



Experiencias de biodigestores de bajo coste en LAC

Jaime Martí Herrero, PhD

Profesor titular Universidad Regional Amazónica Ikiam
Associate Research Professor CIMNE

tallerbiogas@hotmail.com

IKIAM 
UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA

<http://redbiolac.org>

RedBioLAC

**Red de Biodigestores
para Latino América
y el Caribe**





En 2019 será en Cuba

<http://www.encuentroredbiolac.com/>



2009, Perú

2010, Costa Rica

2011, Mexico

2012, Nicaragua

2013, Honduras

2014, Colombia

2015, Chile

2016, Costa Rica

2017, Argentina

2018, Brasil









Biodigestores tubulares experimentales en el CIB3 (2011)

A collection of logos for the organizations that supported the project. From left to right: the red 'gtz' logo; the 'COOPERACIÓN Bolivia Alemania' logo with the German flag; the 'EnDev BOLIVIA Acceso a Energía' logo; the 'Koninkrijk der Nederlanden' logo with the Dutch coat of arms; the 'CPTS' logo for the 'Centro de Promoción de Tecnologías Sustentables'; the 'CIPA' logo for the 'Centro de Investigación y Promoción del Campesinado'; the 'UNIVERSIDAD MAJOR Y MENOR DE CUZCO' logo; the 'Hivos people unlimited' logo; and the 'CIMNE' logo featuring a globe on a grid.



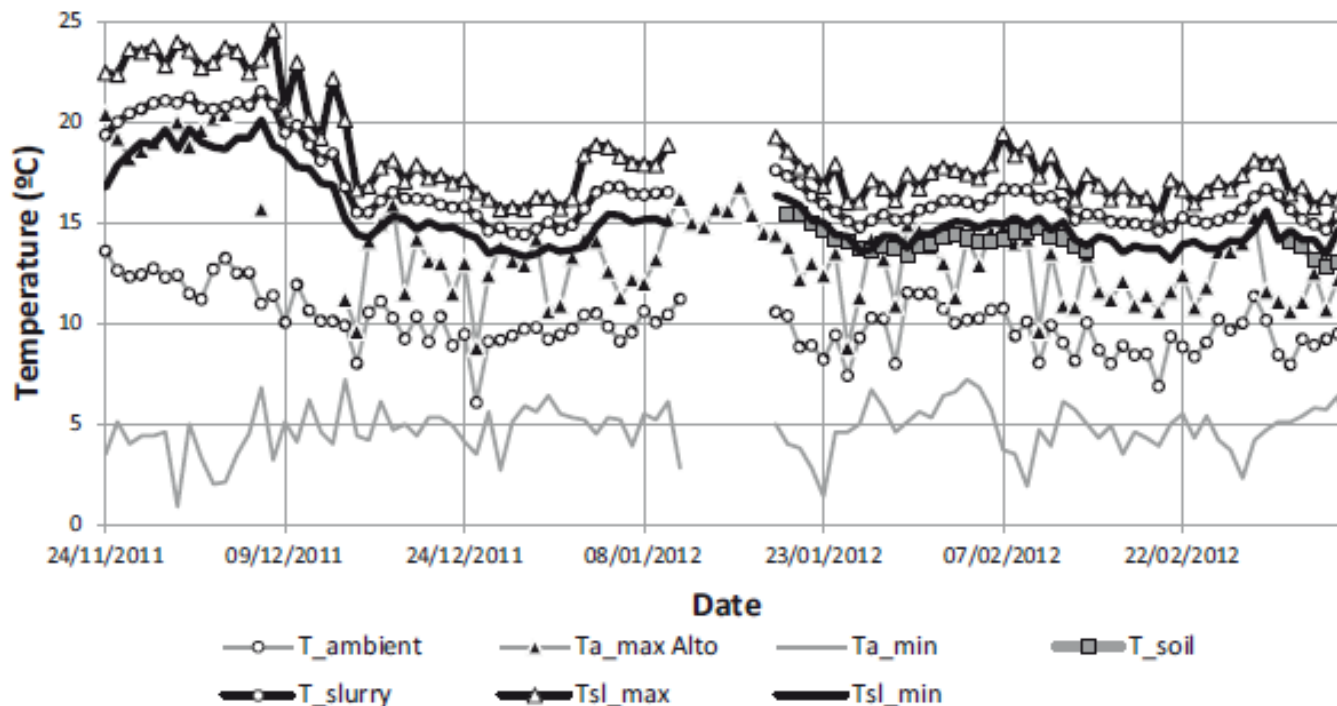


Fig. 3. Top: Ambient, greenhouse and biogas temperatures of a digester in the CIB3. Bottom: Ambient, slurry and soil (1 m deep) temperatures.



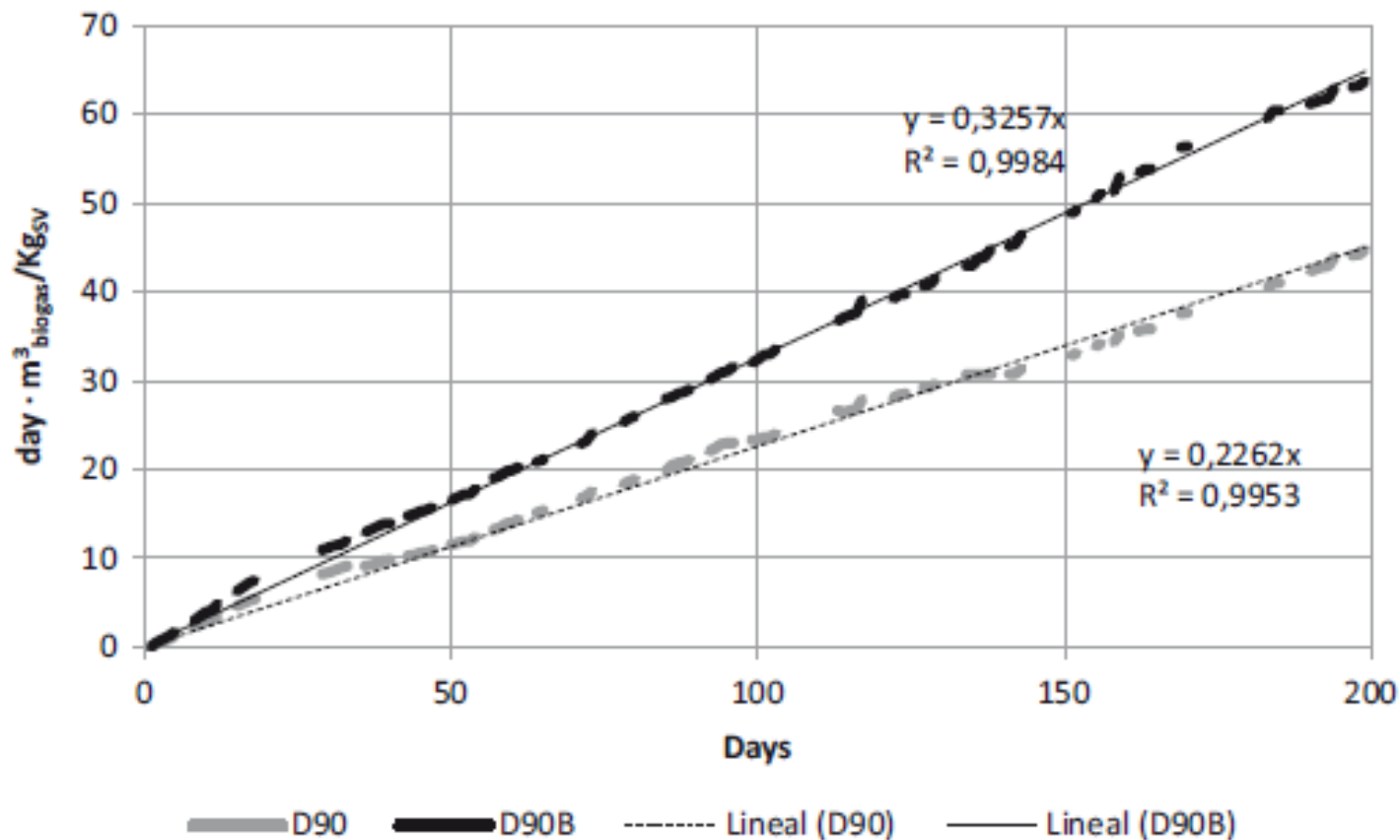
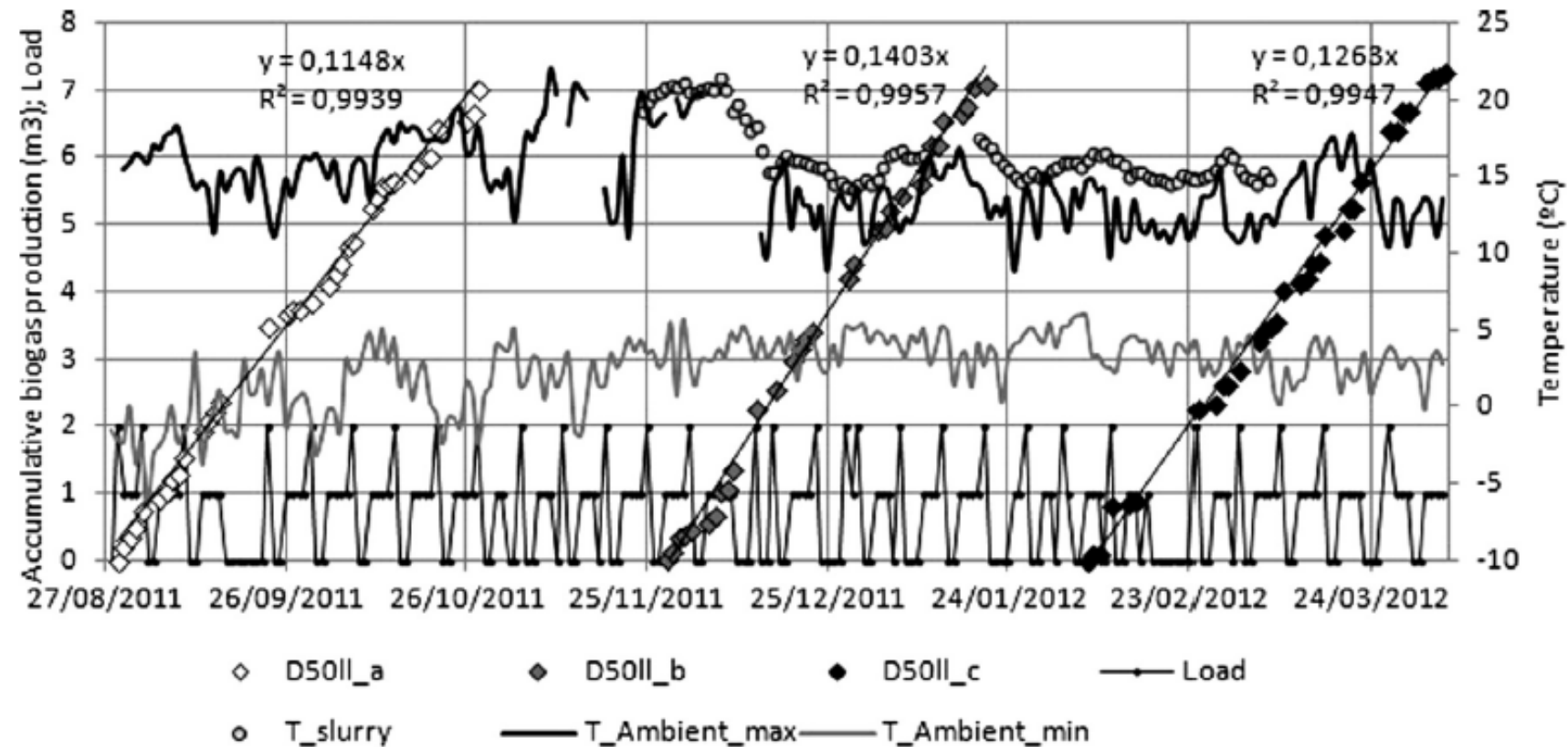


Fig. 5. Accumulative biogas production per Kg_{sv} for D90 and D90B for the stabilized period, and line fit for both cases showing the SBP as a slope (normal conditions: 1 atm 0 °C).



