

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Ciclo Optativo de Profesionalización en
Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental



**“EVALUACIÓN DE BIOGÁS Y BIOL EN UN BIODIGESTOR TIPO
BATCH UTILIZANDO RESIDUOS DE TRUCHA ARCO IRIS
(*Oncorhynchus mykiss*) TRATADOS CON B-LAC”**

Presentado por:

**Maricé Milagros Salvador Alejos
Zoila del Carmen Sánchez Zapata**

Trabajo de Investigación para optarpor el Título Profesional de:

INGENIERO PESQUERO

LIMA - PERÚ

2015

DEDICATORIA

Maricé:

A Dios por derramar sus bendiciones y permitirme lograr muchos objetivos en el camino de la vida.

A Goyita que desde el cielo sé que me cuida y protege, siempre serás mi motivación constante.

A mis amados padres Silverio y Emilia, por ser mi ejemplo de superación, fuerza y razón de ser, a mis hermanas Silvia y Lesly, de quienes he aprendido aciertos y de superar momentos difíciles.

Zoila:

A Dios y a la Virgencita del Carmen, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida.

A mi madre María, la persona más importante en mi vida, por su compañía, fortaleza, dedicación y sobre todo el gran amor que me demuestra día a día.

A mis hermanos, Andrés y José, por ser ejemplos de desarrollo profesional a seguir.

A mi lovi, mi compañero de vida, Eduardo por su apoyo, paciencia y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la nuestra querida UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA por darnos la oportunidad de estudiar y forjarnos un futuro como profesionales.

A nuestros asesores de tesis, MSc. David Roldan Acero y al Ing. Lawrence Quipuzco Ushñahua, quienes con sus conocimientos, experiencias, paciencia y motivación hicieron posible la culminación con éxito del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Juan Juscamaita por su valiosa colaboración en cuanto al tratamiento de los restos de trucha con consorcio microbiano B-LAC, además de facilitarnos las instalaciones del Laboratorio de Biología, así como de los equipos para realizar las mediciones.

A los responsables del Laboratorio de Ingeniería Ambiental por facilitarnos sus instalaciones y equipos para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo de investigación.

A la Empresa Peruvian Andean Trout S.A.C por la donación de la materia prima (restos de trucha) usadas como parte experimental del presente trabajo de investigación.

A la Facultad de Zootecnia por la donación de la materia prima (purín y melaza de caña) usadas como parte experimental del presente trabajo de investigación.

Y por último a todas aquellas personas que, de una manera u otra, han sido claves en nuestra vida profesional, y por extensión, en lo personal.

Gracias, muchas gracias.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA TRUCHA.....	3
(<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	3
2.2 PRODUCCIÓN DE TRUCHA	4
2.3 MARCO LEGALDE GESTIÓN Y MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL PERÚ.....	6
2.3.1 Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)	6
2.3.2 Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314).....	7
2.3.3 Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos.....	7
2.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIOGÁS Y BIOL.....	7
2.4.1 Aplicación del Biogás y Biol.....	8
2.4.2 Insumos	9
2.4.3 Proceso de Digestión Anaeróbica.....	10
2.4.4 Parámetros de Operación y Control	14
2.4.4.1 Contenido de Sólidos Totales	14
2.4.4.2 Tiempo de Retención Hidráulica.....	14
2.4.4.3 Sustrato y Relación Carbono – Nitrógeno (C/N).....	14
2.4.4.4 Temperatura.....	15
2.4.4.5 pH	15
2.4.4.6 Nitrógeno Amoniacal	15
2.4.4.7 Producción y Composición de Gas.....	16
2.5 BIODIGESTORES.....	17
2.5.1 Formas de Producción	18
2.5.1.1 Sistema batch o discontinuo	18
2.5.1.2 Sistema Semi-Continuo	18
2.6 EMPRESA ACUÍCOLA PERUVIAN ANDEAN TROUT S.A.C. (PATSAC).....	19

III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	21
3.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	21
3.3 DURACIÓNDE LA INVESTIGACIÓN	22
3.4 MATERIALES Y EQUIPOS	22
3.4.1 Materia Prima	22
3.4.2 Insumos	22
3.4.2.1 Consorcio B-LAC.....	22
3.4.2.2 Melaza de caña	22
3.4.2.3 Purín de cerdo.....	23
3.4.2.4 Cal industrial	23
3.4.3 Equipos.....	23
3.5 DESARROLLO DEL TRABAJO.....	23
3.5.1 Caracterización de restos de trucha.....	23
3.5.2 Caracterización de los insumos	24
3.5.2.1 Determinación óptima de B-LAC.....	26
3.5.2.2 Determinación de relación Carbono/Nitrógeno (C/N)	27
3.5.3 Ensayo Experimental.....	29
3.5.3.1 Carga en los biodigestores.....	32
3.5.3.2 Caracterización del biol.....	33
3.5.4 Medición de los parámetros de control	33
3.5.4.1 Determinación de pH.....	33
3.5.4.2 Análisis de la temperatura	33
3.5.4.3 Determinación del volumen del biogás	34
3.5.4.4 Composición del biogás	34
3.5.4.5 Ensayos microbiológicos.....	34
3.5.5 Análisis estadístico.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. CARACTERIZACIÓN DE RESTOS DE TRUCHA	36
4.2. CARACTERIZACIÓN DE INSUMOS	36
4.2.1 Determinación óptima de B-LAC	36
4.2.2 Determinación de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N)	37
4.3. ENSAYO EXPERIMENTAL	38
4.3.1 Carga en los biodigestores.....	40

4.3.2 Caracterización del biol.....	42
4.3.3 Medición de los parámetros de control	47
4.3.3.1 Variación de pH.....	47
4.3.3.2 Variación de la temperatura interna del biodigestor con la temperatura externa ambiental	49
4.3.3.3 Volumen del biogás	52
4.3.3.4 Composición del biogás	52
4.3.3.5 Ensayos microbiológicos.....	56
V. CONCLUSIONES.....	58
VI. RECOMENDACIONES	60
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	61
VIII. ANEXOS	68
• Construcción:.....	69
• Requerimientos para la construcción:.....	71
• Construcción.....	72

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Volúmenes De Biogás Generados Con Diferentes Tipos De Residuos Orgánicos ..	16
Cuadro 2: Rendimientos De Los Productos De Patsac	20
Cuadro 3: Restos De Trucha Generado Por Patsac	20
Cuadro 4: Datos Meteorológicos Registrados En El Período De Investigación	21
Cuadro 5: Tratamientos A Diferentes Porcentajes De B-Lac.....	26
Cuadro 6: Tratamientos utilizados para la obtención de biogás y biol, y los sustratos empleados en la formulación de los mismos	32
Cuadro 7: Caracterización De Restos De Trucha.....	36
Cuadro 8: Valores De Ph En Los Tratamientos	36
Cuadro 9: Resultados Del Contenido De Humedad, Carbono (C), Nitrógeno (N) Y Relación Carbono-Nitrógeno (C/N) De Las Muestras Restos De Trucha, Restos De Trucha Con 5% B-Lac Y Restos De Trucha Con 10% B-Lac	38
Cuadro 10: Formulación Para El Tratamiento T ₂ (Restos De Trucha Con 10% B-Lac)	39
Cuadro 11: Formulación Para Los Tratamientos T ₁ (Restos De Trucha) Y T ₂ (Restos De Trucha Con 10% B-Lac).....	40
Cuadro 12: Comparación De Los Análisis De Violes.....	44
Cuadro 13: Resumen Estadístico Descriptivo De Los Valores De Ph	49
Cuadro 14: Resultado De Los Análisis Microbiológicos De Los Tratamientos Antes De La Biodigestión.....	56
Cuadro 15: Resultado De Los Análisis Microbiológicos De Los Bioles	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Cosecha de trucha arco iris por regiones.....	4
Figura 2. Evolución de la cosecha de truchas: lima y huancavelica.....	5
Figura 3. Uso energético del biogás	8
Figura 4. Caracterización de los insumos.....	25
Figura 5. Procedimiento experimental para la obtención de biogás y biol a partir del tratamiento restos de trucha (t1), y el tratamiento restos de trucha con b-lac (t2)	31
Figura 6. Restos de trucha posterior al tratamiento en la incubadora por 4 días con 10% de B-lac	37
Figura 7. Elaboración del tratamiento t2	39
Figura 8. Homogeneizado de los restos de trucha para el tratamiento t ₁	41
Figura 9. Neutralizado del tratamiento t ₂	41
Figura 10. Recolección de muestras para el análisis de ph	47
Figura 11. Variación del ph para el tratamiento t ₁ y t ₂	48
Figura 12. Variación de la temperatura interna de los biodigestores y la temperatura ambiental	51
Figura 13. Toma de datos con el equipo lantec gem 500	52
Figura 14. Composición promedio del biogás de los tratamientos	53
Figura 15. Generación de metano (ch ₄) durante el tiempo de estudio	55
Figura 16. Construcción de los biodigestores.....	71

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación “Evaluación de biogás y biol en un biodigestor tipo batch utilizando residuos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) tratados con B-LAC”, se elaboraron 2 tratamientos con 3 repeticiones para la trata de los restos de trucha. El primer tratamiento (restos de trucha) tuvo un 9.5% de CH₄, mientras que el segundo tratamiento (restos de trucha con B-LAC) obtuvo un máximo de 26.2% de CH₄. En ambos tratamientos se empleó como inóculo el purín de cerdo en 10% de volumen líquido del biodigestor. El proceso de fermentación controlada tuvo una duración de 66 días, los volúmenes de gases obtenidos en ambos tratamientos no fueron de buena calidad. Para la investigación se construyeron 6 biodigestores artesanales. Cada biodigestor contaba en la parte superior con una entrada para el homogeneizador y una válvula para salida de gases; en la parte lateral presentaba una válvula para la salida del biol. Los restos de trucha Arcoiris fueron provistos por la empresa acuícola PATSAC. Para el análisis estadístico de ambos tratamientos se empleó el Diseño Completamente al Azar (DCA), y para su validación de los parámetros obtenidos en campo se utilizó el programa MINITAB 16, haciendo uso de la PRUEBA T. Los resultados obtenidos del segundo tratamiento (restos de trucha con B-LAC) demostraron que fueron fuente potencial de energía puesto que se logró obtener mejores resultados en producción y calidad de biogás y biol.

Palabras claves: Biodigestor, Biogás, Biol, Trucha, Consorcio B-LAC.

SUMMARY

In the present researching, "Evaluation of biogas and biol in a batch type biodigester using trout waste (*Oncorhynchus mykiss*) treated with B-LAC". Therefore, 2 treatments with 3 repetitions were developed. The first treatment (trout waste) had a 9.5% CH₄, while the second treatment (trout waste with B-LAC) obtained up to 26.2% of CH₄. In both treatments were used as inoculum the pig slurry in 10% liquid volume of the biodigester. The controlled fermentation process lasted 66 days; the volumes of gases obtained in both treatments were not of good quality. For researching six hand made biodigesters were built. Each biodigester had on the top an entry for the homogenizer (lever) and a valve for venting; the lateral side of the biodigester had a valve to output biol. The trout waste for the experiment was provided by the aquaculture company PATSAC. To statistical analysis of both treatments a design completely randomized (DCA) was used, and for validation of the parameters obtained in the field the MINITAB 16 program was used, using TEST T. The second treatment (Trout waste with B-LAC) showed us better results. For that reason, the second treatment had a high potential source of energy in terms of production and quality of biogas and biol.

Keywords: Biodigestor, Biogas, Bio, Trout, B-LAC Consortium.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad pesquera es un rubro de producción económica muy importante que década tras década ha ido desarrollando e innovándose debido a la gran demanda de consumo de especies hidrobiológicas en el mercado a nivel mundial. Asimismo, la acuicultura ha ido evolucionando de forma gradual con marcada deficiencia en el desarrollo tecnológico en zonas rurales por el difícil acceso y/o el alto costo de inversión.

Actualmente junto al desarrollo de nuevas tecnologías existen problemas ambientales asociados con la actividad acuícola en nuestro país. El desarrollo de la línea de producción trae consigo problemas relacionadas a la disposición inadecuada de restos de materia prima, ya que muchas veces estos exceden la capacidad del área donde se asientan; así, los restos o sub productos que se generan son de elevada carga orgánica, favoreciendo la proliferación de vectores sanitarios, degradación enzimática y microbiológica, impactando en el aire (olores nauseabundos), el suelo, y el cuerpo receptor acuático (superficial o subterráneo).

