

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PÓS-GRADUAÇÃO EM MUDANÇAS CLIMÁTICAS, PROJETOS SUSTENTÁVEIS E  
MERCADO DE CARBONO

RODOLFO PALANECK ALVARADO

EVALUACIÓN Y COMPARACION DEL POTENCIAL METANOGENICO  
BIOQUÍMICO ESPECIFICO, PROVENIENTE DE MATERIAS FECALES  
DE LA SALMONICULTURA DE AGUA DULCE DE CHILE Y LAS  
PECUARIAS (AVES, CERDOS, GANADO DE LECHE) EN BRASIL

CURITIBA  
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODOLFO WALTER PALANECK ALVARADO

EVALUACIÓN Y COMPARACION DEL POTENCIAL METANOGENICO  
BIOQUÍMICO ESPECIFICO, PROVENIENTE DE MATERIAS FECALES  
DE PILETAS DE CRIA, EN LA SALMONICULTURA DE AGUA DULCE  
DE CHILE CON RESPECTO A PECUARIAS (AVES, CERDOS, GANADO  
DE LECHE) EN BRASIL.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de especialização em projetos sustentáveis, mudanças climáticas e gestão corporativa de carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

2015

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los que ayudaron a concluir este estudio ambiental, el cual nace como una pequeña luz en el horizonte y que se ha ido transformando con el correr de los meses en un faro que orienta a nuevos esfuerzos y desafíos, aspirando a un ambiente más sustentable.

Mi más profundo agradecimiento para mi familia, a mi orientador el Dr. Carlos Sanquetta, siempre orientándome, siendo un gran apoyo y teniendo gran paciencia conmigo. Agradecer a todo ese equipo fantástico de la Tutoría de la UFPR en especial Thais y Patricia, para ayudar y siempre resolver todos nuestros problemas. Al Dr. Roberto Jaramillo que escucho mis ideas, entregando apoyo y otros puntos de vista, siempre constructivos. A Eduardo Hagedorn que sin él no hubiera sido posible este emprendimiento. A Cibiogas-ER por su magnífico equipo, su gran ayuda y fuerte compromiso y a todos los funcionarios de los servicios públicos de Brasil y Chile, Embajada de Chile en Brasil, al Sr Jorge Vega de piscicultura Santa Juana y a Aerolínea Lan-Tam.

Agradecer a todos mis amigos en Chile y en Brasil junto a los compañeros de pos-graduación. Un especial agradecimiento a mi querida amiga Suziane Paz y toda su familia que han sido fundamental y de gran apoyo para concluir esta pos-graduación y siempre mi agradecimiento a Silvane que ha sido fuente de inspiración. Y un agradecimiento a todos aquellos que no he nombrado, pero que hacen parte de ese Curitiba y de ese Brasil maravilloso que llevo siempre en el corazón a donde quiera que voy.

## INDICE

Resumo-----	5
Resumen-----	6
Abstract -----	7
1. Introducción-----	8
1.1 Objetivo general-----	9
1.2 Objetivos específicos-----	10
1.3 Revisión bibliográfica-----	10
2. Materiales y Métodos-----	14
2.1 Toma de muestra-----	14
2.2 Análisis de Laboratorio-----	15
2.2.1 pH-----	16
2.2.2 Sólidos totales (ST)-----	16
2.2.3 Sólidos Fijos y Volátiles-----	16
2.2.4 Potencial metanogénico bioquímico específico (PME)-----	17
3. RESULTADOS Y DISCUSION -----	19
4. CONCLUSION-----	26
5. RECOMENDACION -----	27
6. REFERENCIAS -----	28

# EVALUACIÓN Y COMPARACION DEL POTENCIAL METANOGÉNICO BIOQUÍMICO ESPECIFICO, PROVENIENTE DE MATERIAS FECALES DE PILETAS DE CRIA, EN LA SALMONICULTURA DE AGUA DULCE DE CHILE CON RESPECTO A PECUARIAS (AVES, CERDOS, GANADO DE LECHE) EN BRASIL.

Rodolfo Palaneck Alvarado<sup>1</sup>

Orientador: Carlos Roberto Sanquetta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduado en Licenciatura en Biología Marina por la Universidad Austral de Chile. E-mail: rodolfopalaneck@gmail.com

<sup>2</sup>Doctorado en Ecología y Manejo de Recursos Forestales por la United Graduate School of Agricultural Sciences, Japón. E-mail: carlos\_sanquetta@hotmail.com

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o Potencial Metanogênico Bioquímico Específico (PME) dos Resíduos Industriais Líquidos de salmão provenientes da aquicultura intensiva (RS), com a intenção de explorar um aproveitamento da matéria orgânica residual como energia renovável (geração de biometano). Comparou-se os PME dos RS (fezes + comida sem ingerir), provenientes de piscicultura de água doce do sul do Chile com as principais espécies de interesses agropecuários da geração de proteína animal intensiva do Brasil (aves, bovinos de leite, porcos), cujos PME e aproveitamento energético com biometano se encontram extensamente documentados. Os parâmetros analisados foram pH, sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV), produção de biogás como  $L_N$  biogás.kg<sup>-1</sup> SV, produção de metano como  $L_N$  CH<sub>4</sub> .kg<sup>-1</sup> SV. Os resultados encontrados em RN foram auspiciosos em termos energéticos, observando níveis de produção de biometano equivalentes às melhores pecuárias do Brasil. A produção de biogás alcançou os 641 641 LN biogás.kg SV<sup>-1</sup> y 491 LN metano.kg SV<sup>-1</sup>. A concentração de CH<sub>4</sub> presente em biogás foi de 76%, situação que confirma a RS em sua capacidade energética como também, o potencial de eutrofizar ambientes aquáticos e de gerar gases de efeito estufa (GEE) em ambientes anaeróbicos, produto de alta concentração de sólidos voláteis (SV) de rápida degradação.

Palavras – chaves: aquicultura, salmão, digestão anaeróbica, biogás, metano

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es evaluar el potencial metano-génico bioquímico específico (PME) de los Eesiduos Industriales Líquidos o Riles, provenientes de la acuicultura intensiva de salmón (RS), con la intención de explorar un aprovechamiento de la materia orgánica residual como energía renovable (generación de biometano). Se compararon los PME de los RS (fecas + comida sin ingerir), provenientes de pisciculturas de agua dulce del Sur de Chile con las principales especies de interés agropecuario en la generación de proteína animal intensiva del Brasil (aves, bovinos de leche, cerdos), cuyos PME y aprovechamiento energético como bio-metano se encuentran extensamente documentados. Los parámetros analizados fueron pH, sólidos totales (ST), sólidos fijos (SF), sólidos volátiles (SV), Producción de biogás como  $\text{LN.biogás.kg}^{-1} \text{ SV}$ , Producción de metano como  $\text{L}_N \text{ CH}_4 \text{ .kg}^{-1} \text{ SV}$ . Los resultados encontrados en RS fueron auspiciosos en términos energéticos, observando niveles de producción de biometano equivalentes a las mejores pecuarias de Brasil. La producción de biogás alcanzó los  $641 \text{ LN biogás.kg SV}^{-1}$  y  $491 \text{ LN metano.kg SV}^{-1}$ . La concentración de  $\text{CH}_4$  presente en biogás fue del 76%, situación que confirma a RS en su capacidad energética como así también, en el potencial de eutrofizar ambientes acuáticos y de generar gases efecto invernadero (GEI) en ambientes anaeróbicos, producto de su alta concentración de sólidos volátiles (SV) de rápida degradación.