+43% de producción de biogás por meter botellas





Bioresource Technology 181 (2015) 238–246

Contents lists available at ScienceDirect

Bioresource Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech



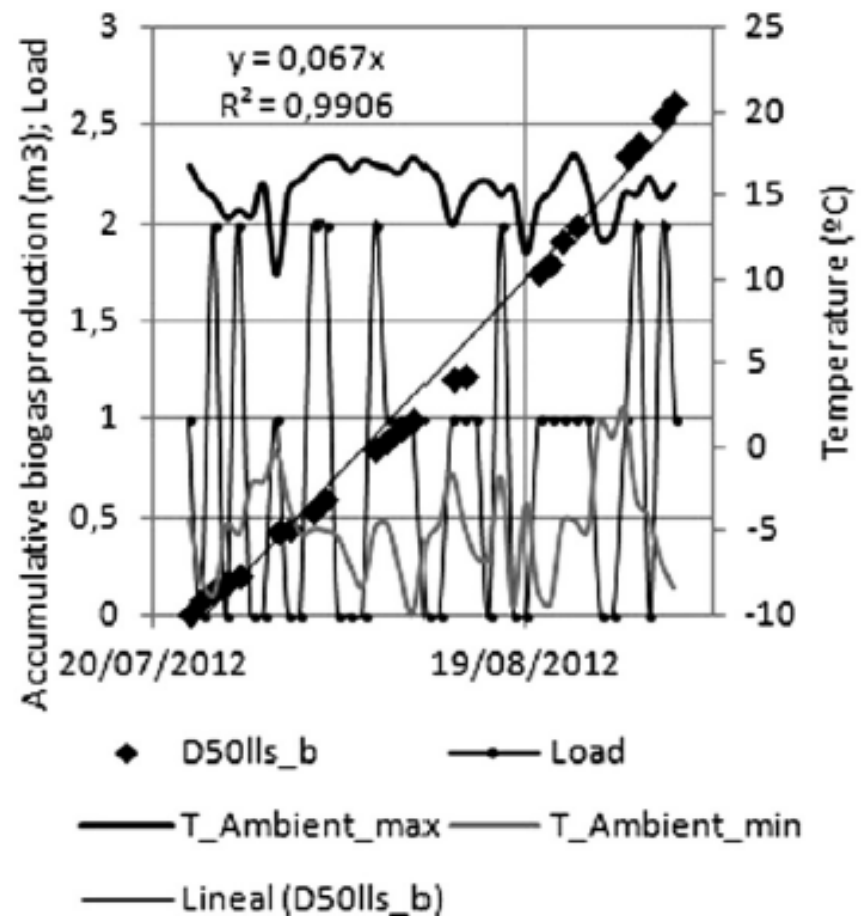
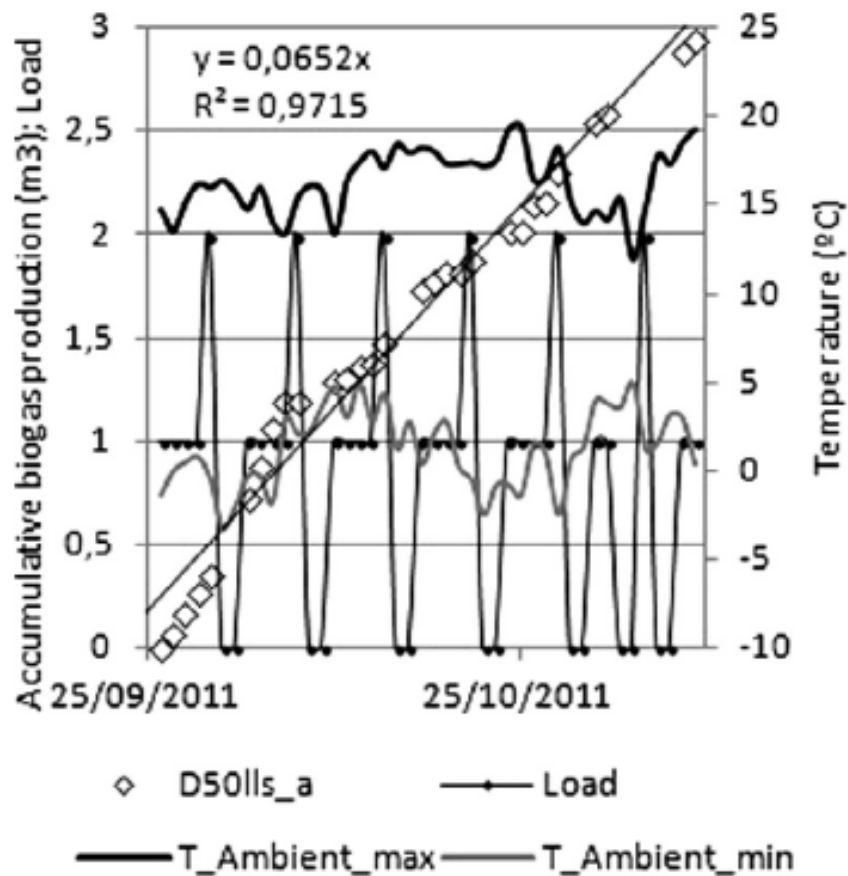
8 meses monitoreo estiércol de llama

Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude



J. Martí-Herrero^{a,b,*}, R. Alvarez^c, R. Cespedes^d, M.R. Rojas^c, V. Conde^c, L. Aliaga^e, M. Balboa^e, S. Danov^a

J. Martí-Herrero et al. / Bioresource Technology 181 (2015) 238–246



Bioresource Technology 181 (2015) 238–246

Contents lists available at ScienceDirect

Bioresource Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech

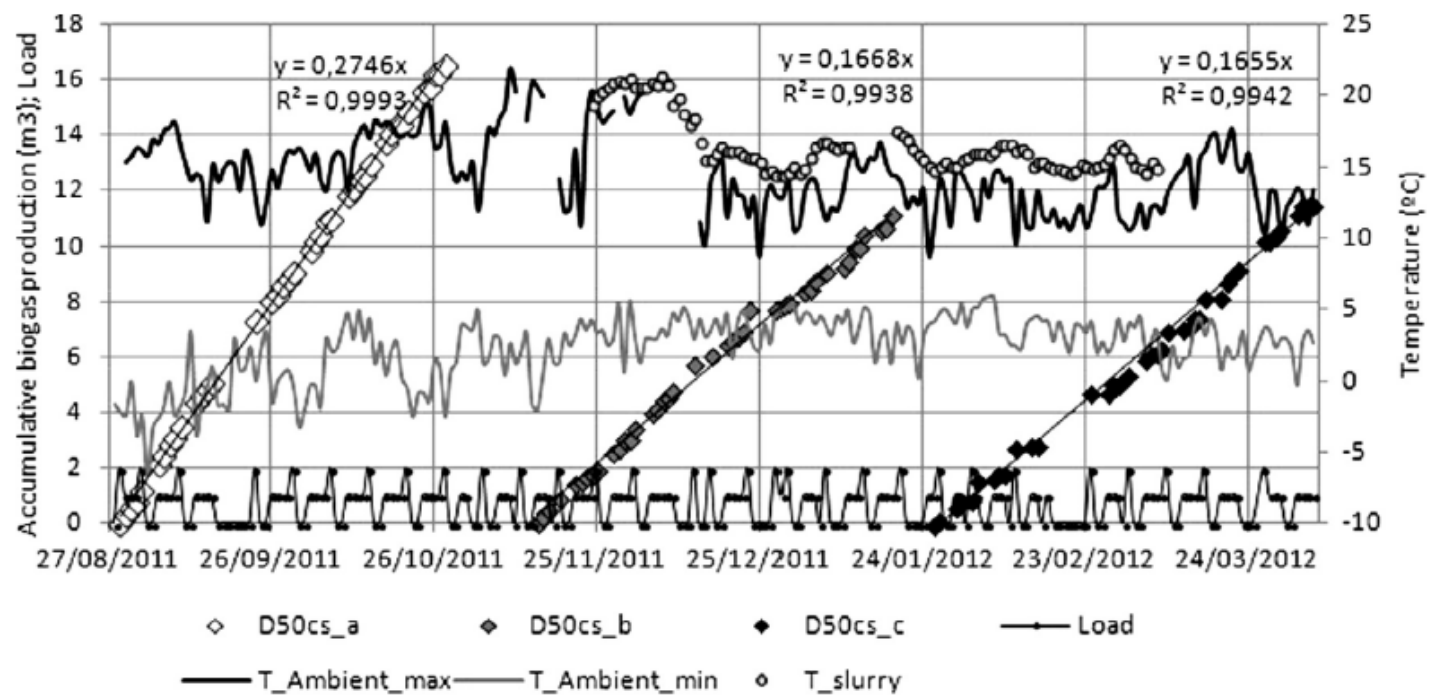


estiércol de llama+oveja

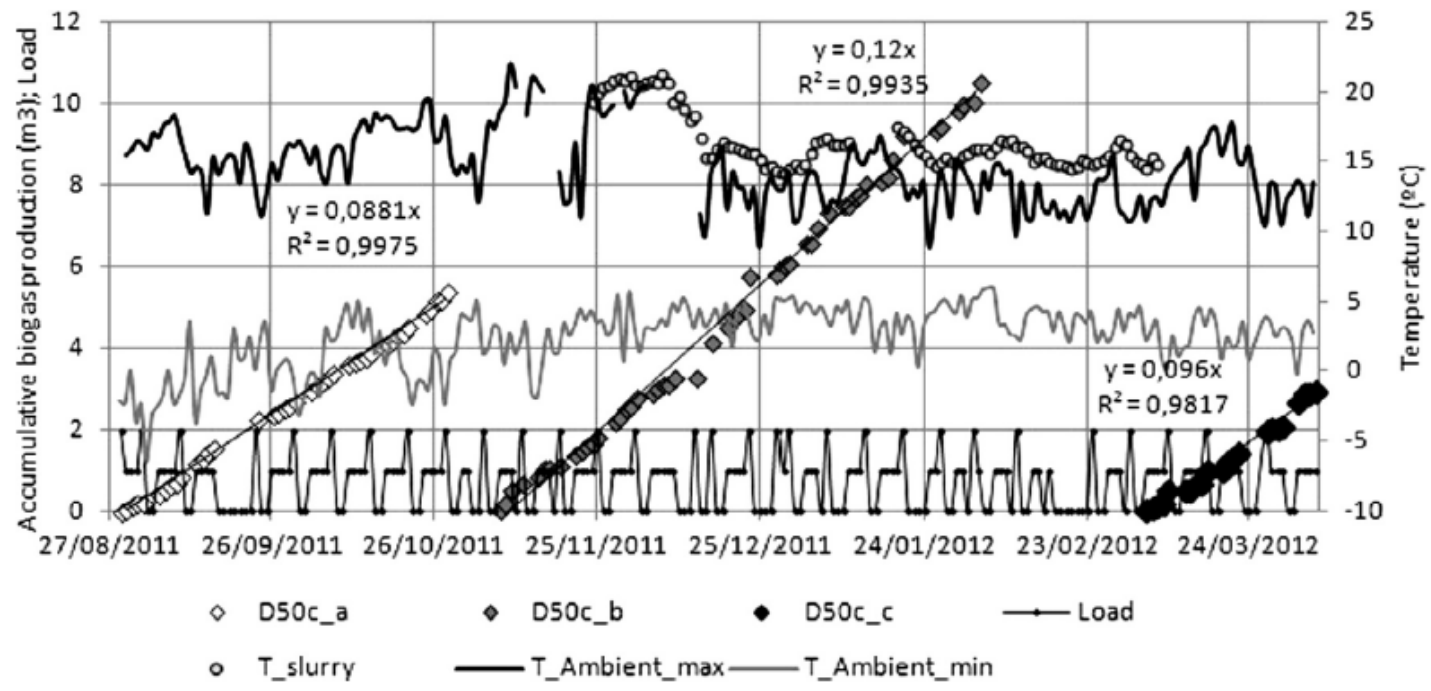
Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude



J. Martí-Herrero^{a,b,*}, R. Alvarez^c, R. Cespedes^d, M.R. Rojas^c, V. Conde^c, L. Aliaga^e, M. Balboa^e, S. Danov^a



estiércol de vaca



estiércol de vaca+oveja

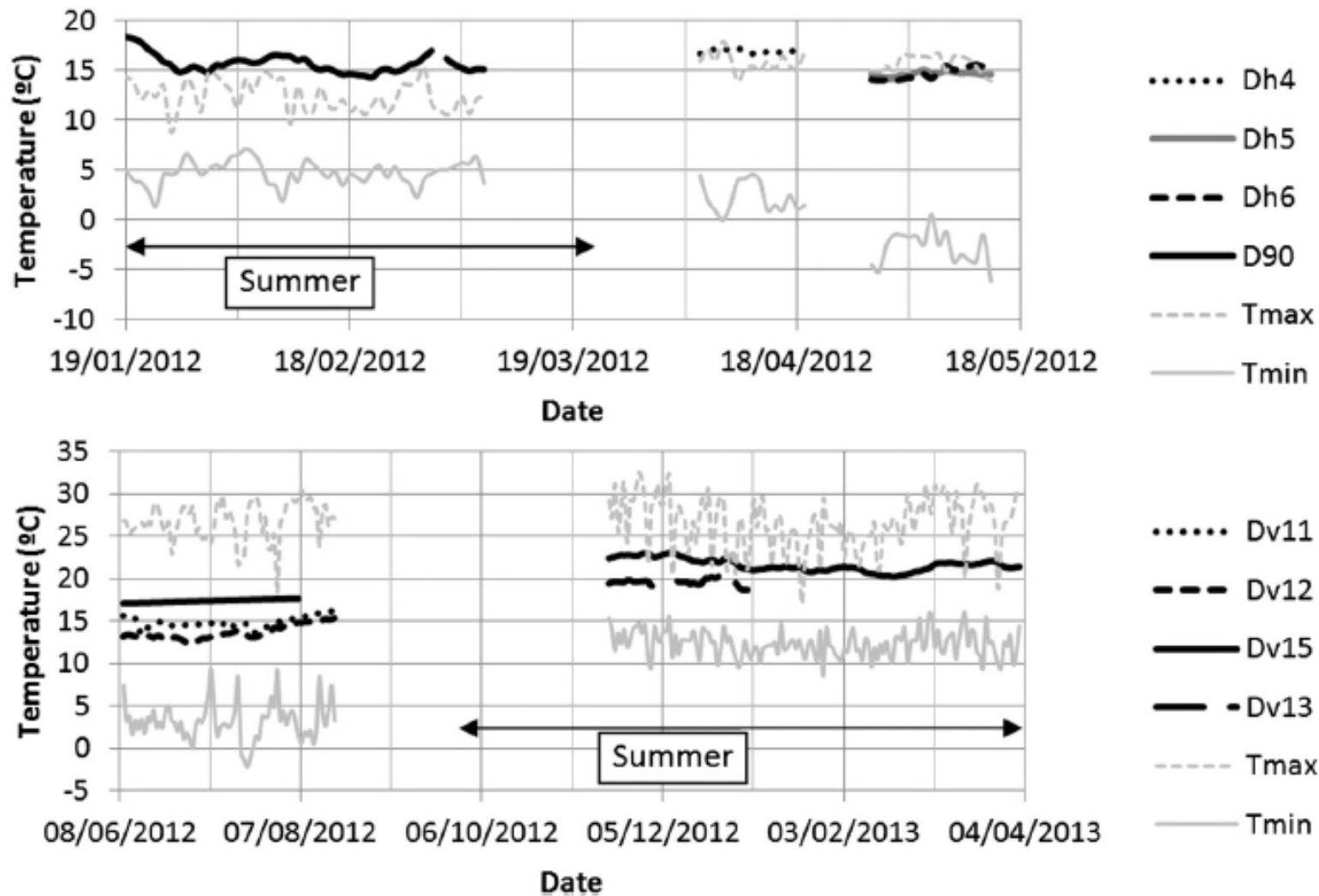


Fig. 3. Slurry temperatures for different digesters in the Bolivian Altiplano (top) and valleys (bottom), with daily maximum and minimum ambient temperatures.

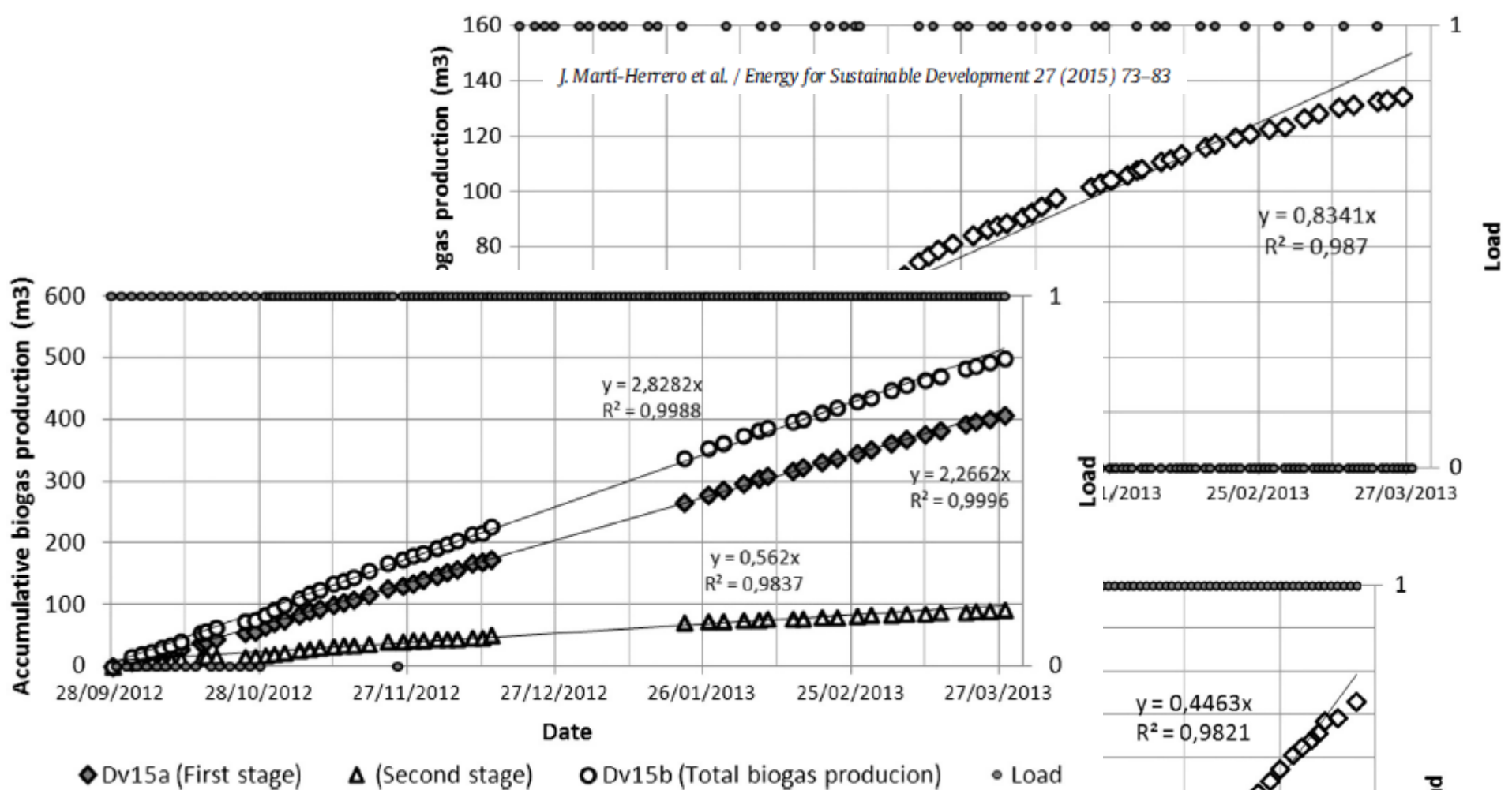


Fig. 6. Accumulative biogas production (at local conditions) for the two stage digester Dv15, with the loading days.

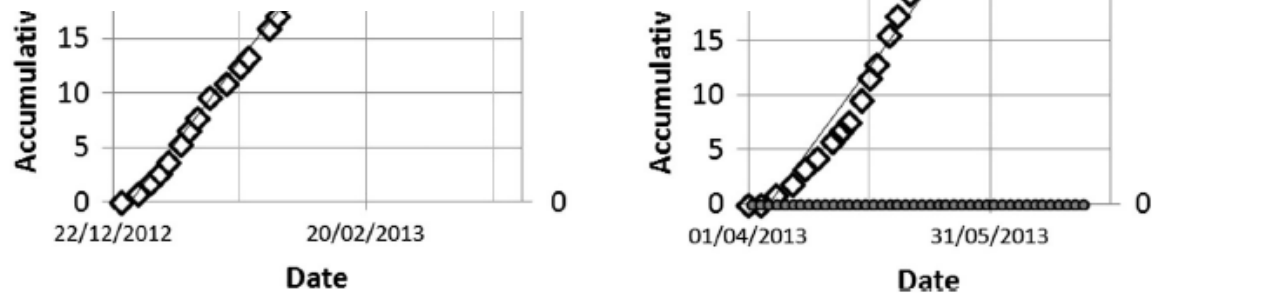


Fig. 5. Accumulative biogas production (at local conditions) for the single stage digester Dv14, with the loading days. Left: 100% days. Right: 51% days

Short communication

Reduced hydraulic retention times in low-cost tubular digesters: Two issues

J. Martí-Herrero*
 Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), Building Energy and Environment Group, C/Dr. Ullés, 2, 3r.
 Barcelona Technology xxx (2012) xxx-xxx

Contents lists available at ScienceDirect
Bioresource Technology
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech

Thermic Model to Predict Biogas Production in Unheated Fixed-Dome Digesters Buried in the Ground