La utilización de sub productos plantea la necesidad de emplear tecnologías para su aprovechamiento, una de ellas está relacionada a la producción simultánea de biogás y abono orgánico a partir de remanentes pesqueros. Para ello es necesario establecer condiciones anaeróbicas a través de un recipiente herméticamente cerrado o tanque denominado “biodigestor” el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo, cemento, metal o plástico.

El presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

1. Utilizar los restos o sub productos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para obtener biogás y biol con el consorcio microbiano B-LAC en biodigestores tipo batch.
2. Evaluar la calidad del biol producido a partir de restos o sub productos de trucha arco iris tratados con el consorcio microbiano B-LAC mediante biodigestores.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA TRUCHA

(Oncorhynchus mykiss)

La trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), es una especie íctica perteneciente a la familia salmonidae, originaria de las costas del pacífico de América del norte, que debido a su fácil adaptación al cautiverio, su crianza ha sido ampliamente difundida casi en todo el mundo. En América del Sur, se encuentra distribuida en Argentina, Brasil, Bolivia Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela (FAO, 2014).

La trucha arco iris es un pez resistente y fácil de desovar, de crecimiento rápido, tolerante a una amplia gama de ambientes y manipulaciones; los alevines grandes (que usualmente comen zooplancton) pueden ser iniciados fácilmente en la alimentación con una dieta artificial. La trucha arco iris es capaz de ocupar muchos hábitats diferentes, que abarcan desde un ciclo de vida anádromo hasta habitar de manera permanente en lagos (FAO, 2014).

La trucha como salmónido necesita de aguas claras y cristalinas, que tengan un curso rápido y temperaturas frías. Las trucha arco iris prefieren las aguas de corriente moderadas con pH entre 6.5 y 8.5, oxígeno disuelto 6.5 – 9 ppm y dureza de 50 – 300 mg/lit CaCO₃(FAO, 2014).

La temperatura más apropiada para la etapa de incubación de los huevos de trucha arco iris es entre 7.8 °C y 12° C. Cuando la temperatura es menor 11°C el crecimiento de las truchas arco iris es lento; de 12 °C a 17° C el crecimiento es óptimo; de 18°C a 22°C el crecimiento también es lento pero con enfermedades, y a más de 23°C la temperatura letal (PRODUCE, 2004).

2.2 PRODUCCIÓN DE TRUCHA

Según PRODUCE (2011) la cosecha de la trucha arco iris a nivel nacional ha venido creciendo desde el año 2001. En el año 2012 la cosecha de truchas arco iris fue de 20,100 toneladas, cantidad 0.69% superior a la cosechada el año 2010. Hasta septiembre del año 2013 la cosecha de truchas arco iris fue de 18,205 toneladas 40.04% superior a lo cosechado en el mismo período el año 2012. Del total cosechado hasta setiembre del año 2013, el 79.07% fue destinado al mercado interno, el restante 20.93% fue exportado.

Tal como se observa en el Figura 1 (PRODUCE, 2011); las cosechas de trucha arco iris según región son las siguientes: Puno con el 77,90% de la producción de truchas es la principal región productora de truchas, le sigue Junín con el 9,85% y Huancavelica con 5,62%. En el Perú, se cosecha trucha arco iris en 16 regiones pero tres principales concentran el 93,37% de la cosecha.

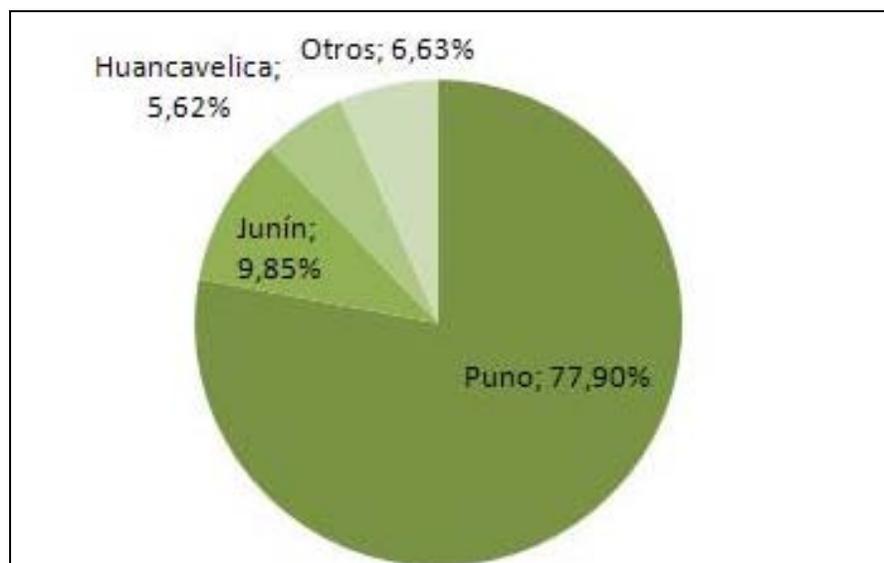


Figura 1. Cosecha de trucha arco iris por regiones

En la Figura 2 (PRODUCE, 2011), se puede apreciar cómo se ha ido incrementando la cosecha en la región de Huancavelica desde 200 toneladas en el 2009 a 1,122 toneladas en el año 2011. La región Lima también tuvo un importante crecimiento el 2010, que hacía suponer que junto con las región Huancavelica iban a acompañar a la región Puno en el crecimiento de

la trucha arco iris, pero el año pasado ha registrado una caída del 89.5% lo que hace difícil pensar que Lima pueda proyectarse como región importante en la producción de truchas arco iris.

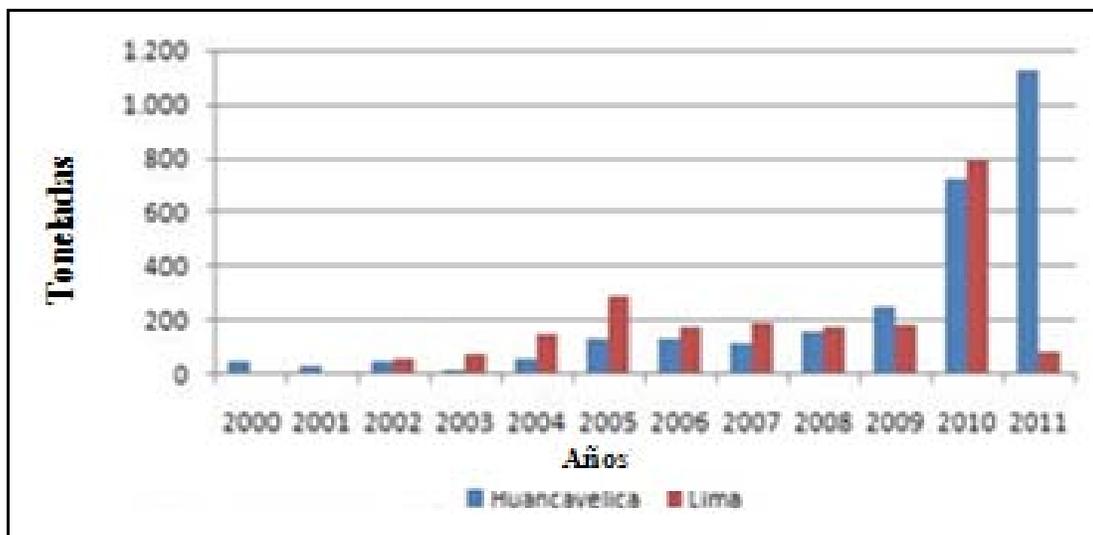


Figura 2. Evolución de la cosecha de truchas: Lima y Huancavelica

Para la producción de truchas arco iris el monocultivo es la práctica más común y los sistemas intensivos son considerados necesarios en la mayoría de las situaciones, para hacer la operación económicamente atractiva (FAO, 2014).

Un sitio potencial para la producción comercial de trucha debe tener un suministro de agua de alta calidad durante todo el año (sin aireación - 1 l/min/kg de trucha o 5 l/seg/tonelada de trucha con aireación) (FAO, 2014).

Se puede usar agua subterránea donde no se requiera bombeo, pero la aireación puede ser necesaria en algunos casos. El agua de pozo súper saturada con nitrógeno disuelto puede causar que se formen burbujas de gas en la sangre de los peces, impidiendo la circulación, una condición conocida como enfermedad de la burbuja de gas. Alternativamente, se puede usar agua de río pero las fluctuaciones de temperatura y flujo alteran la capacidad de producción. Donde se satisfacen estos criterios, las truchas son generalmente engordadas en canales o estanques abastecidos con flujo de agua abierto, pero algunas son producidas en jaulas y sistemas con recirculación(FAO, 2014).

En la comercialización, la trucha puede venderse tanto en el mercado nacional como en el mercado internacional, el 50% de la producción se exporta; del 50% que se vende en el mercado nacional, las ventas a través de supermercados representan el 70% y a mayoristas el 30%(PRODUCE, 2011).

Las ventas de las truchas pueden ser: a) en estado fresco, b) congeladas, c) ahumadas o d) en conserva. Las truchas frescas pueden venderse evisceradas, con o sin cabeza y cola, o deshuesadas en corte mariposa, el peso de la producción nacional para el mercado local fluctúa entre 200 – 260 gramos y para el internacional entre 400 – 450 gramos(PRODUCE, 2011).

El rendimiento promedio de las truchas luego de evisceración y eliminación de agallas es del 81%. (PRODUCE, 2011), siendo lo restante un sub producto con potencial de ser aprovechado como alternativa para la obtención de energía.

2.3 MARCO LEGAL DE GESTIÓN Y MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL PERÚ

La gestión y el manejo de los residuos sólidos enfocados a restos orgánicos están regulados por la siguiente normatividad:

2.3.1 Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

Que establece en su Art. 74° que todo titular de operaciones es responsable por las emisiones, efluentes, descargas y demás impactos negativos que se generan sobre el ambiente, la salud y los recursos naturales como consecuencia de sus actividades, incluye los riesgos y daños ambientales que se generen por acción u omisión.

2.3.2 Ley General de Residuos Sólidos (Ley N° 27314)

Que en su Art. 1°, establece los derechos, obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para asegurar una gestión y manejo de los residuos sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuados, con sujeción a los principios de minimización, prevención de riesgos ambientales y protección de la salud y el bienestar de la persona humana.

2.3.3 Reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos

Aprobado mediante Decreto Supremo N°057-2004-PCM, que en su Art. 1, establece que se debe asegurar que la gestión y el manejo de los residuos sólidos sean apropiados para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la persona humana.

2.4 PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIOGÁS Y BIOL

El biogás es un gas combustible, formado en su mayoría por metano (CH_4) en un 60%, y dióxido de carbono (CO_2) con un 40% (Sasse, 1984); con un valor energético de 6.2 kWh/m^3 . También se encuentra un contenido en pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Se trata de una mezcla gaseosa muy parecida al gas natural que se genera en medios naturales. El producido en el estómago de los rumiantes, es precisamente biogás. Utilizando este proceso biológico se puede tratar gran cantidad de residuos como estiércoles, efluentes de industrias, basura orgánica, entre otros contaminantes, y además, obtener biogás (Zellweger, 2012).

El biol es un abono líquido que se origina a partir de la fermentación de materiales orgánicos, como estiércoles de animales, plantas verdes, frutos, entre otros. Es una especie de vida (biol) muy fértil (fertilizante), rentable ecológicamente y económicamente. El biol o abono líquido dan como resultado un fertilizante que contiene principios hormonales vegetales (auxinas y giberelinas) y actúa como bioestimulante orgánico en pequeñas cantidades y es capaz de promover el crecimiento y desarrollo de las plantas (Tomas, 2005).

Investigaciones realizadas, permiten comprobar que el biol aplicado foliarmente a los cultivos (alfalfa, papa, hortalizas) en una concentración entre 20% y 50% estimulan el crecimiento, mejoran la calidad de los productos e incluso tienen ciertos efectos repelentes contra las plagas (Arévalo, 1998).

El biol o abono líquido es rico en nitrógeno amoniacal, en hormonas, vitaminas y aminoácidos. Estas sustancias permiten regular el metabolismo vegetal y además pueden ser un buen complemento a la fertilización integral aplicada al suelo (Kolmans, 1999).

2.4.1 Aplicación del Biogás y Biol

En principio, el biogás se puede utilizar en cualquier equipo diseñado para uso con gas natural. En algunos países, el biogás se emplea como combustible para automotores; sin embargo en el Perú, el uso del biogás se puede emplear de forma directa como en diferentes tipos de quemadores, o bien se puede utilizar indirectamente, para alimentar motores de combustión interna que generan energía eléctrica (Figura 3) (Zellweger, 2012).