**Palabra clave:** acuicultura, salmón, digestión anaeróbica, biogás, metano

## ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the potential methanogenic specific biochemical (PME) of the Riles from intensive aquaculture salmon (RS), with the intention to explore the use of a residual organic matter such as renewable energy (generation of biomethane). Were compared, the PME of the RS (feces + food without eating) from freshwater fish farms in southern Chile with the main species of agricultural interest in generating Brazil intensive animal protein (poultry, dairy cattle, pigs), whose PME and energy use as bio-methane are extensively documented. The parameters analyzed were pH, total solids (TS), fixed solids (SF), volatile solids (VS), production of biogas as LN biogás.kg SV<sup>-1</sup>, production of methane CH<sub>4</sub> LN .kg<sup>-1</sup> SV. The results found in RS were promising in terms of energy, the observed levels of bio-methane production were equivalent to those obtained for the best cattle farms of Brazil. Biogas production reached 641 biogás.kg LN 491 SV<sup>-1</sup> and SV<sup>-1</sup> metano.kg LN, the CH<sub>4</sub> concentration present in biogas was 76%, which confirms to RS in its energy capacity as well as its potential to eutrophicate aquatic environments and generate greenhouse gases (GHG) in anaerobic environments product of its high concentration of volatile solids (VS) of rapid degradation.

**Keyword** : aquaculture, salmon, anaerobic digestion, biogas, methane.

## 1. INTRODUCCIÓN

El confinamiento de grandes volúmenes de animales orientados al comercio nacional e internacional de proteína animal viene creciendo sostenidamente, generando ingentes volúmenes de desechos, con una alta concentración geográfica de estos, ocasionando impactos ambientales significativos al medio ambiente (IPEA 2012).

La Salmonicultura, en Chile es una de estas industrias intensivas de proteína animal de gran importancia económica para el país (FAO, 2010). La producción de salmón alcanzó las 792.200 toneladas el año 2013 representando el 27 % de la producción mundial de salmón (SALMÓN CHILE, 2015). Producción que ha debido enfrentar problemas sociales y medioambientales que limitan su expansión (BUSCHMANN & FORTT, 2005).

La alta carga orgánica generada por esta industria es uno de los mayores problemas a solucionar ya que del 100% del alimento suministrado, solo se recupera el 25% en el momento de la cosecha y el 75% restante (nitrógeno, fósforo y carbono) queda en el ambiente (columna de agua y sedimentos) bajo la forma de alimento no ingerido, fecas con contenidos orgánicos no asimilados por los peces y otras formas de desecho (FOLKE & KAUTKY, 1989). Estudios muestran que estas cargas orgánicas alteran la biodiversidad y los equilibrios tróficos, produciendo impactos significativos en los ecosistemas (BUSCHMANN & FORTT, 2005).

Existe otro impacto ambiental del cual somos conscientes desde un pasado reciente y es la emisión de gases efecto invernadero (GEI). El metano ( $\text{CH}_4$ ) proveniente de la degradación anaeróbica de los desechos orgánicos es un poderoso (GEI) cuyo potencial de calentamiento global es 21 veces superior al  $\text{CO}_2$  (WEITZ APUD HOUGHTON, 1996).

En la comprensión que sin un ambiente sano y equilibrado desaparecen las condiciones en que una industria intensiva puede crecer y seguir existiendo en el largo plazo, es que se trabaja en varias líneas de acción científico - tecnológicas para prevenir, reducir y mitigar los impactos ambientales.

Brasil ha avanzado exitosamente a la solución de esta problemática ambiental, aprovechando la biomasa de los residuos generados por la crianza intensiva de animales y residuos agroindustriales, para producir energía a través



del biogás. Visualizar en los residuos, un activo energético de gran valor, cuya utilización trae beneficios para el medio ambiente y la economía nacional para así transitar a una economía de bajo carbono, sustentable, inclusiva, eficiente y aunque avanzada, tecnológicamente simple (BLEY, 2015). Con este enfoque pasan a ser ampliamente estudiados y evaluados los procesos anaeróbicos, sus potenciales metanogénicos y potenciales de generación de energía (BLEY, 2015).

Puesto que Chile casi no cuenta con alguna estimación de potencial metanogénico específico para ninguna pecuaria o de emisión de GEI locales o propios, en los sectores acuícola, agrícola, pecuaria y forestal (INIA, 2003); el cálculo del potencial metano-génico bioquímico específico resultará en los siguientes beneficios.

- a) Un primer paso para evaluar la factibilidad técnico-económica en la generación de bio-metano como solución a la disposición de los residuos orgánicos.
- b) Estimar factores de emisión locales de GEI generando inventarios más confiables, que reflejen de mejor forma las condiciones del sistema productivo acuícola del país en vista de implementar proyectos MDL entre otras oportunidades.

En esta perspectiva es que resulta interesante tomar la experiencia y conocimientos de las pecuarias del Brasil y compararlas con el potencial metanogénico de los riles generados de las pisciculturas de salmón, como una búsqueda de solución a los problemas ambientales y una posibilidad real de producir energía renovable.

## **1.2 Objetivo general**

Determinar el potencial metano-génico bioquímico específico presente en los Riles de Salmón (RS) en la acuicultura de agua dulce de Chile y comparar estos resultados con los potenciales metano-génicos de las pecuarias de producción intensiva de aves, cerdos y ganado de leche en el Brasil.

### 1.3 Objetivos específicos

Determinar en los riles de Salmón los siguientes parámetros: Porcentaje (%) sólidos totales ST, (%) sólidos volátiles SV (en base seca), (%) sólidos fijos SF (en base seca), pH, Litros normalizados de biogás por kg de sólidos volátiles (LN Biogás.  $\text{kg}^{-1}\text{SV}$ ), Litros normalizados de metano por kg de sólidos volátiles (LN  $\text{CH}_4.\text{kg}^{-1}\text{SV}$ ).

### 1.4 Revisión Bibliográfica.

El crecimiento de la demanda de alimentos en el mundo, principalmente en Asia causará aumento de las emisiones de GEI totales en un 50% entre el año 2000 y 2030 (VERGÉ et al., 2007). Los cultivos alimentarios intensivos usan energías y fertilizantes de origen fósil y generan grandes volúmenes de productos de desecho (DE VRIES et al., 2012).

En el entendimiento de que la emisiones de GEI están aumentando sostenidamente con las consiguientes consecuencias en el clima global, que las energías fósiles son recursos finitos cada vez más escasos y que estas últimas fuentes cada vez son foco de mayores presiones jurídicas, éticas, sociales y económicas como consecuencia del agudizamiento de los problemas ambientales, factores que han aumentado el interés por las energías renovables (YILMAZ & SELIM, 2013; VALLE et al., 2011).

Así, la utilización de la biomasa como energía renovable a partir de los desechos agrícolas e industriales comienza a ser nuevamente considerada como una fuente de energía más limpia y necesaria para avanzar hacia el desarrollo sustentable (KALLOUM et al., 2014)

Una de las múltiples formas en que se puede utilizar la biomasa es bajo la forma de BIOGAS. La producción de cultivos energéticos a gran escala para esta finalidad está teniendo amplio rechazo (SIEGMEIER et al., 2015), sin embargo generada de una mejor gestión de los residuos agrícolas y del estiércol responde como una de las técnicas de mitigación a los impactos ambientales aceptada actualmente, con ventajas competitivas frente a otras técnicas de tratamiento biológico y entrega un producto energético renovable (VERGE et al., 2007) y que

según estimaciones de la política de la Comunidad Europea, es que al menos el 25% del total de bioenergía se puede derivar a partir de biogás, (MAO et al., 2015), que puede ser usado en prácticamente todas las aplicaciones en las cuales se usa hoy en día el gas natural (ZANETTE, 2009).

