la imagen “B” de la Figura 12 se puede observar la manera en que quedaron protegidos e instalados los sensores.

Para la instalación del data logger, se acondicionó una caja de plástico “multipropósito” con tapa para protegerlo, en él se conectaron todos los sensores y se programó el registro de mediciones cada 15 minutos, creando archivos ordenados de los datos obtenidos para cada sensor, imagen “C” y “D” de la Figura 12.

En la imagen “H”, se observa el sector de estudio una vez terminada la instalación.



Figura 12: Instalación de sensores y data logger

**Gas:** la variación de volumen, se registró de manera semanal, monitoreando el flujómetro de gas los mismos días que se realizaron análisis de composición (calidad). La composición del biogás producido se analizó cada semana, realizando dos pruebas en cada análisis, una con filtro desulfurizador y otra sin éste. Para obtener la composición, se ocupó el analizador de gas Dräger (X-am 7000), el cual entregó la cantidad de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y oxígeno ( $\text{O}_2$ ) en porcentaje (%); además entregó la cantidad de monóxido de carbono (CO) y ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en partes por millón (ppm). Es importante mencionar que para que un gas tenga la calidad necesaria para su utilización, debe tener al menos 50% de  $\text{CO}_2$  y 50% de  $\text{CH}_4$  en su composición<sup>2</sup>; a medida que aumenta el porcentaje de  $\text{CH}_4$ , el biogás será de mejor calidad.

---

<sup>2</sup> María Teresa Varnero M, Químico Farmacéutico, Universidad de Chile, 2013 (Comunicación personal).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La cantidad y frecuencia de los datos obtenidos en cada variable, no fue la misma para ambos periodos, por este motivo el tratamiento fue diferente entre ellos.

### Periodo 1

Como sólo se obtuvieron datos discretos y para algunos días de la semana, la cantidad y representación de los datos en este periodo no fue suficiente para realizar análisis determinantes, por esto el tratamiento se basó sólo en la aplicación de análisis de correlación entre pares de variables (temperaturas). Dado lo anterior, el enfoque del periodo sólo fue exploratorio, observando de manera general el comportamiento de las variables.

Como primera actividad se graficaron los datos obtenidos de las temperaturas de aire, biodigestor, descarga, colector, estanque y suelo; en función de los meses monitoreados, lo que permitió obtener una visión general del comportamiento de éstas en el tiempo, estos gráficos se presentan en las figuras 12 a la 17; los datos utilizados se encuentran en los apéndices I al VII.

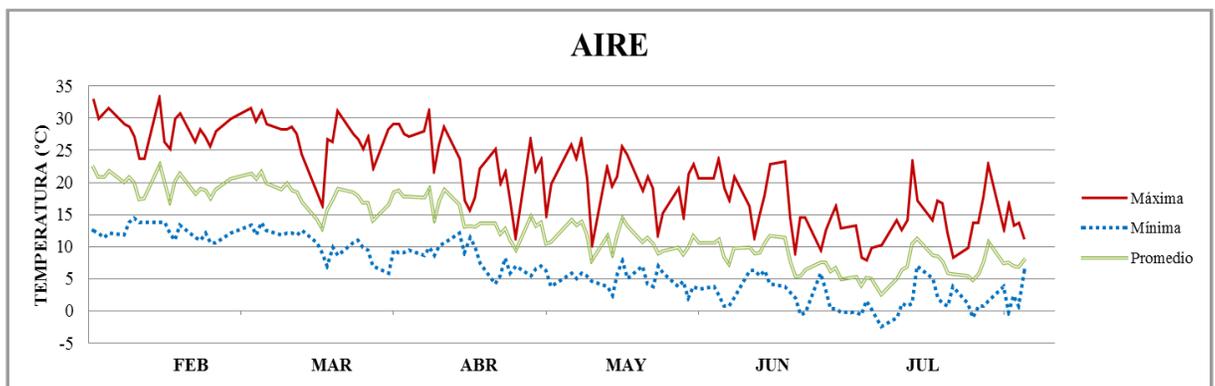


Figura 12: Temperatura del aire de la estación meteorológica

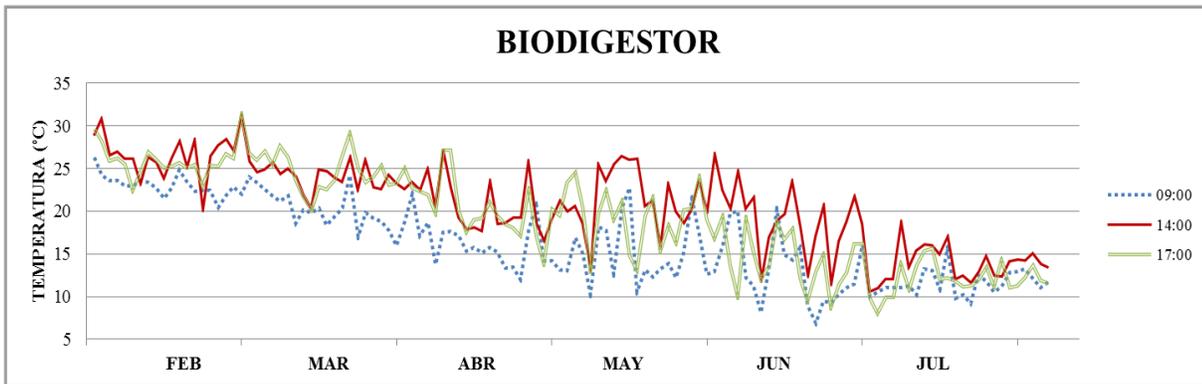


Figura 13: Temperatura superior del biodigestor

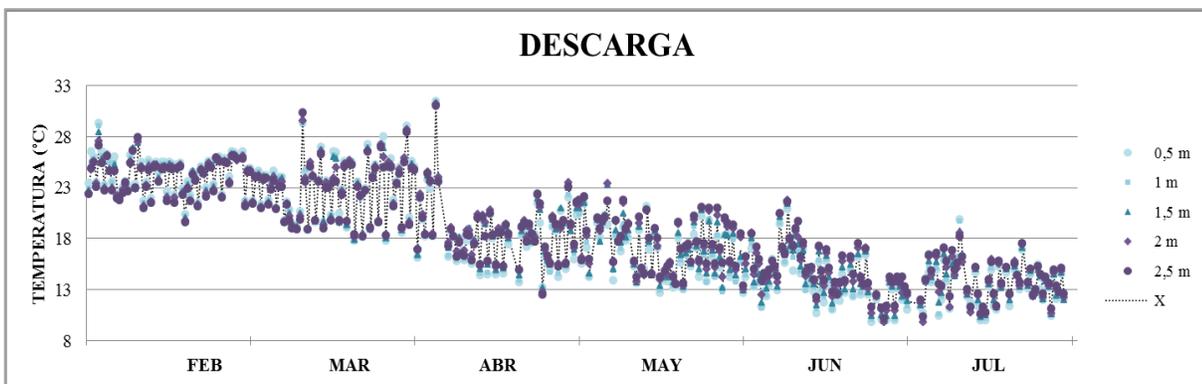


Figura 14: Temperatura de la zona de descarga del biodigestor

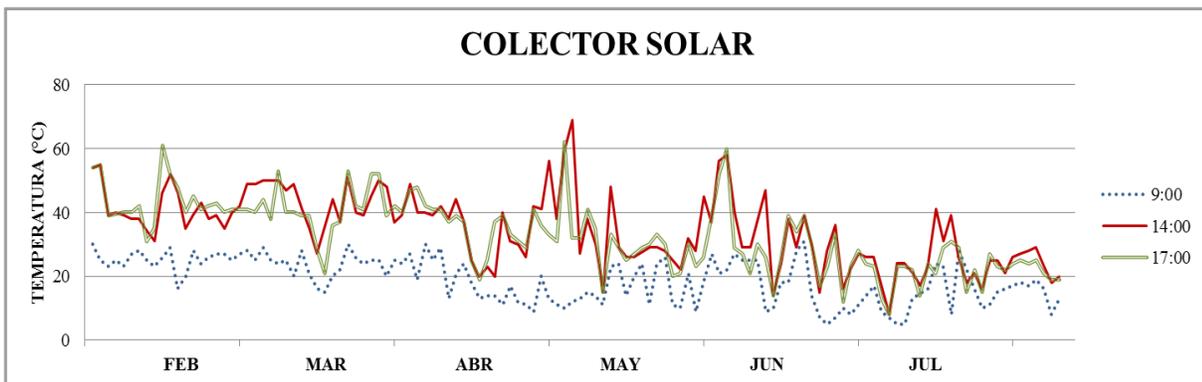


Figura 15: Temperatura del colector solar

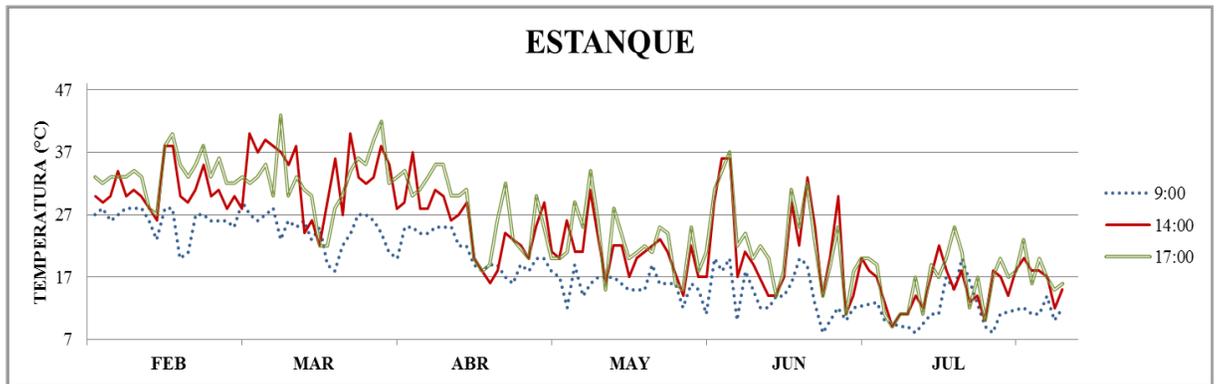


Figura 16: Temperatura del estanque de agua

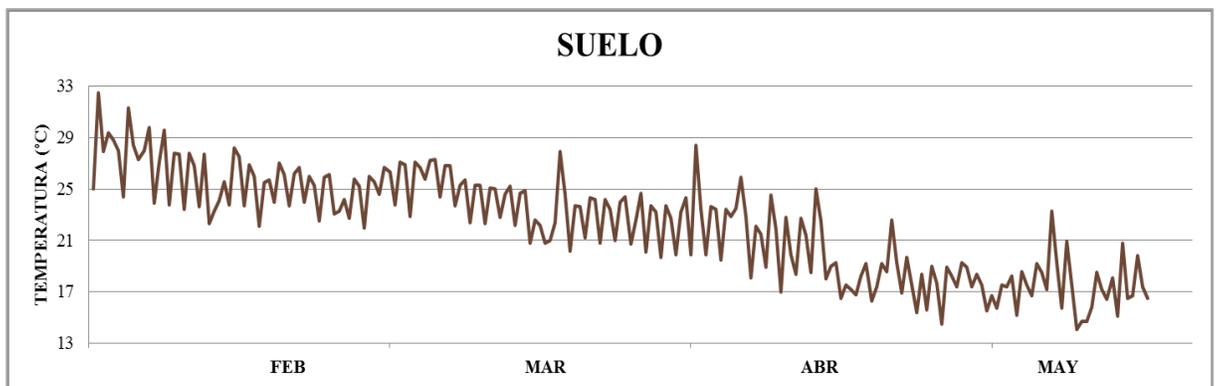


Figura 17: Temperatura de suelo a 0,5 m de profundidad

Se obtuvieron datos discretos para el periodo completo (febrero a julio) sólo para 5 de las 6 variables en análisis (aire, biodigestor, descarga, colector y estanque). Para la temperatura de suelo no se obtuvo datos para el periodo completo; dado que extrajeron el sensor de la zona de estudio, por este motivo sólo se obtuvieron datos de esta variable hasta comienzos de mayo.

Con los datos obtenidos, se pudo observar que el comportamiento de las variables presentan una tendencia similar a la temperatura del aire, sin embargo su efecto no es determinante en el comportamiento de éstas; en general las temperaturas presentan fluctuaciones proporcionales menores a las presentadas por la temperatura del aire.

La temperatura de descarga presenta un comportamiento similar al de la temperatura de suelo a 0,5 m de profundidad, a pesar de que no se tiene la serie completa de los datos para esta última variable; se observa la estabilidad que presenta. La temperatura interna del biodigestor no debiera ser inferior a la de descarga; ya que de forma periódica se agregó mezcla de guano con agua del estanque, el cual de manera habitual se encontró entorno a los 15°C y de forma excepcional entre los 10 y 14°C.

El colector solar tuvo una importante y directa influencia en la temperatura del estanque, en ambas se presentan comportamientos similares a lo largo del periodo en monitoreo.

En general se observa que las variables poseen un equilibrio interno, que si bien la dinámica en la superficie presenta importantes fluctuaciones, las variables de temperatura de suelo y descarga presentan cierta estabilidad en el tiempo.

Por otra parte, se realizaron diagramas de dispersión para cada temperatura (colector, estanque, suelo, descarga y biodigestor) respecto a la temperatura del aire, también para la temperatura del colector con la del estanque y para la temperatura de suelo con la de descarga; estos diagramas se presentan en las figuras 18 a la 24. De este modo según Spiegel (1986), se pudo determinar de forma cualitativa con qué precisión una curva describe la relación entre las variables; pero para obtener un análisis cuantitativo de los datos, era necesario aplicar medidas de correlación. Dado lo anterior, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson (4), el cual indica si los datos en análisis poseen o no correlación lineal simple, así se obtuvo una aproximación de la relación existente entre cada par de temperaturas. El índice de Pearson oscila entre -1 y 1, entregando la correlación máxima en  $|\pm 1|$  y la nula en 0; es importante destacar que cuando el valor del coeficiente se acerca a cero, no significa la inexistencia de correlación dado que puede existir una fuerte correlación no lineal entre las variables, además cuando un coeficiente de correlación es alto (muy cercano a  $\pm 1$ ), no indica una dependencia directa de las variables (Spiegel, 1986).

$$r_{xy} = \frac{\frac{\sum XY}{N} - \bar{X}\bar{Y}}{S_x S_y} \quad (4)$$

Donde:

$S_x$  = desviación típica de la variable independiente

$S_y$  = desviación típica de la variable dependiente

Una vez obtenido el coeficiente de correlación lineal, se obtuvo el  $R^2$  o coeficiente de determinación (5) para los pares de temperaturas analizados. Por último, se buscó la regresión lineal que más se ajustara a los datos presentados por cada par de temperaturas analizados (6).

$$R^2 = r_{xy}^2 \quad (5)$$

$$y = a + bx \quad (6)$$

Donde:

$x$  = variable independiente

$y$  = variable dependiente

A continuación se presenta la información correspondiente a las correlaciones, diagramas de dispersión y la regresión aplicable a cada par de variables.

### Correlación entre la temperatura del aire y la del colector solar

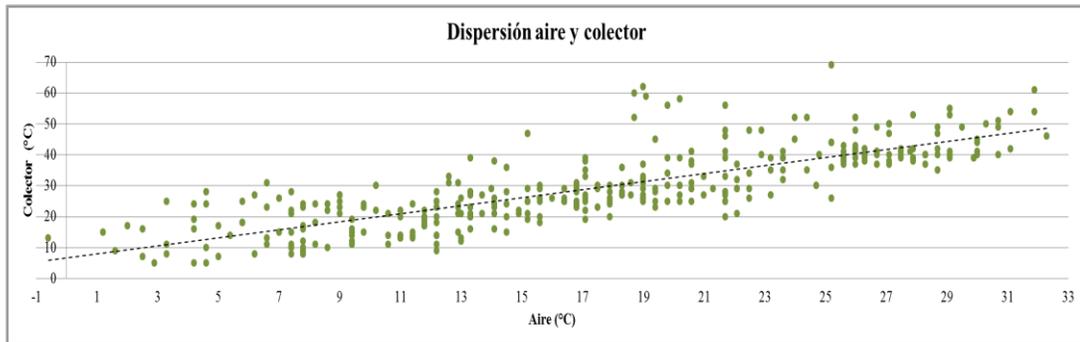


Figura 18: Dispersión entre la temperatura del aire y la del colector solar

El coeficiente de correlación lineal para este par de temperaturas fue  $r = 0,805$ , el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,649$ . Con lo anterior se obtuvo que la temperatura del aire explica en un 64,9% la temperatura del colector solar, lo cual indica que existe un 35,1% de la temperatura del colector solar que no se explicaría con la temperatura del aire. Con los datos utilizados en este análisis, se obtuvo la función de regresión lineal que más se ajustó a estas variables; en este caso, la función de regresión viene dada por  $y = 6,7082 + 1,2964 * x$ ; donde “y” es la temperatura del colector y “x” la del aire.

### Correlación entre la temperatura del aire y la del estanque

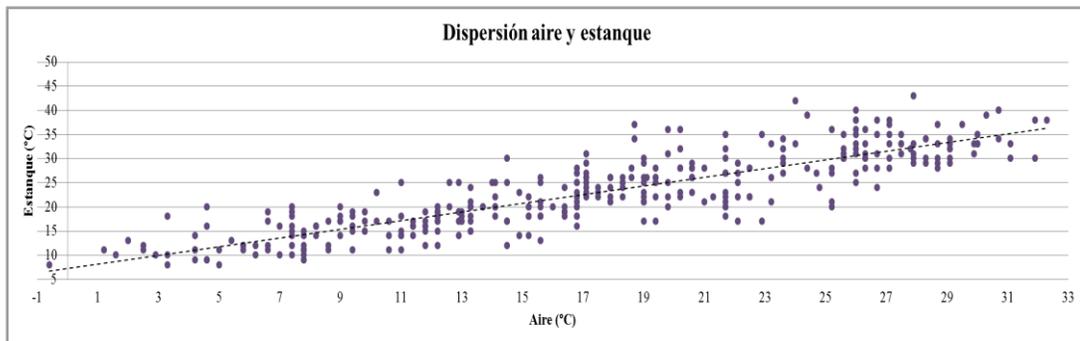


Figura 19: Dispersión entre la temperatura del aire y la del estanque

El coeficiente de correlación lineal para este par de temperaturas fue  $r = 0,867$ , el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,752$ . Con lo anterior, la temperatura del aire explica en un 75,2% la temperatura del estanque de agua, esto indica que existe un 24,8% de la temperatura del estanque que no puede ser explicado sólo con la temperatura del aire. Con los datos de este análisis, se obtuvo la función de regresión lineal que más se ajustó a las

variables; la función de regresión en este caso fue  $y = 7,321 + 0,8998 * x$ ; donde “y” es la temperatura del estanque y “x” la del aire.

### Correlación entre la temperatura del aire y la de suelo

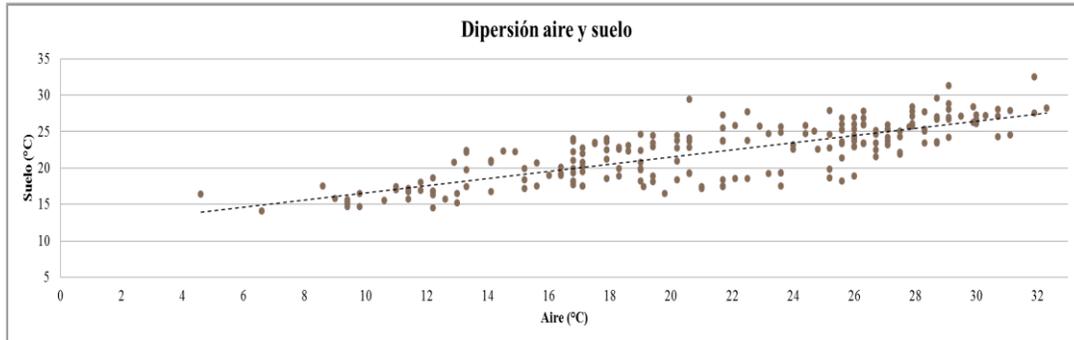


Figura 20: Dispersión entre la temperatura del aire y la de suelo

El coeficiente de correlación lineal para este par de temperaturas fue  $r = 0,786$ , el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,618$ . Con lo anterior se obtuvo que la temperatura del aire explica en un 61,8% la del suelo, quedando un 38,2% de la temperatura de suelo que no es posible explicar teniendo sólo la temperatura del aire. Con los datos utilizados en este análisis, se obtuvo la función de regresión lineal que más se ajustó a estas variables; la función de regresión fue  $y = 0,4912 + 11,7293 * x$ ; donde “y” es la temperatura del suelo y “x” la del aire.

### Correlación entre la temperatura del aire y la descarga

La temperatura de descarga utilizada en esta correlación, fue la registrada a 1,5 m de profundidad; ya que, presentó la menor desviación respecto al promedio de las profundidades en esta variable.

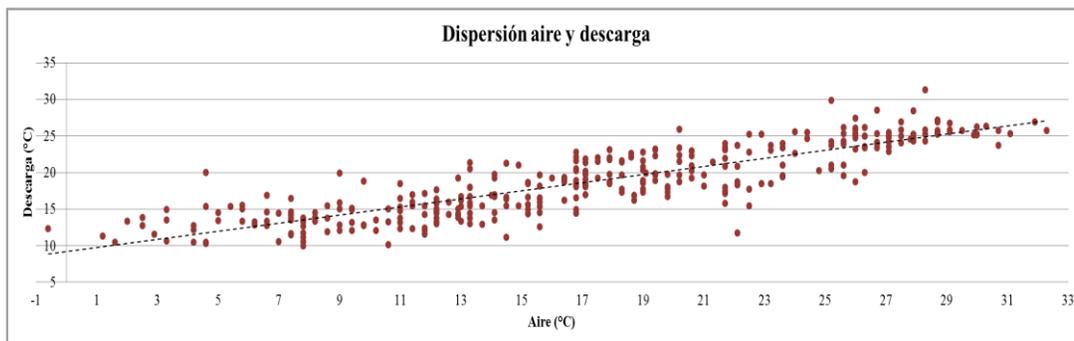


Figura 21: Dispersión entre la temperatura del aire y la descarga

El coeficiente de correlación lineal para este par de temperaturas fue  $r = 0,872$ , el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,761$ . Con lo anterior se obtuvo que la temperatura del aire explica en un 76,1% la temperatura de la descarga, quedando un 23,9% de la temperatura de descarga que no es posible explicar sólo con la temperatura del aire. Con los datos utilizados en este análisis, se obtuvo la función de regresión lineal que más se ajusta a estas variables; la función de regresión fue  $y = 9,2297 + 0,5519 * x$ ; donde “y” es la temperatura de descarga y “x” la del aire.