Georgina Terradas-Ill,† Cuong H. Pham,‡ Jin M. Triolo,*† Jaime Martí-Herrero,§ and Sven G. Sommer†

Contents lists available at ScienceDirect
Renewable Energy
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene

Design methodology for low cost tubular digesters

J. Martí-Herrero*, J. Cipriano
 Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), Building Energy and Environment Group, C/Dr. Ullés, 2, 3r. 08224 Terrasa, Barcelona, Spain

Contents lists available at ScienceDirect
Bioresource Technology
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech

Low cost tubular digesters as appropriate technology for widespread application: Results and lessons learned from Bolivia

Jaime Martí-Herrero^{a,*}, Maria Chipana^b, Carlos Cuevas^b, Gabriel Paco^c, Victor Serrano^d, Bernhard Zymla^e, Klas Heising^e, Jaime Sologuren^b, Alba Gamarra^f

Bioresource Technology 181 (2015) 238-246

Contents lists available at ScienceDirect
Bioresource Technology
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech

Towards thermal design optimization of tubular digesters in cold climates: A heat transfer model

Thibault Perrigault^a, Vergil Weatherford^b, Jaime Martí-Herrero^{a,*}, Davide Poggio^c

^a Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), Building Energy and Environment Group, Barcelona, Spain
^b Building Systems Engineering, University of Colorado – Boulder, CO, USA
^c Instituto para una Alternativa Agraria (IAA) – Cuzco, Peru

HIGHLIGHTS

► Low-cost tubular digester are developed for cold climate.
 Bioresource Technology 167 (2014) 87-93

Contents lists available at ScienceDirect
Bioresource Technology
 journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech

Cow, sheep and llama manure at psychrophilic anaerobic co-digestion with low cost tubular digesters in cold climate and high altitude

J. Martí-Herrero^{a,b,*}, R. Alvarez^c, R. Cespedes^d, M.R. Rojas^c, V. Conde^c, L. Aliaga^e, M. Balboa^e, S. Danov^a

Energy for Sustainable Development 27 (2015) 73-83

Contents lists available at ScienceDirect
Energy for Sustainable Development

Improvement through low cost biofilm carrier in anaerobic tubular digestion in cold climate regions

J. Martí-Herrero^{a,*}, R. Alvarez^b, M.R. Rojas^b, L. Aliaga^c, R. Céspedes^d, J. Carbonell^a

The influence of users' behavior on biogas production from low cost tubular digesters: A technical and socio-cultural field analysis

J. Martí-Herrero^{a,b,*}, M. Ceron^c, R. Garcia^d, L. Pracejus^e, R. Alvarez^f, X. Cipriano^a



Estudio de factibilidad para un programa nacional de biogás doméstico en Bolivia

Abril de 2012



Plan del Programa Nacional de Biodigestores en Perú

Plan del Programa Nacional de Biodigestores de Bolivia

Enero 2013



Estudio de factibilidad para un programa nacional de biogás doméstico en Bolivia

Abril de 2012



Plan del Programa Nacional de Biodigestores de Bolivia

Enero 2013



**A partir de las experiencias locales
Se hace un estudio de factibilidad
Y si es positivo: un plan**

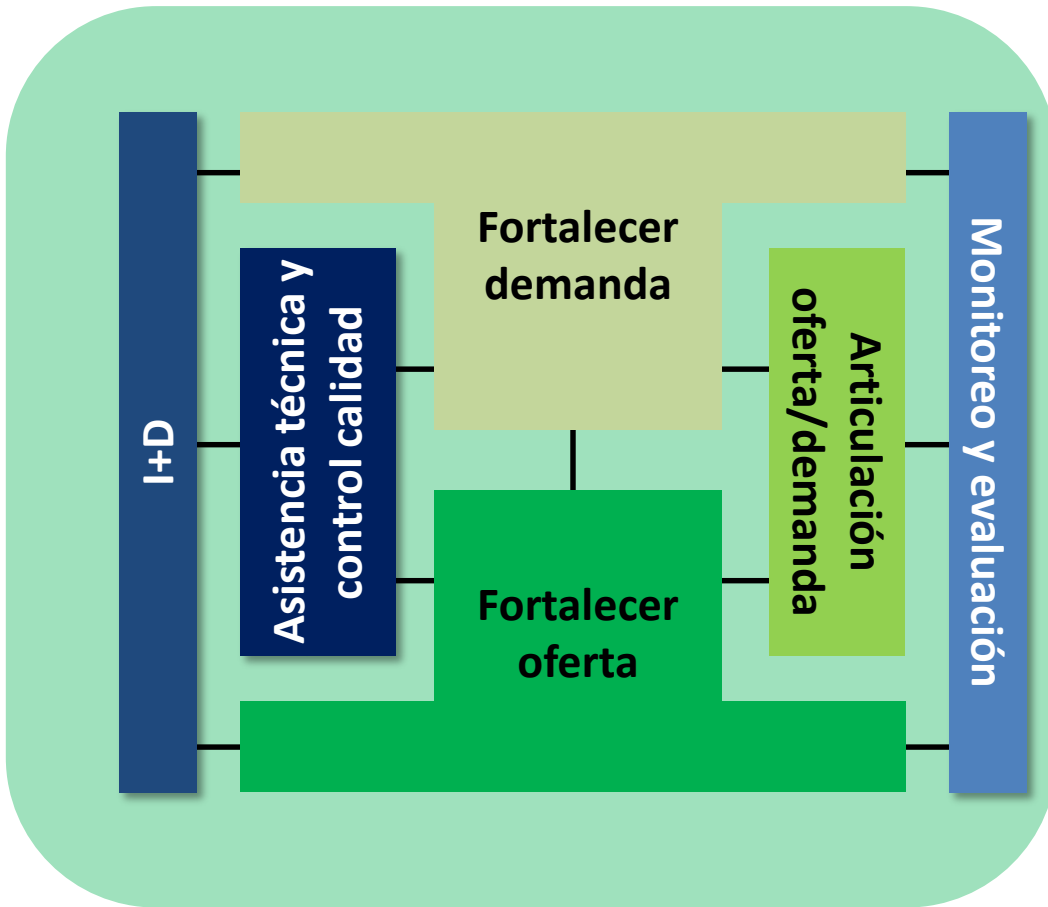
Se busca financiamiento

Referencia 1000us\$/familia



**Desarrollo, difusión e implementación de tecnologías apropiadas en el área rural:
Biodigestores en Bolivia**

Lecciones aprendidas del Proyecto EnDev-Bolivia 2007-2012
Jaime Martí Herrero



Generar un sector

Usuarios, difusión

**Abanico tecnológico
validado e instaladores
certificados**

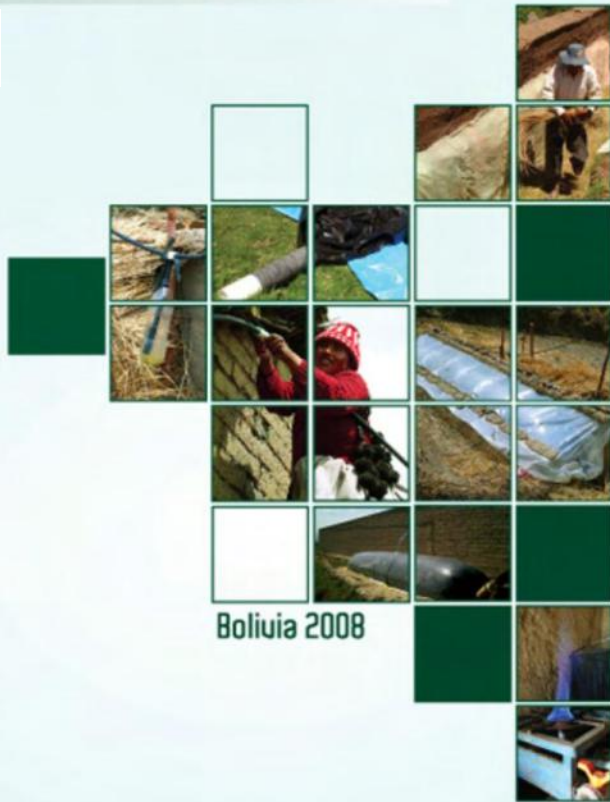
Micro crédito, garantía

Subsidio, calidad, follow up

**Nuevos desarrollos,
validación tecnología**

Saber que pasa...autocrítica

Jaime Martí Herrero



Productive Biogas: Current and Future Development

Five case studies across Vietnam,
Uganda, Honduras, Mali and Peru



BIODIGESTORES FAMILIARES
GUÍA DE DISEÑO Y MANUAL DE INSTALACIÓN
Biodigestores de polietileno tubular de bajo costo para trópico, valle y altiplano

Desarrollo, difusión e implementación de tecnologías apropiadas en el área rural:
Biodigestores en Bolivia

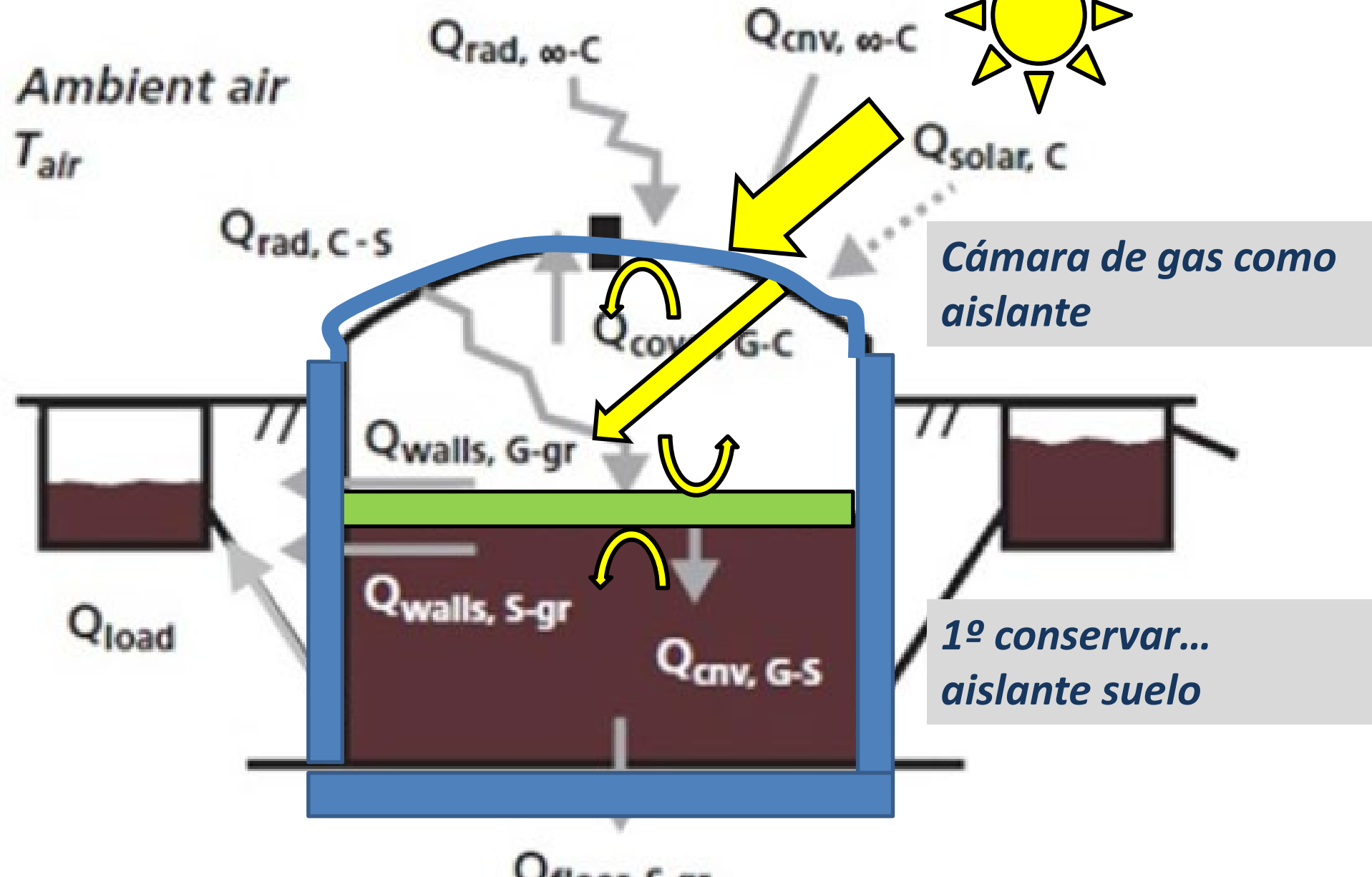
Lecciones aprendidas del Proyecto EnDev-Bolivia 2007-2012
Jaime Martí Herrero



Implementada por:



Transferencia de calor en biodigestores



***Meter el bdg en
un invernadero***

¿Muros con inercia?