El biogás tiene origen en un proceso biológico de fermentación anaeróbica, en el cual ocurre la transformación de la materia orgánica a través de una serie de reacciones bioquímicas mediadas por un consorcio de microorganismos, donde la presencia de oxígeno es reducida o inexistente (GUWY, 2004). Este consorcio de microorganismos, transforma la materia orgánica compleja en sustratos más simples y fermentables a través de cuatro etapas: hidrólisis, ácido-génesis, acetogénesis y metano-génesis y estas etapas son una condición metabólica para los diversos organismos implicados en ellas (KALLOUM et al., 2014), produciendo un efluente líquido (bio-fertilizante) y generando biogás (ALVES et al., 2012).

El Biogás, es una mezcla gaseosa con participación variable de los gases que la componen, debido en parte a la composición del residuo utilizado y a las condiciones inherentes al funcionamiento del proceso de digestión como pH, alcalinidad, dieta suministrada, temperatura y sistema empleado en la producción pecuaria (COLDEBELLA et al., 2006).

Cuando la producción de biogás tiene como origen el estiércol animal, uno de los factores más importantes en la cantidad de biogás y la concentración de metano en el biogás, es la composición de la dieta y la conversión del alimento, (ORRICO, 2011), motivo por el cual existen diferencias significativas en la generación de metano para una misma pecuaria dependiendo del lugar geográfico del emprendimiento (IPCC, 2006).

La composición del biogás está dada por la participación de varios gases en concentración variable. Metano ( $\text{CH}_4$ ) 50-80%, Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), 20-40%, Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) 1-3%, Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) 0,5-3%, Gas Sulfhídrico y otros ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NH}_3$ ) 1-5% (ZANETTE, 2009).

Las bacterias metanogénicas dependen principalmente de las fuentes de carbono para obtención de la energía y el nitrógeno es el elemento necesario para formar nuevas células, considerándose un valor óptimo una relación de C:N (28:1) y aceptable hasta (20:1). Fuentes con un aporte mayor de carbono (35:1) tienen tasas de descomposición de la materia orgánica más lentas, debido a que la multiplicación

bacteriana se ve disminuida. Relaciones bajas en carbono (8:1) pueden inhibir la actividad bacteriana debido a una formación excesiva amonio, que inhibe el proceso anaeróbico (ZHANG et al., 2014).

La producción de biogás y concentración de metano en el biogás es variable dependiendo de la pecuaria analizada. Estas diferencias en la producción de biogás y CH<sub>4</sub> se pueden ver en la tabla 1. para las pecuarias intensivas (promedio) de bovino, cerdo y aves en el Brasil.

Tabla 1.- PME de purines en pecuarias de Brasil

ANIMAL (Peso vivo)	kg estiércol/ Animal/día	m3 biogás/ kg estiércol	m3 biogás/ kg SV	m3 biogás/ animal /día	m3 Ch4/ kg SV
Bovino(500kg)	10-15	0,038	0,094-0,31	0,36	0,13
Cerdos(90kg)	2,3-2,8	0,079	0,37-0,50	0,24	0,29
Aves (2,5 kg)	0,12-0,18	0,050	0,31-0,62	0,014	0,24

Fuente con adaptaciones : Machado (2011), p.22 apud Oliveira (2001), (IPCC 2006), (IBGE 2008)

Los valores expresados en la (tabla 2) corresponden a las medias del potencial metano-génico específico (PME) para distintas pecuarias (bovino, cerdos y aves) de la región Oeste de Paraná - Brasil.

Tabla 2. Medias de PME en purines de pecuarias de la región Oeste de Paraná y análisis realizados en el Centro de Energías Renovables CIBIOGAS-ER 2015.

SUSTRATO	ST g/kg	SV g/kg*	LN biogás.kg <sup>-1</sup> SV	Metano LN CH <sub>4</sub> .kg <sup>-1</sup> SV
Efluente purín bovino lechero - entrada Bio-digestor (BL)	41,1	752,3	321,6	210,9
Efluente purín cerdo Termino - entrada Bio -digestor (CT)	23,9	632,4	469,7	373,7
Efluente purín cerdo UPL- entrada Bio-digestor (UPL)	16,8	713,3	776,0	633,2
Cama de aves (CA)	728,2	784,0	329,4	149,4

Fuente : Información personal, suministrada por CIBIOGAS-ER (2015).\* Base Seca.

Los análisis de la pecuarias de la Región Oeste de Paraná que se muestran en Tabla 2, están realizados en el laboratorio de Cibiogas-ER empleando la misma metodología utilizada para analizar los Riles de salmón (RS).

En la industria acuícola en Chile, según datos de la Comisión Nacional de Energía de Chile y la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) se ha calculado el Potencial de Biogás para la industria del salmón. Este potencial de Biogás se determina en forma indirecta (ver: tabla 3) a partir de toda la biomasa disponible para su bio-metanización teórica y estimando en un 40% el rendimiento eléctrico del motor generador que suele ser considerado como una máquina de 4 tiempos que opera en ciclo Otto (motor de gasolina de combustión interna mas difundido entre motocicletas, automóviles, aviación deportiva y fuera borda). La transformación de la energía del combustible en energía eléctrica varía entre un 30 y 40% a través del eje acoplado al motor y la cogeneración de energía a través del calor del motor representa alrededor del 30% de la energía suministrada al motor por el combustible (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2012). En estos cálculos se consideran los siguientes datos, Contenido de materia seca (MS) 15%, Contenido de sólidos volátiles (SV) 65% de la MS, Producción de biogás 380 m<sup>3</sup>/ton SV, contenido de metano 60% (GAMMA, 2011).

Tabla 3: Potencial biogás para salmonicultura en la X Región de los Lagos-Chile.

Región	Producción Ton	Potencial Neto (Miles m <sup>3</sup> biogás)	Potencial Neto (Gcal/año)	Eléctrico MWh/año	Promedio (MWh/año/pisci- cultura)
X	15.123	1.345	7.262	3.378	63

Fuente: GAMMA INGENIEROS 2011 \*Alevines y juveniles de salmón y trucha.

En el hemisferio Norte (Noruega) se han realizado estudios en establecer el potencial metanogénico de los RS en smolt de *Salmo salar*. Gebauer et al.,(2005) con una metodología usando un reactor anaeróbico de flujo continuo y tiempos de retención hidráulica 55-60 días obtuvo rendimientos de potencial metanogénico de 0.260–0.281 de CH<sub>4</sub> l/g SV y una concentración de CH<sub>4</sub> en el biogás entre (44% - 54%).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras de Riles de salmón (*Salmo salar*) de Chile fueron analizadas en laboratorio de Cibiogas- ER en Brasil para los análisis de: sólidos totales, sólidos fijos, sólidos volátiles, pH e potencial metano-génico bioquímico específico (PME).

### 2.1 Toma de muestra

Fueron colectadas 5,5 litros de muestras de RIL de salmón (RS) proveniente de estanques (agua dulce) de cría, en las dependencias de la piscicultura Santa Juana, localizada en la Provincia de Osorno-Chile ( $40^{\circ}45'29.96''S$ ;  $72^{\circ}58'08.97''O$ ).

Aquí los ejemplares de salmón (especie, *Salmo salar* o Salmón del Atlántico) están exclusivamente en agua dulce hasta alcanzar la condición fisiológica conocida como smoltificación (120-150gr) para ser posteriormente transferidos al mar para alcanzar el tamaño adulto (Ver cuadro 1).

Cuadro 1. Foto 1, piletas con alevines de salmón. Foto 2, piletas con etapa juvenil hasta alcanzar etapa de smolt. Foto 3, Roto-filtro.



El Agua dulce de esta piscicultura es recirculada y los peces no poseen tratamiento algunos con elementos bactericidas (antibióticos) ya que no existe ningún tipo de patologías infecciosas en esta etapa del cultivo.