### Correlación entre la temperatura del aire y la del biodigestor

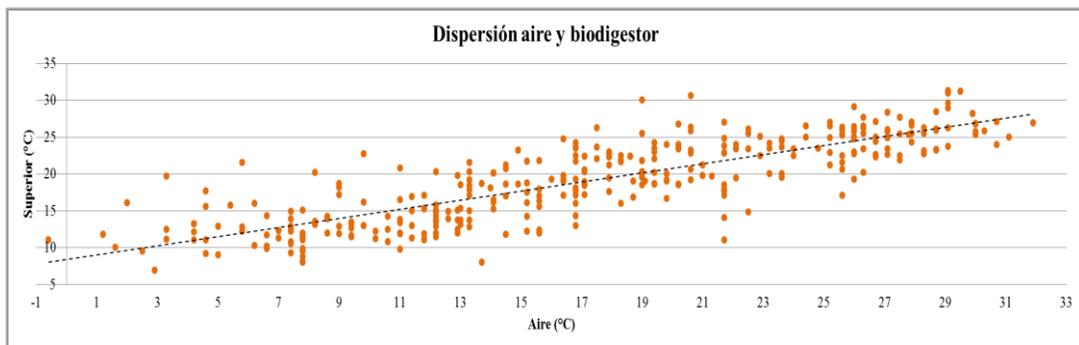


Figura 22: Dispersión entre la temperatura del aire y la del biodigestor

El coeficiente de correlación lineal para este par de temperaturas fue  $r = 0,833$ , el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,695$ . Con lo anterior se obtuvo que la temperatura del aire, explica en un 69,5% la temperatura del biodigestor, quedando un 30,5% de la temperatura del biodigestor que no puede explicarse por la temperatura del aire. Con los datos utilizados en este análisis, se obtuvo la función de regresión lineal que más se ajustó a estas variables; la función de regresión en este caso fue  $y = 8,4326 + 0,6165 * x$ ; donde “y” es la temperatura del biodigestor y “x” la del aire.

### Correlación entre la temperatura de suelo y la descarga

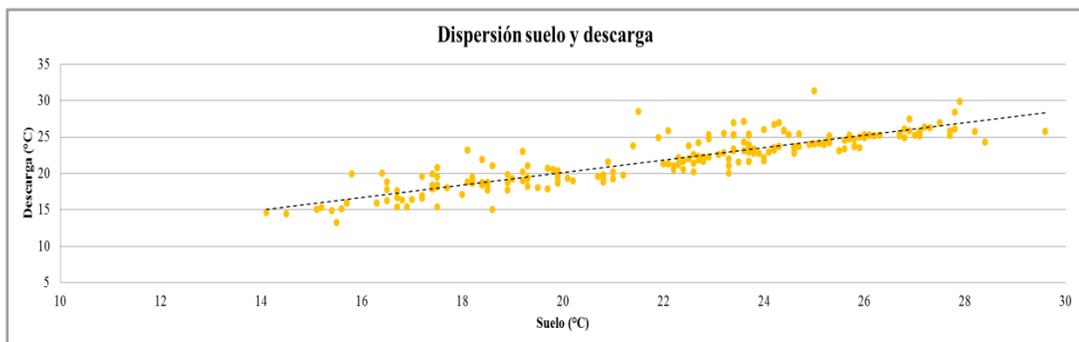


Figura 23: Dispersión entre la temperatura de suelo y la descarga

El coeficiente de correlación lineal para este par de temperaturas fue  $r = 0,885$ , el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,783$ . Con lo anterior se deduce que la temperatura del suelo explica en un 78,3% la temperatura de descarga, donde un 21,7% de la temperatura de descarga no puede explicarse con la temperatura de suelo. Con los datos utilizados en este análisis, se obtuvo la función de regresión lineal que más se ajustó a estas variables; la función de regresión en este caso fue  $y = 3,0943 + 0,8515 * x$ ; donde “y” es la temperatura de descarga y “x” la del suelo.

### Correlación entre la temperatura del colector y la del estanque

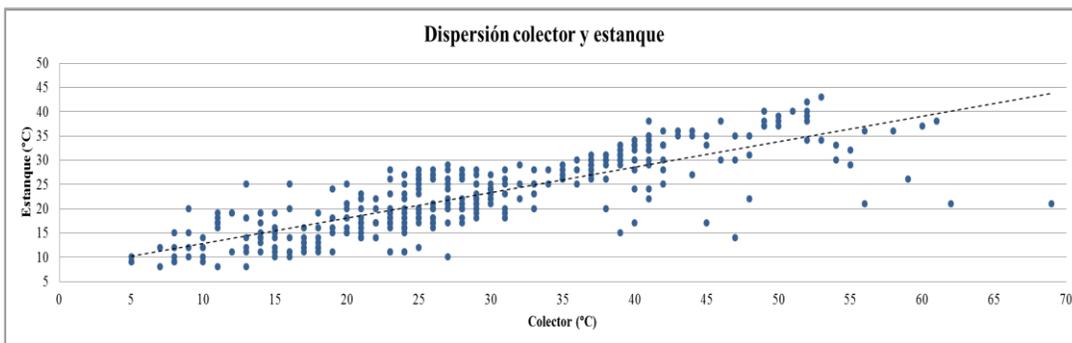


Figura 24: Dispersión entre la temperatura del colector y la del estanque

El coeficiente de correlación lineal para este par de temperaturas fue  $r = 0,814$ , el coeficiente de determinación  $R^2 = 0,662$ . Con lo anterior se deduce que la temperatura del colector explica en un 66,2% la temperatura del estanque, donde un 33,8% de la temperatura del estanque no puede explicarse con la temperatura del colector. Con los datos utilizados en este análisis, se obtuvo la función de regresión lineal que más se ajustó a estas variables; la función de regresión fue  $y = 7,6013 + 0,5247 * x$ ; donde “y” es la temperatura del colector y “x” la del estanque.

Los análisis recién descritos muestran que según los datos obtenidos para este periodo, las variables asociadas más relevantes en orden decreciente son, la temperatura de suelo con la de descarga, temperatura del aire con la de descarga, temperatura del aire con la del estanque y por último la temperatura del aire con la de superficie del biodigestor, la cual estaría cercana a un  $R^2$  de 0,7. Por otra parte las temperaturas que menos relacionadas se encontraron según los análisis desarrollados, fueron la temperatura del aire con la del suelo; dado que esta última puede deberse a una respuesta gradual de la dinámica terrestre superficial en el tiempo, por esto no se encontraron relaciones directas con los datos discretos obtenidos en este periodo.

Para este periodo no es posible establecer la relación entre la temperatura de suelo y la producción de biogás, dado que no se pudo monitorear la temperatura interna del biodigestor ni tener algún lineamiento para aproximarse a lo que ocurre en el interior, además no se realizaron análisis en la composición del gas generado, por lo cual no es

posible establecer la relación existente entre las condiciones ambientales con la generación y calidad del biogás.

Los monitoreos discretos del periodo no permiten postular relaciones entre las variables, dado la escasez de datos diarios y estacionales.

Los cálculos realizados, pueden presentar limitaciones e inconsistencia en los resultados, de modo que modelar las variables para otro sector con las funciones de regresiones obtenidas en esta sección, podrían presentar algunas deducciones erróneas.

Para obtener datos más consistentes es necesario monitorear de manera continua, esto permite observar relaciones, desfases y algún otro movimiento entre las variables en análisis; ya que, no se estarían tomando datos aislados sino que se tendría un set de datos importantes para cualquier cálculo y tratamiento que se realice. Además el periodo total de monitoreo también es relevante, porque mientras más grande sea la serie de datos es de esperar que las conclusiones sean cada vez más representativas de la realidad.

## Periodo 2

Debido a que en esta etapa se obtuvieron datos diarios continuos de las variables, la frecuencia de datos permitió a diferencia del periodo anterior, un tratamiento más consistente. Los datos obtenidos describieron el comportamiento de diferentes variables asociadas a la generación de biogás, se realizaron algunos análisis de series de tiempo ya que según Spiegel (1986), “una serie de tiempo es un conjunto de observaciones hechas en momentos determinados, normalmente a intervalos iguales”. Estos estudios son generalmente usados en estudios económicos, pero según Duchon y Hale (2012) el análisis de series de tiempos es ampliamente usado en estudios meteorológicos y climáticos, debido a que la mayoría de las variables observadas en la atmósfera y la superficie terrestre, están ordenadas en tiempo (o espacio).

**Temperatura:** para cada variable se realizaron gráficos con los datos obtenidos en el periodo de monitoreo, se analizaron algunos movimientos característicos de las series de tiempo, los movimientos de larga duración (tendencia), estacionales (influencia de las estaciones del año, meses, semanas o días) y los irregulares. Se suavizaron las series de datos, mediante promedios móviles aplicado cada 48 datos (eliminando variaciones y/o comportamientos irregulares) y por último se calcularon sus anomalías, las cuales fueron definidas como el valor del promedio diario menos la media de los promedios semanales, además se aplicó  $\pm 2\sigma$  como límites de variación. Los gráficos de las variables de temperatura con promedios móviles, se presentan en las figuras 25 a la 30 y las anomalías de cada variable, se presentan en las figuras 32 a la 36. Los datos obtenidos en este periodo se encuentran en los apéndices VIII al XII. Los valores de humedad de suelo, no se utilizaron en los análisis, sólo se realizó un gráfico de sus datos extremos y su promedio diario (Figura 31); que permitiera observar el comportamiento de esta variable, los datos se presenta en el Apéndice XIII.

### Promedios móviles

A continuación se presenta la serie de datos para cada variable, la aplicación de promedios móviles de orden diario y la variación de la humedad de suelo.

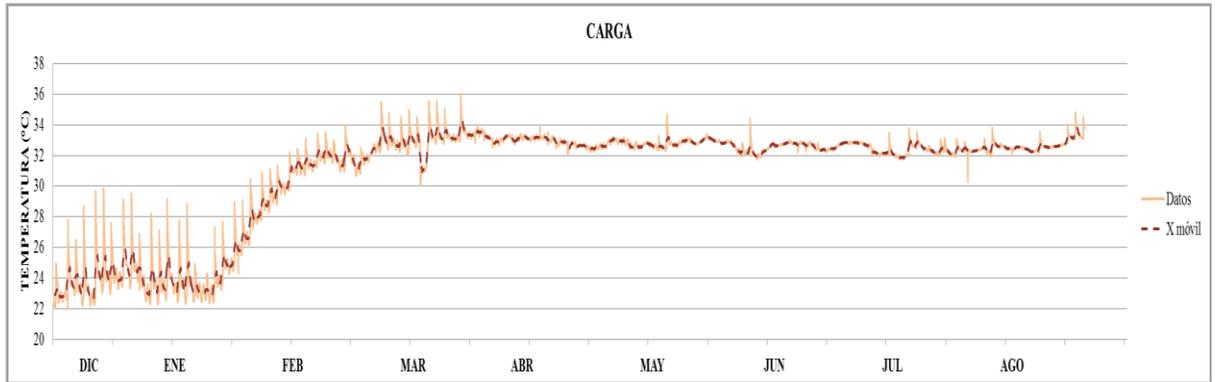


Figura 25: Temperatura de carga del biodigestor y suavizado por promedio móvil



Figura 26: Temperatura de la zona de descarga del biodigestor y suavizado por promedio móvil

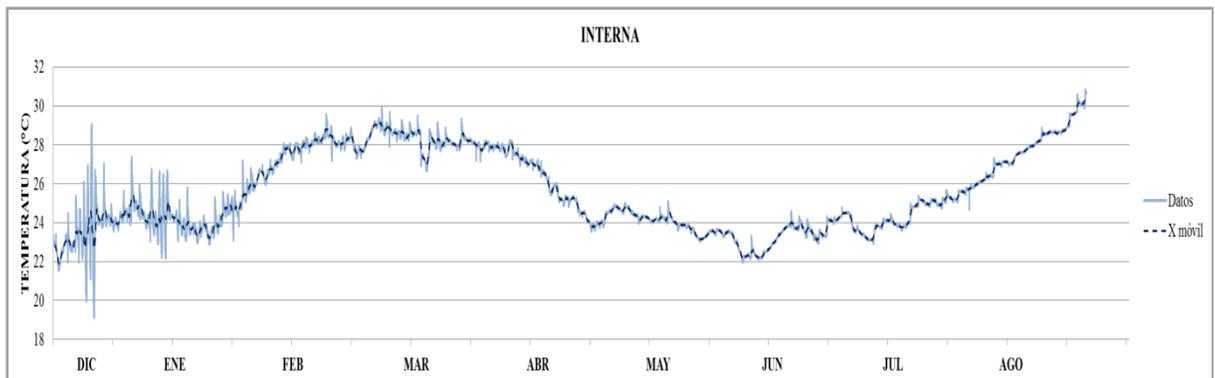


Figura 27: Temperatura interna del biodigestor y suavizado por promedio móvil



Figura 28: Temperatura de suelo a 0,5 m de profundidad y suavizado por promedio móvil

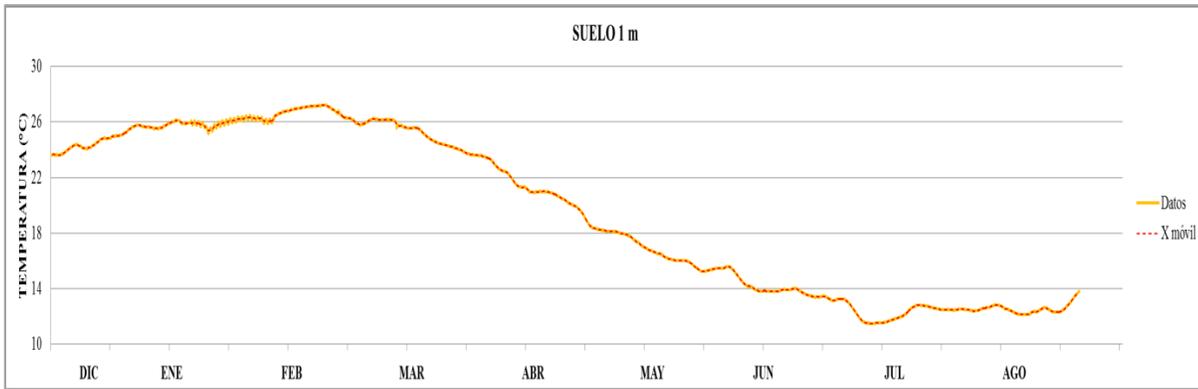


Figura 29: Temperatura de suelo a 1 m de profundidad y suavizado por promedio móvil

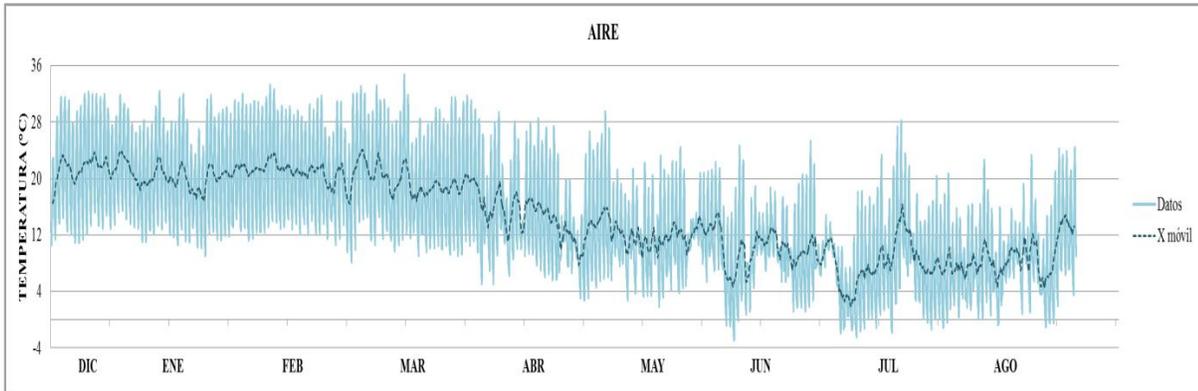


Figura 30: Temperatura del aire y suavizado por promedio móvil

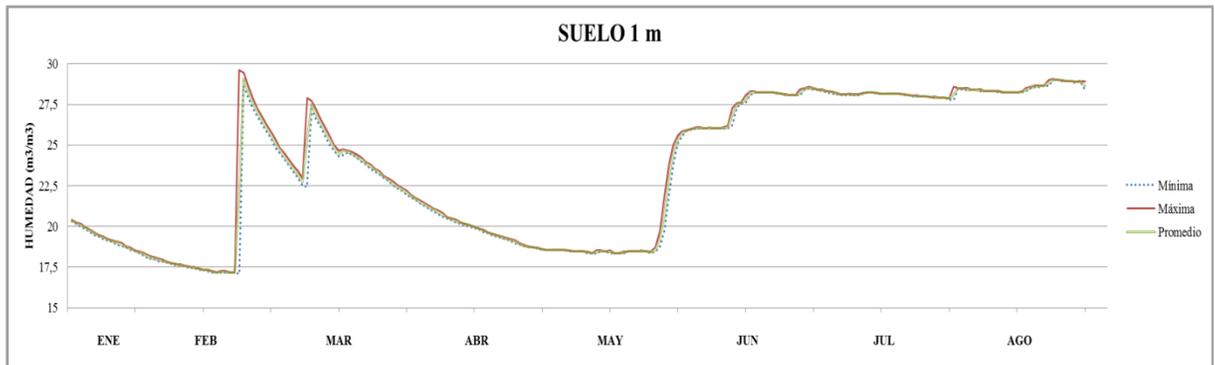


Figura 31: Humedad de suelo a 1 m de profundidad

Los datos y tendencias obtenidos, muestran que las temperaturas de descarga, suelo (1 m y 0,5 m) y de aire; presentan un comportamiento descendente a medida que avanzan los meses de análisis, lo que estaría asociado al cambio de estación propio de la zona de estudio. Sin embargo, la temperatura de carga presenta un aumento a partir de la segunda mitad de enero, manteniéndose constante en torno a los 32 y 33°C hasta agosto; lo cual pudo deberse gracias a la energía calorífica proveniente del colector solar, añadida cada vez que se realizaba la carga del sistema (alrededor de 3 veces cada semana).

Al tener los datos de carga y descarga del sistema durante el periodo completo de monitoreo, es posible estimar el comportamiento que tuvo la temperatura al interior del biodigestor. La temperatura interna se calculó por la diferencia obtenida entre la temperatura de carga con la de descarga; según lo anterior la temperatura interna tendría en la mayoría de los meses temperaturas sobre los 22°C; en enero empieza a experimentar un alza hasta principios de marzo, alcanzando valores cercanos a los 30°C, a partir de este mes desciende hasta fines de mayo, volviendo a experimentar un alza estando en los meses invernales, lo que permite recibir la primavera con temperaturas estables para el desarrollo de la digestión anaeróbica, el gráfico de esta variable se presenta en la Figura 27. Datos que se pueden contrastar con lo mencionado por Komemoto *et al.* (2009), quienes señalan que las mejores condiciones para producción de biogás estarían dadas por los rangos mesofílicos, dado que a temperaturas muy altas es posible que los microorganismos sean inhibidos.

La temperatura interna en el peor de los escenarios, es de esperar que se comporte igual que la temperatura de descarga, aun así la temperatura se mantendría constante y sus valores inferiores estarían entorno a los 15°C, exceptuando algunos días donde la temperatura podría haber estado entre los 12 y 15°C. A pesar de lo anterior, se tendría un ambiente de condiciones mínimas para el desarrollo de la digestión anaeróbica, pudiendo reflejar la capacidad que tiene este tipo de biodigestores, para mantener una temperatura adecuada a pesar de las fluctuaciones térmicas diarias y estacionales del sector en el que sean implementados; es importante destacar esta capacidad, dado que según Chae *et al.* (2008), si bien los microorganismos metanogénicos tienen la habilidad de adaptarse en el tiempo a

los cambios de temperatura, son bastantes sensibles y podría traducirse en un descenso en la producción de biogás.

Respecto a las temperaturas de suelo a 0,5 y a 1 m de profundidad, se observó que sus comportamientos fueron similares, pero que a 0,5 m la temperatura se vio más afectada por las fluctuaciones superficiales, en el periodo de monitoreo a esta profundidad la variable presentó un rango mayor de cambio a lo sucedido a 1 m. Con esto es posible esperar que la temperatura del biodigestor a 3 m de profundidad, presente una estabilidad mayor a lo que sucede a 1 m, evitando que se produzcan choques de variación térmica al interior del sistema. Si bien la temperatura de suelo a 1 m de profundidad presentó fluctuaciones térmicas, la mayoría de los meses mantuvo un comportamiento sobre los 14°C, esta cifra es comparable con la temperatura promedio anual del sector de estudio, lo cual arroja una relación entre esta cifra y lo que sucede a partir de 1 m de profundidad. En los datos monitoreados, parte de julio y agosto se muestran bajo los 14°C, sin embargo al finalizar agosto es posible observar un nuevo ascenso, lo que sumado a la llegada de la estación más cálida, podría significar la estabilidad de la temperatura por sobre los 14°C.

La humedad de suelo se monitoreó sólo como variable anexa al análisis. Hasta marzo se observó un comportamiento irregular, pero desde ahí comienza a estabilizarse hasta mediados de mayo, cuando las precipitaciones afectan su variación. Es importante mencionar que esta variable no pudo ser ocupada en los análisis, porque la zona de ubicación del biodigestor se encuentra aledaña a una acequia, la que cada cierto tiempo es superada por la cantidad de agua transportada, provocando inundación en el sector de estudio; acontecimientos que no reflejan las condiciones ambientales normales.

Para evaluar la normalidad de las variables, se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov; ya que según Canavos (1988), la aplicación de este test es superior a la prueba de bondad de ajuste chi-cuadrado, cuando los datos involucran una variable aleatoria continua. Este test se basa en una comparación entre las funciones de distribución acumulativas que se observan en una muestra ordenada. La aplicación de esta prueba de normalidad sirvió para visualizar si a medida que aumentaba el tamaño de la muestra, ésta tendía a adquirir la forma de la distribución normal.

Los análisis de normalidad para los datos de temperatura, arrojaron que las variables presentaron un comportamiento normal.

## Anomalías

A continuación se presentan los análisis de anomalías, aplicados a las variables de temperatura monitoreadas en este periodo.