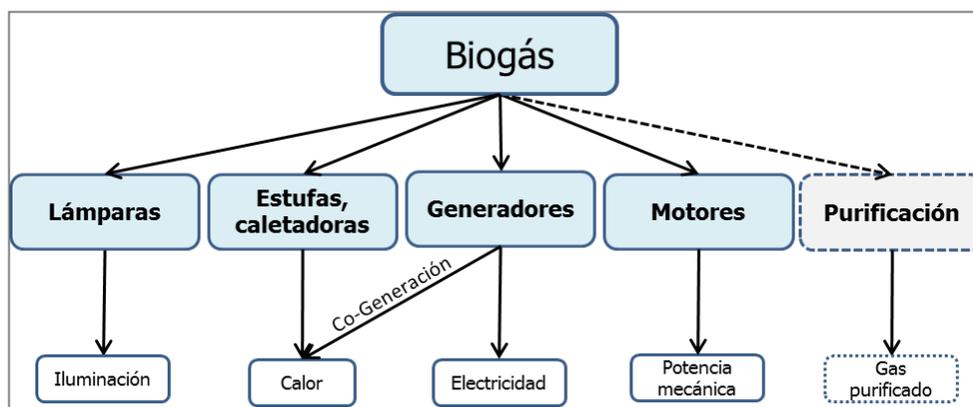


Figura 3. Uso energético del biogás

El biol puede ser utilizado para múltiples cultivos, sean de ciclo corto (algunas hortalizas), anuales (quinua, papa, cañihua, etc.), bianuales (maca) o perennes, con aplicación dirigida al follaje. También se emplea para la recuperación de las plantas dañadas después de las heladas y granizadas. Los compuestos presentes en el biol tienen una calidad altamente beneficiosa

para los cultivos, por eso, el biol tiene un alto valor agronómico y económico (Zellweger, 2012).

2.4.2 Insumos

a. Residuos sólidos

Según la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, residuos sólidos son aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normativa nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente.

b. Residuos de recursos hidrobiológicos

Según el Decreto Supremo N° 017-2011-PRODUCE, los residuos de recursos hidrobiológicos, están constituidos por mermas y pérdidas generadas durante los procesos pesqueros de las actividades de procesamiento para consumo humano directo, así como los generados durante las tareas previas realizadas en los desembarcaderos pesqueros artesanales.

c. Descartes de recursos hidrobiológicos

Según el Decreto Supremo N° 017-2011-PRODUCE, son aquellos recursos hidrobiológicos que por su condición de alteración, descomposición o contaminación, sean enteros o por piezas, son declaradas no aptos para el consumo humano por el control de calidad del que recibe el recurso o por el órgano competente en materia de sanidad pesquera. Los descartes se generan desde el desembarque hasta la recepción previa al procesamiento en el establecimiento industrial o artesanal pesquero para consumo humano directo, o antes de las tareas previas que se lleven a cabo en los desembarcaderos pesqueros artesanales.

d. Consorcio microbiano B-LAC

Se han desarrollado nuevas combinaciones de microorganismos con diversos efectos en los procesos de degradación. En la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) se preparó una solución con una mezcla de microorganismos, conocida como consorcio microbiano B-LAC (Juscamaita, 2012).

Los microorganismos que conforman el B-LAC son considerados GRAS (Generalmente Aceptado como Seguros). Estos microorganismos – predominantemente anaeróbicos - contienen principalmente organismos beneficiosos de cuatro géneros principales: bacterias fototróficas, levaduras, bacterias productoras de ácido láctico y hongos de fermentación. Mencionando algunas tenemos al *Lactobacillus sp*, *bacteria aerobias mesófilas viables*, *mohos* y *levaduras, streptococcus y bifidobacterium* (Higa, 1994)

Entre diferentes tipos de energías procedentes de la biomasa se destaca el biogás, que se produce a través de la digestión anaeróbica. Para este proceso se pueden utilizar residuos sólidos orgánicos municipales, residuos de cultivos y residuos agroindustriales. El biogás se puede transformar en dos tipos de energía, la energía térmica y eléctrica (Zellweger, 2012).

Mientras más largo sea el tiempo de retención de la biomasa en el biodigestor, más alto será el contenido en la composición del gas metano y con esto el poder calorífico del biogás. Con tiempos de permanencia cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50 %, afectando su inflamabilidad (Ruiz, 2002).

2.4.3 Proceso de Digestión Anaeróbica

La digestión anaeróbica es la degradación biológica, mediante un consorcio complejo de microorganismos, de substratos orgánicos, e inorgánicos, en ausencia de una fuente de oxígeno. Durante el proceso, la materia orgánica es convertida principalmente en metano, dióxido de carbono y biomasa. El nitrógeno no utilizado en el crecimiento es, generalmente, reducido y liberado como amonio y el fósforo permanece bajo forma de fosfato. Casi el 90 %

de la energía contenida en la materia orgánica puede ser transformada en biogás (fuente potencial de energía eléctrica), mientras que un 5-7 % es usado para el crecimiento celular y un 3-5 % se pierde como calor (McInemey *et al.*, 1979).

El proceso global de biodegradación anaerobia es el resultado de la acción de una población heterogénea de microorganismos, se estima que hay más de 150 especies (INIA, 1997), en las que se encuentran anaerobios estrictos (se inhiben en presencia de concentraciones de oxígeno superiores a 0,01 mg/l) y anaerobios facultativos, que son activos tanto en medios aerobios como anaerobios (Toerien y Hattingh, 1969). Cada uno de ellos lleva a cabo el proceso bioquímico que le aporta el mayor rendimiento energético, compitiendo por los diferentes sustratos disponibles (Soubes, 1994).

Los compuestos en la biodegradación anaerobia pueden ser reagrupados en sustratos primarios (polímeros orgánicos). Luego son convertidos en una mezcla compleja de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico, valérico, láctico, etc.), anhídrido carbónico e hidrogeno. Los intermediarios pueden reagruparse dentro de un amplio rango de compuestos gaseosos y solubles, mientras que los productos finales son, normalmente, metano y dióxido de carbono (INIA, 1997).

a. Hidrólisis y Acidogénesis

La hidrólisis, también llamada fase de solubilización (Mateo, 1983), es una etapa realizada por enzimas extracelulares, secretadas por los microorganismos, en la cual se solubilizan las partículas y/o sustratos que no pueden ser utilizados directamente por los organismos anaerobios (carbohidratos, celulosas, hemicelulosas, ligninas, proteínas complejas, grasas, aceites, etc.). Posteriormente, los organismos que llevan a cabo la Acidogénesis o fermentación, transforman los sustratos solubles en ácidos orgánicos (ácido láctico), ácidos grasos volátiles (ácidos acético, propiónico, butírico, valérico, etc.), alcoholes (glicerol, etanol), hidrogenado y dióxido de carbono (INIA, 1997).

Cuando la velocidad de hidrólisis es menor que la velocidad de catabolismo de sus productos, se puede originar una sobreproducción de ácidos y, en consecuencia, una desestabilización profunda del sistema (Soube, 1994).

Los organismos predominantes de la flora hidrolítica y fermentadora son anaerobios estrictos, tales como Bacteroides, Clostridia, Bifidobacteria, Propionibacterium, Selenomonas y Streptococci, aunque también se puede encontrar anaerobios facultativos como las enterobacterias y aerotolerantes como las bacterias del ácido láctico (Archer y Kirsop, 1990).

b. Acetogénesis

Los compuestos simples solubles de la primera etapa, son sometidos a un proceso de fermentación que los convierte por óxido-reducción en ácidos simples de cadena corta mediante la acción de enzimas intracelulares de bacterias aeróbicas facultativas formadoras de ácidos (Mateo, 1983). Esta transformación representa la actividad de tres grupos de microorganismos: las bacterias homoacetogénicas, sintróficas u OHPA (Obligate Hydrogen Producing Acetogen) y las sulforreductoras (Ruiz, 2002).

Las bacterias homoacetogénicas producen acetato únicamente, a partir de una mezcla de hidrógeno y dióxido de carbono, y de algunos compuestos multicarbonados o mono carbonados, por medio de la siguiente reacción (Ruiz, 2002):



Los productos solubilizados penetran al interior de la célula del microorganismo y bajo la acción de endoenzimas se convierten en ácidos grasos de cadena corta y alcoholes, desprendiendo H_2 y CO_2 . El ácido volátil más importante de esta etapa es el acético, el cual da origen al 70% de la producción de metano. Aparte del ácido acético se forma ácido propiónica y butírico que también son intermediarios para la formación de metano (Mateo, 1983).

c. Metanogénesis

La metanogénesis es llevada a cabo por un grupo particular de microorganismos productores de metano, representados por 83 especies. Todos los microorganismos son anaeróbicos estrictos, presentando una tasa de crecimiento menor que del resto de microorganismos implicados en la digestión (García *et al.*, 2000).

Las arqueobacterias metanógenas pueden utilizar sólo un número restringido de sustratos, principalmente acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Pueden clasificarse según el sustrato que utilizan en dos grupos: hidrogenofílicas y acetoclásticas (Ruiz, 2002). Las metanógenas hidrogenofílicas como *Methanobacterium*, *Methanococcus* y *Methanobrevibacter*, utilizan el hidrógeno y el dióxido de carbono, permitiendo disminuir la presión parcial de hidrogeno, y producen aproximadamente un 30% del metano, mediante la siguiente reacción (Ferry, 1992):



Las acetoclásticas producen el 70% restante a partir de acetato. Se encuentran reagrupadas en solo 9 especies y los géneros *Methanosaeta* (*Methanotrix*) y *Methanosarcina*, son los más frecuentemente encontrados en un digestor. Por lo general, los dos géneros compiten por el sustrato (Ruiz, 2002).

La mayor parte de los microorganismos implicados en la digestión se desarrollan en una gama de pH que varía entre 6 y 8, según Ruiz (2002) el óptimo para los productores de metano se encuentran entre 6,5 y 7,2; mientras que para Mandujano (1981) está entre 6,7 a 7,5. Un pH de 6,2 en el medio (condiciones ácidas) representa una aguda toxicidad para las arqueobacterias metanógenas (Ruiz, 2002).

2.4.4 Parámetros de Operación y Control

Teniendo en cuenta que las bacterias metanogénicas se caracterizan por presentar un crecimiento lento y por ser muy sensibles a ciertos parámetros, y para que la fermentación se realice con la normalidad deseada, es preciso considerar el contenido de sólidos totales como parámetro de operación; y a la temperatura, pH, nitrógeno amoniacal, producción y composición de gas como parámetros de control.

2.4.4.1 Contenido de Sólidos Totales

El contenido de sólidos totales o la dilución en una fermentación anaeróbica depende básicamente del sistema de digestión escogido (Del Pilar, 1983).

2.4.4.2 Tiempo de Retención Hidráulica

Este parámetro puede definirse como el tiempo que debe permanecer el efluente orgánico en el digestor, para alcanzar los niveles de energía y/o reducción de la carga contaminante que se hayan prefijado (INIA, 1997).

2.4.4.3 Sustrato y Relación Carbono – Nitrógeno (C/N)

El sustrato es el material de partida en la producción de biogás. En principio, todos los materiales orgánicos pueden fermentar o ser digeridos. Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y nitrógeno (N). Si el contenido de este último es muy alto, la reproducción de las bacterias se inhibe debido a la alta alcalinidad. Lo ideal es una relación C/N de 10:1 a 30:1; relaciones C/N menores; por ejemplo 8:1, inhiben la actividad bacteriana por excesivo contenido de amonio (Werner, 1989).

Usualmente, el nivel de amonio libre debe ser mantenido en 80 ppm (Anderson et al., 1982). Sin embargo, una concentración alta, de alrededor de 1500-3000 ppm, puede ser tolerada (Gunnerson y Stuckey, 1986). Marchaim (1992 citando a Baereet, 1984) ha informado señales

iniciales de inhibición a una concentración de NH_4^+ de aproximadamente 800 ppm (Marchaim y Zimmerman, 1985).

Los porcentajes más favorables de sólidos totales en el medio de fermentación interior deben estar entre 5 y 10%, ya que valores de 15% en adelante tienden a inhibir el proceso. Para un biodigestor se pueden tener porcentajes de hasta el 25%. Los metales pesados, los antibióticos e igualmente los detergentes, son productos que inhiben el proceso de producción de biogás (Cruz, 1999).