Las muestras de Riles de salmón (RS) fueron colectadas en envases plásticos con una temperatura ambiental de  $12^{\circ}C$  y trasladadas en envase térmico a la ciudad de Puerto Montt- Chile, para ser congeladas a  $(-22^{\circ}C)$  y transportadas al laboratorio de (Cibiogas-ER) en Foz do Iguaçú- Brasil-PR, en condiciones refrigeradas.

Los RS se obtiene mediante el filtrado del agua de los estanques de peces a través de un Roto-filtro, que es un sistema de filtración por gravedad que utilizan micro-tamices para la eliminación de sólidos en suspensión y turbidez.

En el caso específico de la piscicultura donde se colectó la muestra, el roto-filtro estaba equipado con un micro-tamiz de 90  $\mu\text{m}$ .

Las muestras obtenidas se depositaron para su transporte al interior de tres (3) envases contenedores plásticos (envases PET) con un volumen de 5,5 lts en total.

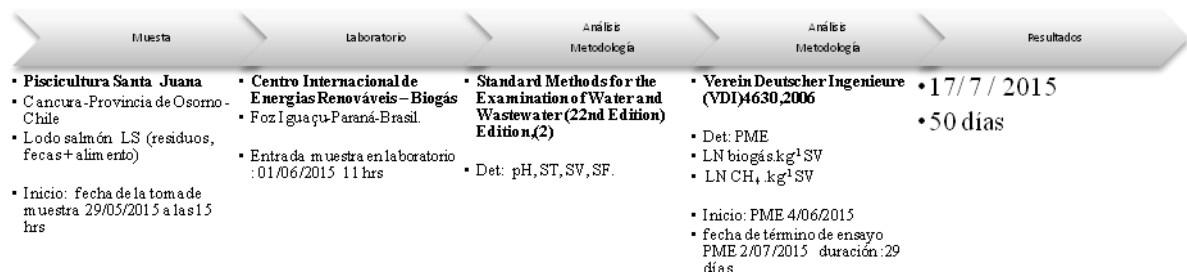
## 2.2 Análisis de laboratorio

El Potencial Metanogénico Bioquímico Específico se evaluó en el laboratorio del Centro Internacional de Energías Renovables y Biogás (Cibiogas-ER), localizado en Foz do Iguaçu - Brasil  $25^{\circ}26'09.65''$  S y  $54^{\circ}35'50.36''$  O.

En los laboratorios de Cibiogas-ER todos los procedimientos fueron realizados en sus versiones vigentes y son basados en las normas para ensayos físico-químicos de acuerdo a las normas técnicas (ISO 11734, 1995; VDI 4630, 2006).

Las primeras actividades que se realizaron a la llegada de la muestra al laboratorio fue la determinación de pH, ST, SF y SV y posteriormente PME. El Fluxograma de las actividades desde el inicio de las actividades con la toma de muestra, hasta la conclusión del ensayo de PME se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Fluxograma que visualiza las etapas del ensayo PME desde la toma de muestra hasta concluir con los resultados.



### 2.2.1 pH.

La primera actividad fue determinar el pH del sustrato el cual fue verificado electro-químicamente (SMWW, 2012 – Método 4500 – H+). Para ello, una fracción de la muestra 200cc se colocó en vaso de precipitado (Ver cuadro 3), dejando en reposo hasta alcanzar la temperatura ambiente del laboratorio que es de 24°C (temperatura controlada). Alcanzada la temperatura ambiental, se procedió a homogeneizar el contenido y realizar tres lecturas de pH y temperatura.

### 2.2.2 Sólidos totales (ST)

Se realizó un análisis gravimétrico para la determinación de los sólidos totales, en el cual un crisol de porcelana de 90 mm de diámetro es tarado en una balanza analítica de precisión 0,1gr una vez adicionada la muestra de (RS) la lectura del peso es registrada.

Los crisoles de porcelana con las muestras fueron llevados a una estufa para evaporación entre  $104\pm 1^\circ\text{C}$  por 12 horas hasta alcanzar peso constante.

Cuadro 3. Foto 1-2, mezcla de la muestras y homogenización. Foto 2-3, muestra de RIL para medición de pH. Foto 5, medición de temperatura y pH.



### 2.2.3 Sólidos Fijos (SF) y Volátiles (SV).

Se realizó un análisis gravimétrico para SF. Pesados los ST, se colocan los crisoles de porcelana en una mufla a 550°C por una 1 hora, luego llevados a temperatura ambiente 24°C dentro de un desecador.

Una vez alcanzada la temperatura ambiente es registrado el peso y determinado por diferencia, sólidos fijos y volátiles.

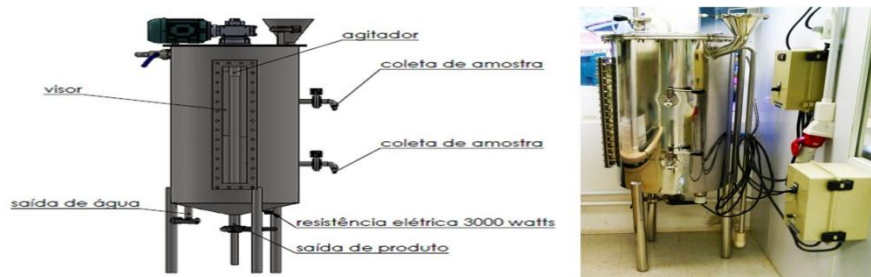


#### 2.2.4 Potencial metano-génico bioquímico específico (PME).

Los ensayos anaerobios para determinar la producción del potencial de biogás fueron realizadas por lotes, (batch, discontinuo o también llamado de batelada en portugués), siguiendo los protocolos del ensayo de potencial metano-génico bioquímico específico (PME) conforme a la norma técnica de la Verein Deutscher Ingenieure (VDI 4630, 2006) para la degradación de materiales orgánicos. Todos los ensayos fueron realizados en triplicado.

El inóculo utilizado para comenzar los ensayos anaeróbicos fue suministrado por CIBIOGAS -ER. Este está constituido de una mezcla de estiércol de actividades de la industria pecuaria (Bovinos y cerdos) de la región oeste de Paraná, incrementado con otros efluentes periódicamente para mejorar la riqueza bacteriana del inóculo. A este inoculo se le alimenta cada 24 horas con una mezcla de (harina de maíz 20%, aceite 20% , pasto seco 25%, leche en polvo 25%, proteína de soya 10%) y es mantenido en anaerobiosis y condiciones mesófilas controladas, con el fin de atender las recomendaciones de la norma VDI 4630 para aplicación en test de PME de residuos agropecuarios y agroindustriales (DE BONA et al., 2015), (Ver cuadro 4).

Cuadro 4. Diagrama Fuente: Incubadora de Inóculo. Foto. Incubadora de Inóculo (De Bona et al., 2015).

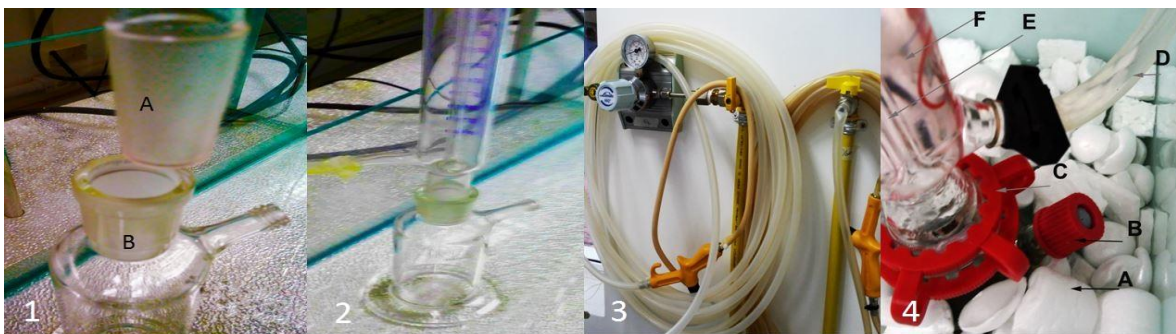


Antes de iniciar el ensayo de potencial de biogás los digestores son purgados con nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ) tanto para garantizar la condiciones anaeróbica, es decir eliminar el  $O_2$  que podría ser perjudicial para el consorcio de bacterias anaeróbicas y probar el cierre hermético del digestor y descartar fugas de biogás en las conexiones.