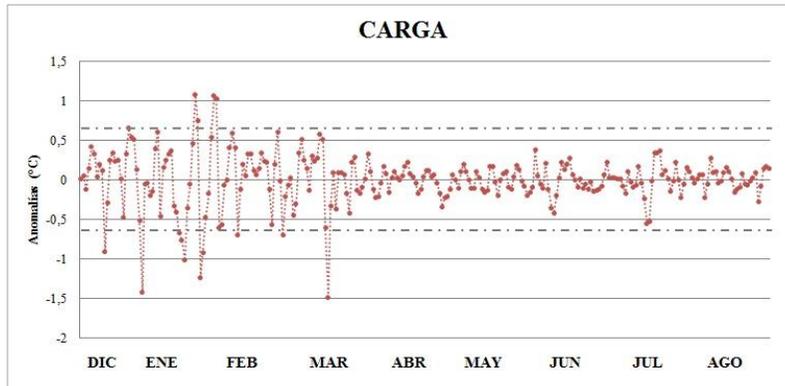


Figura 32: Anomalías de la temperatura de carga

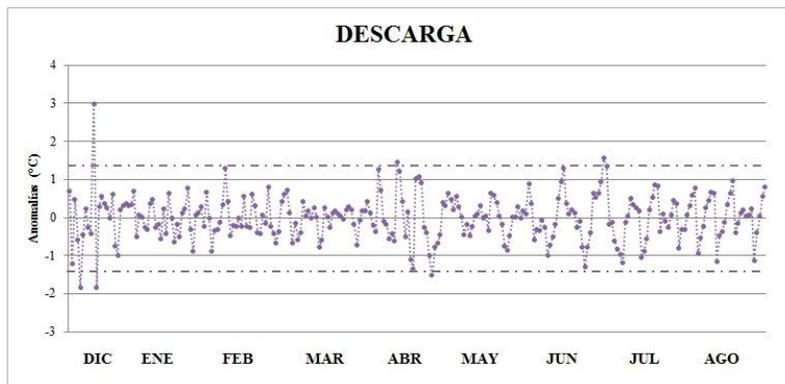


Figura 33: Anomalías de la temperatura de descarga

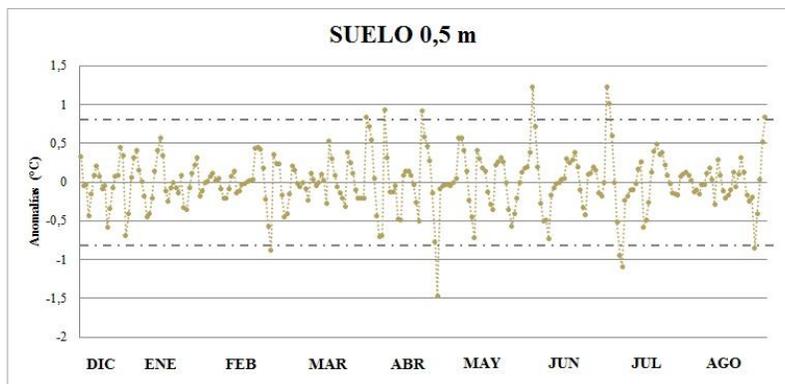


Figura 34: Anomalías de la temperatura de suelo a 0,5 m

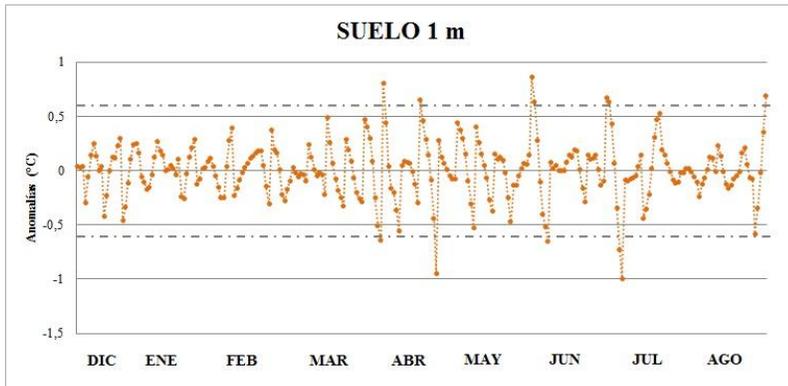


Figura 35: Anomalías de la temperatura de suelo a 1 m

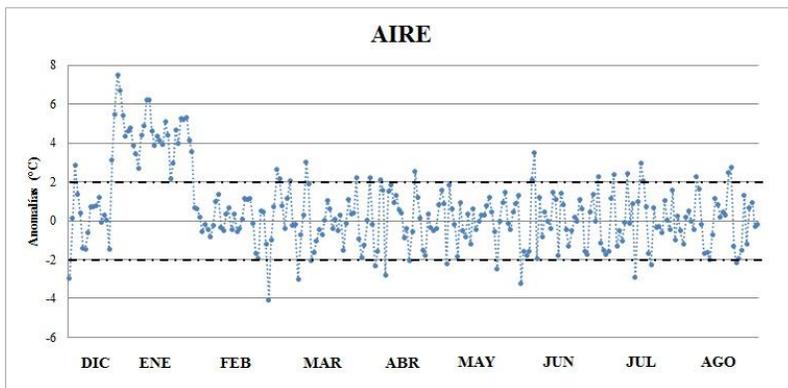


Figura 36: Anomalías de la temperatura de aire

En el análisis de anomalías realizado, se pudo obtener cuáles y cuántos de los datos para cada una de las variables térmicas, se escaparon de los límites definidos a lo largo del periodo de monitoreo. Así para la temperatura de carga, se presentaron 14 datos fuera del rango, donde la mayoría se ubicó hasta mediados de enero y en menor proporción hasta marzo; a partir de este mes no se presentaron variaciones de los datos fuera del rango de tolerancia. Para la temperatura de descarga, se presentaron no más de 6 datos que quedaron ubicados fuera del rango de tolerancia definido. Las temperaturas de suelo, presentaron no más de 10 datos que se encontraron fuera del rango definido, lo que reafirma que el comportamiento de esta variable se mantiene constante a pesar del cambio de estación. La temperatura que presentó mayor cantidad de datos que se encontraron fuera del rango definido de tolerancia, fue la temperatura del aire concentrando la mayoría de estos en el mes de enero; esta diferencia con respecto a las otras variables puede deberse a su importante dinámica diaria y estacional.

## Relación funcional entre variables

Se modeló la relación existente entre la temperatura del aire (máxima y mínima) y las de suelo; graficando los promedios diarios de las temperaturas, para observar a cuál de estas extremas el comportamiento de las temperaturas de suelo era más cercana. Una vez identificada la variable extrema a la cual se ajustaban mejor las temperaturas de suelo, se aplicaron relaciones funcionales, obteniendo de este modo la función con el coeficiente de determinación mayor. Los gráficos y funciones de los análisis descritos, se muestran en las figuras 37 a la 43.

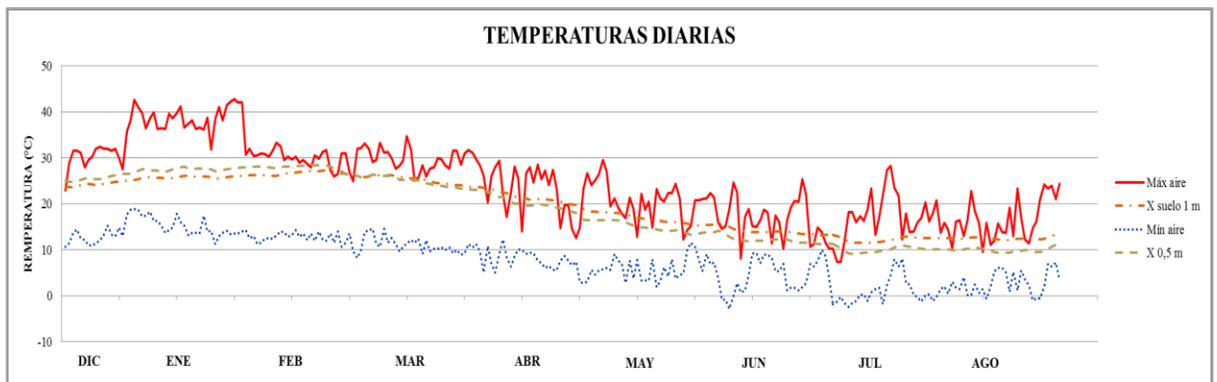


Figura 37: Variación de las temperaturas extremas del aire y las de suelo

Se observó que la temperatura promedio diaria del suelo tanto a 0,5 m como a 1 m de profundidad, se ajustaron mejor a las temperaturas máximas diarias del aire.

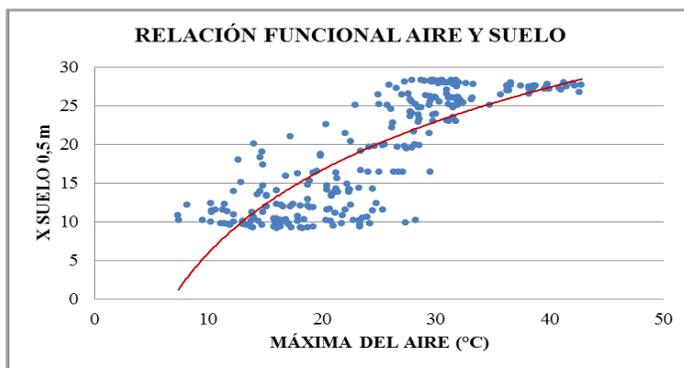


Figura 38: Función logarítmica de temperatura del aire y de suelo (0,5 m)

La función logarítmica que mejor se ajustó a los datos utilizados fue,  $y = 15,428 * \ln(x) - 29,497$  con un  $R^2 = 0,6598$ .

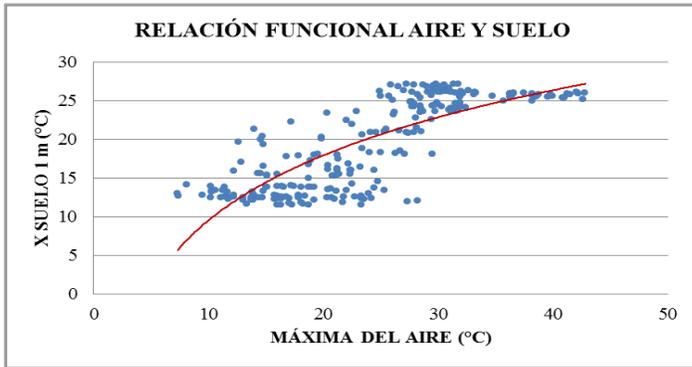


Figura 39: Función logarítmica de temperatura del aire y de suelo (1 m)

La función logarítmica que mejor se ajustó a los datos utilizados fue,  $y = 12,145 * \ln(x) - 18,432$  con un  $R^2 = 0,6405$ .

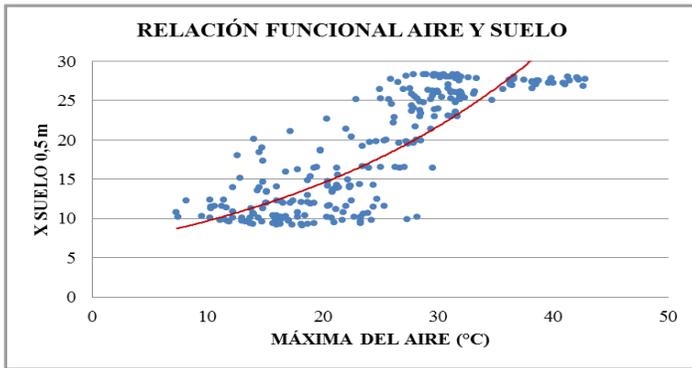


Figura 40: Función exponencial de temperatura del aire y de suelo (0,5 m)

La función exponencial que mejor se ajustó a los datos utilizados fue,  $y = 6,4701 * e^{0,0404x}$  con un  $R^2 = 0,6791$ .

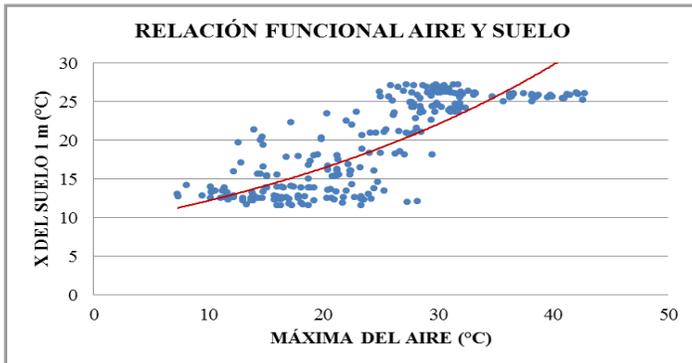


Figura 41: Función exponencial de temperatura del aire y de suelo (1 m)

La función exponencial que mejor se ajustó a los datos utilizados fue,  $y = 9,0266 * e^{0,0298x}$  con un  $R^2 = 0,6565$ .

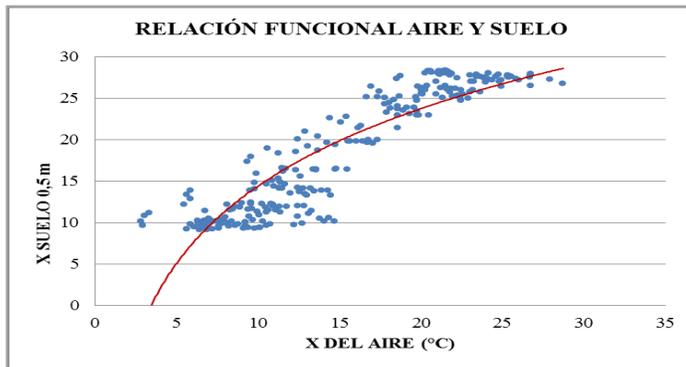


Figura 42: Función logarítmica de temperatura del aire y de suelo (0,5 m)

La función logarítmica que mejor se ajustó a los datos utilizados fue,  $y = 13,4321 * \ln(x) - 16,479$  con un  $R^2 = 0,7853$ .

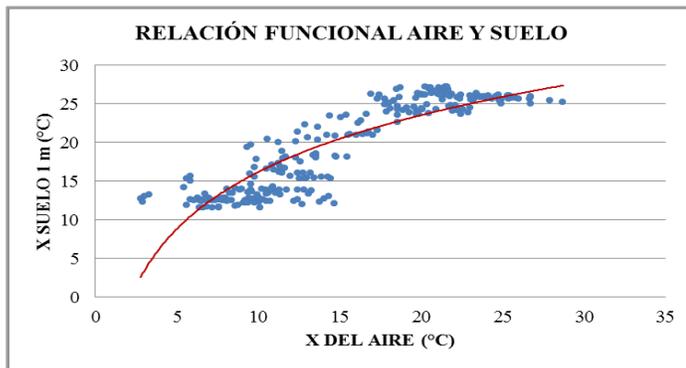


Figura 43: Función logarítmica de temperatura del aire y de suelo (1 m)

La función logarítmica que mejor se ajustó a los datos utilizados fue,  $y = 10,621 * \ln(x) - 8,3057$  con un  $R^2 = 0,769$ .

Si bien era de esperar que las mejores correlaciones estuvieran asociadas a las temperaturas máximas del aire, una vez realizados los análisis se obtuvo que las funciones con mejor coeficiente de determinación estuvieron asociadas a la temperatura promedio de suelo, pero con la temperatura promedio del aire; de este modo para 0,5 m de profundidad se obtuvo un  $R^2$  de 0,7853 y para 1 m de 0,769. Esto respalda la aplicación de la metodología de Santibáñez *et al.* (2010), para zonificación de la producción de biogás en la cual se considera la temperatura promedio anual, para estimar la temperatura de suelo a 1 m de profundidad.

## Zonificación para Chile

Una vez analizadas las tendencias y variaciones térmicas, se aplicaron correlaciones entre la temperatura de suelo y la del aire; buscando relacionar lo obtenido en el trabajo de Santibáñez *et al.* (2010). Lo anterior permitió aplicar los criterios de aptitud traducidos en un “índice térmico” al set de información climática actualizada de Santibáñez *et al.* (2013), donde se presenta la temperatura promedio del aire mensual para todo el país.

Con esta información y para modelar la aplicabilidad de esta tecnología en Chile o zonificación, se utilizaron herramientas de Sistema de Información Geográfica, con ellas se aplicaron criterios condicionales según el Cuadro 4 al raster con resolución espacial de 1 km, permitiendo determinar sectores con mayor potencial térmico para la producción de biogás; el “índice térmico” definido entre 1 y 5, traduce el número de meses que la temperatura de suelo supera los 15°C, manteniendo así el desarrollo de la digestión anaeróbica constante.

Cuadro 4: Criterios de aptitud para funcionamiento de biodigestores

Índice térmico	Criterio
1: No apto	Entre 0 y 1 mes con $T_s \geq 15^\circ\text{C}$
2: Baja aptitud	Entre 2 y 4 meses con $T_s \geq 15^\circ\text{C}$
3: Apto	Entre 5 y 6 meses con $T_s \geq 15^\circ\text{C}$
4: Muy apto	Entre 7 y 8 meses con $T_s \geq 15^\circ\text{C}$
5: Óptimo	Entre 9 y 12 meses con $T_s \geq 15^\circ\text{C}$

Fuente: Santibáñez et al., 2010

Donde:

$T_s$  = Temperatura de suelo

La temperatura límite se aplica a 15°C; ya que la literatura señala que es un valor crítico para el desarrollo de la digestión anaeróbica, si bien para los microorganismo psicrófilos este valor estaría dentro del rango óptimo, para los microorganismos mesófilos esta temperatura vendría a ser el límite inferior para su desarrollo (Lagrange, 1979). Además según FAO (1986), se menciona que “las pruebas han mostrado que dentro del recorrido de 15 a 35°C, la producción total de gas por tonelada de materia de carga es casi igual por periodos de fermentación”. A medida que disminuye la temperatura, el tiempo de retención hidráulico también aumenta, lo que podría significar a futuro que la implementación del sistema no sea rentable.

A continuación se presentan las zonas y categorías de aptitud en el país, para la aplicación de biodigestores y generación de biogás.

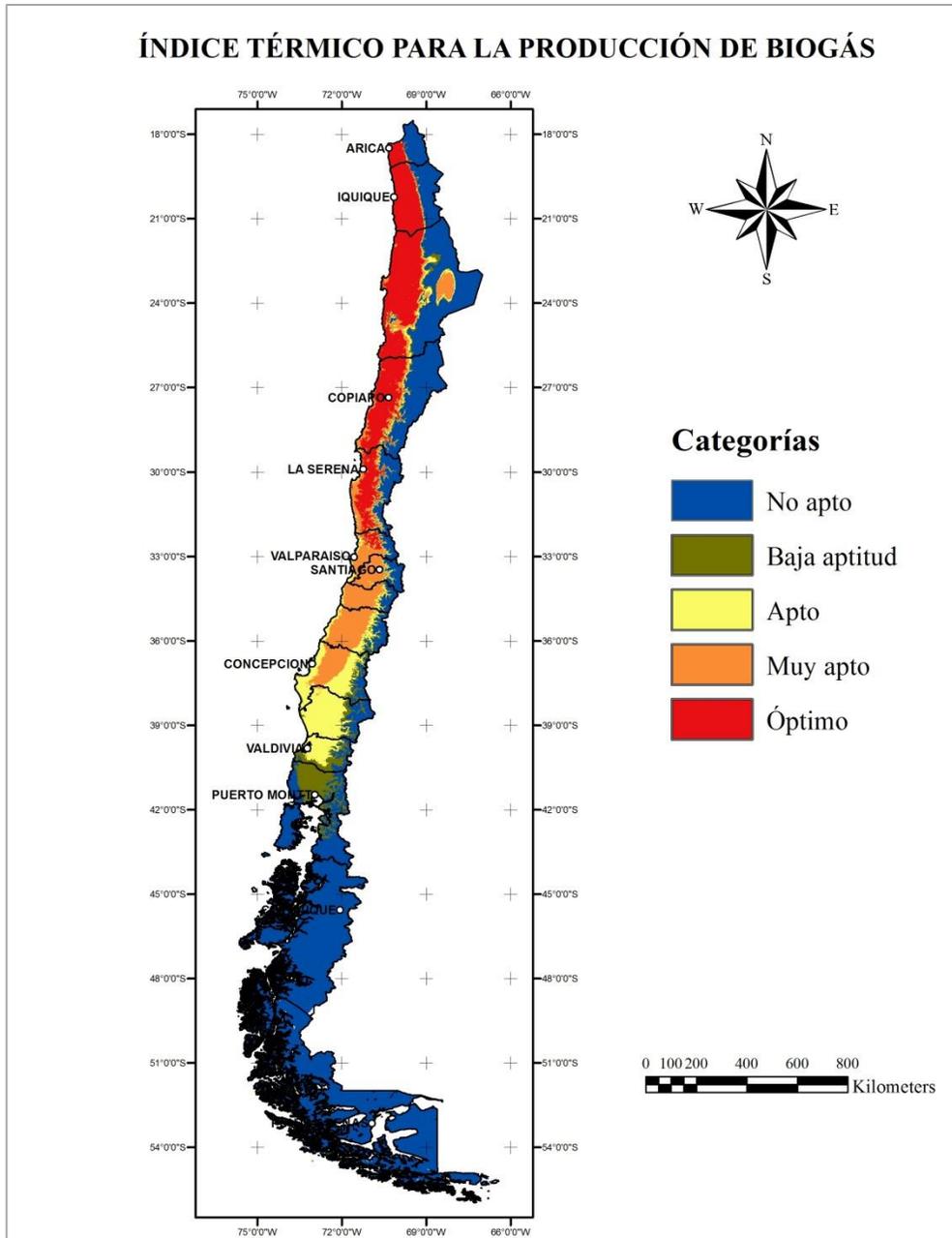


Figura 51: Zonificación para la aplicación de biodigestores

Con la zonificación presentada, es posible tener una estimación de los sectores dentro del país en los cuales la instalación de biodigestores y generación de biogás tendrían un importante nicho de desarrollo; se observa que al menos hasta la región de la Araucanía la instalación de esta tecnología sería “apta” y a medida que se avanza al sur, el criterio se convierte en “no apto” dado las condiciones climáticas propias de la zona. Por otra parte la zona centro y norte serían “muy aptas” y hasta “óptimas” desde Arica hasta La Serena, para producir biogás. Es importante mencionar que el sector de influencia cordillerana a lo largo de todo el país, no tendría las condiciones necesarias para la aplicabilidad de esta tecnología, sin embargo el altiplano se muestra como un sector “muy apto” en cuanto a condiciones climáticas.

Es relevante contrarrestar la información arrojada en la zonificación, respecto a las materias primas que cada una de las regiones posee; así se podrá identificar que la aplicación de la tecnología en algunas zonas que fueron catalogadas como “óptimas”, no poseen la materia orgánica utilizada en el presente estudio, ni tampoco la cantidad de agua ocupada por un biodigestor tipo chino; sin embargo esta situación, presentaría una oportunidad para utilizar otros residuos generados en estas zonas y/o la aplicación de otros tipos de biodigestores.

## Análisis de composición de biogás

La composición del biogás generado se obtuvo utilizando el analizador de gas una vez por semana, los valores obtenidos de estos análisis entre enero y agosto de 2012 (con y sin filtro desulfurizador), se presentan en las figuras 44 a la 50 para observar el comportamiento en cada uno de sus componentes; en los apéndices XIV y XV, se encuentran los datos utilizados. Además la variación de volumen fue registrada al momento de realizar los análisis de composición semanales.