2.4.4.4 Temperatura

Según Sasse (1984), la temperatura es uno de los factores de mayor influencia en el proceso, esto se debe especialmente a su acción directa sobre la actividad de las bacterias metanogénicas. Clasificó los rangos de temperatura en tres grupos:

- Fermentación Psicrófila: 10-20 °C, más de 100 días de retención.
- Fermentación Mesófila: 20-35 °C, más de 20 días de retención.
- Fermentación Termófila: 50-60 °C, más de 8 días de retención.

2.4.4.5 pH

La digestión anaeróbica se desarrolla en condiciones óptimas a un pH de 7 – 7,2 pudiendo tener fluctuaciones entre 6,5 y 7,5 (INIA, 1997).

2.4.4.6 Nitrógeno Amoniacal

El nitrógeno amoniacal es un nutriente esencial para los organismos anaeróbicos, pero dependiendo del medio y de la concentración, su toxicidad puede variar. Por encima de los 1500 mg/l a 3000 mg/l en cualquier medio produce efectos inhibidores. En el proceso de digestión anaeróbica el nitrógeno amoniacal se produce en medio alcalino por acción de bacterias que descomponen los aminoácidos por desaminación. En medio ácido no se da la

formación de amoniaco porque la degradación de los aminoácidos se da por descarboxilación (Del Pilar, 1983).

2.4.4.7 Producción y Composición de Gas

La producción del gas se expresa en volumen de gas produciendo por unidad de masa de sólidos totales. Cabe resaltar que en el proceso de digestión se da fluctuación en la producción y composición del gas, si esta persiste por 4 a 5 días es que hay algún problema en el digestor (Soubes, 1994). En el Cuadro 1 se detalla los volúmenes de biogás generados con diferentes tipos de residuos orgánicos.

Cuadro 1: Volúmenes de biogás generados con diferentes tipos de residuos orgánicos

Tipo de residuos orgánicos	Volumen de Biogás [m³/kgMS]
Restos agrícolas: cerveceros, fabricantes de zumo	0,42 a 0,50
Residuos de matadero y de la transformación de pescado	0,34 a 0,71
Residuos “verdes” de jardinería y agrícola	0,35 a 0,46
Residuos alimenticios	0,32 a 0,80
Residuos orgánicos domésticos	0,40 a 0,58
Purinas y concentraciones agrícolas	0,22 a 0,55

Fuente: Saico (2003)

2.5 BIODIGESTORES

Es un tanque de cualquier forma o tamaño que está formado por un tanque hermético (donde ocurre la fermentación) y un depósito de almacenaje de gas (IDINT, 1990). Existe una gran variedad de biodigestores. Según la forma de operación: los de tipo batch o de una sola carga, los semi-continuos (tipo chino, tipo hindú, tipo borda), y los continuos (Verástegui, 1980).

Desde el punto de vista de la sustentabilidad, la producción de biogás y biol, este último hace referencia a un abono orgánico líquido resultado de la descomposición de residuos animales y vegetales, es una solución eficiente para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos que combina el aspecto económico y social. Producir biogás y biol, facilita el acceso a estrategias de autosuficiencia energética. Además, se fortalece la economía interna al propiciar el autoempleo generando empresas verdes, innovadoras y creativas. Se promueven nuevas ofertas tecnológicas y se incrementa el desarrollo de la investigación (Zellweger, 2011).

En el Perú se ha instalado 106 biodigestores, predominantemente de tipo chino. En el departamento de Cajamarca encontramos 47 biodigestores, seguido de Arequipa con 18, Tacna cuenta con 14 biodigestores instalados y en el departamento de Loreto se ha diseñado un prototipo de biodigestor, que se alimente de desechos provenientes de la piscicultura (Infantes, 2006).

En la actualidad, el desarrollo e implementación de biodigestores tratados con residuos sólidos, es relevante en el Perú, podemos encontrar biodigestores a escala industrial (La calera, Arequipa), mediana escala y artesanales. De dicho universo, ha quedado demostrado que trabajar con residuos sólidos pecuarios y porcinos genera una alta cantidad y calidad tanto de biogás y biol. Con este precedente, una de las principales razones para pensar en biodigestores, es el manejo de la cantidad de desechos orgánicos que se producen en las empresas de crianza, procesamiento y venta de recursos hidrobiológicos, que muchas veces son llevados a rellenos sanitarios, o en pozas de almacenamiento, que como en el caso de la acuicultura, genera un impacto social ambiental (Zellweger, 2012).

Esta problemática ha llevado a una creciente sensibilidad medioambiental de la sociedad, propiciando la búsqueda de energías alternativas que puedan suplir a las convencionales y a la vez disminuir los impactos ambientales que ocasiona su empleo (Care, 2008).

2.5.1 Formas de Producción

2.5.1.1 Sistema batch o discontinuo

Este tipo de biodigestor se carga una vez y se descarga cuando concluye el proceso de fermentación. Tiene un solo orificio, el que se tapa y se destapa para cada carga. La duración de la carga oscila entre 3 o 4 meses (según el clima). Su uso es recomendable cuando se tiene disponibilidad de material celulósico de difícil degradación, por ejemplo: las basuras orgánicas, tallos de cereales, residuos agrícolas, pulpa de café, etc. (GTZ, 2008).

Son muy efectivos produciendo lodos completamente estabilizados para un mejor uso como fertilizante. Su desventaja es que son poco prácticos porque requieren mucho trabajo durante la descarga (GTZ, 2008).

Para fines de investigación son muy utilizados, ya que estos digestores son de carga seca con un 30 a 60 % de sólidos totales, se pueden construir sobre y/o bajo suelo, usándose para su construcción, desde materiales como recipientes plásticos, de vidrio, ladrillos, cemento, etc.(Zellweger, 2012).

2.5.1.2 Sistema Semi-Continuo

Según la FAO (2006) es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Este tipo de digestores presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 a 1 volúmenes de gas por volumen de digestor.

Dentro de las características principales se mencionan (FAO, 2006):

- Sección circular, eje vertical, paredes cilíndricas.
- No tiene partes móviles.
- Achatado
- Techo y fondo dómico.
- Orificios de entrada y salida diametralmente opuestos.
- Tapa removible en la parte superior del domo, perforado con el tubo de salida de gas.
- El gas se almacena dentro del mismo digestor.
- Se adapta a climas variados (templados y fríos).
- Se puede usar material celulósico combinado con estiércol.
- Producción constante del bioabono.

2.6 EMPRESA ACUÍCOLA *PERUVIAN ANDEAN TROUT S.A.C.* (PATSAC)

A partir de la década del 70, se comenzaron a instalar varias piscigranjas o centros de cultivo de peces, los cuales fueron construidos siguiendo sistemas tradicionales de crianza, utilizando estanques de concreto; actualmente con los avances en la técnica y nuevas tecnologías de cultivo, la truchicultura se viene constituyendo en una alternativa para la producción masiva de pescado fresco, así como para la generación de puestos de trabajo de manera directa e indirecta (HIDROSAT, 2008).

Peruvian Andean Trout S.A.C., inicia sus actividades acuícolas en el año 2009, es una empresa privada peruana que proyecta desarrollar el cultivo comercial de la trucha “arco iris” en la Laguna Choclococha, en la Comunidad de Choclococha, en el distrito de Santa Ana, provincia de Castrovirreyna, departamento de Huancavelica. Tiene como concesión 20 hectáreas para el desarrollo de su actividad acuícola (HIDROSAT, 2008).

Al inicio del proyecto de ejecución de la piscigranja se estimaba una producción de 750 toneladas de truchas trimestrales (1800000 truchas de talla comercial) considerando una mortalidad de 40% en todo el proceso. Teniendo en consideración 4 cosechas al año se tendría una producción 3000 toneladas anuales (HIDROSAT, 2008).

En el Cuadro 2 se muestra los rendimientos por productos de trucha que son comercializados por la empresa PATSAC.

Cuadro 2: Rendimientos de los productos de PATSAC

Producto	Rendimiento (%)
Fileteado de trucha	55%
Eviscerado de trucha	86%

Fuente: Pérez(2014)

En el Cuadro 3 se muestra cantidades de trucha producidas y cantidades de restos generadas en los años 2011, 2012 y 2013. Según la información brindada por Pérez (2014), indica que la producción anual se destina 77.5 % para la presentación de Fileteado y 17.5% para la presentación de Eviscerado, además mencionan que aproximadamente 5% de la producción es descarte.

Cuadro 3: Restos de trucha generado por PATSAC

Años	Producción (ton)	Restos de trucha (ton)
2011	855.76	362.202
2012	994.74	421.025
2013	1096.759	464.203

Fuente: Pérez (2014)

III.MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se realizó en el área experimental del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicada en la ciudad de Lima en el distrito La Molina, con una altura aproximada de 243.7 m.s.n.m., latitud sur de 12°05'06'' y longitud oeste de 76°57'00''.

3.2 CONDICIONES CLIMÁTICAS

El distrito de La Molina posee un clima de desierto sub-tropical árido caluroso (Sarmiento, citado por Schaepli, 2010). El clima es generalmente templado, la atmósfera de noviembre a diciembre se caracteriza por un amanecer de nubes y nieblas, que sólo eventualmente producen una débil llovizna llamada garúa, estas nubes y nieblas se disipan cada día para dar paso a un ambiente templado y hasta soleado; contrariamente en las noches la temperatura descende, causando sensación de frío. La temperatura promedio para los meses que duró la investigación se muestra en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Datos meteorológicos registrados en el período de investigación

Parámetros / meses	°C
Temperatura Promedio Diciembre	21.6
Temperatura Promedio Enero	23.9
Temperatura. Promedio Febrero	24.0

Fuente: Estación Meteorológico A.Von Humboldt – UNALM

3.3 DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La parte experimental del presente trabajo de investigación se realizó entre los meses de Octubre 2013 y Mayo del 2014.

3.4 MATERIALES Y EQUIPOS

3.4.1 Materia Prima

Se emplearon restos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*), dentro de los biodigestores tipo batch, los cuales fueron proporcionados por la Empresa *Peruvian Andean Trout S.A.C.*, ubicada en Huancavelica.

Se ha denominado restos de trucha a todo residuo orgánico, merma y/o descarte— entera o por pieza - generada durante las actividades de cultivo y poscultivo de la trucha arco iris.

3.4.2 Insumos

Los siguientes insumos se emplearon durante el proceso el desarrollo experimental en laboratorio y campo:

3.4.2.1 Consorcio B-LAC

El consorcio B-LAC fue proporcionado por el Laboratorio de Biotecnología Ambiental – Biorremediación departamento de Biología. Facultad de Biología de la UNALM.

3.4.2.2 Melaza de caña

La melaza de caña fue proporcionada por la granja de la Facultad de Zootecnia de la UNALM.

3.4.2.3 Purín de cerdo

El purín de cerdo fue proporcionado por la Unidad de Crianza de Porcinos de la Facultad de Zootecnia de la UNALM.

3.4.2.4 Cal industrial

Se trabajó con cal industrial (CaCO_3), por su efecto de enmendar la acidez de los suelos, y además de ser más comercial y accesible en la zona donde se encuentra la Empresa *Peruvian Andean Trout S.A.C.*

3.4.3 Equipos

Durante el proceso de medición se emplearon los siguientes equipos proporcionados por el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias de la UNALM.

- Potenciómetro portátil de sensibilidad 0,1marca HANNA
- Monitor de Gas por Extracción, marca LANTEC, modelo GEM500.
- Balanza mecánica de 10 kilos
- Licuadora artesanal
- Biodigestor y accesorio (la adaptaciónse muestran en el Anexo 1)

3.5 DESARROLLO DEL TRABAJO

3.5.1 Caracterización de restos de trucha

La caracterización de los restos de trucha se dio de la siguiente manera: primero para el tratamiento T_1 , referido solo a restos de trucha, se tomó una muestra de materia prima y se homogeneizó para posteriormente compilar la muestra en recipientes de 1 litro y llevarlos al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM para el análisis de materia orgánica especial, porcentaje de nitrógeno y

humedad. Respecto al tratamiento restos de trucha con % B-LAC, previamente se determinaron el porcentaje de B-LAC a emplear como tratamiento T₂, por lo mismo se predeterminó los tratamientos como se indican en el punto de los ítemes 3.5.2.1 y 3.5.2.2.

3.5.2 Caracterización de los insumos

La Figura 4 muestra el esquema que se siguió respecto a la caracterización de los insumos. Primero se tomó una muestra de restos de trucha y se realizó el molido para obtener la muestra homogenizada, luego se procedió a realizar el mezclado con el consorcio B-LAC a diferentes porcentaje de concentración. Se realizaron 2 tratamientos, el primer tratamiento consistió en restos de trucha con 5% de B-LAC, el segundo, restos de trucha con 10% de B-LAC, con tres repeticiones cada una. Luego se colocó ambos tratamientos en la incubadora y posteriormente se midió el pH. Se homogenizaron las muestras al cuarto día, y se juntaron en envases de 1 litro para realizárseles el análisis correspondiente (Materia Orgánica especial, Humedad y Nitrógeno) en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM. Con otra porción de muestra se realizó la prueba de neutralidad con cal industrial.