Aislar de suelo

*Paja desaparece
en 2 años*

Evitar infiltraciones

*Pero dejar
ventilación*

Meter el bdg en un invernadero

Aislar de suelo

Paja desaparece en 2 años

Evitar infiltraciones

Pero dejar ventilación

Colores oscuros

Viacha, La Paz, Bolivia. Endev-Bolivia-GTZ y



***El plástico de
invernadero
sufre a los 2
años (altiplano)***

CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE Bolivia, 2013

*Sustituir
plástico
invernadero por
policarbonato*



CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE Bolivia, 2015



*Sustituir paja
por poliestireno
como aislante*

CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE Bolivia, 2015

*Mantener
compacidad*

*Cuidado
con asar
el
biodigestor*



CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE Bolivia, 2015



CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE Bolivia, 2013



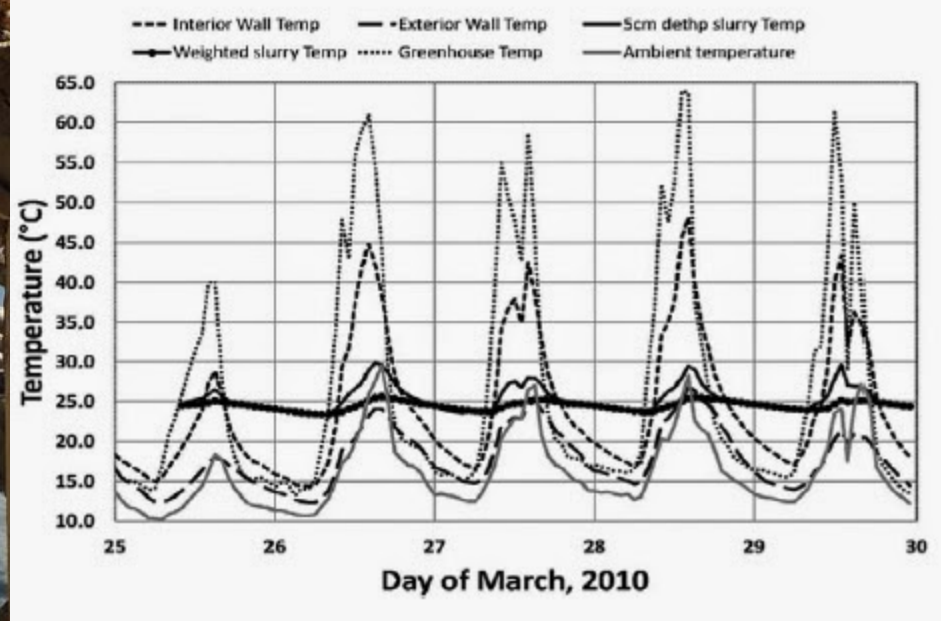
CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE Bolivia, 2013

Se puede lograr una T en el bdg similar a T máxima ambiente

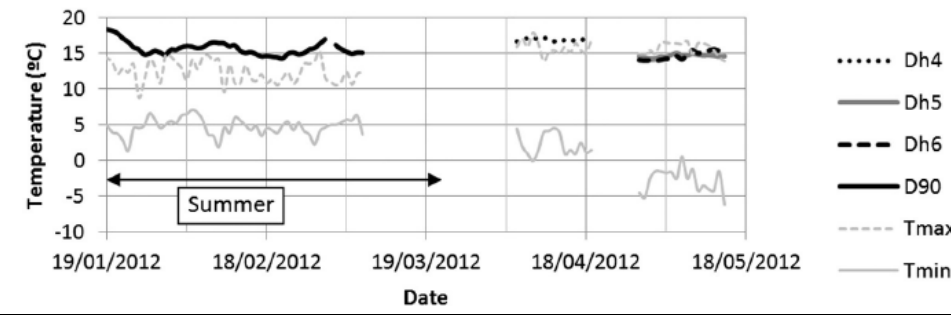


Towards thermal design optimization of tubular digesters in cold climates: A heat transfer model

Thibault Perrigault^a, Vergil Weatherford^b, Jaime Martí-Herrero^{a,*}, Davide Poggio^c



J. Martí-Herrero et al. / Energy for Sustainable Development 27 (2015) 73–83



CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE Bolivia, 2013



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



Cotopaxi, Ecuador, FONAG-INER 2015



CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE, Bolivia2015



CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE, Bolivia2015



CIB3, La Paz, UMSA-HIVOS-CIMNE, Bolivia2015

***Y aislantes
alternativos?***



Cali, Colombia, REDBILAC, 2014

*Y aislantes
alternativos?*

Cali, Colombia, REDBILAC, 2014

*Y aislantes
alternativos?*



Universidad EARTH, Costa Rica. UTA-EARTH-

*Y aislantes
alternativos?*

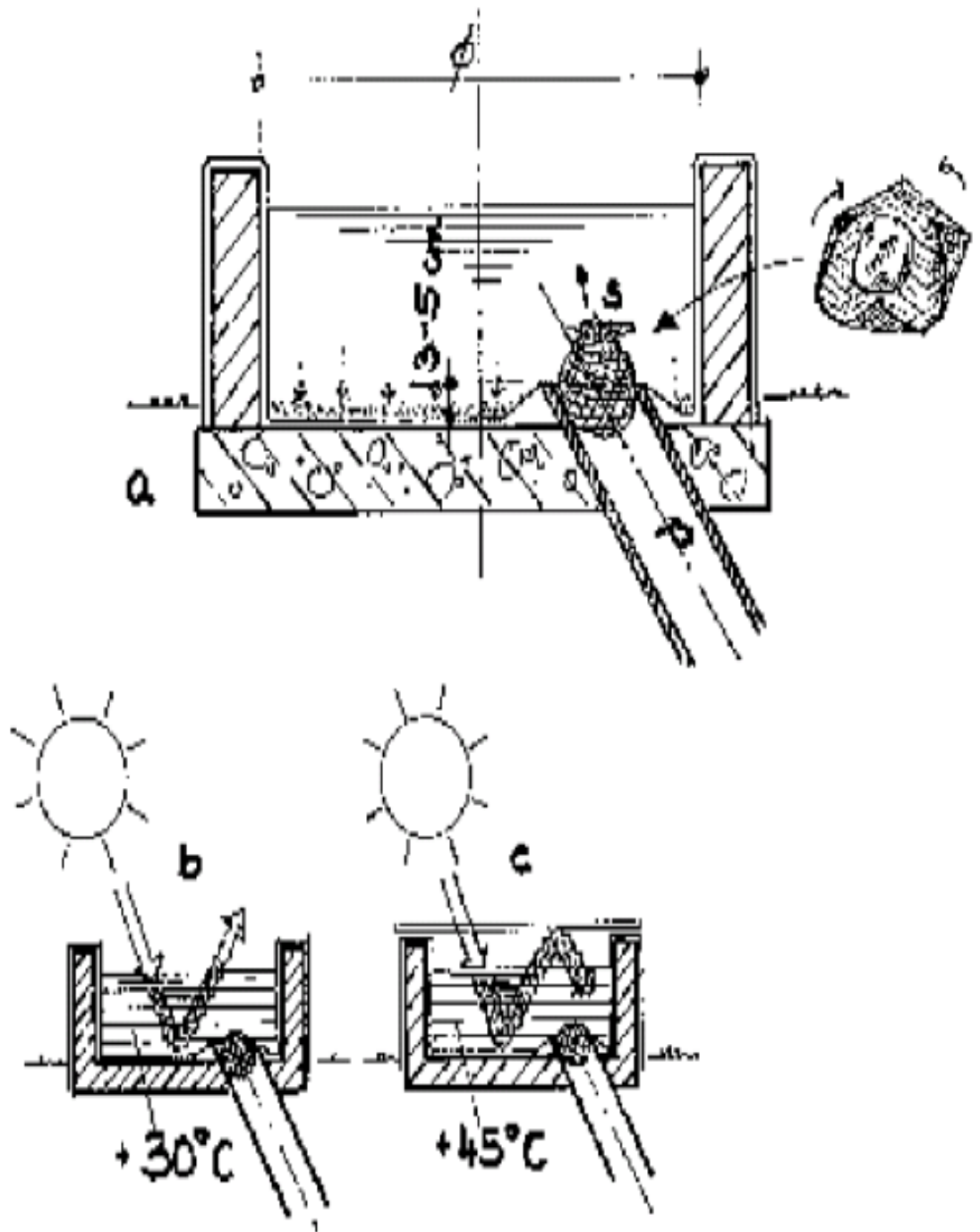


Universidad EARTH, Costa Rica. UTA-EARTH-Redbiolac
2017



Finca Tosoly, Santander, Colombia. UTA-EARTH-Redbiolac, 2017

*¿Y
precalentar
el agua?*



Adaptación de biodigestores tubulares de plástico a climas fríos

D Poggio*, **, I Ferrer*, L I Batet* y E Velo*



Colector solar de agua bajo invernadero

¿Y precalentar el agua?