Figura 44: Contenido de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> sin desulfurizadores

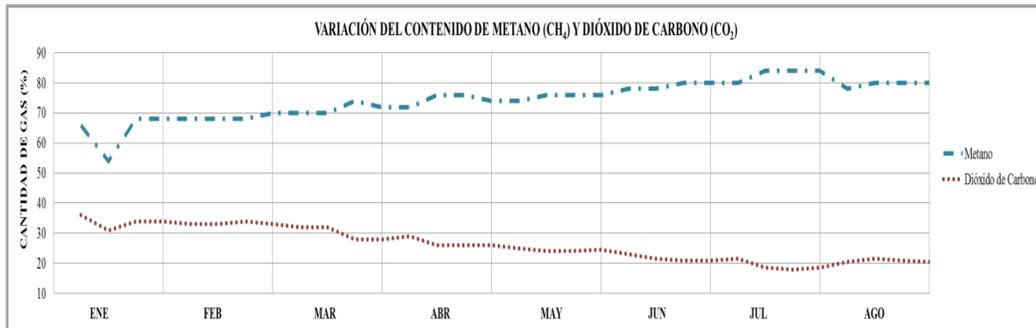


Figura 45: Contenido de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> con desulfurizadores

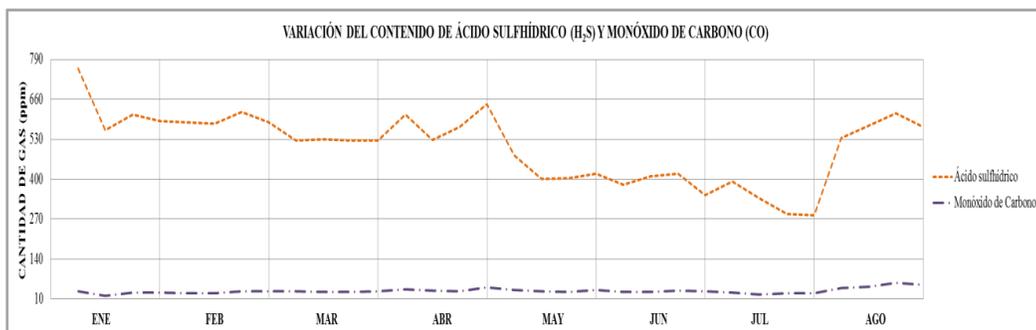


Figura 46: Contenido de H<sub>2</sub>S y CO sin desulfurizadores



Figura 47: Contenido de H<sub>2</sub>S y CO con desulfurizadores

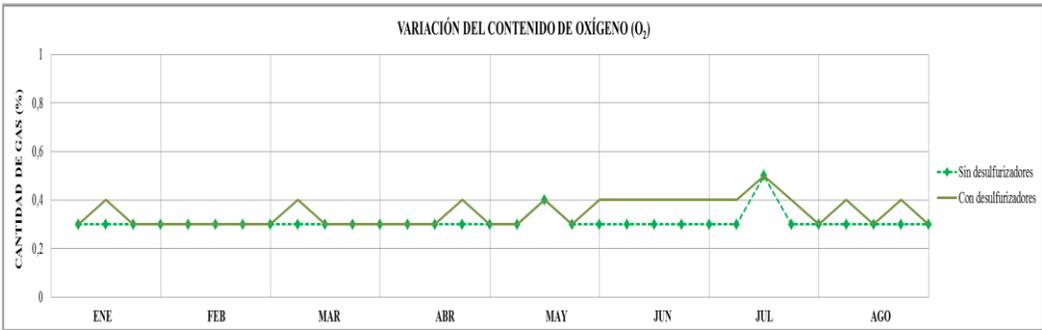


Figura 48: Contenido de O<sub>2</sub>



Figura 49: Contenido de H<sub>2</sub>S

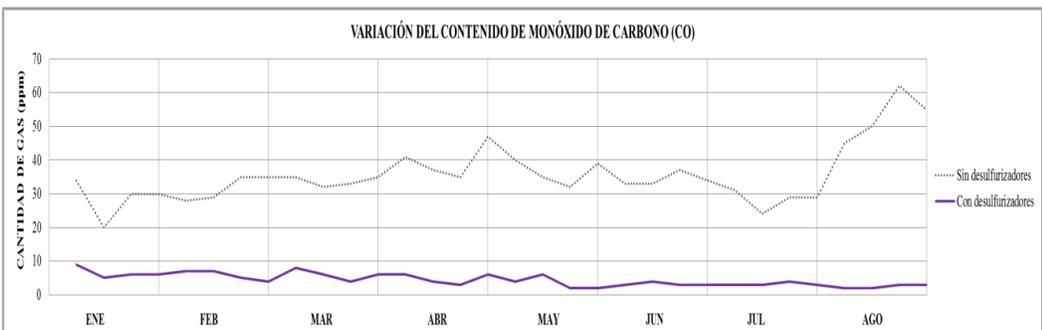


Figura 50: Contenido de CO

En las figuras recién presentadas, es posible apreciar la variación en la cantidad de los componentes del biogás arrojados por el analizador. El contenido de CH<sub>4</sub> a lo largo del periodo analizado, mostró un aumento del porcentaje en el tiempo, de manera inversa el CO<sub>2</sub> mostró un descenso comparado desde el inicio de los análisis. El contenido de H<sub>2</sub>S y CO en presencia de desulfurizadores, se diferenció de manera notoria comparado en ausencia de ellos. La eliminación de H<sub>2</sub>S, beneficia la mantención de las instalaciones e instrumentos metálicos; según Horikawa *et al.* (2004), para los métodos de absorción química en una solución de hierro catalizada y la absorción física en agua pura; muestra que si ambos métodos se someten a condiciones similares, se obtienen mejores resultados con la absorción química de hierro, que con la física de agua; logrando incluso la eliminación total de H<sub>2</sub>S. El O<sub>2</sub> se comportó casi de forma homogénea para todos los análisis. Según la información brindada por comunicación personal, el biogás generado presentó la calidad necesaria para haber sido utilizado en cualquiera de los meses monitoreados, sus valores de CH<sub>4</sub> siempre se presentaron sobre el 50% y a lo largo del tiempo por sobre el 70%. Con esto es de esperar que en zonas con características climáticas similares, se obtenga biogás con calidad como la presentada en este estudio.

Es importante mencionar que el analizador podría haber arrojado algunos valores poco representativos, a medida que se avanzó en el tiempo; esto debido a que hacia el fin del periodo de monitoreo, se hacía cada vez más necesaria la calibración el aparato. Con estos análisis, no es posible dar valores categóricos para la obtención de las mismas cualidades de biogás en otras zonas del país.

Debido a que la liberación de biogás se practicó casi de forma exclusiva las veces que se realizaban los análisis de calidad, fue difícil estimar la real producción que el biodigestor presentó a lo largo del periodo de monitoreo. Dado lo anterior se estimó que la producción de biogás era la esperada y postulada por literatura, con 40 kg de excreta de bovino es de esperar que el caudal diario sea de 1,60 m<sup>3</sup> de.



## CONCLUSIONES

La construcción de biodigestores subterráneos, favorecen la estabilidad de la temperatura interna, evitando ser afectada por fluctuaciones tanto diarias como estacionales del sector en el cual se instalen; asegurando así, una producción constante de biogás en gran parte del año.

Si bien existe una relación entre la temperatura de suelo y la ambiental, ésta no es directa; debido a que, el suelo posee un equilibrio térmico producto de miles de años de dinamismo con la superficie terrestre.

En Chile una gran parte del territorio es apta para la instalación de biodigestores de este tipo, quedando fuera la zona austral y la cordillera de Los Andes (excepto el sector altiplánico); debido a que el periodo con temperaturas adecuadas para el funcionamiento de esta tecnología, es muy corto para que su instalación sea rentable.

Chile presenta un importante potencial ganadero y agrícola, la implementación de biodigestores representaría una solución limpia y sustentable para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos en ambas industrias, generando un beneficio tanto medioambiental como poblacional.

Los biodigestores aparte de generar biogás, son excelentes productores de bioabono, asegurando también la producción de este producto en periodos cortos.



## BIBLIOGRAFÍA

Ahring, B.K. 1995. Methanogenesis in thermophilic biogas reactor. *Antonie Van Leeuwenhoek* 67: 91-102.

BCN (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Sistema de Información Territorial). s.a. *Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago*. [En línea]. Santiago, Chile. Consultado en: <<http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region13/clima.htm>>. Leído el 20 de abril de 2013.

Bolin, B. 1995. *Second assessment report: Climate change 1995*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva, Suiza. 81 p.

Botero, R. y T. Preston. 1987. *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. Manual para su instalación, operación y utilización*. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Cali, Colombia. 20 p.

Campos, E., A. Bonmatí, M. Teira y X. Flotats. 2001. *Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás*. Laboratori d'Enginyeria Ambiental. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl de la Universitat de Lleida. Jornades tècniques sobre energia. Barcelona, España. 18 p.

Campos, A. 2001. *Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria*. Tesis Doctor Ingeniero Agrónomo. Universidad de Lleida. Lleida, España. 371 p.

Canavos, G. 1988. *Probabilidad y estadística, aplicaciones y métodos*. Virginia Commonwealth University. McGraw-Hill Interamericana. México. 651p.

Carrillo, L. 2003. *Microbiología Agrícola*. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. 146 p.

Castillo, I. 2010. *Evaluación de la Factibilidad Técnica de la implementación de biodigestores en Venezuela*. Tesis Magíster en Ciencias Ambientales. Universidad Bolivariana. Caracas, Venezuela. 74 p.

Chamy, R. y E. Vivanco. 2007. *Potencial de biogás. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás*. Proyecto Energías Renovables No Convencionales en Chile (CNE/GTZ). Santiago, Chile. 80 p.

Chae, K.J., A. Jang, S.K. Yim, I.S. Kim. 2008. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource Technology* 99: 1-6

Clark, R. and R. Speece. 1989. The pH tolerance of anaerobic digestion. *Advanced water pollution research*. 27 p. *In: 5<sup>th</sup> International Conference on Water Pollution Research*. San Francisco, California, United States of America.

Coombs, J. 1990. The present and future of anaerobic digestion. *Anaerobic digestion: a waste treatment technology*. A. Wheatley (Ed.). *Critical reports on applied chemistry*. *Applied Science* 31: 93-138.

Cuesta, M., F. Martín, G. Vicente y S. Villar. 2009. Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento. *Informe de Vigilancia Tecnológica madri+d. Círculo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía (CITME)*. Madrid, España. 112 p.

Deublein, D. and A. Steinhauser. 2008. *Biogas from waste and renewable resources: An Introduction*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, Germany. 443 p.

Duchon, C. and R. Hale. *Time Series Analysis in Meteorology and Climatology. An Introduction*. Serie *Advancing Weather and Climate Science*. Wiley-Blackwell A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. United Kingdom. 262 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986. *Reciclaje de Materias Orgánicas y Biogás. Una experiencia en China*. Curso de capacitación. Chengdu, China. 400 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), MINENERGIA (Ministerio de Energía), PNUD (Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo) y GEF (Global Environment Facility). 2011. *Manual de Biogás. Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables"*. Santiago, Chile. 315 p.

Gallert, C., S. Bauer and J. Winter. 1998. Effect of ammonia on the anaerobic degradation of protein by a mesophilic and thermophilic biowaste population. *Applied Microbiology and Biotechnology* 50: 495-501.

González, Y. y S. Sandoval. 2005. *Diseño de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de purines de origen bovino*. Tesis Licenciado en Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile. 204 p.

- Guardado, J. 2008. Manual de explotación de una pequeña planta de biogás. PNUD, Gobierno de Chile, GEF, Cubasolar, Ilustre Municipalidad de Empedrado. Empedrado, Talca, Chile. 22 p.
- Guevara, A. 1996. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud, Lima. Lima, Perú. 80 p.
- GTZ (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). 1999. Biogas Digest, biogas basic. German Agency for Technical Cooperation (GmbH). Eschborn, Germany. 45 p.
- Hilbert, J. 2001. Manual para la producción de Biogás. Instituto de Ingeniería Rural. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Castelar. Buenos Aires, Argentina. 57 p.
- Horikawa, M.S., F. Rossi, M.L. Gimenes, C.M.M. Costa, M.G.C. da Silva. 2004. Chemical absorption of H<sub>2</sub>S for biogas purification. Brazilian Journal of Chemical Engineering 21: 415-422.
- Houghton, J.T. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press. Cambridge, United States of America. 873 p.
- Hwu, C., B. Donlon and G. Lettinga. 1997. Acute toxicity of oleate to acetate-utilizing methanogens in mesophilic and thermophilic anaerobic sludges. Enzyme and Microbial Technology 21: 297-301.
- INE (Instituto Nacional de Estadística). 2007. Censo Agropecuario y Forestal 2007. Existencia de ganado en las explotaciones agropecuarias y forestales por especie, según región, provincia y comuna. Chile. Consultado en: <[http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/censos\\_agropecuarios/censo\\_agropecuario\\_07\\_comunas.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07_comunas.php)>. Leído el 20 de octubre de 2012.
- INE (Instituto Nacional de Estadística), Chile. 2012. Medio Ambiente. Informe anual 2010. Subdirección de Operaciones; Departamento de Estadísticas Agropecuarias y Medioambientales. Santiago, Chile. 232 p.
- Karim, K., K. Thomas, R. Hoffmann, S. Drescher, D. DePaoli and M. Al-Dahhan. 2005. Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mixing. Bioresource Technology 96: 1607-1612.
- Komemoto, K., Y.G. Lim, N. Nagao, Y. Onoue, C. Niwa and T. Toda. 2009. Effect of temperature on VFA's and biogas production in anaerobic solubilisation of food waste. Waste Management 29: 2950-2955.

- Lagrange, B. 1979. Biomethane. Principes, techniques, utilisation. Vol.2. Edisual / Energies Alternatives. 249 p.
- Lay, J.J., Y.Y. Li and T. Noike. 1997. Influences of pH and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion. *Water Research* 31: 1518-1524.
- Lopes, W., V. Leite, S. Prasad. 2004. Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste. *Bioresources Technology* 94(2004) 261-266.
- McGarry, M. and J. Stainforth (Ed.). 1978. Compost, fertilizer and biogas production from human and farm wastes in the people's Republic of China. International Development Research Centre (IDRC). Ottawa, Canada. 94 p.
- Ortega, N. 2002. Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. Universitat de València. Boca Raton, Florida, United States of America. 53 p.
- Osorio, J., H. Ciro y H. González. 2007. Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 60(2): 4145-4162.
- Pavlostathis, S. and E. Giraldo-Gómez. 1991. Kinetics of Anaerobic Treatment. *Critical Reviews in Environmental Control. Water Science & Technology* 24: 411-490.
- Pedraza, G., J.D. Chará, N. Conde, S. Giraldo and L. Giraldo. 2001. Evaluation of polyethylene and pvc tubular biodigesters in the treatment of swine wastewater. *Livestock Research for Rural Development* 14(1):145-166.
- Piedrahita, D. 2000. Elementos para una tecnología sobre producción de biogás. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 137 p.
- Pinjing, H., S. Living, Y. Zhiwen, L. Guojian. 2001. Removal of hydrogen sulfide and methyl mercaptan by a packed tower with immobilized micro-organism beads. *Water Science Technology* 44: 327-333.
- Santibáñez, F., P. Santibáñez, C. Caroca, P. González y N. Gajardo. 2013. Plan de acción para la protección y conservación de la biodiversidad, en un contexto de adaptación al cambio climático. Ministerio del Medio Ambiente y Centro de Agricultura y Medio Ambiente, Santiago, Chile. 221 p.
- Santibáñez, P., C. Caroca, F. Santibáñez y M. Varnero. 2010. Estimación del potencial térmico de producción de biogás en Chile. En: Congreso Agronómico de Chile (61°, 26-29 de septiembre de 2010, Santiago, Chile). Universidad de Chile. Santiago, Chile. 3 p.

- Silva, P. 1991. Evaluación de un digestor para efluentes porcinos con fines de saneamiento y producción de energía. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 68 p.
- Soreanu, G., M. Al-Jamal and M. Béland. 2005. Biogas treatment using an anaerobic biosystem. 11p. *In: 3<sup>rd</sup> Canadian Organic Residual and Biosolids Management Conference* 502-513. Calgary, Canada.
- Spiegel, M., 1986. Teoría y problemas de Estadística. Rensselaer Polytechnic Institute. México. 357 p.
- Taylhardat, L. 1986. El biogás: Fundamentos e infraestructura rural. Instituto de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 68 p.
- Van Lier, J., J. Hulsbeek, A. Stams and G. Lettinga. 1993. Temperature susceptibility of thermophilic methanogenic sludge: implication for reactor start-up and operation. *Bioresource Technology* 13: 995-999.
- Varnero M.T. y J. Arellano. 1990. Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Informe Técnico. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 98 p.
- Varnero, M.T. 1991. Manual de reciclaje orgánico y biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 48 p
- Veeken, A. and B. Hamelers. 1999. Effect of temperature on hydrolysis rates of selected biowaste components. *Bioresource Technology* 69: 249-254.
- Verma, S. 2002. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes. Thesis Master of Science Degree in Earth Resources Engineering. Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines) Foundation School of Engineering & Applied Science. Columbia University. New York, United States of America. 50 p.
- Veyna, S. 2007. Efecto de control de pH, temperature y adición de nitrógeno sobre la digestión anaerobia de residuos hortícolas. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. México, D.F. 93 p.
- Weiland, P. 2006. Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany. *Engineering in Life Science* 6(3): 302-309.

Yadvika, S., T. Sreekrishnan, K. Sangeeta and R. Vineet. 2004. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques-a review. *Bioresource Technology* 96: 1607-1612.

## ANEXOS Y APÉNDICES

## Apéndice I: Compilación de datos febrero 2011

Día	Horario	°C										Volumen
		Colector	Estanque	Aire	Suelo	Superior	Descarga					
							0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	
<b>Martes 1</b>	9:00	30,0	27,0	24,7	25,0							53,8
	14:00	54,0	30,0	31,9	32,5							54,1
	17:00	54,0	33,0	31,1	27,9			41,0				54,3
<b>Miércoles 2</b>	9:00	25,0	28,0	20,6	29,4	26,3		30,4				55,2
	14:00	55,0	29,0	29,1	28,8	28,9						55,6
	17:00	55,0	32,0	29,1	28,0	29,6						55,7
<b>Jueves 3</b>	9:00	23,0	26,0	19,4	24,4	24,2		26,2				56,7
	14:00	39,0	30,0	29,1	31,3	30,9						57,1
	17:00	39,0	33,0	29,9	28,4	28,2						57,2
<b>Viernes 4</b>	9:00	25,0	27,0	21,7	27,3	27,0	26,2	26,1				58,2
	14:00	40,0	34,0	30,7	28,0							58,7
	17:00											
<b>Lunes 7</b>	9:00	23,0	28,0	16,8	23,9	23,6	23,4	22,9	22,7	22,5	22,4	62,5
	14:00	39,0	30,0	27,9	27,1	26,6	26,5	25,5	25,1	24,8	24,9	62,6
	17:00	40,0	33,0	28,7	29,6	25,9	26,0	25,8	25,7	25,5	25,5	63,0
<b>Martes 8</b>	9:00	27,0	28,0	20,2	23,8	23,6	23,5	23,4	23,3	23,4	23,1	63,9
	14:00	38,0	31,0	27,9	27,8	27,0	29,3	29,0	28,4	27,6	27,1	64,2
	17:00	40,0	34,0	28,3	27,7	26,2	26,5	26,1	25,8	25,6	25,4	64,4
<b>Miércoles 9</b>	9:00	28,0	28,0	19,4	23,4	23,0	23,2	23,2	23,1	22,9	22,7	65,3
	14:00	38,0	30,0	26,3	27,8	26,2	26,3	26,1	26,1	26,2	26,1	65,6
	17:00	42,0	33,0	26,3	26,8	25,5	25,7	25,4	24,9	24,7	24,6	65,8
<b>Jueves 10</b>	9:00	25,0	26,0	17,9	23,6	23,0	23,6	23,5	23,1	22,9	22,7	66,7
	14:00	34,0	28,0	22,5	27,7	26,1	26,0	25,4	25,2	24,7	24,6	66,8
	17:00	31,0	28,0	18,6	22,3	22,4	22,3	22,1	22,1	22,2	21,9	66,8
<b>Viernes 11</b>	9:00	23,0	23,0	17,5	23,3	23,6	22,2	22,1	22,0	21,9	21,8	66,8
	14:00	31,0	26,0	20,6	24,1	23,2	23,0	22,8	22,9	22,8	22,5	67,3
	17:00	35,0	27,0	23,6	25,6	24,7	23,6	23,4	23,3	23,3	23,5	67,8
<b>Lunes 14</b>	9:00	26,0	28,0	22,5	23,8	23,4	23,2	22,9	22,7	22,7	22,6	71,2
	14:00	46,0	38,0	32,3	28,2		26,2	25,9	25,7	25,5	25,4	71,5
	17:00	61,0	38,0	31,9	27,5	26,9	26,7	26,5	26,9	26,7	26,6	71,8
<b>Martes 15</b>	9:00	29,0	28,0	20,6	23,7	22,8	23,3	23,1	22,9	22,9	23,0	72,7
	14:00	52,0	38,0	26,0	26,9	25,7	27,7	27,5	27,4	27,5	27,9	72,9
	17:00	52,0	40,0	26,0	26,0	26,1	25,5	25,2	25,1	25,1	24,9	73,2
<b>Miércoles 16</b>	9:00	16,0	20,0	13,3	22,1	21,5	21,7	21,5	21,3	21,2	21,0	74,1
	14:00	46,0	30,0	21,7	25,5	23,8	23,5	23,1	23,1	23,2	23,1	74,4
	17:00	48,0	35,0	22,9	25,7	25,1	25,7	25,5	25,2	25,1	24,7	74,5
<b>Jueves 17</b>	9:00	20,0	21,0	17,9	24,0	22,8	21,9	21,8	21,7	21,6	21,5	75,4
	14:00	35,0	29,0	28,7	27,0	26,1	25,3	25,0	25,2	25,2	25,0	75,7
	17:00	40,0	33,0	30,0	26,1	25,3	25,5	25,4	25,2	25,2	25,1	75,8
<b>Viernes 18</b>	9:00	28,0	27,0	21,7	23,7	24,8	24,5	24,1	23,9	23,7	23,6	76,7
	14:00	39,0	31,0	29,9	26,2	28,2	25,5	25,3	25,1	25,0	24,8	77,0
	17:00	45,0	35,0	30,0	26,7	25,7	25,5	25,3	25,1	25,1	25,0	77,2
<b>Lunes 21</b>	9:00	24,0	27,0	16,8	24,0	23,5	22,6	22,3	22,1	22,0	21,7	80,8
	14:00	43,0	35,0	25,6	26,0	25,2	25,5	25,4	25,3	25,1	24,9	81,0
	17:00	41,0	38,0	26,0	25,3	25,0	25,3	25,2	25,1	25,1	24,8	81,3
<b>Martes 22</b>	9:00	26,0	26,0	17,9	22,5	22,3	22,3	22,1	22,0	22,0	21,5	82,1
	14:00	38,0	30,0	27,1	25,9	28,3	25,2	25,1	25,0	25,0	24,9	82,3
	17:00	42,0	33,0	27,9	26,1	25,5	25,4	25,3	25,2	25,2	25,1	82,6
<b>Miércoles 23</b>	9:00	27,0	26,0	18,6	23,1	22,4	22,9	22,7	22,6	22,5	22,3	83,4
	14:00	39,0	31,0	26,3	23,3	20,2	20,4	20,2	20,0	19,8	19,6	83,6
	17:00	43,0	36,0	26,0	24,2	23,0	23,6	23,4	23,2	23,0	22,9	83,9
<b>Jueves 24</b>	9:00	27,0	26,0	17,1	22,7	22,4	22,2	22,1	21,8	21,7	21,7	84,8
	14:00	35,0	28,0	24,4	25,8	26,5	24,5	24,6	24,6	24,4	24,3	84,9
	17:00	40,0	32,0	25,6	25,2	25,4	24,3	24,1	23,9	23,9	23,7	85,2
<b>Viernes 25</b>	9:00	25,0	25,0	17,1	22,0	20,5	21,5	21,4	21,3	21,3	21,2	86,0
	14:00	40,0	30,0	26,3	26,0	27,7	25,1	25,1	24,9	24,8	24,7	86,1
	17:00	41,0	32,0	27,8	25,6	25,3	24,7	24,6	24,5	24,5	24,4	86,5
<b>Lunes 28</b>	9:00	27,0	29,0	19,0	24,6	21,8	23,0	22,8	22,7	22,5	22,1	90,1
	14:00	42,0	28,0	28,7	26,7	28,4	25,6	25,5	25,4	25,4	25,1	90,3
	17:00	41,0	33,0	30,0	26,3	26,7	25,5	25,3	25,2	25,1	25,0	90,3