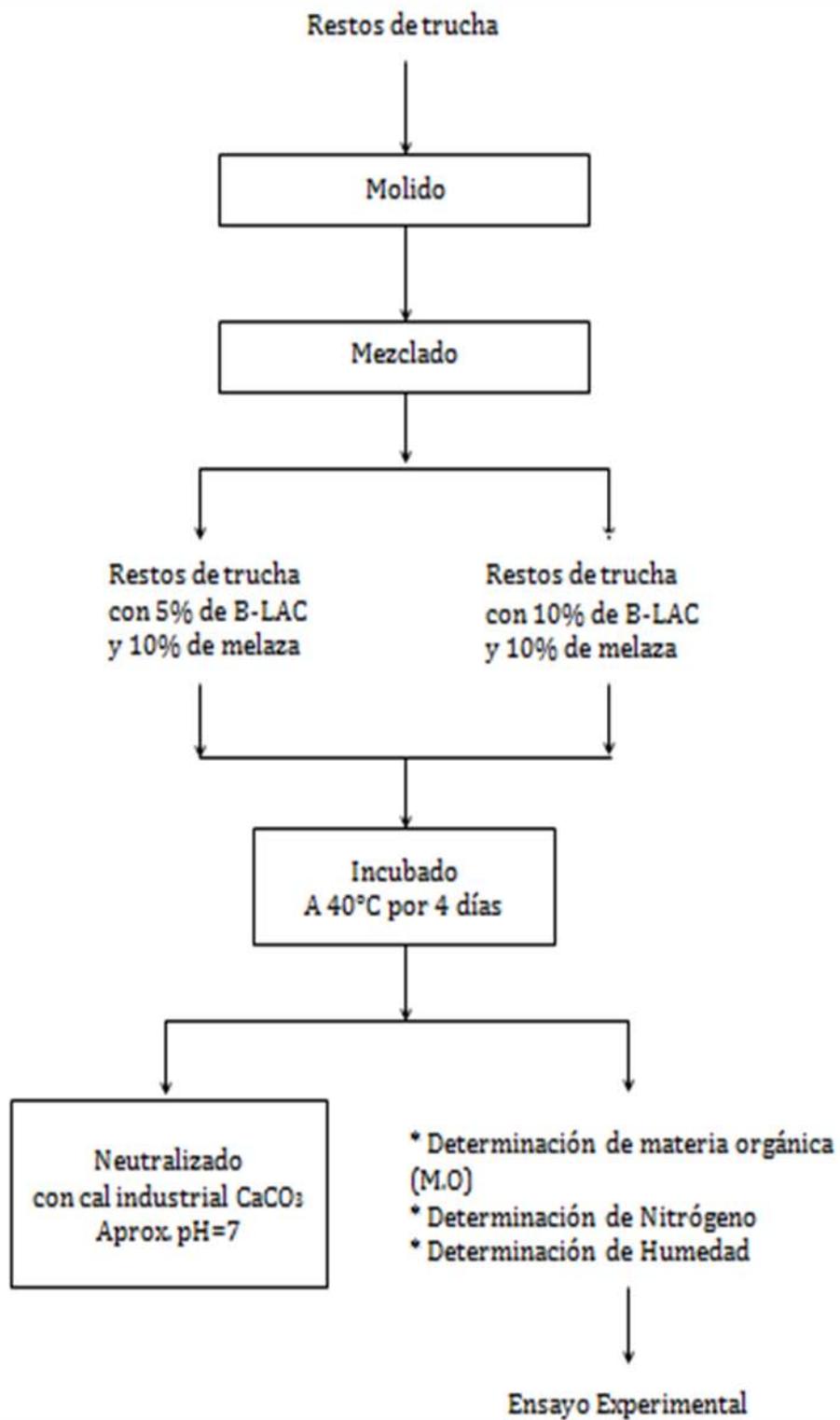


Figura 4. Caracterización de los insumos

3.5.2.1 Determinación óptima de B-LAC

Para determinar la cantidad óptima de B-LAC a utilizar para la generación de biogás y biol, se tuvo en cuenta la cantidad de restos de trucha y el valor pH final menor a 4, el cual es un indicador de estabilidad y ausencia de patógenos (García, 2008).

Se procedió a realizar un ensayo en el laboratorio de Biotecnología Ambiental – Biorremediación de la UNALM, por un período de 4 días con dos concentraciones de B-LAC, un tratamiento con restos de trucha y 5% de B-LAC y el segundo tratamiento con 10% de B-LAC. En ambos tratamientos se les adicióno 10% de melaza de caña. La cantidad de restos o sub productos fue 500 g y se realizaron 3 repeticiones por tratamiento, como muestra el Cuadro 5.

Cuadro 5: Tratamientos a diferentes porcentajes de B-LAC

Tratamientos Melaza	Restos de trucha con 5% B-LAC	Restos de trucha con 10% B-LAC
10%	R ₁	R ₁
	R ₂	R ₂
	R ₃	R ₃

Los restos de trucha se molieron para lograr una homogeneización y mejor actividad de B-LAC; las muestras fueron colocadas en envases de plástico con tapa. Se adicionó la cantidad de melaza y B-LAC según el tratamiento y se volvió a homogenizar. Se colocó una bolsa plástica para evitar el contacto con el aire, posteriormente fueron colocadas en una incubadora a 40 °C. Se registró el valor pH durante el tiempo del ensayo.

Se procedió a juntar en un envase de plástico las 3 repeticiones, para cada tratamiento, para poder conseguir una cantidad considerable de muestra para la realización de la caracterización.

Se procedió a homogenizar las tres repeticiones de cada tratamiento. Se tomó 1000 gr., de ambos tratamientos, restos de trucha con 5% de B-LAC y 10% de B-LAC.

Con lo que quedo de ambos tratamiento se procedió a realizar por separado la prueba de neutralidad, para ello se usó cal industrial hasta llegar a un valor de pH aproximadamente 7.

3.5.2.2 Determinación de relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

Para el tratamiento T₁ (restos de trucha), se obtuvo 2 kilos donados por la Empresa PATSAC, los cuales fueron molido por requerimiento de los ensayos; las muestra fue colocada en un envase de plástico.

Para la selección del porcentaje óptimo de B-LAC es necesario realizar la caracterización de los tratamientos restos de trucha con 5% de B-LAC y el segundo tratamiento con 10% de B-LAC, por ello se tomó 1000 gr de ambos tratamientos los cuales fueron colocados en envases de plástico.

Todas las muestras tanto del tratamiento restos de trucha, tratamiento con restos de trucha y 5% de B-LAC y tratamiento restos de trucha con 10% de B-LAC fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM para su respectivo análisis.

a) Determinación de la Humedad

Se pesó 1 g de muestra en crisoles de porcelana sin tapa, se calentó en una estufa a 105°C por un tiempo de 1 hora. Luego se procedió a retirar los crisoles y colocados en un desecador hasta que alcance temperatura ambiente. La determinación de la humedad se realizó utilizando el método diferencia de peso, gravimetría.

$$\text{Humedad} = ((W - B) / W) * 100$$

donde:

W: masa de muestra

B: masa de la muestra seca después de 105 °C

b) Determinación de Materia Orgánica (M.O.)

La determinación cuantitativa de materia orgánica se obtuvo por la determinación del carbono orgánico por el método de Walkley y Black el cual se da de la siguiente manera: se pesó una muestra de 6 ó 7 g y se colocó en crisoles de porcelana, luego se seca el conjunto (la muestra y el crisol) en horno a 105° C hasta peso constante (aproximadamente entre 24 y 48 horas), se retira del horno y se deja enfriar en desecador, luego se pesa. Se calcina la muestra en una mufla a 550 °C, durante 3 ó 4 horas, se retira de la mufla el conjunto, se deja enfriar en desecador y se pesa nuevamente.

La diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcinar equivale a la cantidad de materia orgánica que se perdió de la muestra por efecto de la calcinación.

$$\% \text{ Material Orgánica (\%M.O.)} = ((B - C) / W) * 100$$

donde:

B: Masa de la muestra después de 105 °C

C: Masa de la muestra después de 550 °C

W: Masa de la muestra

c) Determinación de Carbono

Para la determinación del carbono se utilizó el método de “Determinación de Materia Orgánica por Calcinación”. Con el valor de materia orgánica se determinó el valor de carbono en la muestra. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Carbono} = \% \text{ Materia Orgánica} / 1.724 \text{ (coeficiente de Waskman)}$$

d) Determinación de Nitrógeno

El nitrógeno se determinó utilizando el método de Kjeldahl. En este método, la muestra seca pasó por un proceso de digestión con una mezcla catalizadora que contiene H_2SO_4 y K_2SO_4 y luego se calentó, así el nitrógeno orgánico se convirtió en amonio (Rodríguez y Rodríguez, 2002).

Posteriormente pasa por el proceso de destilación, donde se agregó hidróxido de sodio, transformándose el NH_4^+ N en NH_3 , que luego se juntó con el receptor de ácido bórico (Bazán, 1996). Finalmente, se titula con H_2SO_4 estandarizado hasta que cambie de color verde a rojo violeta (Guerrero, 1993). Según Bazán (1996) Los mili equivalente (me) del ácido usado en la titulación equivale a los mili equivalentes de N en la muestra. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

mili equivalente (me) de N en la muestra = ml de ácido gastados x normalidad del ácido

$$\% \text{ de N en la muestra} = \text{me de N} \times 0.014 \times 100$$

3.5.3 Ensayo Experimental

Con los resultados obtenidos en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM se procedió a hallar la cantidad necesaria de los sustratos para las mezclas establecidas en los tratamientos T_1 (restos de trucha) y tratamiento T_2 (restos de trucha con B-LAC). El % de B-LAC utilizado en el tratamiento T_2 fue el que obtuvo mejores resultados en la relación C/N.

El tratamiento T_2 (restos de trucha con B-LAC) se preparó en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental - Biorremediación. Se partió en base a los datos obtenidos en el ensayo preliminar sobre la cantidad de sustrato a utilizar en el tratamiento T_2 (restos de trucha con B-LAC). El mismo que se dejó actuar por un período de 4 días en una incubadora a una temperatura de 40 °C, posterior a ello se midió el pH y se procedió a neutralizar con cal industrial.

Se tomó una relación carbono –nitrógeno C/N de 20-30 y una concentración de carga de 8% (materia seca). Existen muchos criterios en lo referente a la relación C/N pero se conoce en general como aceptable una relación C/N 20-30:1 (Guevara, 1996).

Por otro lado, una buena dilución de mezcla asegura que el biodigestor no se atasque con exceso de materia sólida, la mayoría de los digestores rurales se alimenta con porcentaje de sólidos totales en el sustrato entre 5 y 10 % (Poggio, 2007).

Para determinar la cantidad de material a emplear en la carga del biodigestor, se procedió a realizar los siguientes cálculos:

- Primero se determinó la cantidad de insumo a emplear, para ello se empleó la siguiente formula I:

$$\text{Kg de cantidad a emplear en la carga} = \frac{(\text{ST} * 100)}{\% \text{MS}} \quad \dots \text{ (I)}$$

donde:

ST : Sólidos totales
MS : Materia seca (%)

Se tomó del volumen total de cada biodigestor (20 galones), el 80% para la mezcla y el 20% se destinó para la fase gaseosa.

La Figura 5, se muestra el procedimiento realizado para la obtención de biogás y biol a partir del tratamiento restos de trucha (T₁), y para el tratamiento restos de trucha con B-LAC (T₂). Para ambos tratamientos se molió los restos de trucha y se procedió a homogeneizarlo.

Para el tratamiento restos de trucha (T₁), se procedió a cargar en los biodigestores. El tratamiento restos de trucha con B-LAC (T₂) se preparó 4 días antes, por el proceso que este implica, es decir, se incubó y luego se procedió luego a neutralizar. Posteriormente, se

adiciono 10% de melaza y se hizo el cargado a los biodigestores con sus respectivas repeticiones.