El experimento se realiza en biodigestores por lotes o batelada, que significa que la carga orgánica es adicionada al biodigestor en una sola vez y que no existe flujo de entrada de reactivos o flujo de salida de productos mientras la reacción está aconteciendo bajo condiciones de temperatura mesófilas ( $37,0^{\circ}\text{C} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$ ).

El biodigestor utilizado, son matraces Kitazato que tienen una capacidad de 250 ml y el tiempo de retención hidráulica o tiempo que la muestra permanece en el digestor fluctúa entre los 28 y 35 días aproximadamente, (ver cuadro 5).

Cuadro 5 Foto 1-2 , (A) Tubo eudiómetro (B) Matraz Kitazato Foto 3 Surtidor de  $\text{N}_2$  líquido para purga. Foto 4 (A) Termofor para mantener temperatura de baño maría, (B) matraz Kitazato (C) Seguro de unión Kitazato-eudiometro (D) Manguera flexible para salida de agua desplazada. (E) Tubo interno de eudiómetro para salida de biogás. (F) Tubo externo de eudiómetro graduado y aforado con agua.



La temperatura de los digestores se controla termostáticamente (controlado electrónicamente) mediante un baño (baño maría) en un rango de entre  $36\text{-}38^{\circ}\text{C}$ .

El biogás que se produce durante la digestión anaeróbica es cuantificado con la utilización de tubos eudiómetros graduados en forma descendente (escala de 1 ml) con capacidad de 500 ml,(ver Cuadro 6).

La producción de biogás fue medida diariamente la cual es expresada en litros normalizados por kg de SV ( $\text{LN.kgSV}^{-1}$ ) a condiciones de temperatura y presión normal (TPN)  $273\text{ K}$  y  $1013\text{ MPA}$ .

Para los propósitos de validación de los ensayos, estos se realizan en triplicado, sometiéndose a digestión anaeróbica 3 diferentes sustratos I) Inóculo. Se debe determinar el potencial de biogás y bio-metano del propio inóculo a fin de restar este potencial al de la muestra de RIL de salmón. II) RIL de salmón más

inóculo III) Celulosa micro-cristalina Sigma-Aldrich® más inóculo como control positivo.

Para determinar la composición cuantitativa y cualitativa del biogás fue conducida de acuerdo con la DIN 38 414 (1985) con algunas modificaciones y se utilizó un analizador multigás Dräger® modelo X-am 7000. con sensores electroquímicos, infrarrojos y catalíticos de oxidación.

Cuadro 6. Foto 1. (A) Tubo eudiómetro en forma descendente Foto 2. (A) Válvula para purga de Biogás, (B) Contenedor de 1 litro (C) Tubo interno de eudiómetro, salida superior de biogás (D) Eudiómetro graduado. Foto 3. Laboratorio con batería de digestores.



Las mediciones se realizan dos veces (lectura de pH y composición porcentual del metano en el biogás), al principio del ensayo (final de primera semana) y al final del ensayo metano-génico específico.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Después de 29 días de incubación se puso término al ensayo PME y las características químicas de los RS, que fueron evaluados en el experimento, están presentados en las Tablas 4, 5 y 6. Los valores obtenidos corresponden a las medias de los triplicados.

Las bacterias metano-génicas son muy sensibles a variaciones de pH. Investigadores coinciden como un rango aceptable de pH entre neutral y ligeramente básico (6,8-7,8) para digestión anaeróbica en condiciones mesófilas (MACHADO,

2011) de ahí que el valor obtenido por el lodo de salmón (RS) puede considerarse que está dentro de los rangos considerados como valores aceptables (7,2- 7,4) ver (Tabla 4).

Un pH de 6,2 relativamente ácido se registró a la entrada al laboratorio, este parámetro comenzó a evolucionar hacia rangos considerados aceptables una vez comenzada la incubación anaeróbica, lo que demuestra que el sistema estaba debidamente estabilizado y que ese parámetro fue favorable para que los microorganismos realicen el proceso de bio-digestión (BD).

Los sólidos totales (ST) de 15,8 g/kg presentes en RS fueron bajos si se compara con las pecuarias estudiadas para el Oeste de Paraná. El valor bajo de ST en RS es porque debemos considerar que las fecas y el alimento sin consumir de salmón (purines o riles), quedan depositadas en la columna de agua o en el fondo del estanque de cría. Esta masa de agua se debe filtrar para obtener riles bastante diluidos, que tienen una concentración de humedad entre 52,5 y 99% en ausencia de algún proceso de deshidratación (ECOING, 2009).

Tabla 4. Resultados obtenidos de riles de salmon (*Salmo salar*) sólidos totales, sólidos fijos, sólidos volátiles, pH.

Parámetro	Resultado	Unidad
*Biogás	641	LN biogás.kg SV <sup>-1</sup>
*Metano	491	LN metano.kg SV <sup>-1</sup>
	6,2 entrada en laboratorio.	
**pH	7,2 inicio (PME)	----
	7,6 final de (PME)	
***Sólidos totales	15,8	g/kg
***Sólidos volátiles	817.6	g/kg
***Sólidos Fijos	182,4	g/kg

Obs: Resultados obtenidos con método \* fermentativo \*\* electroquímico \*\*\* gravimétrico

Considerando que la metodología usada en CIBIOGAS en el análisis PME de las pecuarias comparadas (tabla 3) y RS, estas no contemplan agitación o mezcla mecánica del sustrato en los biodigestores para ayudar a la movilidad bacteriana.

Una escasa movilidad bacteriana producto de altas concentraciones de ST es un factor que afecta la eficiencia de la digestión anaeróbica (DA), lo cual tiene una incidencia en los tiempos de retención hidráulica (SRT). Mao et al., (2014), señala que el promedio de (SRT) para DS está en un promedio entre 14 y 30 días, tiempos superiores perjudican la producción de biogás y CH<sub>4</sub>. Mismo estudio señala, que extensiones superiores entre 10 y 20 días en la DA, pueden ocasionar disminución del 25% en la producción de gas, mismo que un SRT de 12 días pueden tener un rendimiento del triple en comparación a un SRT de 35 días.

Esta situación coincide con la pecuaria de cerdos de unidades productoras de lechones (UPL) que tienen un ST similar a RS, ambos valores son los más bajos encontrados entre las pecuarias analizadas, sin embargo (UPL y RS) presentan las mayores producciones de biogás y concentración de CH<sub>4</sub>.

Situación contraria ocurre con la cama aviaria (CA), esta posee la mayor concentración de ST seguida de la pecuaria de bovinos de leche (BL), ambas presentan los rendimientos más bajos en producción de biogás y CH<sub>4</sub>.

Aunque no existe una regla fija al respecto, algunos investigadores ajustan sus ensayos anaeróbicos a un 5% en la concentración de (ST) para evitar distorsión por este factor en los resultados (ORRICO et al., 2011).

Otro factor considerado importante en la producción de CH<sub>4</sub>, es la superficie de contacto y compactación del estiércol, lo que puede inhibir o aumentar la producción de CH<sub>4</sub> (AMORIN et al., 2004). Estiércol con formas de escasa superficie de exposición a la actividad bacteriana, grandes y muy compactas disminuirían la actividad bacteriana anaeróbica, situación contraria a la que sucede en (RS) que presenta porcentajes muy altos de humedad, fecas muy blandas y maleables.