## Apéndice II: Compilación de datos marzo 2011

Día	Horario	°C										Volumen
		Colector	Estanque	Aire	Suelo	Superior	Descarga					
							0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	
<b>Martes 1</b>	9:00	28,0	27,0	21,7	23,8	22,9	23,3	23,2	23,1	22,8	22,6	90,4
	14:00	49,0	40,0	30,7	27,1	27,1	25,8	25,7	25,7	25,9	25,9	90,4
	17:00	41,0	32,0	29,1	26,9	26,2	26,0	25,8	25,8	25,7	25,6	91,2
<b>Miércoles 2</b>	9:00	25,0	26,0	19,4	22,9	22,0	22,3	22,2	22,1	22,0	92,2	
	14:00	49,0	37,0	29,5	27,1	31,2	25,8	25,7	25,7	25,6	25,5	92,4
	17:00	40,0	33,0	29,1	26,7	31,3	25,8	25,6	25,5	25,5	25,4	92,7
<b>Jueves 3</b>	9:00	29,0	27,0	22,1	25,8	24,0	24,0	23,8	23,7	23,6	23,4	93,5
	14:00	50,0	39,0	30,3	27,2	25,8	26,5	26,4	26,3	26,2	26,1	93,8
	17:00	44,0	35,0	30,0	27,3	26,8	26,4	26,2	26,2	26,2	26,1	94,0
<b>Viernes 4</b>	9:00	25,0	28,0	20,2	24,4	23,4	26,1	26,0	25,9	25,7	25,8	94,9
	14:00											
	17:00	38,0	30,0	25,6	26,8	26,0	26,5	26,3	26,1	26,1	25,8	95,4
<b>Lunes 7</b>	9:00	24,0	23,0	16,8	23,7	22,5	21,7	21,7	21,6	21,4	21,2	99,0
	14:00	50,0	37,0	27,1	25,3	24,9	24,8	24,8	24,8	24,7	24,5	99,3
	17:00	53,0	43,0	27,9	25,7	27,0	24,9	24,8	24,7	24,7	24,5	99,5
<b>Martes 8</b>	9:00	25,0	26,0	19,0	22,4	21,8	21,7	21,6	21,6	21,6	21,4	100,3
	14:00	47,0	35,0	27,1	25,3	25,7	24,4	24,4	24,2	24,1	24,0	100,6
	17:00	40,0	30,0	28,3	25,3	25,5	24,6	24,5	24,3	24,2	24,0	100,8
<b>Miércoles 9</b>	9:00	20,0	25,0	14,5	22,3	21,2	21,3	21,3	21,2	21,1	21,0	101,6
	14:00	49,0	38,0	26,7	25,1	24,4	24,2	24,2	24,1	23,9	23,8	101,8
	17:00	40,0	33,0	27,5	25,0	27,7	24,2	24,1	24,0	23,9	23,9	102,0
<b>Jueves 10</b>	9:00	28,0	26,0	18,3	22,8	21,8	21,8	21,8	21,6	21,4	21,3	102,9
	14:00	41,0	24,0	26,7	24,6	25,0	23,7	23,5	23,3	23,1	22,8	103,1
	17:00	39,0	31,0	25,6	25,2	26,3	24,6	24,3	24,2	24,0	23,7	103,4
<b>Viernes 11</b>	9:00	21,0	23,0	14,9	22,2	18,6	21,0	21,0	21,0	21,0	20,9	104,3
	14:00	35,0	26,0	23,2	24,7	24,1	24,0	23,9	23,7	23,4	23,1	104,4
	17:00	39,0	30,0	23,6	24,9	23,6	24,0	24,0	23,9	23,6	23,1	104,6
<b>Lunes 14</b>	9:00	16,0	25,0	14,1	20,8	20,1	19,8	19,8	19,7	19,7	19,6	107,8
	14:00	27,0	22,0	18,3	22,6	21,9	21,6	21,5	21,4	21,4	21,3	108,0
	17:00	28,0	22,0	16,8	22,2	21,7	20,8	20,6	20,5	20,2	19,8	108,2
<b>Martes 15</b>	9:00	15,0	19,0	12,9	20,8	19,8	19,4	19,2	19,2	19,3	19,0	108,9
	14:00											
	17:00	21,0	22,0	14,1	21,0	20,1	19,3	19,3	19,2	19,0	18,9	109,3
<b>Miércoles 16</b>	9:00	20,0	18,0	13,3	22,4	20,3	20,6	20,5	20,5	20,2	19,9	110,0
	14:00	44,0	36,0	25,2	27,9	24,9	29,4	29,2	29,8	29,6	30,3	110,2
	17:00	36,0	28,0	25,2	24,6	22,9	24,5	24,7	23,7	23,9	23,6	110,4
<b>Jueves 17</b>	9:00	22,0	22,0	17,1	20,2	18,4	18,8	18,8	19,0	18,9	18,9	111,0
	14:00	37,0	27,0	26,0	23,7	24,7	25,0	25,0	25,2	25,5	25,1	111,2
	17:00	37,0	30,0	25,6	23,6	22,5	24,0	23,9	24,3	24,2	24,1	111,4
<b>Viernes 18</b>	9:00	30,0	24,0	17,9	21,2	19,4	19,6	19,6	19,7	19,8	19,8	112,2
	14:00	51,0	40,0	30,7	24,3	24,0	23,8	23,8	23,7	23,7	23,6	112,3
	17:00	53,0	34,0	29,1	24,2	23,7	27,0	26,8	26,7	26,5	26,3	112,5
<b>Lunes 21</b>	9:00	26,0	27,0	17,1	20,8	20,4	19,6	19,6	19,7	19,3	19,0	115,6
	14:00	40,0	33,0	27,1	24,2	23,4	23,7	23,6	23,5	23,5	23,0	115,8
	17:00	42,0	36,0	26,3	23,4	26,5	23,5	23,4	23,3	23,3	23,0	116,1
<b>Martes 22</b>	9:00	24,0	27,0	16,8	21,0	24,2	20,3	20,2	20,2	19,9	19,8	116,7
	14:00	39,0	32,0	26,0	24,0	26,4	26,5	26,2	26,0	23,9	23,6	117,0
	17:00	41,0	35,0	26,0	24,4	29,1	26,4	26,1	25,8	25,0	23,6	117,2
<b>Miércoles 23</b>	9:00	25,0	26,0	15,6	20,7	17,0	20,5	19,5	19,6	19,6	19,8	117,6
	14:00	45,0	33,0	24,0	22,6	22,5	22,8	22,8	22,6	22,6	22,3	118,2
	17:00	52,0	39,0	24,4	24,7	25,0	25,6	25,4	25,4	25,3	25,1	118,3
<b>Jueves 24</b>	9:00	25,0	24,0	16,4	20,1	19,8	19,1	19,1	19,3	19,6	19,7	118,9
	14:00	50,0	38,0	27,1	23,7	26,0	25,7	25,7	25,4	25,7	25,3	119,3
	17:00	52,0	42,0	24,0	23,2	23,4	25,5	25,6	25,5	25,3	25,2	119,5
<b>Viernes 25</b>	9:00	20,0	21,0	13,3	19,7	19,2	17,8	17,9	17,9	18,1	18,4	120,1
	14:00	48,0	35,0	21,7	23,7	22,8	23,5	23,7	23,4	23,2	23,1	120,4
	17:00	39,0	32,0	20,2	22,7	24,0	22,0	22,1	22,3	22,1	22,2	120,6
<b>Lunes 28</b>	9:00	25,0	20,0	15,2	19,9	18,8	18,1	18,2	18,6	18,3	18,2	123,3
	14:00	37,0	28,0	27,1	23,2	22,6	22,9	22,8	22,8	22,6	22,7	123,7
	17:00	42,0	33,0	27,5	24,3	25,4	27,2	27,0	26,9	26,6	26,5	124,0
<b>Martes 29</b>	9:00	24,0	25,0	16,8	19,9	17,7	19,0	19,0	18,9	18,9	19,1	124,4
	14:00	39,0	29,0	27,9	28,4	24,3	24,0	24,2	24,3	24,2	23,9	124,8
	17:00	40,0	34,0	28,3	23,4	23,1	25,2	25,1	25,2	25,1	24,9	125,1
<b>Miércoles 30</b>	9:00	27,0	25,0	18,3	19,9	16,0	19,6	19,6	19,6	19,8	19,6	125,5
	14:00	49,0	37,0	28,7	23,6	23,2	27,2	27,3	27,1	27,2	27,0	125,9
	17:00	47,0	30,0	28,7	23,4	23,3	28,0	27,2	26,9	26,0	25,0	126,2
<b>Jueves 31</b>	9:00	19,0	24,0	17,1	19,5	18,8	17,8	17,9	18,0	18,3	18,3	126,6
	14:00	40,0	28,0	26,7	23,4	22,6	25,0	25,0	25,3	25,5	25,1	126,6
	17:00	48,0	31,0	26,0	22,9	25,0	25,8	25,4	25,3	25,2	25,0	127,1

## Apéndice III: Compilación de datos abril 2011

Día	Horario	°C										Volumen
		Colector	Estanque	Aire	Suelo	Superior	Descarga					
							0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	
Viernes 1	9:00	30,0	24,0	17,5	23,5	22,0	21,8	21,6	21,5	21,4	21,1	127,1
	14:00	40,0	28,0	26,3	25,9	23,4	23,6	23,5	23,5	23,3	23,4	127,4
	17:00	42,0	33,0	26,0	22,9	22,7	25,0	24,8	24,7	24,8	24,4	128,0
Lunes 4	9:00	25,0	25,0	16,8	18,1	17,1	18,6	18,7	18,8	18,9	19,1	130,5
	14:00	39,0	31,0	27,5	22,1	22,5	25,8	25,7	25,8	25,9	25,5	130,6
	17:00	41,0	35,0	26,7	21,5	22,3	29,0	28,7	28,5	28,7	28,4	131,2
Martes 5	9:00	29,0	25,0	19,4	18,9	18,7	20,0	19,8	19,8	19,6	19,3	131,4
	14:00	42,0	30,0	31,1	24,5	25,0	25,6	25,4	25,3	25,1	24,9	131,5
	17:00	41,0	35,0	27,5	21,9	21,9	25,1	25,0	24,9	24,9	24,7	131,7
Miércoles 6	9:00	13,0	25,0	11,0	17,0	13,8	16,1	16,2	16,4	17,0	16,9	132,3
	14:00	38,0	26,0	20,6	22,8	20,6	21,9	22,3	22,2	22,4	22,0	132,3
	17:00	37,0	30,0	19,0	19,9	19,7	19,9	20,1	20,3	20,4	20,0	132,5
Jueves 7	9:00	21,0	22,0	15,2	18,4	17,5	18,2	18,3	18,4	18,5	18,4	132,5
	14:00	44,0	27,0	25,2	22,7	27,0	23,8	24,0	24,2	24,5	24,4	133,3
	17:00	39,0	30,0	25,6	21,4	21,5	22,9	23,3	23,8	23,5	23,7	133,3
Viernes 8	9:00	24,0	22,0	17,9	18,5	17,6	18,2	18,2	18,4	18,5	18,3	133,3
	14:00	37,0	29,0	28,3	25,0	22,7	31,5	31,4	31,3	31,2	31,0	133,3
	17:00	37,0	31,0	26,7	22,5	27,1	23,9	23,8	23,8	24,0	23,6	133,4
Lunes 11	9:00											
	14:00											
	17:00											
Martes 12	9:00	18,0	19,0	11,8	18,0	17,1	16,2	16,3	17,1	17,6	17,3	133,6
	14:00	25,0	20,0	16,4	19,0	19,3	18,7	18,9	19,2	19,1	18,9	133,6
	17:00	25,0	20,0	16,8	19,3	19,3	18,1	18,1	18,2	18,2	18,2	133,6
Miércoles 13	9:00	13,0	18,0	13,0	16,5	15,3	15,8	15,9	16,2	16,7	16,2	133,6
	14:00	20,0	18,0	15,6	17,5	17,9	18,0	18,0	18,1	17,9	17,6	133,6
	17:00	19,0	18,0	15,2	17,2	16,1	16,7	16,6	16,6	16,4	16,5	133,6
Jueves 14	9:00	14,0	19,0	12,2	16,8	15,7	15,9	16,0	16,3	16,8	16,3	133,6
	14:00	23,0	16,0	16,8	18,2	18,1	17,8	18,1	18,6	18,8	18,4	133,6
	17:00	25,0	19,0	16,4	19,2	19,0	18,6	19,1	19,0	18,8	18,3	133,6
Viernes 15	9:00	14,0	19,0	12,2	16,3	15,1	15,5	15,6	15,9	16,4	15,9	133,6
	14:00	20,0	18,0	21,7	17,4	17,7	17,8	17,8	17,9	17,7	17,4	133,6
	17:00	37,0	26,0	20,6	19,2	19,2	20,0	20,1	20,2	20,4	20,0	133,9
Lunes 18	9:00	11,0	17,0	12,2	18,6	15,7	14,4	14,6	15,0	15,3	15,4	133,6
	14:00	40,0	24,0	24,8	22,6	23,5	19,9	19,9	20,2	20,3	20,1	133,6
	17:00	39,0	32,0	23,6	19,3	20,0	19,5	19,4	19,4	19,6	18,2	134,1
Martes 19	9:00	17,0	16,0	11,8	16,9	15,2	14,5	14,7	15,4	15,6	15,8	134,1
	14:00	31,0	23,0	19,0	19,7	18,5	20,4	20,5	20,7	20,8	20,5	134,1
	17:00	33,0	23,0	17,1	17,5	17,2	18,0	18,2	18,2	18,5	18,3	134,1
Miércoles 20	9:00	12,0	19,0	9,4	15,4	13,3	14,5	14,7	14,9	15,2	15,4	134,1
	14:00	30,0	22,0	20,2	18,4	18,5	18,5	18,5	18,7	19,0	18,6	134,1
	17:00			19,4		18,6	19,0	19,0	18,9	18,8	18,6	135,3
Jueves 21	9:00	11,0	18,0	9,4	15,6	13,5	14,6	14,8	15,1	15,3	15,3	135,3
	14:00	26,0	20,0	16,0	19,0	19,3	18,8	19,0	19,2	19,4	19,3	135,4
	17:00	29,0	20,0	16,8	17,7	18,0	17,4	17,8	18,0	18,2	18,5	135,4
Viernes 22	9:00											
	14:00											
	17:00											
Lunes 25	9:00	9,0	20,0	12,2	14,5	12,0	13,7	13,9	14,4	14,9	14,9	135,4
	14:00	42,0	25,0	26,0	18,9	19,3	18,3	18,4	18,7	19,0	19,2	135,4
	17:00	41,0	30,0	25,6	18,2	17,1	19,1	19,2	19,5	19,8	19,5	135,6
Martes 26	9:00	20,0	20,0	13,3	17,4	17,8	17,2	17,7	17,9	18,1	17,7	135,6
	14:00	41,0	29,0	20,6	19,3	25,8	18,9	19,3	19,2	19,2	19,4	135,6
	17:00	36,0	25,0	18,3	18,9	22,5	17,6	17,6	17,7	18,2	18,5	135,6
Miércoles 27	9:00	13,0	18,0	11,0	17,4	20,8	18,4	18,2	18,4	18,1	17,7	135,6
	14:00	56,0	21,0	21,7	18,4	18,5	21,4	21,6	21,9	22,2	22,4	135,6
	17:00	33,0	20,0	21,7	17,5	17,1	19,5	20,8	20,8	21,1	21,4	135,6
Jueves 28	9:00	11,0	17,0	10,6	15,5	14,2	13,2	13,0	13,2	12,8	12,5	135,6
	14:00	38,0	20,0	14,1	16,7	16,5	16,2	16,4	16,7	16,9	17,2	135,6
	17:00	31,0	20,0	12,6	15,7	13,9	15,5	15,9	15,9	16,0	16,3	135,8
Viernes 29	9:00	10,0	12,0	8,6	17,5	14,2	14,8	14,7	15,4	15,7	15,5	135,8
	14:00	59,0	26,0	19,1	17,4	19,0	19,2	19,2	19,9	20,2	20,0	135,8
	17:00	62,0	21,0	19,0	18,2	20,2	18,7	18,8	18,9	19,2	19,4	135,8

## Apéndice IV: Compilación de datos mayo 2011

Día	Horario	°C										Volumen
		Colector	Estanque	Aire	Suelo	Superior	Descarga					
							0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	
Lunes 2	9:00	12,0	19,0	13,0	15,2	13,1	14,2	14,6	15,3	15,5	15,3	135,8
	14:00	69,0	21,0	25,2	18,6	21,2	20,7	20,9	21,0	19,0	19,3	135,8
	17:00	32,0	29,0	23,6	17,5	19,5	19,4	19,4	19,5	19,6	19,8	135,8
Martes 3	9:00	13,0	14,0	11,4	16,7	13,0	15,0	15,2	15,4	15,7	15,5	135,8
	14:00	27,0	21,0	23,2	19,2	20,0	22,0	22,3	23,0	23,5	23,1	136,7
	17:00	32,0	25,0	22,1	18,5	23,4	19,3	18,9	18,7	19,2	19,4	136,7
Miércoles 4	9:00	15,0	16,0	11,4	17,2	16,9	16,0	16,6	16,9	17,1	17,4	136,7
	14:00	38,0	31,0	25,6	23,3	20,6	20,3	20,7	21,0	21,3	21,6	136,9
	17:00	41,0	34,0	23,6	19,3	24,5	20,5	20,4	21,0	21,3	21,8	137,1
Jueves 5	9:00	14,0	17,0	11,4	15,7	15,0	15,5	15,7	15,9	16,1	15,9	137,1
	14:00	30,0	23,0	20,2	20,9	18,6	21,4	21,3	21,5	21,9	22,1	137,2
	17:00	35,0	26,0	17,1	17,5	20,3	17,1	17,6	18,4	18,3	18,7	137,2
Viernes 6	9:00	11,0	17,0	6,6	14,1	10,2	14,2	14,2	14,6	15,5	16,0	137,2
	14:00	15,0	16,0	9,4	14,7	13,2						137,2
	17:00	15,0	15,0	9,8	14,7	13,0						137,2
Lunes 9	9:00	23,0	17,0	9,0	15,8	18,2	19,5	19,7	19,9	19,9	20,0	137,2
	14:00	48,0	22,0	22,5	18,5	25,5	18,1	17,9	17,7	18,7	19,0	137,2
	17:00	33,0	28,0	21,0	17,2	19,8	19,5	19,5	19,6	19,6	19,8	137,2
Martes 10	9:00	24,0	16,0	4,6	16,4	17,7	20,3	20,0	20,0	20,2	20,1	137,2
	14:00	29,0	22,0	19,4	18,1	23,5	19,3	21,6	23,2	23,4	21,7	137,2
	17:00											137,2
Miércoles 11	9:00	14,0	15,0	9,4	15,1	12,6	13,9	14,8	15,0	15,6	15,7	137,2
	14:00	26,0	17,0	19,0	20,8	25,5	18,2	18,3	18,8	19,7	19,8	137,2
	17:00	25,0	20,0	19,8	16,5	19,0	17,6	17,8	17,8	17,9	17,7	137,2
Jueves 12	9:00	20,0	15,0	12,2	16,7	20,3	16,7	17,0	17,6	18,0	18,2	137,2
	14:00	26,0	20,0	25,2	19,8	26,5	19,1	19,3	20,5	21,5	21,8	137,4
	17:00	27,0	21,0	21,0	17,4	21,2	17,8	17,9	18,1	18,7	19,0	137,4
Viernes 13	9:00	24,0	15,0	9,8	16,5	22,7	18,0	18,3	18,8	19,5	19,4	137,4
	14:00											
	17:00	29,0	22,0	22,5		14,8	15,3	15,5	15,4	15,6	15,8	138,3
Lunes 16	9:00	11,0	19,0	7,4		10,5	13,6	13,6	13,7	13,8	14,2	138,3
	14:00	29,0	22,0	17,5		26,2	18,8	19,0	19,2	19,5	20,1	138,7
	17:00	30,0	21,0	16,8		13,0	14,7	14,8	14,9	15,0	15,1	138,8
Martes 17	9:00	24,0	16,0	8,2		13,1	15,0	14,7	14,5	14,4	14,6	138,8
	14:00	29,0	23,0	20,6		30,6	21,2	20,9	20,9	20,7	20,8	139,3
	17:00	33,0	25,0	19,0		19,5	16,9	17,4	17,7	18,0	18,0	139,3
Miércoles 18	9:00	26,0	16,0	7,0		12,3	14,5	14,4	14,4	14,7	14,5	139,3
	14:00	28,0	21,0	17,9		21,2	18,4	18,5	18,7	18,9	19,0	139,3
	17:00	30,0	24,0	18,3		21,6	17,1	17,2	17,3	17,3	18,0	139,8
Jueves 19	9:00	11,0	16,0	8,2		13,2	12,7	12,9	13,4	14,0	14,2	139,8
	14:00											
	17:00	20,0	16,0	11,8		15,3	13,9	14,0	14,2	14,6	14,8	140,3
Viernes 20	9:00	10,0	12,0	7,4		13,9	13,8	14,1	14,2	14,5	15,3	140,6
	14:00	22,0	14,0	14,9		23,2	14,1	14,3	15,4	15,7	15,6	140,7
	17:00	21,0	15,0	13,3		18,4	13,2	13,4	13,7	14,4	14,2	140,7
Lunes 23	9:00	21,0	16,0	7,4		12,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,5	140,8
	14:00	32,0	22,0	19,0		30,0	18,0	18,2	18,6	19,4	19,6	140,8
	17:00	30,0	25,0	15,6		16,3	15,6	15,9	16,4	16,8	17,0	141,0
Martes 24	9:00	9,0	15,0	7,8		15,1	13,0	13,0	13,3	13,4	13,6	141,0
	14:00	28,0	17,0	14,5		18,6	16,5	16,3	16,6	17,0	17,3	141,0
	17:00	23,0	18,0	14,1		20,1	17,0	17,7	16,9	17,2	17,4	141,0
Miércoles 25	9:00	18,0	11,0	5,8		21,5	15,3	15,4	15,5	15,7	15,7	141,0
	14:00	45,0	17,0	19,4		20,2	18,4	19,2	19,6	19,9	20,2	141,0
	17:00	26,0	21,0	19,0		20,3	17,1	17,0	17,3	17,5	17,7	141,0
Jueves 26	9:00	27,0	20,0	9,0		17,2	14,2	14,7	15,0	15,6	15,9	141,8
	14:00	37,0	29,0	22,1		23,5	20,2	20,6	20,8	21,0	21,1	141,9
	17:00	39,0	31,0	19,8		24,0	16,6	16,3	16,7	17,2	17,5	141,9
Viernes 27	9:00	21,0	18,0	7,4		12,6	13,8	13,7	14,6	15,0	15,5	142,2
	14:00	56,0	36,0	19,8		20,0	19,8	19,9	19,7	20,7	21,0	142,3
	17:00	52,0	34,0	18,7		19,0	16,2	16,4	16,8	17,1	17,4	142,4
Lunes 30	9:00	22,0	20,0	7,4		12,9	14,3	14,2	14,6	15,2	15,5	143,6
	14:00	58,0	36,0	20,2		26,7	18,2	18,3	19,6	20,3	21,0	143,7
	17:00	60,0	37,0	18,7		16,8	15,2	15,7	16,2	16,7	17,1	143,8
Martes 31	9:00	27,0	10,0	6,2		16,0	13,0	12,8	13,2	14,2	15,6	144,1
	14:00	40,0	17,0	22,9		22,5	18,3	18,4	18,4	19,8	20,0	144,2
	17:00	29,0	22,0	22,1		19,4	18,4	18,2	18,3	19,2	19,5	144,2