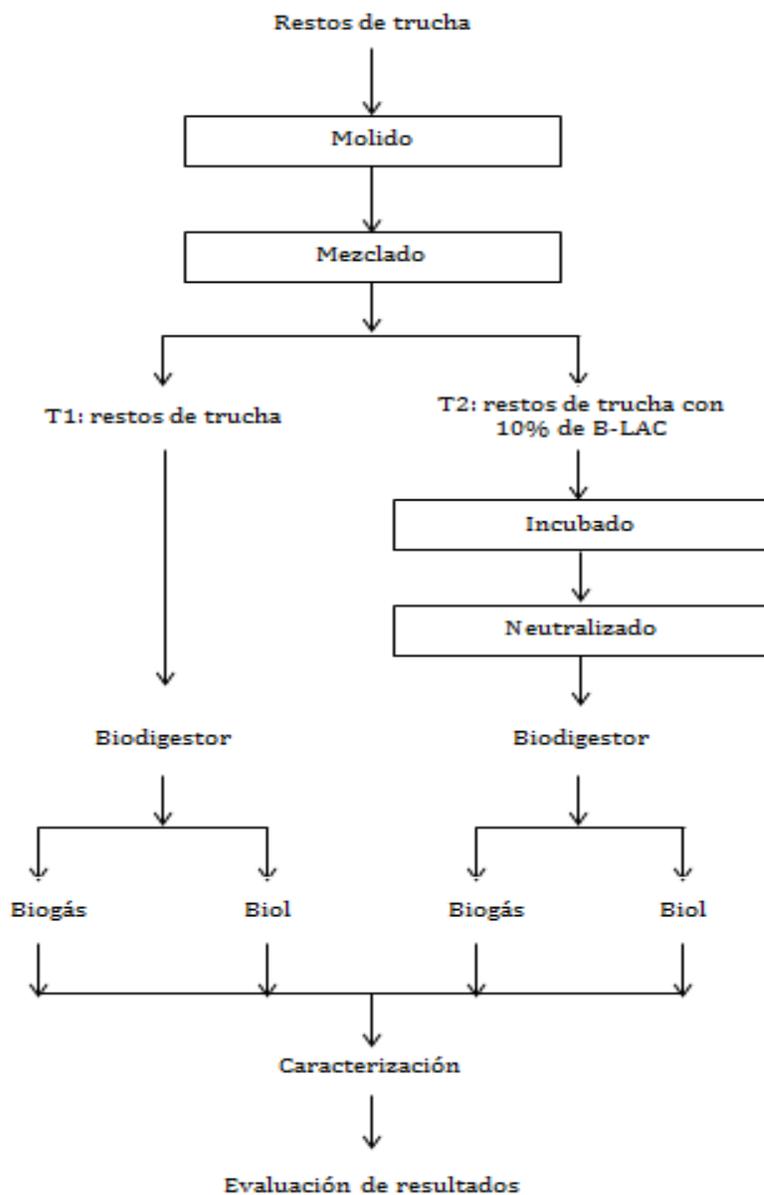


Figura 5. Procedimiento experimental para la obtención de biogás y biol a partir del tratamiento restos de trucha (T1), y el tratamiento restos de trucha con B-LAC (T2)

3.5.3.1 Carga en los biodigestores

En primer lugar se procedió al rotulado de los biodigestores de acuerdo al tratamiento empleado y el número de repeticiones. Se llenaron los biodigestores con los diferentes sustratos tratamiento restos de trucha (T_1) y tratamiento restos de trucha con B-LAC (T_2) tal como se muestra en el Cuadro 6.

Para un buen arranque de los biodigestores, se recomienda incluir un inóculo que puede ser aguas municipales, lodos del fondo de lagos, lagunas, estiércoleros, lodos de mataderos, fábrica de alimentos, alcantarilla, etc. (Guevara, 1996).

Se recomendó utilizar el inóculo en una cantidad de 10 – 15 % del volumen del biodigestor (Guevara, 1996 y Palomino, 2007).

Luego del mezclado de los diferentes sustratos de acuerdo al tipo de tratamiento, se llenó con agua hasta completar el volumen de la parte líquida del biodigestor.

Cuadro 6: Tratamientos utilizados para la obtención de biogás y biol, y los sustratos empleados en la formulación de los mismos

Tratamientos	Número de Repeticiones	Sustratos
Restos de trucha (T_1)	3	vísceras de trucha licuadas
Restos de trucha con B-LAC (T_2)	3	vísceras de trucha licuadas tratadas con melaza de caña y B-LAC

Para cerrar herméticamente los biodigestores, se utilizaron cámaras de bicicletas cortadas por la mitad que fueron colocadas alrededor de la boca de los biodigestores, se tapó y se ajustó bien con la ayuda de un martillo o comba; esto evitó las posibles fugas de biogás por acción de la presión.

Finalmente, se abrió la llave de paso del gas, el cual fue recolectado en unos flotadores que hicieron la función de gasómetros.

3.5.3.2 Caracterización del biol

Para la caracterización de los bioles obtenidos de ambos tratamientos. Se tomaron muestras de biol de los 6 biodigestores, previamente homogenizadas en frascos de plástico y fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes de la UNALM, para el análisis especial de materia orgánica (Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio), así como también la medición de pH, conductividad eléctrica y materia orgánica presentes en las muestras de biol.

3.5.4 Medición de los parámetros de control

Se consideraron los siguientes parámetros: pH, temperatura, volumen y composición del biogás, análisis microbiológicos.

3.5.4.1 Determinación de pH

Se utilizó un potenciómetro para la medición de pH. Las muestras fueron recolectadas abriendo la llave de paso para la salida del biol, antes de la recolección el biodigestor fue homogenizado por medio de las paletas instaladas interiormente.

3.5.4.2 Análisis de la temperatura

Respecto a la temperatura interna del biodigestor se midió con el equipo que mide la composición del biogás (Monitor de Gas por Extracción, marca LANTEC), como el biol está en equilibrio térmico por estar en contacto con el biogás, la temperatura de este medio es similar.

La temperatura externa de los meses de evaluación fue proporcionada por la Estación Meteorológica Von Humboldt de la UNALM.

3.5.4.3 Determinación del volumen del biogás

El volumen del biogás se determinó con el método de desplazamiento de volúmenes, usando el accesorio del biodigestor (sistema de medición de volumen de biogás). El gas contenido en los flotadores desplazaría el mismo volumen de agua de un recipiente y con ello se conocería el volumen del biogás.

3.5.4.4 Composición del biogás

Se utilizó el equipo medidor de gas (Monitor de Gas por Extracción, marca LANTEC), el cual muestra la composición del biogás (CH_4 , CO_2 y otros) en porcentajes de volumen. Las mediciones fueron tomadas paralelamente a los tiempos tomados con el potenciómetro.

3.5.4.5 Ensayos microbiológicos

Se realizaron dos análisis de organismos patógenos (*Coliformes fecales*, *Coliformes totales* y *Escherichia coli*) al inicio y al final de todo el proceso, con el objetivo de determinar si existe una reducción de éstos al acabar el proceso de biodigestor.

En el análisis inicial se recolectaron muestras de los dos tratamientos los cuales fueron colocados en frascos de vidrio; para el muestreo final las muestras de cada uno de los 6 biodigestores, previamente homogenizadas, fueron recolectadas en frascos de vidrio. Para ambos casos se tomó 200 gr. de muestras las cuales fueron llevadas al Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabbuso de la UNALM.

3.5.5 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 2 tratamientos diferentes y cada una de ellas con 3 repeticiones. Los factores de estudio fueron los siguientes sustratos (restos de trucha = tratamiento T_1 y restos de trucha tratadas con B-LAC = tratamiento T_2), los datos se tomaron 2 veces por semanas durante las primeras 4 semanas y luego 1 vez por semana hasta terminar el experimento.

La unidad experimental es representada por el biodigestor, que es una instalación para contener los diferentes sustratos, y producir biogás y biol. Para validar los datos estadísticamente se utilizó el programa MINITAB 16, haciendo uso de la PRUEBA T de 2 muestras, coeficiente de variabilidad y la prueba de desviación estándar.

Para PRUEBA T se utilizó un intervalo de confianza del 95%.

Para el Coeficiente de Variabilidad (CV), el cual es una medida de variabilidad relativa (sin unidades de medida) cuyo uso es para cuantificar en términos porcentuales la variabilidad de las unidades experimentales frente a la aplicación de un determinado tratamiento, se consideró en la experimentación no controladas (condiciones de campo) que un coeficiente de variabilidad mayor a 35% es elevado por lo que se debe tener especial cuidado en las interpretaciones y/o conclusiones; en condiciones controladas (laboratorio) se considera un coeficiente de variabilidad mayor como elevado (Castillo *et al.*, 2011).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE RESTOS DE TRUCHA

La caracterización de restos de trucha se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la UNALM. En el Cuadro 7 se muestra los resultados obtenidos:

Cuadro 7: Caracterización de restos de trucha

Muestra	% Humedad	%MS	%Carbono	%Nitrógeno	Relación C/N
Restos de trucha	57.25	42.75	55.68	2.46	22.64

4.2. CARACTERIZACIÓN DE INSUMOS

4.2.1. Determinación óptima de B-LAC

En el Cuadro 8 se muestra los resultados de la medición del valor de pH durante los 4 días que se encontraban en la incubadora a 40°C de los tratamientos.

Cuadro 8: Valores de pH en los tratamientos

Tratamientos	Repetición	Valores de pH		
		día 1	día 2	día 4
Restos de trucha + 5% B-LAC	R1	5.80	3.74	3.68
	R2	5.80	3.75	3.68
	R3	5.72	3.75	3.65
Restos de trucha + 10% B-LAC	R1	5.33	3.74	3.66
	R2	5.55	3.71	3.62
	R3	5.58	3.76	3.64

Como se observa en el Cuadro 8, la reducción del valor de pH es significativa debido a la acción de las bacterias existentes en el B-LAC, también se observa luego de los 4 días que los restos de trucha se encuentran en estado líquido, lo que facilitaría el proceso en el biodigestor (Figura 6).



Figura 6. Restos de trucha posterior al tratamiento en la incubadora por 4 días con 10% de B-LAC

Posteriormente se realizó la neutralización para ello se utilizó 0.4 g de Cal por 10 ml de muestra del tratamiento.

4.2.2. Determinación de la relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

El cálculo de la relación Carbono / Nitrógeno se obtuvo con una simple división aritmética de los resultados obtenidos por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

Por otro lado, la materia seca se calculó restando el porcentaje de humedad al 100%:

$$\% \text{ Materia Seca} = 100 - \% \text{ Hd}$$

donde:

Hd: humedad

Como se observa en el Cuadro 9 el tratamiento (restos de trucha con 10% B-LAC), se obtiene un valor mayor en relación C/N, además presenta valores de pH menor (Cuadro 8), por lo tanto se escogió el tratamiento (restos de trucha con 10% B-LAC) para el Ensayo Experimental el cual será posteriormente identificado como tratamiento T₂.

Cuadro 9: Resultados del contenido de Humedad, Carbono (C), Nitrógeno (N) y Relación Carbono-Nitrógeno (C/N) de las muestras restos de trucha, restos de trucha con 5% B-LAC y restos de trucha con 10% B-LAC

Muestra	Humedad (%)	MS (%)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación C/N
Restos de trucha	57.25	42.75	55.68	2.46	22.64
Restos de trucha con 5% B-LAC	57.11	42.89	54.85	2.43	22.57
Restos de trucha con 10% B-LAC	54.20	45.80	55.28	1.94	28.50

4.3. ENSAYO EXPERIMENTAL

El tratamiento T₁ consta de restos de trucha, y el tratamiento T₂ consta de restos de trucha tratadas con 10% de B-LAC.

Para determinar los kg de materia seca en la mezcla para el tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC), se ha considerado el 8% de Sólidos totales. Según Poggio (2007) se tiene un rango de 5 a 10 % entonces:

$$\text{Kg de materia seca} = (60 * 0.08) = 4.85$$

El tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC), estuvo constituido por vísceras de trucha, B-LAC y melaza de caña; para determinar el porcentaje a emplear en la carga inicial se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Kg de insumo de Tratamiento T}_2 = \text{Kg de materia seca} \left(\frac{100}{\%MS T_2} \right)$$

$$\text{Kg de insumo de Tratamiento T}_2 = (4.8 * \frac{100}{45.80}) = 10.58 \text{ Kg de insumo}$$

De este total del insumo, se consideró que el 80% correspondería a restos de trucha, el 10% a B-LAC y el 10% a melaza. Por lo que el tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC), está constituido como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10: Formulación para el tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC)

Sustrato	Cantidad (kg)
Restos de trucha	8.46
B-LAC	1.06
Melaza	1.06
Total	10.58

Posteriormente se realizó la medición del pH y se colocó en la incubadora por 4 días a 40°C. En la Figura 7 se muestra en proceso de elaboración del tratamiento T₂.