Figura 5. Tuberías para pre-calentar el agua de dilución



Bioresource Technology 167 (2014) 87–93

Contents lists available at [ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

Bioresource Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech




Improvement through low cost biofilm carrier in anaerobic tubular digestion in cold climate regions

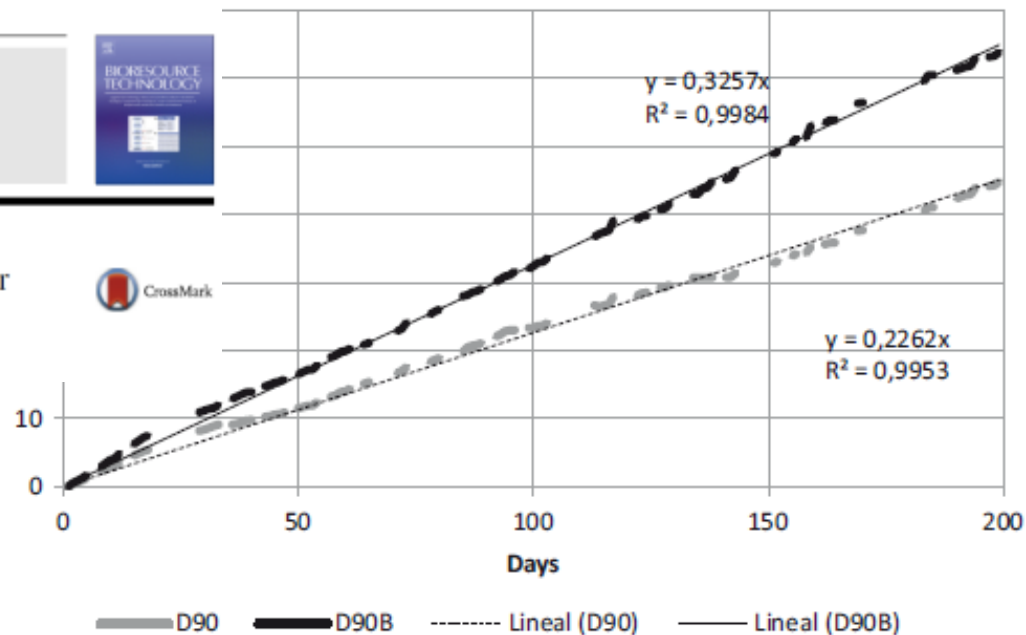
J. Martí-Herrero^{a,*}, R. Alvarez^b, M.R. Rojas^b, L. Aliaga^c, R. Céspedes^d, J. Carbonell^a

Bolivia, CIB3

- Estiercol vaca:agua (1:3)
- 124 d TRH

• Biofilm (+50% biogas)

(FUENTE: [Martí-Herrero et al, 2014](#))






¿retención o biofilm?



300 botellas
cortadas por bdg





The image shows the interior of a building under construction. The walls are made of light-colored bricks. The ceiling is a wooden frame with translucent panels. In the center, there is a zig-zag channel system for ventilation, consisting of a central row of stones and two rows of black plastic sheeting on either side. A wooden ladder is leaning against the left wall. Several blue plastic bottles are hanging from the ceiling. A small window is visible on the right wall.

Ventilado, dividido en canales zig-zag

15.04.2014

**Exceso de calor!!!
+ de 70°C**



09.04.2014

Resolviendo aguas negras: ¿es posible evitar la producción de aguas negras en las viviendas de Ecuador, a la vez de mantener un máximo nivel de vida y de confort? Fase 3

Mayo16-noviembre 17



Jose Maria Saez, PUCE



Reto: bdg compacto



INER
Instituto Nacional de
Eficiencia Energética y
Energías Renovables



PROMETEO
Investigación Formación Desarrollo

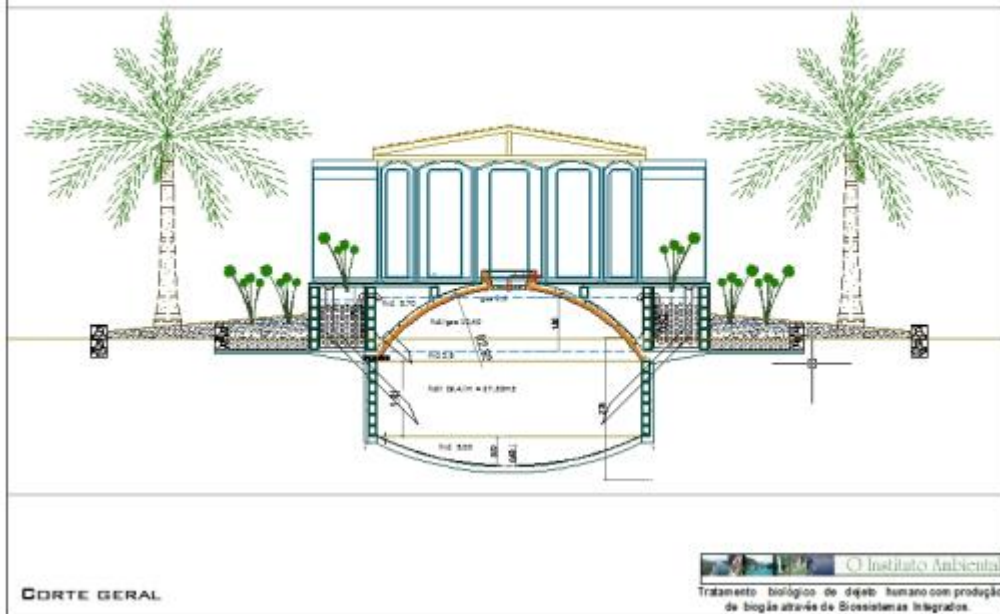






PLASTIGAMA

PLASTIGAMA



Haiti, Fachini

- Aguas negras
- BDG domo fijo
- BDGs: ~66 l/ persona
- 15 d TRH
- 4.4 l/p/d
- sin separación de sólidos
- Post-tratamiento

(FUENTE: Valmir Fachini y Mattia Vianello , RedBioLAC, México 2011)





Nicaragua-AITA

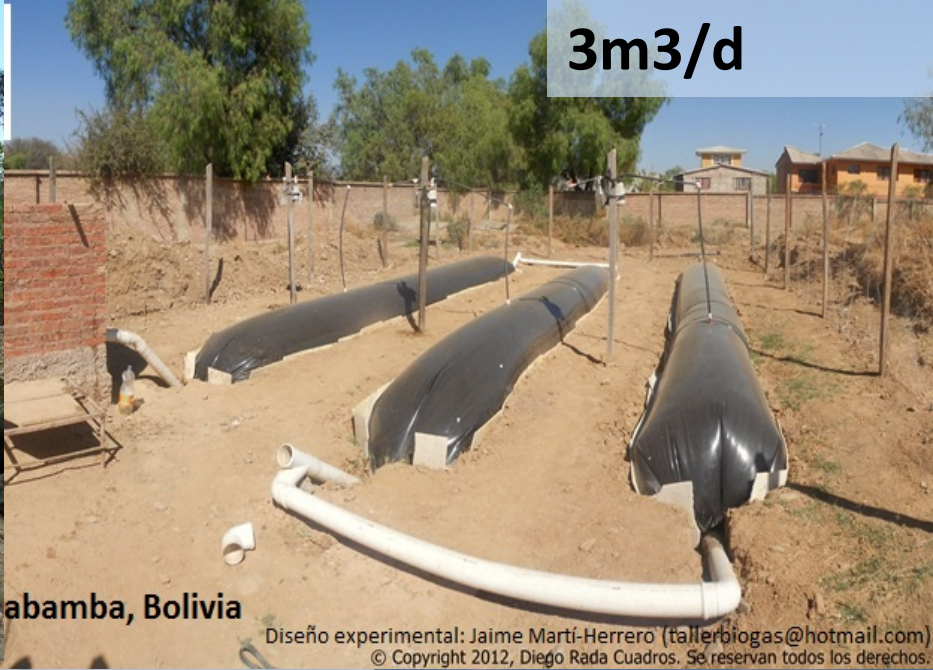
- Aguas negra+grises
- BDG RAHFA (RAFA+FAFA)
- BDGs: ~100 l/ persona
- 3 d TRH
- 33 l/p/d
- Desarenador
- Post-tratamiento

(FUENTE: [AITA](#), RedBioLAC, Nicaragua 2012)





3 burros/día

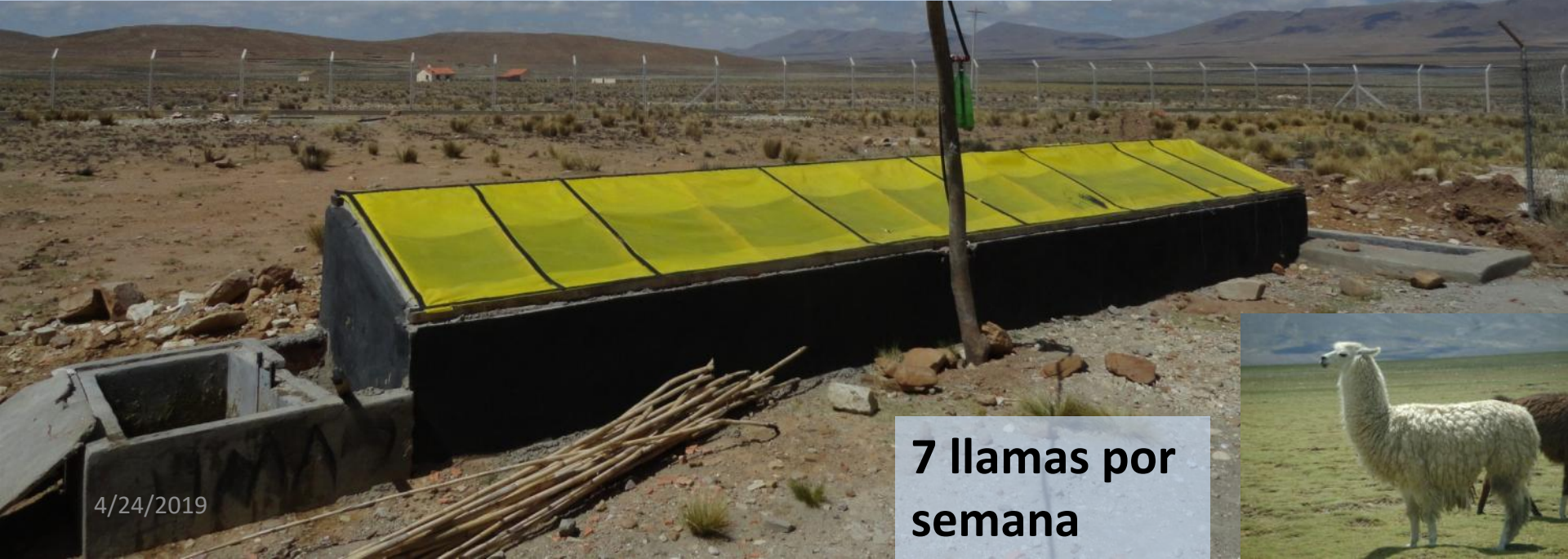


3m3/d

abamba, Bolivia

Diseño experimental: Jaime Martí-Herrero (tallerbiogas@hotmail.com)
© Copyright 2012, Diego Rada Cuadros. Se reservan todos los derechos.

Camales, Bolivia



7 llamas por semana

4/24/2019









Filtro aerobio de PET aumenta
retención de sólidos...
... Pero sobre todo biofilm

$8\text{m}^2/\text{m}^3 \rightarrow \text{en } 100\text{m}^3 \rightarrow 800\text{m}^2$

$800\text{m}^2 \rightarrow 4.000$ botellas por
cada bdg

¿ $\rightarrow 16.000$ botellas en total?





800m² → 4.000 botellas por cada bdg

¿ → 16.000 botellas en total?