## Apéndice V: Compilación de datos junio 2011

Día	Horario	°C									Volumen	
		Colector	Estanque	Aire	Suelo	Superior	Descarga					
							0,5 m	1 m	1,5 m	2 m		2,5 m
<b>Miércoles 1</b>	9:00	25,0	18,0	3,3		19,7	14,2	14,6	14,9	15,5	15,8	144,2
	14:00	29,0	21,0	19,0		20,3	18,1	17,9	18,5	19,0	19,3	144,2
	17:00	27,0	24,0	13,3		13,7	14,0	13,7	14,4	14,9	15,3	144,2
<b>Jueves 2</b>	9:00											144,2
	14:00	29,0	19,0	16,4		24,7	15,8	15,6	16,2	18,1	18,5	144,2
	17:00	21,0	20,0	13,7		8,0	12,7	12,8	12,9	13,0	13,4	144,2
<b>Viernes 3</b>	9:00	25,0	12,0	5,8		12,2	14,2	14,4	15,0	15,5	16,2	144,2
	14:00											
	17:00	30,0	22,0	19,8		19,2	17,0	17,5	18,0	18,6	18,5	144,8
<b>Lunes 6</b>	9:00	9,0	12,0	7,8		11,3	13,3	13,3	13,7	14,5	15,0	144,8
	14:00	47,0	14,0	15,2		21,7	15,3	14,9	15,6	16,6	17,2	144,8
	17:00	26,0	20,0	14,1		15,2	13,7	13,6	14,5	15,5	16,0	144,8
<b>Martes 7</b>	9:00	10,0	14,0	7,8		8,1	11,3	11,2	11,7	12,5	13,9	145,6
	14:00	14,0	14,0	11,0		11,9	12,8	12,8	13,7	14,3	14,6	145,7
	17:00	14,0	14,0	11,0		12,0	12,3	12,4	13,1	13,9	14,3	145,7
<b>Miércoles 8</b>	9:00	18,0	14,0	8,2		13,6	13,4	13,5	13,8	14,3	14,9	146,0
	14:00	24,0	17,0	14,5		17,0	16,0	15,9	15,4	15,8	15,8	146,0
	17:00	25,0	18,0	12,2		13,7	14,4	14,3	14,6	14,9	15,3	146,1
<b>Jueves 9</b>	9:00	18,0	16,0	8,2		20,2	12,9	13,1	13,3	13,7	14,3	146,1
	14:00	38,0	29,0	17,1		18,9	19,4	19,5	20,1	20,4	20,5	146,1
	17:00	39,0	31,0	17,1		18,8	17,2	16,9	16,9	17,0	17,2	146,1
<b>Viernes 10</b>	9:00	28,0	20,0	7,4		14,9	15,6	15,7	16,4	16,7	16,5	146,1
	14:00	29,0	22,0	21,3		19,7	20,9	21,2	21,4	21,8	21,6	146,1
	17:00	34,0	25,0	19,8		16,7	16,9	16,8	17,3	17,8	18,0	146,1
<b>Lunes 13</b>	9:00	31,0	19,0	6,6		14,3	14,8	16,1	16,8	17,2	17,3	146,1
	14:00	39,0	33,0	23,2		23,5	18,3	18,1	18,4	18,7	19,0	146,1
	17:00	39,0	32,0	21,7		17,9	16,8	16,7	17,4	18,1	19,7	146,1
<b>Martes 14</b>	9:00	14,0	13,0	5,4		15,7	14,6	14,8	15,3	15,9	16,2	146,1
	14:00	29,0	25,0	14,0		18,1	16,9	16,7	16,8	17,3	17,6	146,1
	17:00	30,0	23,0	10,2		12,2	13,0	12,9	13,5	14,3	14,7	146,3
<b>Miércoles 15</b>	9:00	7,0	8,0	5,0		9,0	14,0	14,2	14,5	14,8	15,1	146,7
	14:00	15,0	14,0	7,4		12,5	13,1	13,4	14,1	14,8	15,2	146,7
	17:00	17,0	14,0	7,8		9,5	12,8	13,2	13,5	13,8	14,0	147,0
<b>Jueves 16</b>	9:00	5,0	10,0	2,9		6,9	10,7	11,1	11,5	11,9	12,2	147,0
	14:00	28,0	20,0	13,3		17,1	15,7	15,9	16,7	17,1	17,3	147,0
	17:00	23,0	19,0	12,2		12,9	12,9	13,0	13,7	14,2	14,8	147,0
<b>Viernes 17</b>	9:00	7,0	12,0	2,5		9,5	11,7	12,2	12,7	13,4	13,9	147,0
	14:00	36,0	30,0	14,5		20,7	15,8	16,0	16,3	16,6	16,9	147,0
	17:00	33,0	25,0	12,6		14,9	13,4	13,8	14,2	14,7	15,1	147,0
<b>Lunes 20</b>	9:00	10,0	10,0	7,4		9,3	11,0	11,0	11,6	12,3	12,8	147,0
	14:00	16,0	11,0	9,4		11,5	12,8	12,9	13,1	13,4	13,7	147,0
	17:00	12,0	11,0	7,8		8,8	12,0	12,8	12,6	12,8	12,5	147,1
<b>Martes 21</b>	9:00	8,0	12,0	6,2		10,3	11,9	12,4	12,8	13,5	13,7	147,1
	14:00	22,0	14,0	11,0		16,5	14,5	14,9	15,2	15,8	16,3	147,1
	17:00	23,0	18,0	12,2		11,5	12,7	12,8	13,0	13,6	13,9	147,3
<b>Miércoles 22</b>	9:00											
	14:00	27,0	20,0	13,7		18,7	14,9	15,0	15,4	15,9	16,2	147,5
	17:00	28,0	20,0	13,3		12,8	12,3	12,3	13,0	13,8	14,5	147,5
<b>Jueves 23</b>	9:00											
	14:00	26,0	18,0	15,6		21,8	16,1	16,3	16,5	17,1	17,5	147,8
	17:00	24,0	20,0	14,1		16,2	12,5	12,7	13,5	14,0	14,2	147,9
<b>Viernes 24</b>	9:00	17,0	13,0	2,0		16,1	13,0	13,2	13,3	13,4	13,5	148,0
	14:00	26,0	17,0	13,0		18,5	16,4	16,5	16,7	17,1	17,0	148,1
	17:00	23,0	19,0	9,8		16,2	12,5	12,6	12,8	13,1	13,6	148,1
<b>Martes 27</b>	9:00	9,0	10,0	1,6		10,0	9,8	10,1	10,4	10,7	11,3	149,3
	14:00											149,3
	17:00	13,0	11,0	11,0		9,8	12,1	12,2	12,3	12,3	12,5	149,4
<b>Miércoles 28</b>	9:00			2,9								
	14:00	8,0	9,0	7,8		11,0	10,1	10,3	10,5	11,0	11,2	149,6
	17:00	8,0	9,0	7,8		8,0	10,3	10,0	9,9	9,8	10,2	149,7
<b>Jueves 29</b>	9:00	5,0	9,0	4,6		11,0	10,0	10,1	10,4	10,9	11,4	149,9
	14:00	24,0	11,0	7,8		12,0	13,5	13,6	13,7	13,9	14,2	149,9
	17:00	23,0	11,0	6,6		9,9	13,0	13,2	13,3	13,5	13,8	150,0
<b>Viernes 30</b>	9:00	5,0	9,0	4,2		11,0	10,0	10,1	10,4	10,9	11,4	149,9
	14:00	24,0	11,0	8,6		12,0	13,5	13,6	13,7	13,9	14,2	149,9
	17:00	23,0	11,0	7,8		9,9	13,0	13,2	13,3	13,5	13,8	150,0

## Apéndice VI: Compilación de datos julio 2011

Día	Horario	°C										Volumen
		Colector	Estanque	Aire	Suelo	Superior	Descarga					
							0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m	
<b>Viernes 1</b>	9:00	13,0	8,0	-0,6		11,0	12,0	12,1	12,3	12,7	14,2	150,1
	14:00	21,0	14,0	9,0		18,7	12,3	12,7	12,8	13,0	13,3	150,2
	17:00	22,0	17,0	8,6		13,9	11,0	11,4	11,9	12,4	12,7	150,2
<b>Lunes 4</b>	9:00											
	14:00											
	17:00											
<b>Martes 5</b>	9:00											
	14:00	17,0	12,0	11,8		11,0	11,3	11,4	11,5	11,7	12,0	150,9
	17:00	14,0	11,0	10,6		10,8	10,7	10,4	10,1	9,8	10,3	150,9
<b>Miércoles 6</b>	9:00	16,0	11,0	2,5			14,1	13,6	13,8	13,8	14,0	150,9
	14:00	23,0	17,0	13,3			14,7	15,3	15,8	16,2	16,4	150,9
	17:00	24,0	19,0	12,9		13,7	13,7	13,8	14,2	14,4	14,8	150,9
<b>Jueves 7</b>	9:00	24,0	11,0	4,2		13,2						150,9
	14:00	41,0	22,0	21,7			14,9	15,1	15,7	16,2	16,6	150,9
	17:00	21,0	17,0	22,1			10,4	10,6	11,7	12,8	13,5	150,9
<b>Viernes 8</b>	9:00	23,0	17,0	9,8		13,0	12,0	12,3	12,7	13,2	13,4	150,9
	14:00	31,0	18,0	16,8		16,0	15,9	16,2	16,5	16,9	17,1	150,9
	17:00	29,0	20,0	15,6		15,6	13,8	14,0	14,5	15,2	15,8	150,9
<b>Lunes 11</b>	9:00	8,0	15,0	7,4		10,8	11,1	11,2	11,4	11,3	12,3	151,8
	14:00	39,0	15,0	13,3		15,0	15,6	15,7	15,4	16,2	16,8	151,8
	17:00	31,0	25,0	12,9		12,0	14,4	14,4	14,3	14,4	14,9	151,9
<b>Martes 12</b>	9:00	28,0	20,0	4,6		15,6	15,9	16,2	15,3	15,1	15,6	151,9
	14:00	26,0	18,0	16,4		17,1	19,9	19,7	18,7	18,6	18,2	151,9
	17:00	29,0	21,0	15,6		12,2	16,2	16,2	15,9	15,7	16,2	151,9
<b>Miércoles 13</b>	9:00											151,9
	14:00	18,0	13,0	15,6		12,0	12,3	12,4	12,5	12,7	13,0	151,9
	17:00	15,0	12,0	14,5		11,8	11,7	11,4	11,1	10,8	11,3	152,5
<b>Jueves 14</b>	9:00			2,5								152,5
	14:00	21,0	14,0	10,6		12,5	14,7	14,9	15,0	15,1	15,2	152,5
	17:00	22,0	17,0	10,2		11,2	11,4	11,7	12,0	12,4	12,6	152,5
<b>Viernes 15</b>	9:00	10,0	9,0	4,6		9,2	10,0	10,1	10,3	10,5	10,6	152,5
	14:00	16,0	10,0	7,8		11,6	11,2	11,0	11,1	11,1	11,3	152,9
	17:00	15,0	10,0	7,0		11,3	10,0	10,2	10,5	10,6	10,8	152,9
<b>Lunes 18</b>	9:00	11,0	8,0	3,3		12,5	13,3	13,4	13,5	13,7	14,0	152,9
	14:00	25,0	18,0	9,0		12,9	14,9	15,1	15,8	16,0	15,7	152,9
	17:00	27,0	17,0	9,0		11,9	11,4	11,7	12,0	12,4	12,6	152,9
<b>Martes 19</b>	9:00	15,0	11,0	1,2		11,8	11,0	11,1	11,3	11,3	11,4	152,9
	14:00	25,0	17,0	12,2		14,8	15,3	15,5	15,7	15,5	15,8	152,9
	17:00	23,0	20,0	12,2		13,5	13,3	13,0	13,2	13,4	13,6	152,9
<b>Miércoles 20</b>	9:00											
	14:00	21,0	14,0	12,9		12,5	14,7	14,9	15,0	15,1	15,2	153,4
	17:00	22,0	17,0	11,8		11,2	11,4	11,7	12,0	12,4	12,6	153,8
<b>Jueves 21</b>	9:00											
	14:00	26,0	18,0	15,6		12,4	14,9	15,0	15,3	15,8	15,5	153,8
	17:00	24,0	18,0	16,8		14,3	14,6	14,5	14,4	14,3	14,4	153,8
<b>Viernes 22</b>	9:00	18,0	12,0	5,8		12,8	13,0	13,2	13,3	13,4	13,7	153,8
	14:00	27,0	20,0	21,7		14,1	16,9	17,0	17,1	17,4	17,5	153,8
	17:00	25,0	23,0	21,7		11,0						153,8
<b>Lunes 25</b>	9:00	17,0	11,0	5,0		12,9	13,1	13,3	13,4	13,5	13,7	153,8
	14:00	28,0	18,0	12,2		14,3	14,5	14,5	14,8	15,0	15,0	153,8
	17:00	24,0	16,0	11,4		11,3	12,4	12,2	12,3	12,3	12,5	153,8
<b>Martes 26</b>	9:00	19,0	11,0	4,2		13,2	12,7	12,8	12,7	12,8	13,0	153,8
	14:00	29,0	18,0	15,2		14,2	15,4	14,9	14,9	15,2	15,3	153,8
	17:00	25,0	20,0	15,2		12,2	13,0	14,1	14,3	14,4	14,5	153,8
<b>Miércoles 27</b>	9:00	16,0	14,0	4,2		12,1	12,0	11,9	12,1	12,2	12,6	153,8
	14:00	23,0	17,0	12,9		15,1	14,0	13,7	13,8	14,0	14,2	154,7
	17:00	21,0	17,0	13,0		13,7	13,2	13,3	13,3	13,4	13,6	154,7
<b>Jueves 28</b>	9:00	8,0	10,0	3,3		11,1	10,4	10,5	10,6	10,7	11,1	154,7
	14:00	18,0	12,0	12,2		13,8	14,4	14,4	14,5	14,7	14,9	154,7
	17:00	19,0	15,0	11,8		11,9	12,1	12,2	12,4	13,0	13,4	154,7
<b>Viernes 29</b>	9:00	13,0	12,0	6,6		11,7	12,2	12,4	12,7	12,8	12,8	154,7
	14:00	20,0	15,0	11,0		13,4	14,6	14,5	14,7	14,8	15,1	154,8
	17:00	19,0	16,0	9,4		11,6	12,1	12,0	12,0	12,2	12,6	154,8

## Apéndice VII: Temperatura del aire 2011

Mes	T°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>FEBRERO</b>	Máxima	32,8	29,9	30,7	31,5			29,1	28,7	27,1	23,6	23,6			33,2	26,3	25,2	29,9	30,7			26,3	28,3	27,1	25,6	27,9			29,9			
	Mínima	12,6	12,2	11,4	12,2			11,8	13,7	14,5	13,7	13,7			13,7	13,7	12,2	11,0	13,3			11,4	11,0	12,2	10,6	10,6			12,2			
	Promedio	22,3	20,8	20,9	21,8			20,1	20,9	19,9	17,4	17,5			22,8	19,8	16,9	20,2	21,4			18,2	19,1	18,7	17,6	18,9			20,6			
<b>MARZO</b>	Máxima	31,5	29,5	31,1	29,1			28,3	28,3	28,7	27,5	24,4			18,3	16,4	26,7	26,3	31,1			27,5	26,7	25,2	27,1	22,1			28,3	29,1	29,1	27,5
	Mínima	13,3	11,8	13,7	12,6			11,8	12,2	12,2	11,8	12,6			10,6	9,0	7,0	9,8	8,6			10,6	11,0	9,8	9,4	7,0			5,8	9,4	9,0	9,0
	Promedio	21,4	20,5	21,6	19,8			18,9	19,8	18,8	18,5	17,0			14,2	12,8	15,7	17,4	19,1			18,5	17,9	16,8	16,8	14,1			16,5	18,5	18,8	17,8
<b>ABRIL</b>	Máxima	27,1			27,9	31,1	21,7	26,0	28,7			23,6	17,1	15,6	17,5	22,1			25,2	19,8	21,7	16,8	11,4			26,7	21,7	23,6	14,9	19,8		
	Mínima	9,4			8,6	9,8	8,6	10,2	10,6			12,2	9,0	11,4	9,8	7,4			4,2	5,4	8,2	5,8	7,0			5,4	6,6	7,0	6,2	3,7		
	Promedio	17,8			17,6	19,1	14,2	17,2	18,8			16,6	13,1	13,2	13,1	13,6			13,7	11,9	12,9	11,0	9,4			14,7	13,2	13,7	10,5	10,8		
<b>MAYO</b>	Máxima		26,0	23,6	26,7	20,6	10,2			22,5	19,4	21,0	25,6	24,4			18,7	21,0	19,0	11,8	15,2			19,0	14,5	21,3	22,9	20,6		20,6	23,6	
	Mínima		5,8	5,0	5,8	5,4	4,6			3,7	2,5	5,8	7,8	5,0			7,0	4,2	3,7	7,0	5,8			3,7	4,6	2,0	3,7	3,3		3,7	2,5	
	Promedio		14,1	13,4	13,9	12,0	7,9			11,7	8,7	11,9	14,5	13,2			10,7	11,4	10,4	9,0	9,4			9,8	8,7	9,9	11,7	10,6		10,6	11,2	
<b>JUNIO</b>	Máxima	19,0	17,1	21,0			16,4	11,4	14,9	17,9	22,9			23,2	14,5	9,0	14,5	14,5			9,4	12,6	14,5	16,4	12,9			13,3	8,2	7,8	9,8	
	Mínima	0,7	0,7	2,0			6,2	6,2	5,4	6,2	4,2			3,7	2,9	2,0	-0,6	-0,2			5,8	3,3	0,3	0,3	-0,2			-0,2	-0,6	1,6	0,3	
	Promedio	8,3	7,3	9,8			9,9	8,9	9,1	10,7	11,7			11,4	7,5	5,3	5,5	6,5			7,5	7,6	6,2	6,7	4,9			5,3	3,9	5,2	5,0	
<b>JULIO</b>	Máxima	10,2			14,1	12,6	14,1	23,2	17,1			14,1	17,1	16,8	12,2	8,2			9,8	13,7	13,7	17,5	22,9			12,6	16,8	13,3	13,7	11,4		
	Mínima	-2,4			-1,1	1,2	0,7	1,2	7,0			5,0	2,0	1,2	0,7	3,7			1,2	-1,1	0,7	0,7	1,6			3,7	-0,2	2,5	0,7	6,2		
	Promedio	2,5			5,0	6,5	6,8	10,4	11,3			8,6	8,4	7,7	5,8	5,8			5,5	4,7	5,8	7,6	10,7			7,4	7,5	7,0	6,9	7,9		