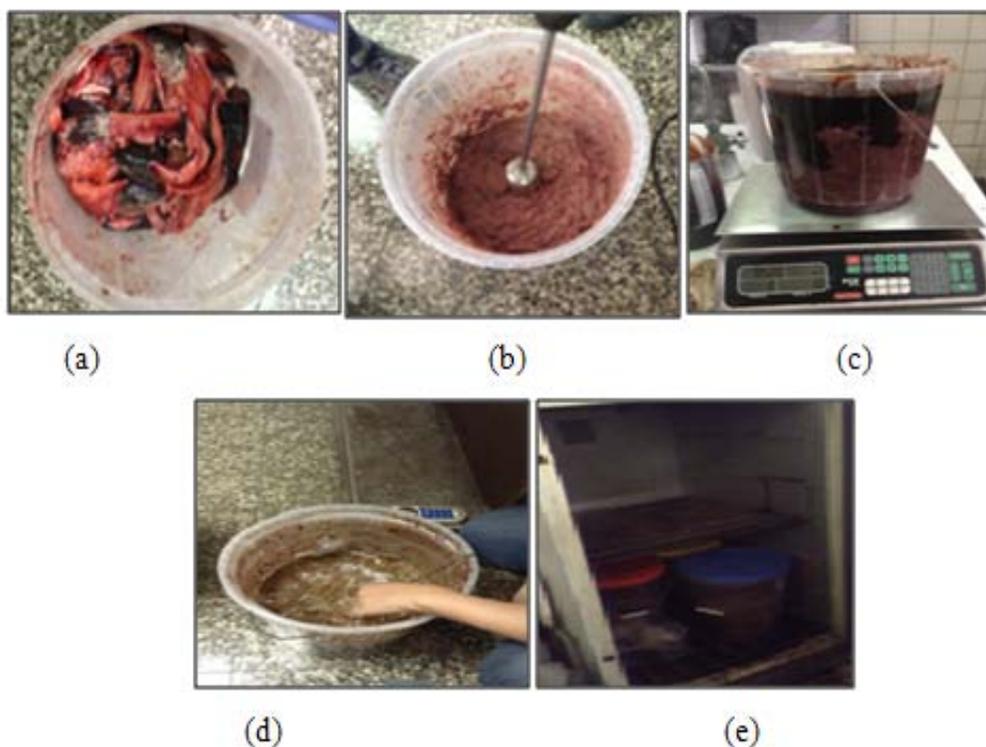


Figura 7. Elaboración del tratamiento T₂

(a) Recepción de restos o sub productos de trucha. (b) Molienda de restos o sub productos de trucha. (c) Pesado y adición de B-LAC y melaza. (d) Medición inicial de pH. (e) Incubación a 40°C por 4 días.

Para el caso del tratamiento T_1 (restos de trucha), se procedió a homogeneizar la cantidad de restos de trucha como se muestra en la Figura 8.



Figura 8. Homogeneizado de los restos de trucha para el Tratamiento T_1

La figura 8 (a) muestra la recepción de restos o sub productos de trucha. En la Figura 8 (b) se observa el proceso de molienda de restos o sub productos de trucha.

Posteriormente se colocó en los biodigestores y se adiciono el inculo y por último el agua; en las cantidades indicadas en el Cuadro 11.

Para el caso del tratamiento T_2 (restos de trucha con 10% B-LAC)se procedió a retirar los baldes de la incubadora y medir el pH de las tres repeticiones, luego de ello se realizó la neutralización como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Neutralizado del tratamiento T_2

Una vez concluida con el procedimiento de neutralizado para el tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC) se colocaron en los biodigestores, se adicionó el inoculo y por último el agua; en las cantidades indicadas en el Cuadro 11.

Luego se colocan las cámaras de llantas y se procede a cerrar herméticamente los biodigestores, se abren las válvulas para el paso del gas y se procede a homogenizar por un período de 3 minutos.

Los tratamientos fueron mezclados con cal industrial con el fin de elevar el pH periódicamente en la primera semana.

4.3.2. Caracterización del biol

Los resultados del análisis especial de la materia orgánica para los bioles se muestran en el Anexo2.

Respecto al pH, los bioles presentan un pH cercano a ser neutros, pero muestras del tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC) obtiene valores menores en comparación con el tratamiento T₁(restos de trucha). La diferencia de pH en 0.3, implica un aumento en las concentraciones de materia orgánica en solución, potasio, calcio y magnesio lo que coincide con Mosquera (2010), que indica que al adicionar melaza de caña en el proceso de fermentación, como fuente de energía favorece la actividad microbológica generando el aumento de concentraciones de K, Ca, Mg y micronutrientes como el boro.

Los valores en promedio de Conductividad Eléctrica de los bioles tanto para el tratamiento T₁ (restos de trucha)y tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC), presentan una relación directa proporcional con el pH; es decir, siendo el menor valor en promedio registrado de la C.E. en el tratamiento T₁ (restos de trucha) de 23.77 dS/m con un pH en promedio de 6.42; mientras que para el tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC) el valor en promedio fue de 22.83 dS/m con un pH en promedio de 6.18. Como en ambos tratamientos el pH es neutro, el efecto que le otorga al biol, es el de fuertemente salino (De la Rosa, 2012).

La materia orgánica (M.O.) en solución muestra mayores valores para el tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC), obteniendo un valor de casi el doble en comparación con el tratamiento T₁(restos de trucha). La relación entre el pH, C.E. y M.O es directamente proporcional.

Los bioles obtenidos por el tratamiento T₁(restos de trucha), son los que contienen una mayor concentración de nitrógeno que los bioles del tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC), esto es debido a la disminución de pH en el tratamiento T₁(restos de trucha), ligeramente ácida, en comparación al pH del T₂(restos de trucha con 10% B-LAC) que es neutro. Comparando a tres repeticiones del tratamiento T₁ (restos de trucha), el orden respecto a la concentración de nitrógeno es de la siguiente manera R₃> R₂> R₁. Los bioles del tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC) presentaron mayores concentración de macro nutrientes, esto se debe a las condiciones iniciales de la muestra y al manejo de los biodigestores para el tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC), perdiendo poco nitrógeno al ser expuesto al aire libre y durante el proceso de digestión presenta menor valor de pH.

En el Cuadro 12 se muestran los promedios de los análisis por cada tratamiento y los resultados obtenidos por Peña (2008) y Bossio (2007), cada uno de los autores antes mencionados utilizaron diferentes técnicas, sustratos y tipos de biodigestores para realizar sus experimentos. Peña (2008) indica tres tratamientos, el primero un hidrolizado de residuos de pota, segundo un fertilizante de residuos de pota con el menor pH (T₆) y tercero un fertilizante de residuos de pota con los mejores resultados (T₃). Bossio (2007) indica un tratamiento con fertilizante de pescado.

Cuadro 12: Comparación de los análisis de viales

Referencias	Tratamiento	pH	C.E. ds/m	M.O. en solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
Presente investigación	T1 (restos de trucha)	6.42	23.77	13.07	3829.00	503.47	522.67	2710.28	123.86	546.25
	T2 (restos de trucha con 10% B-LAC)	6.18	22.83	24.07	3220.00	399.94	1322.49	5045.83	248.41	416.25
Peña, 2008	Hidrolizado ¹	5.4	–	–	74100	12700	26500	2000	3300	–
	Fertilizante ²	3.5	18.5	183.34	12600	863.3	16900	1756	1200	3000
	Fertilizante ³ (Res. de pota)	4.3	20.4	186.28	16800	1222	8160	1520	864	2280
Bossio, 2007	Fertilizante(Res. de pescado)	3.6	16.5	148.42	9485	310	3296	1672	696	1072

¹Hidrolizado de residuos de pota.

²Fertilizante de residuos de pota con el menor pH (T₆)

³Fertilizante de residuos de pota con los mejores resultados (T₃).

Comparando los análisis de los bioles de los tratamientos T₁ (restos de trucha) y tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC), con el fertilizante de residuos de pescado, se observa que los valores ambos tratamientos del presente trabajo están por debajo de la composición de macro y micronutriente, solo en el caso del calcio que presentan un valor mayor en el caso del tratamientos T₁(restos de trucha) con 2710.28 ppm y tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC) con 5048.83 ppm en comparación con 1672 ppm del fertilizante de residuos de pescado

Al respecto Gostincar, (1998), menciona que si bien es cierto que el pH bajo es muy bueno para efectos de conservación de los tratamientos, para la aplicación en plantas no es recomendable que sea muy bajo ni muy alto, cuando el pH no se controla al nivel adecuado de la planta, esta pierde su habilidad de absorber algunos de los nutrientes elementales requeridos para su crecimiento, ya que a un pH inadecuado se puede bloquear los nutriente. Para cada planta hay un nivel adecuado de pH que estimula el crecimiento y productividad máxima, el pH óptimo varia de planta a plata según el tipo de cultivo, pero generalmente oscila según Gostincar, (1998) entre 6.0 y 7.5.

Para que las plantas puedan absorber los nutrientes a través de la raíz es necesario que estén en solución. Algunos nutrientes o micronutrientes a pH inadecuados precipitan en la solución dejándolos no disponibles para las plantas Por ejemplo: El Hierro (Fe) a niveles de ligeramente básicos (7.5), el 50% de todo el Hierro disponible habrá precipitado y a un nivel de 8.0 todo el Hiero habrá precipitado como gotita dejando a la planta sin Hierro disponible para su crecimiento produciendo estrés sobre la planta o su muerte (Gostincar, 1998).

El contenido de nitrógeno total es de 3829 ppm para el tratamiento T₁(restos de trucha) y 3220 ppm para el tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC) lo cual es excelente, ya que las plantas requieren grandes cantidades de este elemento. El alto contenido de este nutriente se debe a que los restos de trucha son ricas en proteínas las cuales fueron degradadas hasta péptidos y aminoácidos por acción de las proteasas y se siguió con el desdoblamiento de este y otros nutrientes con ayuda de la fermentación bacteriana, todo ello con el objetivo de proporcionar a las plantas los nutrientes en forma fácilmente asimilable (Gostincar, 1998).

La concentración de fosforo es de es de 503.47 ppm para el tratamiento T₁(restos de trucha) y 399.94 ppm. para el tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC). El contenido de potasio llega a 522.67 ppm para el tratamiento T₁(restos de trucha) y 1322.49 ppm. Para el tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC). En ambos casos los valores obtenidos no son suficientemente altos para satisfacer la demanda vegetal (Peña, 2008).

Los bioles de ambos tratamientos posee materia orgánica en solución de 13.07 g/L para el tratamiento T₁ (restos de trucha) y 24.07 g/L. según Herrera, (2000) la materia orgánica (M.O) está referida a la totalidad de compuestos de origen orgánico que se superponen a la fracción mineral del suelo. La materia orgánica según Herrera, (2000) es benéfica para la estructura del suelo. Está en conjunto con las arcillas. La M.O. actúa como pegamento de las arcillas y facilita su aglomeración. Estos aglomerados dejan espacios libres en el suelo (poros) que permiten el intercambio de gases, aumenta la entrada, capacidad de retención de agua y mejora el drenaje. Retiene elementos nutritivos para las plantas (Ca⁺², Mg⁺², K⁺¹, NH⁺⁴, Mn⁺², Fe⁺³, Cu⁺²).Asimismo aumenta la capacidad de intercambio catiónico según Herrera, (2000).

La materia orgánica como tal, no puede liberar los elementos (nitrógenos, fosforo, azufre y micronutrientes) en la forma química en que la planta los absorbe. Es al mineralizarse (descomponerse por acción microbiana), que los libera. Según Herrera, (2000) existen dos etapas en el proceso de descomposición: una es la inmovilización, que es la asimilación de los elementos minerales por la biomasa microbiana y la otra es la mineralización que es el proceso de convertir las formas orgánicas de N, P, S y otros, a formas inorgánicas disponibles para la planta.

Los bioles obtenidos de los tratamientos T₁(restos de trucha)y tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC), contiene a los nutrientes primarios (NPK) y secundarios (Ca, Mg, S) que estructuran el suelo y son de gran importancia ya que mejoran la fertilidad integral del mismo tanto física, química y biológicamente (Morales, 2003).

4.3.3. Medición de los parámetros de control

4.3.3.1. Variación de pH

En la Figura 10 se observa la recolección de las muestras para el análisis de pH. Las mediciones se realizaron de forma periódica, dos veces por semana durante las 4 primeras semanas y 1 vez por semana hasta terminar el experimento.