La cantidad de SV de 81,7 % en RS fue la mayor entre las pecuarias analizadas de la Región Oeste de Paraná (ver tabla 3), cabe mencionar que los SV es la materia orgánica susceptible de degradación anaeróbica, por tanto está directamente relacionada con la producción de biogás y CH<sub>4</sub>.

Si bien UPL no presenta los SV más altos dentro de las pecuarias analizadas, puede explicar que UPL y RS tengan los rendimientos mayores de biogás y CH<sub>4</sub>, ya que ambas son purines de animales que provienen de fases tempranas de crecimiento. Estas etapas de crecimiento reciben una dieta diferenciada de los individuos adultos, altamente nutritiva, rica en minerales, micronutrientes y vitaminas.

En el alimento no ingerido de salmón, se encuentran nutrientes, dieta enriquecida por minerales, micro-nutrientes y vitaminas. Situación similar ocurre con los cerdos UPL, en que los reproductores y crías (Lechones), reciben una dieta rica en nutrientes, aminoácidos sintéticos, vitaminas, micro-minerales, enzimas, probióticos, aceites esenciales y extractos vegetales entre otros (LABALA, 2009).

Según resultados obtenidos por (GONZÁLEZ et al., 2012) mediante la adición de minerales y micro-nutrientes esenciales como Fe, Ni y Co al contenido de los biodigestores han permitido estimular el proceso de digestión anaeróbica, los cuales han aportado un buen desarrollo y estabilidad al proceso anaerobio. Similares estudios muestran que la presencia de Fe reacciona con  $H_2S$  formando  $FeS$  y por consiguiente disminuyen los efectos tóxicos de  $H_2S$  (FACCHIN et al., 2013). En este mismo estudio, oligoelementos son necesarios para formación de co-factores enzimáticos descritos como vitales en la estabilidad del proceso anaeróbico y la producción de biometano (Co, Mo, Ni, Se), elevando la producción de  $CH_4$  en sustratos carentes de estos oligoelementos entre 45-65 %. Macro-nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio son importantes para activar microorganismos y procesos biológicos que tienen que ver con los procesos anaeróbicos (KIM et al., 2009).

Los RS de acuerdo al PME obtenido, sugieren una buena relación de C:N ya que el alimento no ingerido que forma parte de los RS, puede estar equilibrando algún desbalance, ya que los estiércoles puros tienen bajo desempeño de actividad anaeróbica por un desbalance de nutrientes y la presencia de amoníaco ( $NH_3$ ) que restringe la actividad metanogénica (ZHANG et al., 2014). Según este mismo autor, algunos purines de pecuarias tienen una alta cantidad de nitrógeno, aves (1.03%), cerdos (0,24%) lo cual desequilibra la relación C:N. Para incrementar la producción de biogás a escala comercial se sugiere adicionar otros sustratos orgánicos a los biodigestores a fin que equilibren la relación C:N y así mejorar desempeño de la digestión anaeróbica (DA) (ZHANG et al., 2014).

Los resultados de la producción de biogás expresado como ( $m^3$  biogás/kg.SV) comparado con los máximos desempeños descritos por (MACHADO, 2011 ; OLIVERA, 2001) en las pecuarias de aves, cerdos y bovino de leche, el (RS) obtiene el mejor desempeño con  $0,64 m^3/kg$  SV en comparación de las aves  $0.62 m^3/kg$  SV, cerdos  $0.50 m^3/kg$  SV y bovinos de leche  $0.31 m^3/kg$  SV

Cuando comparamos la producción de biogás de RS con respecto a las pecuarias de la Región Oeste de Paraná las cuales están analizadas con la misma normas técnicas (ISO 11734, 1995; VDI 4630, 2006), tenemos un desempeño de RS entre un 30 y 50 % superior, con excepción de UPL que tuvo una producción superior a RS en 17 %.

Los altos niveles de biogás de (RS), pueden estar relacionados a la fracción de lípidos presente en los residuos. Altos niveles de lípidos (grasas digeribles) producen un rendimiento mayor de biogás (1000-1250.m<sup>3</sup>/t.SV) favoreciendo un contenido de metano medio entre 68% y 73% (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2012).

Estudios demuestran la importancia de los lípidos en los procesos anaeróbicos. El estudio de Ferreira,(2012) evaluó la adición de desperdicios de aceite de sardina en purines de cerdo a la digestión anaeróbica con temperatura mesófila. Estos lípidos elevaron sustancialmente para diferentes composiciones la productividad de biogás.

Para Xiao et al.,(2012) los lípidos en una concentración hasta 16% de SV resultan ser beneficiosos sin que resulten en una inhibición de los procesos de DA. Mismos estudios citan que altos contenidos de lípidos, específicamente los referidos a los ácidos de cadena larga, estos pueden conllevar a una inhibición de DA, ya que estos lípidos ocasionan daños a la membranas de las bacterias, lo cual implica una menor actividad anaeróbica (CAVALEIRO, 2008).

Los purines de la pecuaria de bovinos de leche tiene el menor rendimiento de biogás comprado con las demás pecuarias en Brasil y Región Oeste de Paraná y (RS), sin embargo este rendimiento esta subvalorado en parte, debido a que estos animales (bovinos) por ser rumiantes comienzan la fermentación anaeróbica de los alimentos ingeridos al interior de sus sistemas digestivos (rumen), lo que puede disminuir posteriormente los rendimientos de biogás del estiércol en un biodigestor (SALAZAR, 2011).

El rendimiento menor en la producción de biogás de las pecuarias BL, cerdo adulto (CT) y CA, con respecto a (RS) en el ensayo de PME, una parte puede ser explicado desde un enfoque de calidad nutricional, como es el estudio de (ORRICO et al., 2011) en que se señala que purines de bovino tienen una alta presencia de carbohidratos de lenta degradabilidad y una elevada cantidad de lignina que acaba dificultando la digestión animal como así también la DA.



Orrico et al., (2011) señala que los purines de aves tienen una alta fracción de proteína, pero así también mayor tenor de lignina entre las pecuarias, materia orgánica que no es aprovechada en la DA. Además presentan la menor concentración de lípidos para digestión anaeróbica con respecto a las otras pecuarias y (RS). El mismo estudio señala que los cerdos tienen el mejor rendimiento entre las pecuarias en producción de metano y biogás porque tienen un alto grado de (SV) 87% con proteínas, lípidos, carbohidratos de rápida degradabilidad, con escasa presencia de lignina, bajos contenidos de carbohidratos de lenta degradación.

El estudio de Orrico et al., (2011) concluye en su estudio, que animales con menores capacidades de asimilación del alimento y consecuente menor conversión en proteína animal generan mayor cantidad de estiércol con mayores PME.

Los rendimientos de CH<sub>4</sub> de RS expresadas en (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg SV) (ver tabla 5) comparados con diferentes fuentes en Brasil (IPCC, 2006 ; IBGE, 2008) sitúan la producción de CH<sub>4</sub> en las aves con (0,24 m<sup>3</sup>), cerdos (0,29 m<sup>3</sup>), bovinos de leche (0,13m<sup>3</sup>) y un tenor de metano en el biogás de 66% para el cerdo, 60% para aves y bovino de leche (IPEA, 2012), todos valores inferiores a los encontrados en (RS) con 0,49 m<sup>3</sup> e tenor de 76% respectivamente.

Tabla 5 , Resultados obtenidos de riles de salmo (*Salmo salar*) para la producción de biogás y metano.