## Apéndice VIII: Temperatura de carga 2012

MES	T°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>DICIEMBRE</b>	Máxima																24,9	23,8	23,1	27,8	25,3	26,5	25,0	28,7	25,5	23,3	29,7	26,2	29,9	26,1	27,6	25,5	
	Mínima																22,1	22,4	22,5	22,0	23,6	22,9	23,1	22,2	23,2	22,2	22,2	24,1	23,0	23,8	23,0	23,7	
	Promedio																22,9	22,9	22,8	23,7	24,0	23,9	23,6	23,8	23,7	22,7	24,0	24,5	24,6	24,5	24,5	24,3	
<b>ENERO</b>	Máxima	24,4	29,1	26,4	29,5	26,5	26,9	25,3	23,7	28,2	25,3	27,1	25,3	29,2	26,4	24,1	27,7	25,7	28,8	25,8	24,9	24,3	23,6	24,3	23,6	27,3	24,9	27,7	26,0	25,3	29,0	27,0	
	Mínima	23,3	23,5	24,6	23,3	24,5	23,3	23,4	22,5	22,3	23,3	22,3	23,1	22,5	24,0	23,0	22,5	23,4	22,3	23,5	22,5	22,7	22,5	22,6	22,4	22,4	23,4	23,2	24,6	24,3	24,5	24,3	
	Promedio	23,8	24,8	25,2	25,0	25,0	24,6	24,0	23,1	23,8	23,9	23,7	23,8	24,3	24,5	23,4	23,9	23,9	24,0	24,1	23,4	23,3	23,0	23,2	23,0	23,6	23,9	24,5	25,1	24,7	25,7	26,0	
<b>FEBRERO</b>	Máxima	29,1	27,4	30,5	29,3	28,4	30,9	29,6	31,1	30,3	31,3	30,4	30,2	32,2	31,3	32,4	31,8	33,2	32,2	31,6	33,4	32,6	33,5	32,6	33,0	32,4	31,7	33,9	33,0	32,2			
	Mínima	25,5	26,3	26,2	27,2	27,5	27,8	28,4	28,3	28,9	28,8	29,5	29,5	29,7	30,9	30,7	30,8	30,7	31,2	31,0	31,2	31,7	31,5	31,8	31,5	31,6	31,0	31,0	32,2	31,5			
	Promedio	26,4	26,7	27,4	28,0	27,9	28,8	28,8	29,3	29,4	29,8	30,0	29,8	30,5	31,1	31,4	31,2	31,5	31,5	31,3	32,0	32,0	32,2	32,1	32,1	31,8	31,3	32,0	32,4	31,8			
<b>MARZO</b>	Máxima	31,5	32,5	32,2	32,1	32,7	32,9	35,5	34,2	34,8	33,4	32,9	34,5	33,4	34,9	33,8	34,5	33,6	31,3	35,5	34,3	33,2	33,3	33,3	33,8	33,3	33,3	36,0	34,5	33,6	33,5	33,9	
	Mínima	30,7	30,8	31,4	31,6	32,1	32,2	32,2	33,0	32,4	32,6	32,4	32,3	32,5	32,1	32,9	32,5	30,1	31,0	31,2	33,1	32,8	32,9	32,9	33,2	32,9	32,9	32,9	33,5	33,2	33,2	32,8	
	Promedio	31,1	31,6	31,7	31,8	32,4	32,5	33,1	33,3	33,0	32,9	32,7	32,9	32,8	32,9	33,2	33,1	32,0	31,1	33,0	33,4	32,9	33,1	33,1	33,4	33,1	33,1	33,7	33,8	33,4	33,3	33,4	
<b>ABRIL</b>	Máxima	33,8	33,7	33,4	33,2	33,1	33,1	33,3	33,4	33,3	33,2	33,4	33,4	33,3	33,3	33,3	33,9	33,4	33,5	33,3	33,2	33,1	33,0	32,9	32,9	32,9	32,9	32,7	32,7	32,7	32,6	32,7	
	Mínima	33,2	33,0	33,1	32,6	32,7	32,7	32,9	33,2	32,9	32,7	33,0	33,0	33,0	32,9	33,0	33,0	33,1	32,7	32,9	32,5	32,6	32,7	32,1	32,4	32,5	32,5	32,6	32,4	32,2	32,3		
	Promedio	33,5	33,4	33,2	33,0	32,9	32,9	33,1	33,3	33,2	32,9	33,1	33,2	33,1	33,1	33,2	33,2	33,2	33,1	33,0	33,0	32,8	32,9	32,6	32,7	32,7	32,6	32,7	32,6	32,4	32,5		
<b>MAYO</b>	Máxima	32,7	32,8	33,0	33,2	33,0	32,9	32,9	33,0	32,9	32,8	32,7	32,7	32,9	32,8	32,7	33,3	32,8	34,7	33,3	32,8	32,9	33,1	33,2	33,2	32,9	32,8	33,1	33,4	33,2	33,1	33,0	33,0
	Mínima	32,4	32,4	32,5	32,7	32,6	32,7	32,6	32,6	32,5	32,5	32,5	32,4	32,7	32,6	32,4	32,3	32,4	32,3	32,7	32,6	32,5	32,8	32,8	32,8	32,7	32,7	32,8	33,1	33,1	32,9	32,9	
	Promedio	32,6	32,6	32,7	32,9	32,8	32,7	32,8	32,9	32,8	32,7	32,6	32,6	32,8	32,7	32,6	32,5	32,6	32,9	32,9	32,7	32,7	32,9	33,0	33,0	32,8	32,8	32,9	33,2	33,1	33,0	32,9	
<b>JUNIO</b>	Máxima	32,9	33,0	33,0	32,8	32,5	32,8	32,5	34,4	32,8	32,1	32,3	32,4	32,7	32,8	32,7	32,7	32,8	33,0	32,8	32,8	32,9	32,8	32,9	32,8	32,8	32,5	32,5	32,4	32,5	32,7		
	Mínima	32,7	32,8	32,8	32,5	32,2	32,0	32,0	32,0	31,8	31,9	32,2	32,4	32,6	32,6	32,6	32,6	32,7	32,8	32,7	32,2	32,7	32,2	32,6	32,6	32,3	32,3	32,2	32,3	32,3	32,5		
	Promedio	32,8	32,8	32,9	32,7	32,4	32,3	32,2	32,5	32,2	31,9	32,1	32,3	32,5	32,7	32,6	32,7	32,8	32,9	32,8	32,7	32,8	32,7	32,8	32,7	32,5	32,4	32,4	32,4	32,4	32,4	32,6	
<b>JULIO</b>	Máxima	32,8	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,8	32,7	32,7	32,2	32,2	33,5	32,6	32,1	31,9	32,0	33,8	33,0	33,5	33,0	32,6	32,6	32,5	32,3	33,0	33,2	32,6	32,2	33,1	32,7	32,7	32,7
	Mínima	32,6	32,8	32,7	32,8	32,7	32,8	32,6	32,5	32,0	32,1	32,0	32,1	32,1	32,1	31,9	31,7	31,8	32,0	32,6	32,5	32,6	32,4	32,3	32,2	32,1	32,0	32,2	32,2	32,0	31,9	32,4	
	Promedio	32,7	32,8	32,8	32,8	32,8	32,8	32,7	32,6	32,3	32,2	32,1	32,1	32,4	32,2	32,0	31,8	31,9	32,4	32,7	32,7	32,8	32,5	32,4	32,3	32,2	32,3	32,5	32,3	32,5	32,3	32,2	32,5
<b>AGOSTO</b>	Máxima	32,9	32,6	32,3	32,3	32,4	33,1	32,6	33,8	33,1	32,8	32,7	32,6	32,5	32,6	32,6	32,6	32,4	32,4	32,3	33,5	32,9	32,6	32,6	32,6	32,7	32,7	34,0	33,4	34,8	33,9	34,5	
	Mínima	32,2	30,3	32,2	32,3	32,3	32,4	32,1	32,0	32,6	32,5	32,6	32,4	32,2	32,4	32,5	32,4	32,4	32,2	32,2	32,2	32,6	32,4	32,5	32,6	32,6	32,6	32,7	33,1	33,1	33,2	33,1	
	Promedio	32,4	32,3	32,3	32,3	32,4	32,6	32,3	32,4	32,8	32,6	32,6	32,5	32,4	32,5	32,6	32,5	32,4	32,2	32,3	32,5	32,7	32,5	32,5	32,6	32,6	32,7	33,0	33,2	33,4	33,5	33,4	

## Apéndice IX: Temperatura de descarga 2012

MES	T°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>DICIEMBRE</b>	Máxima																23,9	21,6	22,9	24,1	22,2	24,3	25,9	24,4	30,5	35,4	31,0	24,2	24,6	24,5	24,9	24,5	
	Mínima																20,8	20,6	21,8	21,0	21,1	21,9	20,9	22,0	16,6	20,0	15,8	23,3	23,3	23,4	22,3	22,4	
	Promedio																22,8	20,9	22,6	22,7	21,5	22,8	23,5	23,0	22,9	26,3	21,8	23,9	24,2	24,0	23,9	23,6	
<b>ENERO</b>	Máxima	24,9	25,0	24,4	26,0	25,3	25,3	25,1	25,3	28,0	25,4	28,1	29,4	29,6	24,7	25,7	25,7	24,6	24,8	23,9	25,0	24,6	25,1	24,8	24,1	25,1	24,6	24,9	25,7	25,4	25,5	23,9	
	Mínima	23,7	22,1	22,5	24,1	24,7	24,9	24,9	24,9	23,7	23,2	23,0	21,0	21,7	23,7	24,7	22,4	22,9	22,7	23,0	22,6	22,7	23,6	22,5	23,0	23,4	23,4	23,5	23,8	23,9	21,7	22,8	
	Promedio	24,2	24,0	23,7	24,9	25,0	25,1	25,0	25,0	25,4	24,2	24,7	24,7	24,4	24,4	25,1	24,4	23,6	23,7	23,4	24,1	23,5	24,5	24,2	23,6	24,0	23,7	24,3	24,4	25,0	23,8	23,2	
<b>FEBRERO</b>	Máxima	25,3	25,7	25,1	24,1	25,2	25,4	24,4	25,1	24,8	25,1	25,9	25,9	26,2	24,9	25,3	25,0	25,4	24,7	25,7	25,2	24,9	25,6	25,7	25,4	24,7	25,2	25,2	30,9	25,5			
	Mínima	23,6	23,6	23,1	23,5	24,0	23,0	23,3	23,0	23,3	23,1	23,8	25,4	23,2	23,3	23,0	23,4	23,6	24,0	24,6	23,3	23,8	24,8	24,7	22,4	23,7	24,4	23,3	23,7	18,9			
	Promedio	24,2	24,2	24,4	23,9	24,8	24,5	23,6	24,2	24,2	24,4	24,8	25,8	25,0	24,1	24,4	24,4	24,6	24,4	25,2	24,5	24,4	25,3	25,0	24,3	24,3	24,8	24,4	25,3	24,3			
<b>MARZO</b>	Máxima	24,5	24,5	24,6	25,3	25,7	25,9	25,9	25,2	25,2	24,6	24,8	24,8	24,4	24,5	24,3	24,5	24,3	23,8	22,7	23,2	23,2	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	22,9	23,1	23,1	23,1	23,0	
	Mínima	23,9	22,8	23,5	24,6	25,3	25,4	23,5	23,6	23,3	24,1	24,0	24,0	23,8	23,4	23,7	23,8	23,8	22,2	22,0	22,8	22,7	22,3	22,7	23,0	22,8	22,5	22,3	22,8	22,9	22,8	21,5	
	Promedio	24,1	23,8	24,1	24,9	25,5	25,6	25,0	24,2	24,8	24,3	24,5	24,4	24,0	24,2	24,0	24,3	24,0	23,2	22,3	23,2	22,9	22,7	23,0	23,1	23,0	22,8	22,8	23,0	23,1	23,0	22,6	
<b>ABRIL</b>	Máxima	22,5	23,0	23,1	23,0	23,1	23,0	23,2	23,2	22,5	21,7	21,7	21,3	21,4	21,2	20,4	20,2	19,7	18,6	18,9	17,9	17,8	17,8	17,8	17,7	17,8	17,7	16,7	16,5	16,1	15,5	15,5	
	Mínima	21,0	21,9	22,2	22,4	22,8	22,5	21,5	21,6	21,3	22,0	20,9	20,9	20,7	20,3	20,6	19,7	19,7	18,1	17,9	18,5	17,4	17,0	17,4	17,7	17,4	16,1	15,9	15,5	14,9	14,9		
	Promedio	22,1	22,5	22,8	22,8	23,0	22,7	22,4	22,2	22,8	22,2	21,4	21,3	20,9	21,1	20,9	20,2	19,9	19,1	18,2	18,9	17,6	17,4	17,7	17,8	17,6	16,4	16,3	15,7	15,2	15,2		
<b>MAYO</b>	Máxima	15,6	16,3	16,5	16,5	16,7	16,6	16,9	16,9	16,6	16,4	16,0	16,2	15,9	15,6	15,8	16,3	16,1	15,9	15,9	15,5	15,2	15,0	14,8	14,6	14,5	13,8	13,5	13,8	14,1	14,3	14,4	
	Mínima	14,9	15,1	16,3	16,1	16,4	16,2	16,1	16,6	16,4	16,0	15,5	15,8	15,5	15,3	15,5	15,6	15,9	15,5	15,4	15,2	14,6	14,8	14,6	14,0	13,8	13,3	13,4	13,5	13,8	13,8	14,2	
	Promedio	15,3	15,5	16,4	16,3	16,6	16,5	16,4	16,8	16,5	16,2	15,8	16,0	15,7	15,5	15,8	15,8	16,0	15,7	15,7	15,4	15,0	14,9	14,7	14,3	14,1	13,6	13,4	13,5	14,0	14,0	14,3	
<b>JUNIO</b>	Máxima	14,2	14,2	14,3	14,0	13,6	12,7	12,5	12,6	12,9	12,5	12,8	12,9	13,2	13,7	14,2	14,7	14,9	16,2	15,2	16,4	15,5	16,1	15,3	14,3	14,7	14,7	16,4	16,0	16,2	16,0		
	Mínima	13,8	14,0	14,0	13,2	12,7	11,8	12,1	12,2	12,5	12,3	12,3	12,7	12,8	13,2	13,7	14,2	14,7	14,8	14,6	14,5	14,4	13,7	14,3	13,7	13,5	14,2	14,2	15,7	15,4	15,7		
	Promedio	14,0	14,2	14,1	13,6	13,1	12,1	12,4	12,4	12,6	12,5	12,5	12,8	13,0	13,3	14,0	14,4	14,8	15,1	14,8	14,9	14,8	14,4	14,6	13,9	13,9	14,4	14,8	15,8	15,7	15,8		
<b>JULIO</b>	Máxima	16,8	16,3	16,2	15,1	14,9	14,2	14,0	13,7	15,5	15,6	16,2	16,2	16,0	15,9	15,9	16,0	16,5	17,3	17,4	17,6	17,7	17,9	18,1	18,1	17,8	18,4	18,4	18,4	18,6	18,9		
	Mínima	15,9	16,1	15,2	14,1	14,2	13,9	13,5	13,6	13,7	15,5	15,4	16,0	15,4	15,7	15,7	15,4	15,7	16,0	16,6	17,1	17,4	17,4	17,4	17,9	17,7	17,5	17,8	18,3	18,2	18,2	18,6	
	Promedio	16,1	16,2	16,0	14,4	14,5	14,0	13,8	13,6	14,4	15,5	15,6	16,1	15,9	15,8	15,7	15,8	16,1	16,9	17,2	17,6	17,5	17,5	18,0	17,8	17,6	18,0	18,4	18,3	18,3	18,8		
<b>AGOSTO</b>	Máxima	18,9	19,5	19,6	19,8	20,0	20,3	20,7	21,1	21,5	21,6	21,8	21,8	22,4	22,6	22,7	23,2	23,5	23,9	24,1	24,3	24,6	24,9	24,9	24,8	24,9	25,0	25,6	26,1	26,6	27,1	27,5	
	Mínima	18,7	18,9	19,3	19,6	19,8	20,0	20,3	20,7	21,1	21,3	21,6	21,5	21,6	22,4	22,6	22,7	23,2	23,5	23,9	24,1	24,3	24,6	24,8	24,5	24,5	24,7	25,0	25,6	26,1	26,6	26,6	
	Promedio	18,8	19,2	19,4	19,7	19,9	20,1	20,5	20,8	21,3	21,4	21,7	21,6	21,9	22,5	22,6	22,9	23,3	23,7	24,0	24,2	24,5	24,7	24,8	24,6	24,7	24,8	25,2	25,9	26,3	26,8	27,1	

## Apéndice X: Temperatura de suelo a 0,5 m de profundidad 2012

MES	T°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
DICIEMBRE	Máxima																25,2	24,8	24,8	25,1	25,4	25,6	25,7	25,5	25,3	25,4	25,6	25,9	26,1	26,2	26,3	26,8	
	Mínima																25,0	24,7	24,7	24,8	25,1	25,4	25,5	25,3	25,3	25,3	25,4	25,6	25,9	26,1	26,1	26,3	
	Promedio																25,1	24,8	24,8	25,0	25,2	25,5	25,6	25,5	25,3	25,4	25,5	25,8	26,0	26,2	26,2	26,5	
ENERO	Máxima	26,6	26,7	26,9	27,5	27,7	27,8	27,6	27,4	27,5	27,2	27,2	27,4	27,7	28,0	28,2	28,3	27,9	27,7	27,8	27,9	27,8	27,8	27,7	27,3	27,2	27,5	27,7	27,8	27,9	28,0	28,1	
	Mínima	26,2	26,3	26,5	27,0	27,3	27,4	27,1	27,0	27,0	26,6	26,8	27,0	27,3	27,6	27,8	27,8	27,2	27,3	27,4	27,4	27,4	27,3	27,2	26,7	26,8	27,1	27,3	27,4	27,5	27,6	27,7	
	Promedio	26,4	26,5	26,8	27,3	27,5	27,6	27,4	27,2	27,2	27,0	27,0	27,2	27,5	27,8	28,0	28,0	27,6	27,5	27,6	27,7	27,6	27,6	27,5	27,1	27,0	27,3	27,5	27,6	27,7	27,8	27,9	
FEBRERO	Máxima	28,2	28,2	28,3	28,3	28,2	28,2	28,2	28,0	28,0	28,1	28,3	28,3	28,3	28,3	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,6	28,5	28,3	27,9	27,6	28,0	26,7	26,5	26,6			
	Mínima	27,8	27,8	27,9	27,9	27,8	27,9	27,6	27,6	27,6	27,7	27,9	27,9	28,0	28,0	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,2	28,1	28,1	27,8	27,3	27,0	26,6	26,3	26,3	26,2			
	Promedio	28,0	28,0	28,1	28,1	28,0	28,0	27,9	27,8	27,8	27,9	28,1	28,1	28,2	28,2	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,1	27,7	27,3	27,0	26,6	26,4	26,4			
MARZO	Máxima	26,3	25,9	25,9	26,1	26,4	26,4	26,2	26,1	26,2	26,1	26,0	25,8	25,3	25,2	25,3	25,2	25,0	24,7	24,4	24,2	24,1	24,0	23,9	23,8	23,7	23,6	23,7	23,6	23,4	23,2	23,1	23,1
	Mínima	25,7	25,6	25,6	25,8	26,1	26,0	25,9	25,9	25,9	25,9	25,7	24,5	25,0	24,9	24,9	25,1	24,9	24,5	24,3	24,1	23,9	23,8	23,7	23,6	23,5	23,4	23,3	23,1	22,9	22,9	22,9	
	Promedio	26,0	25,7	25,8	26,1	26,3	26,3	26,1	26,0	26,1	26,0	25,9	25,2	25,1	25,0	25,1	25,2	25,1	24,8	24,5	24,3	24,1	23,9	23,9	23,8	23,7	23,6	23,5	23,3	23,1	23,0	23,0	
ABRIL	Máxima	23,1	23,1	22,9	22,7	22,4	21,8	21,5	21,5	21,3	20,7	20,1	20,0	20,2	19,9	19,7	19,9	19,9	19,9	19,9	19,8	19,6	19,3	19,1	18,8	18,7	18,5	18,2	17,7	16,9	16,5		
	Mínima	22,9	22,8	22,7	22,4	21,8	21,4	21,3	21,3	20,7	20,1	19,8	19,9	19,9	19,4	19,4	19,6	19,7	19,7	19,6	19,5	19,2	19,0	18,8	18,6	18,4	18,2	17,7	16,9	16,4	16,3		
	Promedio	23,0	22,9	22,8	22,6	22,2	21,7	21,4	21,4	21,0	20,4	20,0	20,0	20,1	19,6	19,6	19,8	19,8	19,8	19,8	19,7	19,4	19,2	19,0	18,7	18,6	18,4	18,0	17,3	16,6	16,4		
MAYO	Máxima	16,5	16,6	16,5	16,5	16,6	16,6	16,4	16,4	16,3	16,1	15,7	15,5	15,1	15,0	14,9	14,8	14,7	14,6	14,3	14,2	14,2	14,2	14,3	14,3	14,0	13,7	13,4	13,4	13,6	13,7	13,9	
	Mínima	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,3	16,3	16,1	15,7	15,4	15,1	15,0	14,7	14,7	14,5	14,6	14,2	14,1	14,1	14,0	14,1	14,1	14,0	13,7	13,4	13,3	13,3	13,4	13,6	13,7		
	Promedio	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,4	16,4	16,2	15,9	15,6	15,3	15,1	14,9	14,8	14,7	14,6	14,4	14,2	14,1	14,1	14,2	14,2	13,9	13,5	13,3	13,3	13,5	13,7	13,8		
JUNIO	Máxima	13,9	13,9	14,1	14,1	13,7	13,1	12,6	12,3	12,3	12,1	11,9	12,0	12,0	12,0	12,1	12,4	12,3	12,3	12,4	12,4	12,0	11,8	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,4	11,3			
	Mínima	13,8	13,8	14,0	13,7	13,1	12,6	12,2	12,1	12,1	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2	12,3	12,0	11,7	11,6	11,5	11,4	11,4	11,5	11,4	11,2	11,2		
	Promedio	13,9	13,9	14,1	13,9	13,4	12,9	12,4	12,2	12,2	12,0	11,8	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0	12,3	12,2	12,3	12,4	12,2	11,9	11,7	11,6	11,5	11,5	11,6	11,5	11,3	11,2		
JULIO	Máxima	11,4	11,5	11,3	11,0	10,5	9,9	9,4	9,2	9,2	9,2	9,4	9,4	9,4	9,6	9,7	9,9	10,0	10,2	10,7	10,9	10,9	10,9	10,7	10,6	10,5	10,4	10,2	10,2	10,1	10,1		
	Mínima	11,3	11,3	11,0	10,5	9,9	9,4	9,1	9,0	9,1	9,2	9,2	9,2	9,3	9,4	9,6	9,7	9,8	9,9	10,3	10,7	10,8	10,6	10,6	10,4	10,3	10,1	10,1	10,1	10,0	10,0	10,0	
	Promedio	11,4	11,4	11,2	10,8	10,2	9,7	9,2	9,1	9,2	9,2	9,3	9,3	9,4	9,6	9,7	9,8	9,9	10,1	10,5	10,8	10,9	10,8	10,7	10,5	10,4	10,3	10,2	10,1	10,1	10,1	10,1	
AGOSTO	Máxima	10,2	10,1	10,1	10,0	10,0	10,1	10,2	10,2	10,4	10,4	10,3	10,1	9,8	9,7	9,5	9,3	9,4	9,5	9,7	9,7	9,9	10,1	10,0	9,6	9,5	9,6	9,9	10,4	10,8	11,2	11,5	
	Mínima	10,1	10,0	9,9	9,8	9,8	9,9	10,1	10,1	10,1	10,3	10,1	9,7	9,7	9,5	9,3	9,2	9,3	9,3	9,4	9,5	9,5	9,9	9,6	9,4	9,4	9,4	9,5	9,9	10,4	10,9	11,3	
	Promedio	10,1	10,1	10,0	9,9	9,9	10,0	10,2	10,2	10,3	10,4	10,2	9,9	9,8	9,6	9,4	9,3	9,3	9,4	9,6	9,6	9,8	10,0	9,8	9,5	9,5	9,5	9,7	10,2	10,6	11,1	11,4	