Y a los grandes productores



3000 cerdos



Hivos
people unlimited



Y a los grandes productores



3000 cerdos



Hivos
people unlimited





Hivos
people unlimited





Hivos
people unlimited



Y a los grandes productores



3000 cerdos

Tratamiento de FORSU



Digestión anaerobia de FORSU



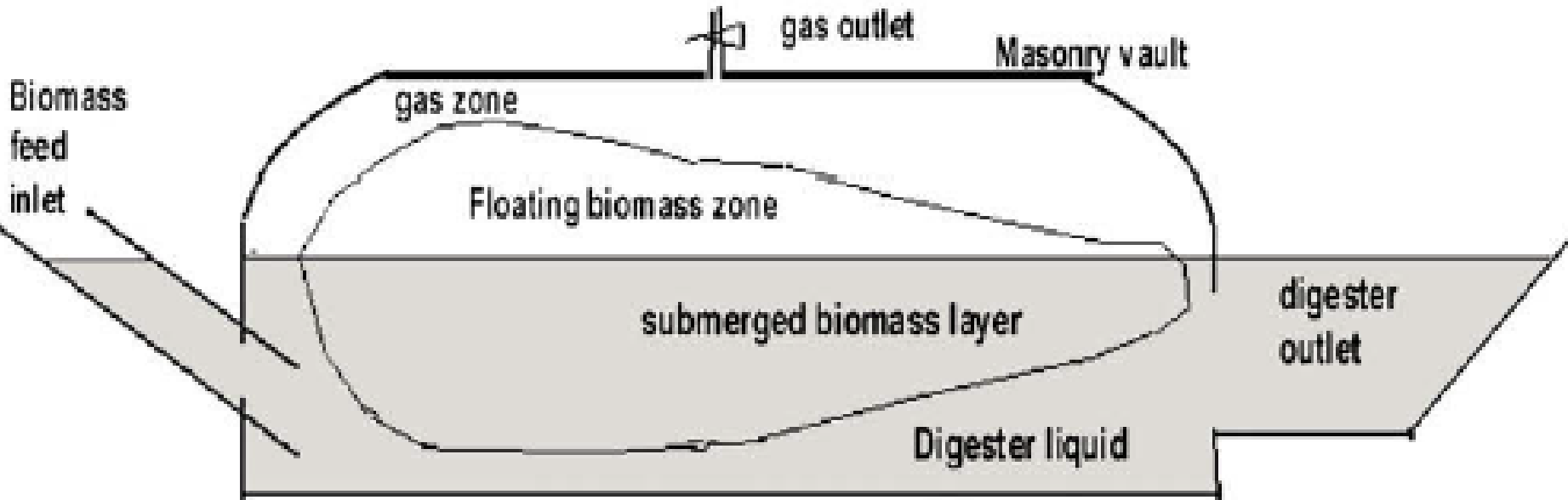
Tecnologías sofisticadas

Altos costos de inversión, operación y mantenimiento

- Pre-tratamiento muy exigente
- Agitación para vencer la costra
- Gasto de biogas para calentar el bdg
- Economía de escala → centralización
- Operación y mantenimiento costoso

Digester ASTRA

- Sumersión forzosa gracias al “scum” generado
- Pre-tratamiento dentro del mismo digester



Digestor ASTRA

Producción de biogás: 60 l/kg
Carga diaria : 500 kg

(Chanakya H. N. et al., 2009)



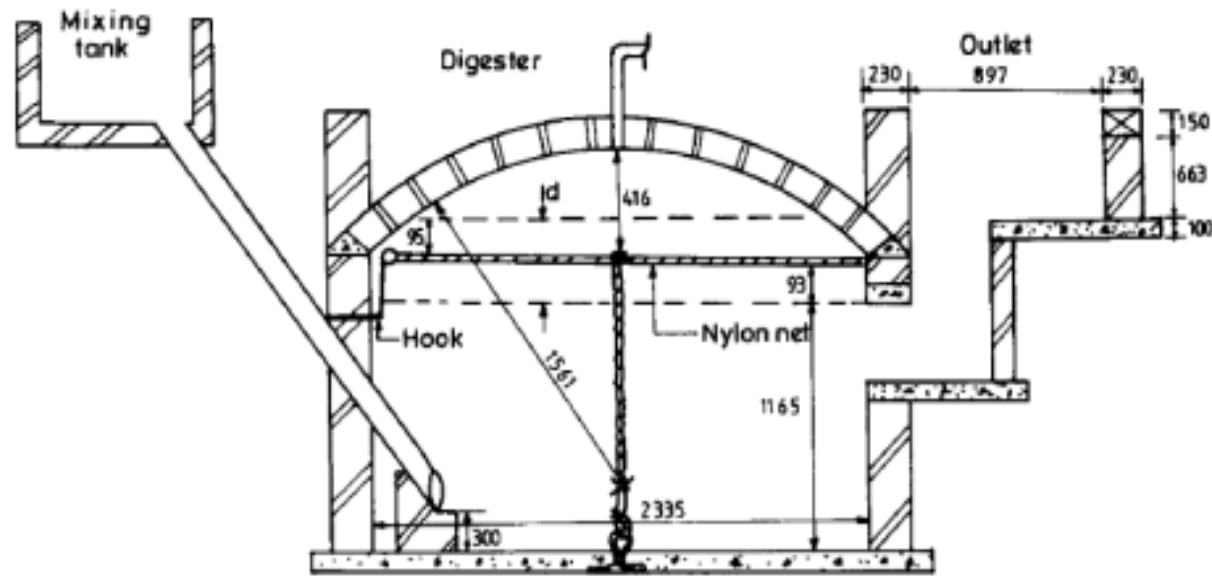
- Pre tratamiento dentro
- Costra como aliado (sumersión)
- No se adiciona agua



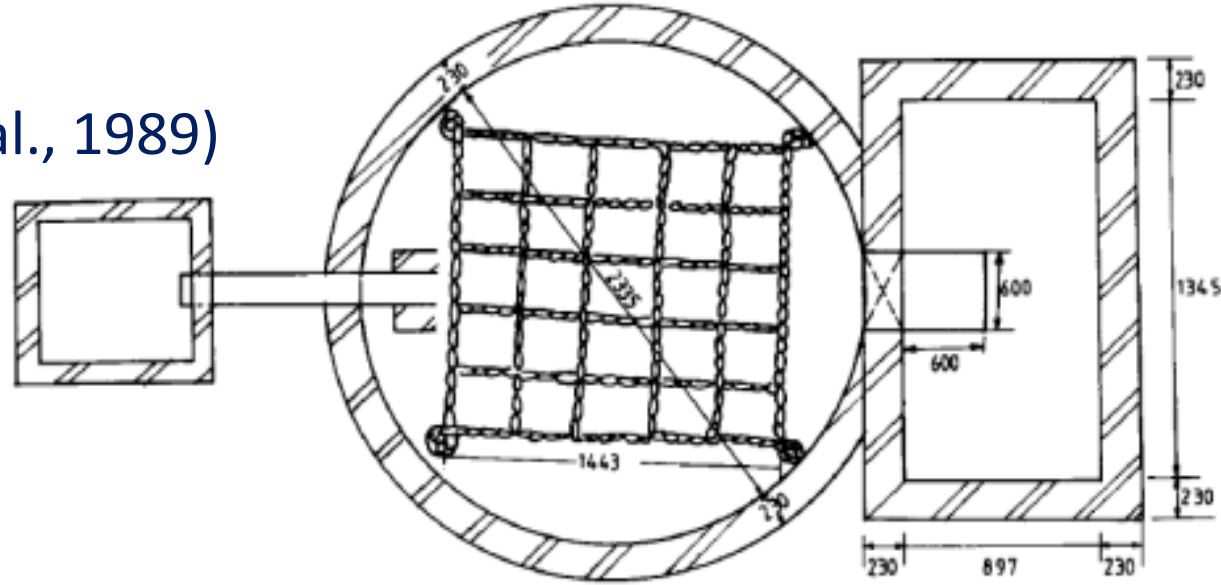
Rotura de "scum"

- Aprovechar movimiento lodo para romper costra

(P. Raman et al., 1989)



SECTION



PLAN

Fig. 2. Diagram of the biogas plant (system B) with scum-breaking net.



Digester BIOTECH

(F. Heeb, 2009)

C

- El efluente se recircula y se emplea como inóculo

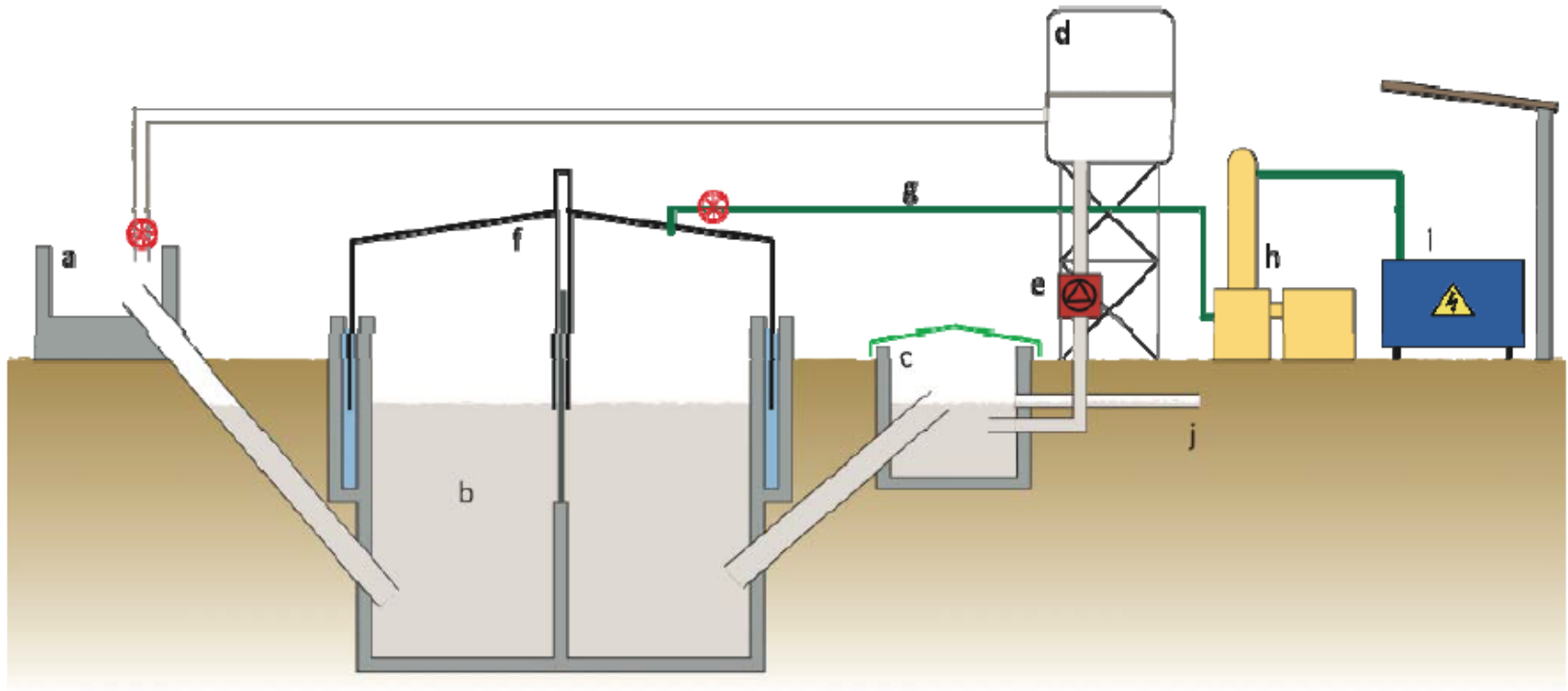


Figure 9: Schematic plan of a BIOTECH market level plant. The sketch is not drawn to scale, but the proportions have been considered as far as possible. a) Inlet tank for feedstock. b) Digester tank. c) Effluent tank. d) Effluent storage tank. e) Effluent pump. f) Gasholder drum. The drum is stabilized by a guide pole in the middle and is floating in a water jacket outside the digester. g) Biogas pipe. h) Gas Scrubber. i) Biogas generator j) Drainage connection for excess effluent.