Muestra	Producción de biogás LN biogás.kg <sup>-1</sup> SV	Producción de biogás (L) por kg de masa fresca	Producción de metano LN CH4 .kg <sup>-1</sup> SV	Producción de metano (L) por kg de masa fresca
Riles de salmón Atlántico	641	8,3	491	6,3

Obs: Resultados obtenidos con método fermentativo

Resultados encontrados en las pecuarias de la región oeste de Paraná, muestran diferencias en la producción de CH<sub>4</sub>, con respecto a RS. Los RS expresados como 0,49 (m<sup>3</sup>.CH<sub>4</sub>/kg.SV), son superiores a todas las pecuarias de Región Oeste de Paraná con excepción a los cerdos (UPL). Los rendimientos



medios para bovino de leche (BL) ( $0,21\text{m}^3$ ), cerdo terminación (CT) ( $0,37\text{m}^3$ ), cerdo lechón (UPL) ( $0,63\text{m}^3$ ), cama aviaria (CA) ( $0,15\text{m}^3$ ), sin embargo cuando comparamos el tenor de  $\text{CH}_4$  presente en el biogás, RS 76,6%, es superior a (CA) 45,3%, a (BA) 65,6 % y presenta un desempeño menor con respecto a (UPL) 81,6 % y (CT) 79,56 %.

Algunas causas que explican estos rendimientos de RS en la producción de  $\text{CH}_4$ , (tabla 6) pueden deberse al contenido de proteína (fracción de proteína) que representa la mayor fracción de la composición orgánica del alimento del salmón y en los purines (42-50 %) (AGUAYO, 2003).

Altos valores nutricionales en proteína digeribles están asociados a los mayores tenores de  $\text{CH}_4$  en el biogás (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2012), aunque un menor rendimiento (medio) en generación de biogás comparado con los lípidos.

Un factor a tener presente, es que la buena calidad del inóculo requeridos para los ensayos de producción de biogás, es aquel que tiene la versatilidad de degradar diferentes materias orgánicas (DE BONA et al., 2015), lo cual podría haber contribuido a una eficiente degradación tanto de los compuestos orgánicos en RS y las pecuarias analizadas de la Región Oeste de Paraná por el laboratorio de CIBIOGAS-ER.

Estos análisis han sido efectuados con la misma metodología, laboratorio y calidad de inóculo. Estos factores en común, junto con las características nutricionales locales de las pecuarias de región Oeste de Paraná en el rendimiento PME, han de tomarse en cuenta al analizar respecto a las mismas pecuarias a nivel nacional.

La tabla 6. Resultados del Potencial metano-génico bioquímico específico (PME) y porcentaje para sólidos volátiles, sólidos fijos de RS.

Parámetros	%
% Sólidos volátiles	81,7
% Sólidos Fijos	18,3
Producción de metano (L) por kg de masa fresca	75,9
Producción de metano LN CH <sub>4</sub> .kg <sup>-1</sup> SV	76,6

Un aspecto importante que guarda relación con en el buen rendimiento de los RS en la generación de biogás y CH<sub>4</sub>, es que los salmones en la piscicultura donde se tomo la muestra, no están sometidos en su etapa de crecimiento a la adición de antibióticos bajo ninguna forma y la muestra no tiene contenido de desinfectantes o detergentes aplicados como elementos de limpieza en el establecimiento de crianza. Estos elementos químicos anteriormente señalados pueden disminuir el proceso anaeróbico o hasta detenerlo (HILBERT, 1999).

#### 4. CONCLUSION

De manera general los RS presentan potenciales metano-génicos bioquímicos específicos (PME) más altos cuando se comparan a las demás pecuarias analizadas. Los cerdos son la pecuaria que tiene el mejor rendimiento comparativo a RS en producción de biogás y CH<sub>4</sub>. y los purines de cerdos UPL tienen un valor de PME cercanamente superiores a RS.

Podríamos decir que la composición nutricional del alimento ingerido y no ingerido, aunque no es el único factor, es fundamental en los rendimientos superiores de PME del sustrato.

Los salmones son animales carnívoros para los cuales se formulan alimentos ricos en proteínas y lípidos, factores determinantes en la generación de biogás y metano en comparación a las otras pecuarias que presentan una alta concentración de fibras, lignina y carbohidratos de lenta degradación. Adicionalmente en RS, los alimentos no ingeridos están actuando como (co-digestión) aportando con

nutrientes, micronutrientes y vitaminas que podrían otorgar mayor desarrollo y estabilidad al proceso anaeróbico.

Los RS generan un PME auspicioso como potencial energético dentro de las pecuarias comparadas y podemos decir que los valores del Ministerio de Energía como potencial de biogás para la salmonicultura chilena están subvalorados, pensando en su utilización como energía renovable y puede concluirse que estos índices de PME puede ser bastante impactantes al medio ambiente como GEI al disponerse esta materia orgánica en la naturaleza y no ser evitadas las consiguientes emisiones de CH<sub>4</sub> a la atmósfera.

## **5. RECOMENDACION**

Este estudio es la primera evaluación del potencial metano-génico en un Centro Internacional de Energías Renovables, como Cibiogas-ER para los riles de salmón. Los resultados son auspiciosos e invitan a realizar esfuerzos para seguir incrementando los conocimientos científicos sobre este "valiosos desecho" y así encaminar los pasos para viabilizar el uso de esta materia prima.

Sabemos por este estudio que existen diferencias en el PME dependiendo de la especie, dieta y estado de crecimiento. Por tanto el siguiente paso de la mayor importancia es determinar PME para la etapa adulta de salmón, la cual se hace en agua salada. Esta etapa adulta es la fase más larga en la vida del pez, por tanto también la que más residuos produce y la de mayor impacto al medio ambiente. De tener el PME de las dos etapas se tendría el potencial energético teórico de toda la industria.

Otros pasos importantes son determinar con exactitud la composición química de las fecas y analizar las oportunidades de la relación costo - beneficio de una co-digestión para incrementar en el rango de los 80 % el PME. Además medir la PME incorporando la mortalidad natural de los peces en cautiverio como parte de la digestión anaeróbica.

Sin duda aprovechar este material, contribuirá a atenuar considerablemente el impacto en el ecosistema, reducirá las emisiones de GEI, aportará con energía más limpia a la matriz energética. Además no vemos razón por el cual no se deba aprovechar las bondades de los lodos como fertilizante orgánico a la agricultura

local, el cual junto al biogás aportan a la economía nacional, trayendo independencia energética en el proceso productivo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGUAYO,C.F. **Incorporación de criterios ambientales en el diseño, construcción y operación de centros de cultivos de especies salmonideas en la etapa de agua dulce (pisciculturas) para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.** Tesis de grado Lic.Cs. De la Acuicultura. Universidad Católica de Temuco, Fac. Rec.Nat., Esc. Acuicultura Temuco 2003, Chile.

ALVES, A.C. MACEDO, M. DA SILVA, A. BAIÃO, P.M. **Incentivos para a viabilização do biogás a partir dos resíduos da pecuária leiteira no Estado de Minas Gerais.** Desenvolvimento e Meio Ambiente UFPR, v. 30, p. 149-160, jul. 2014

AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, 2004

BLEY, C . JR. **Biogás, A energia invisível.** São Paulo : CIBiogás 2015 Foz do Iguaçu: ITAIPU, Binacional 2015. ISBN978-85-67785-04-2

BUSCHMANN, A. FORTT, A. (2005) **Efectos ambientales de la acuicultura intensiva y alternativas para un desarrollo sustentable.** Revista Ambiente y Desarrollo (Chile) 21: 58-64

CAVALEIRO, A. PEREIRA, M. ALVES, M. 2008. **Enhancement of methane production from long chain fatty acid based effluents**, Bioresource Technology 99, 4086–4095.

CENBIO – Centro Nacional De Referência Biomassa. Atlas de bionergia do Brasil. São Paulo, 2008.

CHERNICHARO, C. A. **Reatores anaeróbios.2ed.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).

COLDOBELLLA, A. SOUZA, S. SOUZA, J. KOHELER, A. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. (Artigo).In:

AGRENER- 6º congresso internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural. Campinas, 2006

IBGE, 2008, Produção da Pecuária Municipal 2007. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2007/ppm2007.pdf>> Acesso em julho de 2008.