## Apéndice XI: Temperatura de suelo a 1 m de profundidad 2012

MES	T°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>DICIEMBRE</b>	Máxima																23,7	23,7	23,7	23,9	24,1	24,3	24,4	24,3	24,1	24,2	24,3	24,6	24,8	24,9	24,9	25,0	
	Mínima																	23,6	23,6	23,6	23,7	23,9	24,1	24,3	24,1	24,1	24,1	24,2	24,4	24,6	24,8	24,8	24,8
	Promedio																	23,6	23,6	23,6	23,8	24,0	24,2	24,4	24,2	24,1	24,1	24,3	24,5	24,7	24,8	24,8	24,9
<b>ENERO</b>	Máxima	25,0	25,1	25,2	25,5	25,7	25,8	25,8	25,7	25,7	25,6	25,6	25,7	25,9	26,0	26,1	26,1	25,9	25,9	26,0	26,1	26,1	26,0	25,7	25,6	25,8	26,0	26,1	26,2	26,2	26,3		
	Mínima	25,0	25,0	25,1	25,2	25,5	25,7	25,7	25,6	25,6	25,5	25,5	25,5	25,6	25,7	25,9	26,0	25,9	25,9	25,8	25,9	25,7	25,7	25,6	25,2	25,3	25,5	25,7	25,7	25,8	25,9	26,0	
	Promedio	25,0	25,0	25,2	25,4	25,6	25,7	25,8	25,7	25,6	25,6	25,5	25,6	25,7	25,8	26,0	26,1	26,0	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9	25,8	25,5	25,4	25,7	25,8	25,9	26,0	26,1	26,1
<b>FEBRERO</b>	Máxima	26,4	26,4	26,5	26,5	26,4	26,4	26,4	26,2	26,2	26,5	26,6	26,7	26,8	26,9	27,0	27,0	27,1	27,1	27,1	27,2	27,2	27,2	27,2	27,1	26,9	26,8	26,6	26,3	26,3			
	Mínima	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	25,9	25,9	25,9	26,0	26,5	26,6	26,7	26,8	26,8	26,9	27,0	27,0	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	26,9	26,8	26,6	26,3	26,3	26,2			
	Promedio	26,2	26,2	26,3	26,3	26,2	26,3	26,1	26,0	26,1	26,3	26,6	26,7	26,8	26,8	26,9	27,0	27,0	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,2	27,2	27,0	26,9	26,7	26,5	26,3	26,3		
<b>MARZO</b>	Máxima	26,2	25,9	25,9	26,0	26,2	26,3	26,2	26,2	26,2	26,2	26,1	26,0	25,7	25,7	25,6	25,6	25,6	25,5	25,2	25,0	24,7	24,6	24,5	24,4	24,3	24,2	24,1	24,0	23,9	23,7	23,7	
	Mínima	26,0	25,8	25,8	25,8	26,0	26,2	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	25,6	25,7	25,5	25,5	25,5	25,5	25,2	25,0	24,7	24,6	24,5	24,4	24,3	24,2	24,1	24,0	23,9	23,7	23,7	23,6	
	Promedio	26,1	25,9	25,8	25,9	26,1	26,2	26,2	26,1	26,2	26,2	26,1	25,8	25,7	25,6	25,5	25,6	25,6	25,4	25,1	24,9	24,7	24,5	24,4	24,4	24,3	24,2	24,1	24,0	23,8	23,7	23,6	
<b>ABRIL</b>	Máxima	23,6	23,6	23,5	23,5	23,3	23,0	22,7	22,5	22,4	22,1	21,7	21,4	21,3	21,3	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	20,9	20,8	20,7	20,5	20,4	20,1	20,0	19,8	19,6	19,1	18,6		
	Mínima	23,6	23,5	23,5	23,3	23,0	22,7	22,5	22,4	22,2	21,7	21,4	21,3	21,3	21,0	20,9	20,9	21,0	21,0	20,9	20,8	20,7	20,5	20,4	20,2	20,0	19,9	19,6	19,1	18,6	18,4		
	Promedio	23,6	23,6	23,5	23,4	23,2	22,8	22,6	22,5	22,3	21,9	21,5	21,3	21,3	21,1	20,9	21,0	21,0	21,0	21,0	20,9	20,8	20,6	20,5	20,3	20,1	19,9	19,7	19,4	18,9	18,5		
<b>MAYO</b>	Máxima	18,4	18,3	18,2	18,2	18,1	18,1	18,1	18,0	17,9	17,8	17,6	17,4	17,2	17,0	16,8	16,7	16,6	16,5	16,3	16,2	16,1	16,0	16,0	16,0	16,0	15,8	15,5	15,3	15,3	15,4	15,5	
	Mínima	18,3	18,2	18,2	18,1	18,1	18,1	18,0	17,9	17,8	17,6	17,4	17,2	17,0	16,8	16,7	16,6	16,5	16,3	16,2	16,1	16,0	16,0	16,0	16,0	15,8	15,5	15,3	15,2	15,2	15,3	15,4	
	Promedio	18,3	18,3	18,2	18,2	18,1	18,1	18,0	18,0	17,9	17,8	17,5	17,3	17,1	16,9	16,8	16,7	16,5	16,4	16,2	16,1	16,1	16,0	16,0	16,0	15,9	15,7	15,4	15,3	15,3	15,3	15,4	
<b>JUNIO</b>	Máxima	15,5	15,5	15,6	15,6	15,5	15,1	14,8	14,4	14,2	14,1	13,9	13,8	13,9	13,8	13,8	13,8	13,8	13,9	14,0	13,9	14,0	13,9	13,7	13,5	13,5	13,4	13,5	13,5	13,4	13,2		
	Mínima	15,5	15,5	15,5	15,5	15,1	14,8	14,4	14,2	14,1	13,9	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,7	13,6	13,5	13,4	13,4	13,4	13,4	13,2	13,1	
	Promedio	15,5	15,5	15,5	15,6	15,3	15,0	14,6	14,3	14,2	14,1	13,9	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,9	13,9	13,9	14,0	14,0	13,8	13,6	13,5	13,4	13,4	13,4	13,4	13,3	13,2	
<b>JULIO</b>	Máxima	13,3	13,3	13,3	13,1	12,9	12,5	12,0	11,7	11,5	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,2	12,5	12,7	12,8	12,8	12,8	12,8	12,7	12,6	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	
	Mínima	13,2	13,3	13,1	12,9	12,5	12,0	11,7	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,2	12,5	12,7	12,8	12,8	12,7	12,6	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	
	Promedio	13,2	13,3	13,2	13,0	12,7	12,3	11,9	11,6	11,5	11,5	11,5	11,5	11,6	11,6	11,7	11,9	11,9	12,1	12,3	12,6	12,8	12,8	12,8	12,7	12,6	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	
<b>AGOSTO</b>	Máxima	12,5	12,5	12,5	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	12,8	12,8	12,6	12,5	12,4	12,2	12,1	12,2	12,3	12,4	12,5	12,6	12,6	12,5	12,4	12,3	12,5	12,8	13,1	13,5	13,8	
	Mínima	12,5	12,5	12,5	12,4	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,8	12,6	12,5	12,4	12,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,3	12,3	12,5	12,5	12,4	12,3	12,3	12,3	12,5	12,8	13,1	13,5	
	Promedio	12,5	12,5	12,5	12,4	12,4	12,5	12,6	12,6	12,7	12,8	12,8	12,7	12,5	12,4	12,3	12,2	12,1	12,2	12,2	12,4	12,4	12,6	12,6	12,5	12,3	12,3	12,4	12,7	13,0	13,4	13,7	

## Apéndice XII: Temperatura del aire 2012

Mes	T°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>DICIEMBRE</b>	Máxima																22,9	28,7	31,5	31,5	31,1	27,9	29,5	30,3	31,9	32,3	31,9	31,9	31,5	31,9	29,9	27,5
	Mínima																10,6	11,4	13,7	14,5	12,6	12,2	11,0	11,0	11,4	12,2	13,3	15,2	13,3	12,9	14,9	12,9
	Promedio																16,6	19,7	22,5	22,9	21,9	20,1	20,0	20,9	22,2	22,3	22,6	23,0	21,7	22,1	21,8	20,3
<b>ENERO</b>	Máxima	35,7	38,1	42,6	40,9	39,7	36,4	38,5	40,0	36,3	36,4	36,2	39,6	38,5	39,8	41,3	36,6	37,5	38,2	36,3	36,6	36,2	38,7	31,8	38,5	41,0	38,2	41,5	42,2	42,8	42,1	42,0
	Mínima	17,8	18,7	18,9	18,6	17,3	17,5	18,3	16,4	16,4	15,2	13,7	14,2	14,9	17,9	16,0	15,3	13,1	13,6	13,7	13,6	17,5	13,9	14,2	11,3	13,0	13,6	14,1	13,4	13,5	13,6	13,9
	Promedio	24,9	26,7	28,7	27,9	26,6	25,6	25,8	26,0	24,4	23,9	23,2	24,9	25,4	26,7	26,7	24,1	23,4	23,9	23,6	23,4	24,6	23,9	22,2	23,0	24,8	24,1	25,4	25,3	25,4	25,3	24,8
<b>FEBRERO</b>	Máxima	30,7	32,0	30,4	30,5	31,0	30,8	30,2	31,5	33,3	32,6	29,6	30,3	29,7	30,2	29,0	29,6	28,7	27,9	30,5	29,8	31,3	31,7	27,2	25,9	26,5	30,9	30,9	27,0	24,9		
	Mínima	14,3	12,6	13,0	11,3	11,5	12,4	12,5	12,4	13,1	14,0	13,8	12,9	13,2	14,2	12,8	13,6	12,1	13,6	12,0	14,0	12,3	12,0	13,6	11,5	14,0	10,6	11,5	13,5	9,6		
	Promedio	21,9	21,8	21,4	20,7	21,0	21,5	21,2	21,8	23,0	23,4	21,7	21,5	21,3	21,7	20,5	21,3	20,4	20,6	21,1	21,5	21,5	21,6	20,3	18,7	18,5	20,9	21,5	19,8	16,9		
<b>MARZO</b>	Máxima	32,0	32,1	33,1	32,0	29,1	29,5	33,2	31,1	31,2	30,0	27,7	28,2	29,4	34,7	31,9	25,0	25,7	28,4	26,0	27,7	27,9	30,0	29,7	28,4	27,7	31,5	31,5	28,5	30,9	31,7	31,1
	Mínima	8,2	9,9	13,9	14,3	14,6	11,3	10,6	14,6	11,5	12,6	11,3	9,7	10,6	11,4	12,1	11,6	12,4	9,1	12,1	9,6	10,2	10,2	10,5	10,0	10,5	9,3	9,9	9,0	9,3	11,2	10,5
	Promedio	20,0	21,8	23,6	23,2	21,2	20,0	21,6	22,5	20,2	20,2	17,4	18,7	19,7	22,4	21,3	17,3	17,8	18,3	18,0	17,8	18,6	19,5	19,1	18,1	18,6	18,9	19,7	17,9	19,3	20,5	19,7
<b>ABRIL</b>	Máxima	29,7	28,4	26,2	20,3	26,1	28,0	29,4	22,0	17,2	22,5	28,1	25,5	14,0	26,6	27,9	24,6	28,5	25,3	27,2	24,1	27,4	23,4	14,7	19,8	19,8	14,5	12,6	14,8	23,4	26,7	
	Mínima	11,2	9,6	5,1	10,8	6,9	5,1	9,2	12,2	8,4	6,3	8,6	10,1	10,0	9,1	9,4	9,3	7,7	7,1	6,1	6,5	5,6	5,7	7,6	8,6	7,6	6,6	7,3	3,1	2,8	3,1	
	Promedio	19,8	18,5	15,4	14,4	15,0	16,3	18,5	16,1	12,9	13,6	17,3	16,8	12,4	16,7	17,0	16,0	16,4	15,7	15,5	14,2	14,7	13,1	10,6	13,6	12,3	11,2	9,6	9,3	11,4	13,6	
<b>MAYO</b>	Máxima	24,0	25,0	26,3	29,5	27,1	19,5	21,2	19,2	17,8	16,8	21,3	18,9	12,8	22,2	18,7	20,4	14,8	23,2	21,2	20,4	22,4	22,3	24,4	21,2	12,2	14,3	15,1	20,8	20,8	21,0	21,2
	Mínima	5,6	4,6	5,5	5,8	6,1	5,6	9,1	7,6	6,9	2,8	7,6	3,7	7,8	3,3	3,4	3,4	8,0	1,9	3,2	6,2	4,2	7,9	3,8	4,5	4,9	9,9	11,5	10,6	8,0	5,4	9,1
	Promedio	13,4	13,5	14,7	15,5	14,8	11,7	13,5	12,3	11,5	9,9	12,6	11,2	10,9	11,3	9,8	11,6	10,5	11,0	11,3	11,3	12,8	13,2	12,4	11,5	9,5	12,0	13,0	14,5	12,9	12,5	13,4
<b>JUNIO</b>	Máxima	22,3	21,4	16,0	14,5	15,1	18,7	24,7	22,5	8,1	17,2	18,9	15,1	15,0	16,5	18,7	18,1	11,4	17,4	16,0	10,2	16,4	19,2	20,6	20,4	25,3	22,0	10,6	11,2	14,8	13,8	
	Mínima	6,9	7,2	3,9	-0,8	-0,9	-2,9	-0,1	2,7	0,8	1,2	4,5	9,2	9,3	7,0	8,9	9,0	8,2	5,4	5,4	6,9	1,2	1,8	1,8	1,2	1,9	2,7	6,9	6,3	7,5	9,9	
	Promedio	13,9	14,3	9,8	5,8	5,6	5,8	9,5	10,9	5,4	8,6	10,5	11,7	11,3	10,9	12,8	12,4	9,5	10,8	10,3	9,0	8,1	8,9	9,6	9,4	11,1	10,6	8,4	8,3	10,5	11,4	
<b>JULIO</b>	Máxima	11,6	10,3	10,3	7,3	7,4	11,7	18,1	18,2	16,0	17,3	16,3	18,7	23,3	13,3	17,0	21,7	27,3	28,2	23,5	21,8	12,2	17,8	13,9	14,0	16,0	16,8	20,3	16,2	17,8	20,7	13,7
	Mínima	8,7	3,8	-1,9	-1,3	-0,2	-1,5	-2,4	-1,6	-1,2	0,1	0,3	-1,1	0,8	1,4	1,7	-1,8	2,3	4,5	8,0	6,3	8,1	2,8	2,5	0,2	-0,3	-1,3	0,1	0,3	-1,1	-0,3	1,5
	Promedio	10,0	6,8	3,3	3,0	2,8	2,9	5,6	6,9	6,4	7,2	6,6	7,6	10,1	7,6	8,6	8,8	12,7	14,6	13,8	12,4	10,0	9,4	8,0	7,0	7,0	6,7	8,3	7,3	6,8	9,2	6,6
<b>AGOSTO</b>	Máxima	15,8	14,4	10,2	16,1	16,4	13,0	16,4	22,7	18,4	15,7	9,5	15,9	11,1	11,9	15,7	13,9	13,7	19,2	13,0	23,3	17,0	12,2	11,4	14,7	16,1	21,0	24,2	23,3	23,9	21,1	24,4
	Mínima	2,1	0,4	3,0	1,8	1,4	4,1	0,1	0,1	2,5	0,6	1,5	-0,7	2,1	5,3	6,1	6,0	5,1	0,9	5,2	1,1	5,5	3,6	2,2	-1,0	-0,5	-0,5	2,0	6,9	6,4	7,2	3,5
	Promedio	7,8	7,1	6,4	7,8	8,1	8,0	7,6	10,3	9,6	7,8	6,3	6,4	6,9	8,2	10,0	9,8	9,1	9,4	9,2	10,5	10,8	6,7	5,8	6,1	6,5	9,3	12,2	14,1	14,3	13,1	13,2

## Apéndice XIII: Humedad de suelo a 1 m de profundidad 2012

MES	T°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
ENERO	Máxima																				20,4	20,2	20,2	20,0	19,8	19,6	19,5	19,4	19,2	19,1	19,0	19,0	
	Mínima																					20,3	20,2	20,0	19,8	19,6	19,5	19,4	19,2	19,1	19,0	18,9	18,8
	Promedio																					20,3	20,2	20,1	19,9	19,7	19,6	19,5	19,3	19,2	19,1	19,0	18,9
FEBRERO	Máxima	18,8	18,7	18,5	18,5	18,4	18,2	18,1	18,0	17,9	17,9	17,8	17,7	17,7	17,6	17,5	17,4	17,4	17,4	17,4	17,3	17,2	17,3	17,3	17,2	17,2	29,6	29,4	28,7	27,9			
	Mínima	18,7	18,5	18,5	18,4	18,2	18,0	18,0	17,9	17,9	17,8	17,7	17,6	17,6	17,5	17,4	17,4	17,4	17,4	17,3	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,1	28,7	27,9	27,3			
	Promedio	18,7	18,6	18,5	18,4	18,3	18,1	18,0	18,0	17,9	17,8	17,7	17,7	17,6	17,6	17,5	17,4	17,4	17,4	17,3	17,3	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	22,1	29,1	28,3	27,6			
MARZO	Máxima	27,3	26,8	26,3	25,9	25,3	24,8	24,5	24,1	23,7	23,4	23,0	27,9	27,7	27,2	26,6	26,1	25,6	25,0	24,7	24,7	24,7	24,6	24,4	24,2	24,0	23,8	23,6	23,4	23,2	23,0	22,8	22,8
	Mínima	26,8	26,3	25,9	25,4	24,8	24,5	24,1	23,7	23,4	23,0	22,5	22,5	27,2	26,6	26,1	25,6	25,0	24,7	24,3	24,4	24,6	24,4	24,2	24,0	23,8	23,6	23,4	23,2	23,0	22,8	22,5	
	Promedio	27,1	26,5	26,1	25,6	25,1	24,7	24,3	23,9	23,5	23,2	22,8	25,4	27,5	26,9	26,3	25,9	25,3	24,8	24,5	24,7	24,6	24,4	24,3	24,1	23,9	23,7	23,5	23,3	23,1	22,9	22,6	
ABRIL	Máxima	22,5	22,4	22,2	21,9	21,8	21,6	21,4	21,3	21,1	21,0	20,8	20,6	20,5	20,4	20,2	20,2	20,1	20,0	19,9	19,8	19,6	19,6	19,5	19,4	19,3	19,2	19,1	19,0	18,9	18,8	18,8	
	Mínima	22,4	22,2	21,9	21,8	21,6	21,4	21,3	21,1	20,9	20,8	20,6	20,5	20,4	20,2	20,2	20,1	20,0	19,9	19,8	19,6	19,6	19,5	19,4	19,3	19,2	19,1	19,0	18,9	18,8	18,7	18,7	
	Promedio	22,5	22,3	22,1	21,9	21,7	21,5	21,3	21,2	21,0	20,9	20,7	20,5	20,5	20,3	20,2	20,1	20,1	20,0	19,9	19,8	19,6	19,5	19,4	19,3	19,3	19,2	19,1	18,9	18,8	18,7		
MAYO	Máxima	18,7	18,7	18,6	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,4	18,5	18,5	18,5	18,5	18,4	18,4	18,4	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,7	19,7	21,8	23,8
	Mínima	18,7	18,6	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,4	18,4	18,4	18,5	18,5	18,4	18,4	18,4	18,4	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,4	18,5	18,7	19,7	21,8	
	Promedio	18,7	18,7	18,6	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,4	18,4	18,4	18,5	18,5	18,4	18,4	18,4	18,4	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,4	18,6	19,1	20,7	22,9	
JUNIO	Máxima	25,0	25,6	25,9	25,9	26,0	26,1	26,1	26,0	26,1	26,0	26,0	26,1	26,2	27,3	27,5	27,6	28,1	28,3	28,3	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,4	28,5	
	Mínima	23,8	25,1	25,6	25,9	25,9	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,2	27,3	27,5	27,6	28,1	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,4		
	Promedio	24,5	25,3	25,7	25,9	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,1	26,8	27,5	27,6	27,7	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,2	28,5	
JULIO	Máxima	28,6	28,5	28,4	28,4	28,3	28,3	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,2	28,2	28,2	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,0	28,0	28,0	28,0	27,9	27,9	27,9
	Mínima	28,5	28,4	28,4	28,3	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,2	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,0	28,0	28,0	28,0	27,9	27,9	27,9	
	Promedio	28,5	28,5	28,4	28,4	28,3	28,3	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,2	28,2	28,2	28,2	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,1	28,0	28,0	28,0	28,0	27,9	27,9	27,9	
AGOSTO	Máxima	27,9	28,6	28,5	28,5	28,5	28,4	28,4	28,4	28,3	28,3	28,3	28,3	28,2	28,2	28,2	28,2	28,3	28,5	28,6	28,7	28,7	28,7	29,0	29,1	29,0	29,0	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	
	Mínima	27,8	27,8	28,5	28,4	28,4	28,4	28,4	28,3	28,3	28,3	28,3	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,3	28,5	28,6	28,6	28,7	28,7	29,0	29,0	28,9	28,9	28,9	28,8	28,9	28,4	
	Promedio	27,9	28,1	28,5	28,5	28,4	28,4	28,4	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,2	28,2	28,2	28,2	28,3	28,4	28,5	28,6	28,7	28,7	28,8	29,0	29,0	28,9	28,9	28,9	28,9	28,9	28,7	

## Apéndice XIV: Análisis de gases semanales con filtro desulfurizador 2012

Compuesto	Unidad	ENERO							FEBRERO							MARZO							ABRIL							MAYO							JUNIO							JULIO							AGOSTO						
CH <sub>4</sub>		66	54	68	68	68	68	68	68	70	70	70	74	72	72	76	76	74	74	76	76	76	78	78	80	80	80	84	84	84	78	80	80	80																							
CO <sub>2</sub>	%	36	31	34	34	33	33	34	33	32	32	28	28	29	26	26	26	25	24	24	24,5	23	21,5	21	21	21,5	18,5	18	18,5	20,5	21,5	21	20,5																								
O <sub>2</sub>		0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3																								
H <sub>2</sub> S	ppm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																								
CO		9	5	6	6	7	7	5	4	8	6	4	6	6	4	3	6	4	6	2	2	3	4	3	3	3	3	4	3	2	2	3	3																								

## Apéndice XV: Análisis de gases semanales sin filtro desulfurizador 2012

Compuesto	Unidad	ENERO							FEBRERO							MARZO							ABRIL							MAYO							JUNIO							JULIO							AGOSTO						
CH <sub>4</sub>		65	54	68	68	68	68	68	70	70	70	74	72	72	76	76	74	76	76	76	78	78	78	80	80	80	84	84	84	80	80	80	80																								
CO <sub>2</sub>	%	36	31	34	34	33	33	34	33	32	32	28	28	29	26	26	26	25	24	24	25	23	22	21,5	21	21	18	18,5	18,5	21	21,5	21	20,5																								
O <sub>2</sub>		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3																									
H <sub>2</sub> S	ppm	760	560	610	590	585	580	620	585	525	530	525	525	610	527	570	645	478	400	404	418	382	410	418	348	392	338	286	282	535	575	615	570																								
CO		34	20	30	30	28	29	35	35	35	32	33	35	41	37	35	47	40	35	32	39	33	33	37	34	31	24	29	29	45	50	62	55																								