Digestor BIOTECH



- No agua adicional
- Recirculación



Volumen digestor: 25 m³
Carga diaria máxima: 250 kg
Producción biogas: 50-60 l/kg

(F. Heeb, 2009)

Diseño solar



Calefacción solar pasiva

El bdg logra $T = T_{\text{ambiente máxima}}$

Calentar directamente el líquido

d



DESCOMPOSICIÓN
AIREACIÓN FORZADA

BDG de FORSU

“just right technology”

- ¿Pre-tratamiento? **NO, sumersión**
- ¿Mezcla con agua para diluir? **NO, recirculación**
- ¿Agitación? **No, recirculación, rotura scum, Scum amiga**
- ¿Calefacción? **Diseño solar**

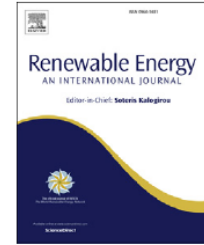


¿Y si evitamos la cámara de biogás para calentar directamente el slurry?



Biogas

agua



Biogas from a full scale digester operated in psychrophilic conditions and fed only with fruit and vegetable waste



J. Martí-Herrero ^{a, b, *}, G. Soria-Castellón ^c, A. Diaz-de-Basurto ^d, R. Alvarez ^e,
D. Chemisana ^f

Table 1
Composition of FVW.

Material	%
Citrus	21.47
Onion/garlic	13.52
Stems and leaves	5.83
Potato	4.47
Banana	
Tomato	
Bean/p	
Parsley	
Corn	
Salad	
cactus pear	1.85

21% de cítricos
pH 5.4
28 %ST

Table 2
Characterization of the FVW.

Parameter (unit)	FVW (Standard deviation)
Mean volumetric weight (kg/m ³)	352 (64.7)
pH	5.38 (0.01)
Total solids (TS) (%)	27.96 (7.27)
Volatile solids (VS) (%) w.w.	26.32 (1.27)
Volatile solids (%TS) d.w	94.13 (0.35)
Organic carbon (%TS)	54.60 (0.20)
Total Nitrogen (%TS)	1.80 (0.10)
Total phosphorus (%TS)	0.55 (0.09)
Total Potassium (%TS)	2.43 (0.24)
Ammonium (%TS)	0.21 (0.04)
C/N	30.38 (1.85)

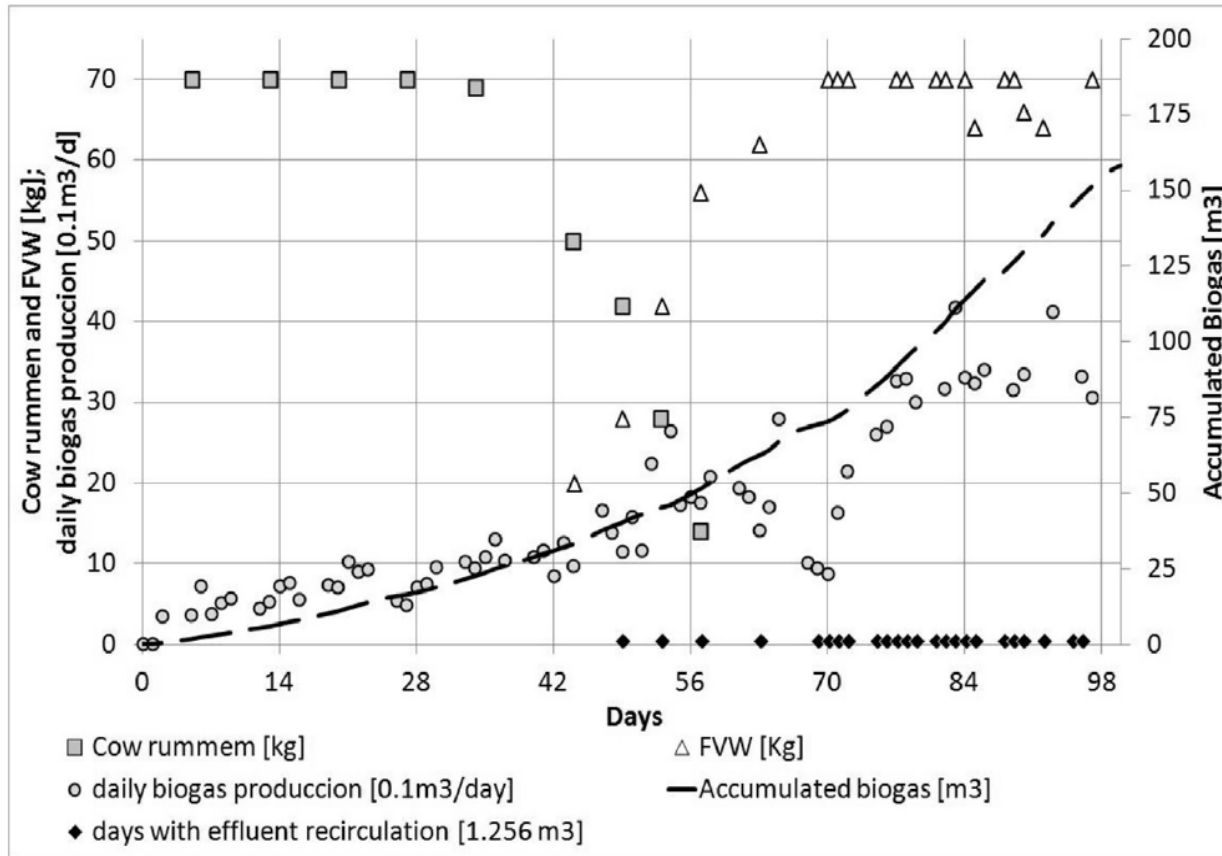


Fig. 2. Feeding pattern and accumulated biogas produced from the beginning of the monitoring period. Note that daily biogas production is expressed in $0.1 \text{ m}^3/\text{d}$ increments for better visualization.

Inicio con rumen → cambio de dieta → solo FVW por 2 años

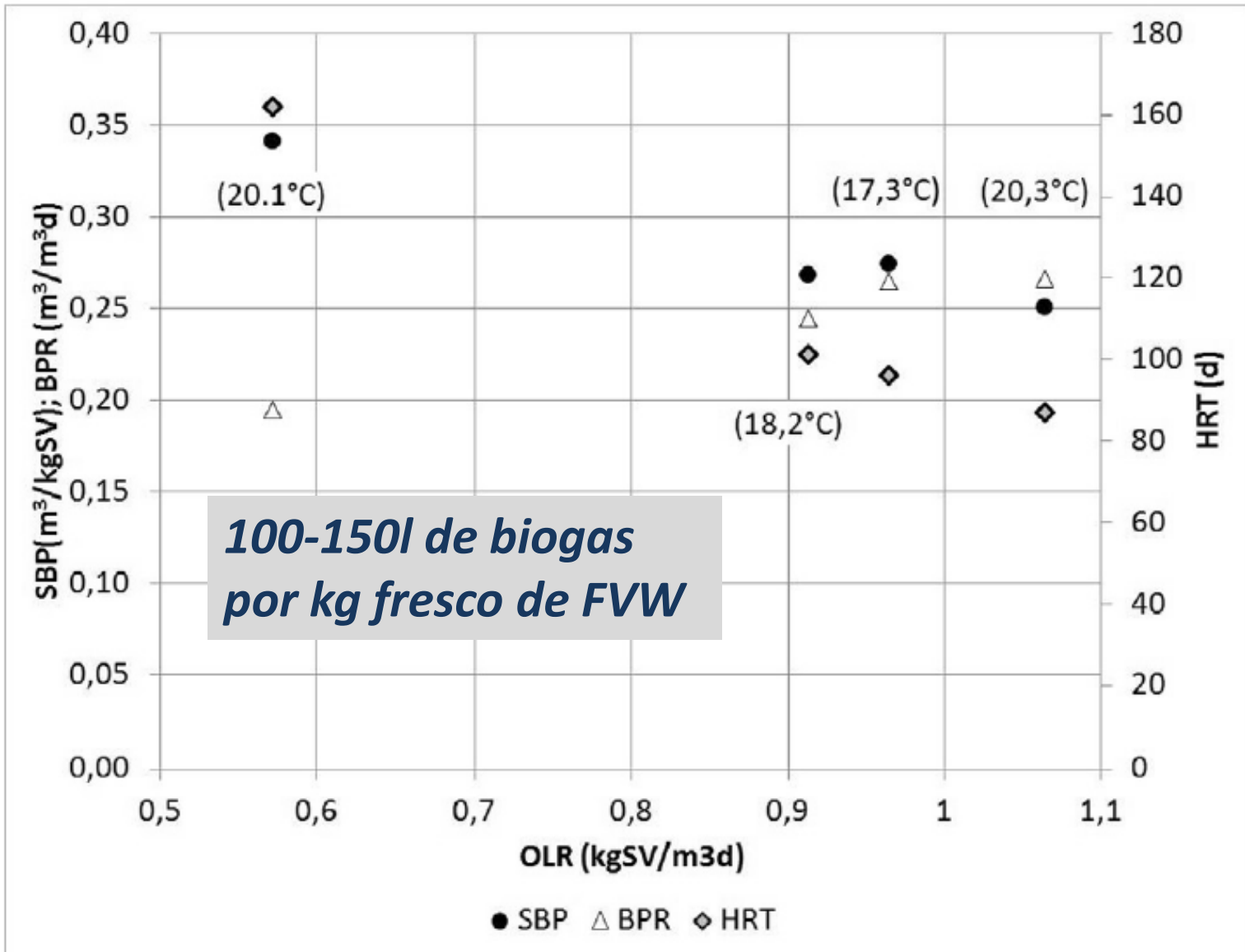


Fig. 5. SBP and BPR (normal conditions) with respect to OLR.

Biogás a partir de basura con la mínima tecnología

Esta es la historia del desarrollo de un prototipo de biodigestor para tratar basura orgánica y generar biogás y biol en Bolivia, pero bajo el concepto de 'tecnología estrictamente necesaria', en contraposición a las tecnologías más sofisticadas y conocidas en Europa. Es la historia de un proceso colaborativo donde han participado casi una decena de instituciones de Bolivia, Ecuador, España y Holanda, durante los últimos dos años.

Jaime Martí Herrero, Daniel Chemisana, Gustavo Soria Castellón, Aitor Díaz de Basurto*

Se puede hacer Digestión “seca” con la mínima tecnología

Sin pre tratar, sin calentar, sin agitar, sin añadir mas agua

¿m³ de biogas/\$ invertidos?

Cambiar tecnología por trabajo

Sistemas modulares, descentralizar



“just right technology”



Ingeniería
Sin Fronteras











PROYECTO:
Fortalecimiento de la Universidad Estatal Amaluza en
la implementación de tecnología
innovadoras para el
tratamiento y aprovechamiento
social con residuos orgánicos
de la zona

CONSEJO REGIONAL DE RIVAPAL
COMUNIDAD RIVAPAL
INSTITUTO VECINO
COMUNIDAD RIVAPAL

CON EL APOYO DE:
Cooperación
Institucional

CIMNE

BIODIGESTORES INNOVADORES DE RESIDUOS ORGANICOS DEL MERCADO

RIVAL
BIODIGESTORES



ALIDAD INEN NTE





@probadox2



tallerbiogas@hotmail.com

Tallerbiogas.blogspot.com