INIA 2003. Instituto De Investigaciones Agropecuarias. Inventarios anuales de gases de efecto invernadero de Chile. Serie temporal 1984/2003. BOLETÍN INIA - Nº 185: Agricultura capítulo 4, Pág. 129

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION [ISO] 11734. 1995. Evaluation of “ultimate” anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge – Method by measurement of the biogas production

IPCC, 2007, Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R.Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA ,Cambridge University Press.

IPEA. Relatório de pesquisa. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas 2012. Disponível em [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917\\_relatorio\\_residuos\\_organicos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf). Acesso em /2012

DE BONA, E.D; STEINMETZ. R.L; MILANI.L.D; SOMER; J.G; MENEGOL,T. TRINDADE, E.M; KUNZ, K. Da produção e aclimatação de inóculo para ensaio pme. **In:** IV simpósio internacional sobre gerenciamento de residuos agropecua- rios e agroindustriais, 05 a 07 de maio de 2015- Rio de Janeiro-rj

DIN 38 414, 1985. Determination of digestion behavior “sludge and sediments”. Beuth Verlag, Berlin (in German).

ECOING . **Guía de aplicación de riles de piscicultura en suelos.** Elaborado por ECOING LTDA., por encargo del Servicio Agrícola y Ganadero 2009. Disponible en: [http://www.sag.cl/sites/default/files/Guia%20Piscicultura\\_2009.pdf](http://www.sag.cl/sites/default/files/Guia%20Piscicultura_2009.pdf)

FACCHIN V, CAVINATO C, PAVAN P, BOLZONELLA D. **Batch and continuous mesophilic anaerobic digestion of food waste: effect of trace elements supplementation.** Chem Eng 2013; 32.

FOLKE C, N KAUTSKY, H BERG, A JANSSON & M TROELL (1998) **The ecological footprint concept for sustainable seafood production: a review.** Ecological Applications 8: 63-71

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). 2010. Fishery Information, Data and Statistics Unit FISHSTAT Plus: Universal software for fishery statistical time series. Dataset: Aquaculture production: quantities, pp. 1970-2008.

GAMMA INGENIEROS S.A. Modelos de negocio que rentabilicen aplicaciones de biogás en Chile y su fomento. N° 584105-8-LE10. Informe final corregido para Ministerio de Energía de Chile. Santiago, Abril 2011

GEBAUER, R., EIKEBROKK, B. (2005). **Mesophilic anaerobic treatment of sludge from salmon smolt hatching (2005).** Bioresource Technology 97 (2006) 2389–2401.

GONZÁLEZ, S.A; GÓMEZ, S.Y; MENÉNDEZ, G.C, REYES, P.IL;. de la. Estimulación del proceso de digestión anaerobia mediante la adición de minerales cubanos. **En** :16 CONVENCION CIENTIFICA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA 11, 2012 la Habana

GUWY, A. J. **Equipment used for testing anaerobic biodegradability and activity.** Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 3(2), 2004.131–139.

HILBERT, J.A. **“Manual para la producción de biogás”, Instituto de Ingeniería Rural, Costa Rica.1999**

HOUGHTON, J.T.; MEIRA FILHO, L.G.; CALLANDER, B.A.; HARRIS, N.; KATENBERG,A.; MASKELL, K.. Climate Change 1995: The Science of Climate Change; Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University: Cambridge, U.K.,1996.

IBGE, 2008, Produção da Pecuária Municipal 2007. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2007/ppm2007.pdf>> Acesso em

KALLOUM, S. SALEM, F. KOUKI, A. MOKADDEM, H. **Influence of Inoculums/ Substrate Ratios (ISRs) on the Mesophilic Anaerobic Digestion of Slaughterhouse Waste in Batch Mode: Process Stability and Biogas Production.** Energy Procedia Volume 50, 2014, Pages 57–63 Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability (TMREES14 – EUMISD)

KIM M, AHN Y-H, SPEECE R. **Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic.** Water Res 2002;36:4369–85.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P.A. In: Revista de Política Agrícola. Aproveitamento de dejetos animais para geração de biogás. Embrapa/Conab, 2006 (v. 15).

LABALA, J. Universo Porcino. El Portal Del Cerdo. Nutrición Porcina 09/13. **Aditivos en alimentación porcina.** Autor: Jorge Labala, Médico Veterinario. Depto. técnico Vetifarma S.A: [jlalaba@vetifarma.com.ar](mailto:jlalaba@vetifarma.com.ar). Disponible en: [http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/nutricion\\_porcina\\_12-09-2013\\_aditivos\\_en\\_alimentacion\\_porcina.html](http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/nutricion_porcina_12-09-2013_aditivos_en_alimentacion_porcina.html)

MACHADO, C. R. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar.** 53 p. Botucatu, Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, 2011.

MAO, C. FENG, Y. WANG, X. REN, G. (2015). **Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion.** Renewable and Sustainable Energy Reviews Volumen 45: 540–555

MINISTERIO DE ENERGIA. Guía de planificación para Proyectos de Biogás en Chile 2012. Disponible en: <http://www.aproval.cl/manejador/resources/guiaplanificacionproyectosbiogasweb.pdf>

OLIVEIRA, A. P. Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. In: Encontro de avicultores do Estado de São Paulo. Jornada Técnica. Anais do Sindicato Rural de Bastos, Bastos, 2001. P. 16-28.

ORRICO ,M; ORRICO, A. DE LUCAS, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.31 (2): 399-410,

SALMON CHILE. Asociación de la Industria del Salmón de Chile A.G. - Salmón - Chile- Disponible en : <http://www.salmonchile.cl/es/quienes-somos.php> acceso: 3/08/2015

SIEGMEIER, T. BLUMENSTEIN, B. MOLLER, D. **Farm biogas production in organic agri- culture: System implications.** Agricultural Systems Volume 139, October 2015, Pages 196–209

SMEWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Assn, 22 ed. 2012. 1496 p.

VDI-4630, Fermentation of organic materials. 2006, Characterization of the substrate, sampling (Collection of material data, fermentation tests). Düsseldorf, Germany. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 22º edição, (Método 2540), com alterações.

IPCC 2007. Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories. Japan: Guidelines, 2006

VALLE, S. BEILACQUA, A. MATEUS, G. MATTOS, M. **Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property.** Biomass and Bioenergy Volume 35, Issue 7, July 2011, Pages 2608–2618

VERGE, X. DE KIMPE, C. DESJARDINS, R. (2007). **Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential.** Agricultural and Forest Meteorology. Volume 142, (2–4): 255–269

VRIES,J. VINKEN, T. HAMELIN, L. DE BOER,I. **Comparing environmental consequences of anaerobic mono- and co-digestion of pig manure to produce bioenergy** – A life cycle perspective. Bioresource Technology Volume 125, December 2012, Pages 239–248



WEITZ, M.; COBURN, J. B.; SALINAS, E.. Estimating National Landfill Methane Emissions: An Application of the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Waste Model in Panama. *Journal Of The Air & Waste Management Association*, London, UK, v. 58, n. 5, p.636-640, 1 may 2008.

XIAO, L. XINGBAO, G. WEI, W. LEI, Z. YINGIUM, Z. YIFEI, S. **Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste:** Focusing on biogas production and GHG reduction. *Renewable Energy* Volume 44, August 2012, Pages 463–468

YILMAZ, S. SELIM,H. **A review on the methods for biomass to energy conversion systems design.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 25, September 2013, Pages 420–430

ZANETTE ,A.L (2009). Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. Dissertação de ( Mestre em Planejamento Energético),- Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009. VIII, 97 p

ZHANG, C. SU, H. BAEYENS, J. TAN T. **Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 38(2014)383–392