Figura 10. Recolección de muestras para el análisis de pH

(a) y (b) muestran la homogenización de los biodigestores. La fotografía (c) muestra la medición del pH.

En la Figura 11 se presenta la variación del pH de los tratamientos, que fueron tomadas después del inicio de la carga hasta el término de la experimentación en total 70 días, desde el 06 de Diciembre de 2013 hasta el 14 de Febrero de 2014.

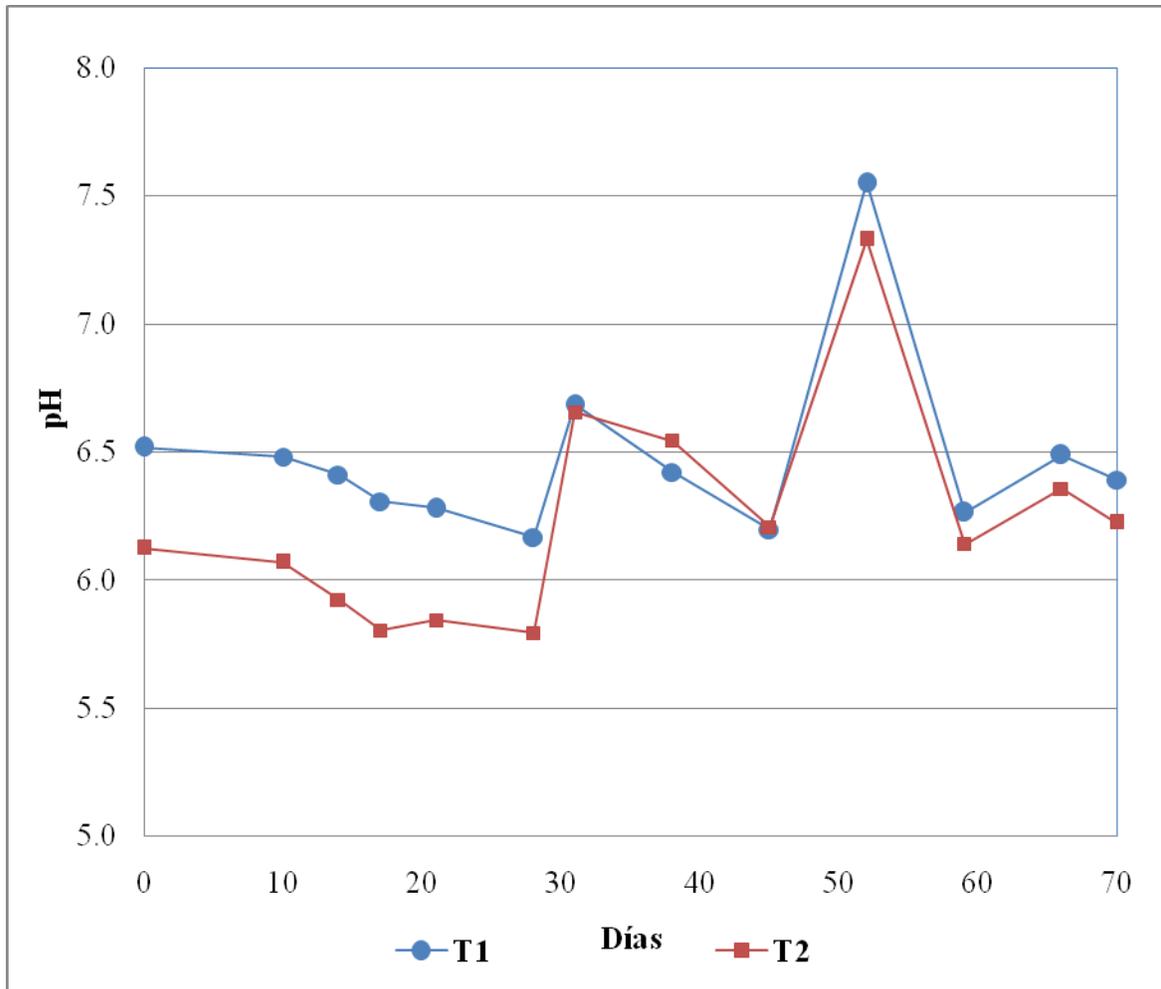


Figura 11. Variación del pH para el tratamiento T₁ y T₂

Tratamiento T₁: restos de trucha

Tratamiento T₂: restos de trucha con 10% B-LAC

En la Figura 11 se observa que al inicio del proceso los valores registrados fueron cercanos a pH 7, con tendencia a disminuir conforme pasaban los días. Cardenas, 2009, señala que en el período de arranque se produce gran cantidad de ácido orgánico en los digestores por la actividad de las bacterias acidogénicas y puede aparecer un valor más bajo de pH, pero a medida que avanza la fermentación, la concentración de amoníaco sube gradualmente por la acción de las bacterias catabolizadoras de proteínas (Cárdenas, 2009).

Como el valor de pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición, se tomó medidas correctivas del pH aumentando su valor, empleando para ello

cal industrial, logrando una mejora de pH a 7. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas (Martí, 2006).

Todos los datos obtenidos de pH fueron analizados estadísticamente utilizando el programa MINITAB 16. En el Cuadro13 podemos apreciar el resumen estadístico, cuyo principal interés se debe mencionar el Coeficiente de Variación (CV), presentando un menor valor de 6.08% en el tratamiento T₁(restos de trucha)el cual nos indica homogeneidad de los resultados en dicho tratamiento.

Cuadro 13: Resumen estadístico descriptivo de los valores de pH

Variables	Tratamiento T1 (restos de trucha)	Tratamiento T2 (restos de trucha con 10% B-LAC)
Recuento	39	39
Promedio	6.473	6.232
Desviación Estándar	0.393	0.458
Coeficiente de Variación	6.08	7.35
Mínimo	5.79	5.68
Máximo	8.28	7.70
Rango	2.49	2.02

4.3.3.2. Variación de la temperatura interna del biodigestor con la temperatura externa ambiental

En la Figura 12 se presenta la variación de las temperaturas del sustrato del biodigestor conjuntamente con la temperatura ambiental que fueron tomadas después de 10 días de la carga de biodigestores hasta el término de la experimentación. Las mediciones se realizaron dos veces por semana durante las 4 primeras semanas y 1 vez por semana hasta terminar el experimento. Fueron en total 56 días, desde el 16 de Diciembre de 2013 hasta el 10 de Febrero de 2014.

Las temperaturas se ven afectadas conforme avanza el experimento. La temperatura mínima registrada fue de 26.0 °C, mientras que la temperatura máxima fue de 38.2 °C ambos valores fueron registrados por el tratamiento T₁ (restos de trucha).

La temperatura promedio de los diferentes sustratos permanece por encima de la temperatura ambiental, registrándose en esta última una mínima de 21 °C y una máxima de 26 °C. La tendencia de todas las temperaturas es creciente, puesto que el estudio se desarrolló en época de verano.

La biodigestión de los diferentes sustratos se desarrolla en el rango mesofílico (20 °C a 40 °C). El intervalo mesofílico es el más utilizado, pese a que en el rango termofílico es donde se tiene la mayor producción de biogás. Esto es debido a la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas, lo que conlleva a un mayor control del sistema y, por tanto, a una actividad más costosa. Por otro lado, en este intervalo de temperatura el mantenimiento del sistema consume más energía que la que puede proporcionar el gas resultante (Cuesta *et al.*, 1991).

Se aprecia que el sustrato con mayor nivel de temperatura en la última semana de estudio fue la del tratamiento T₂ (restos de truchas con 10% B-LAC), este incremento de temperatura favoreció a la producción de biogás.

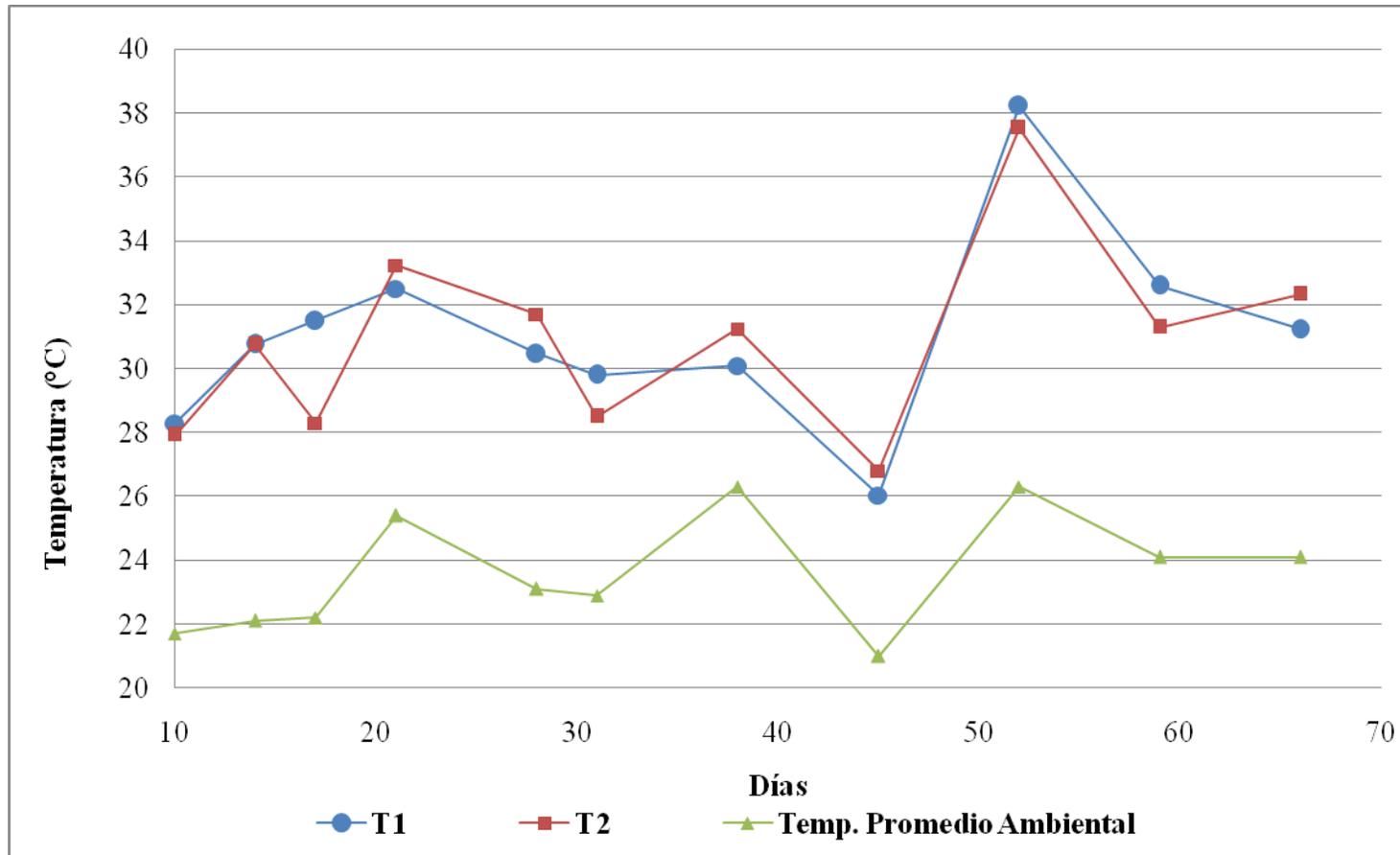


Figura 12. Variación de la temperatura interna de los biodigestores y la temperatura ambiental

Tratamiento T₁: restos de trucha

Tratamiento T₂: restos de trucha con 10% B-LAC.

4.3.3.3. Volumen del biogás

Se observó que el volumen de biogás generado por nuestros biodigestores fueron mínimas (<1 litro), por lo que no fue necesaria realizar la medición.

4.3.3.4. Composición del biogás

En caracterización se determinó en relación a la composición de biogás obtenido para ambos tratamientos T₁ (restos de trucha) y T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC), siendo el porcentaje de metano (CH₄) el indicador de calidad. La calidad de un biogás es medido en función al porcentaje de metano (CH₄) generado por el sustrato en estudio. Se sabe que el biogás posee entre 40-70% de CH₄ y un 30-50% de CO₂, por tal motivo, un biogás debe de tener un alto porcentaje de metano (Sasse, 1984).

La composición del biogás se determinó a través del equipo LANTEC GEM 500 (Gas Extraction Monitor) fueron CH₄, CO₂ y O₂. En la Figura 13 se muestra como se realizó la toma de datos, los cuales se realizaron dos veces por semana durante las 4 primeras semanas y 1 vez por semana hasta terminar el experimento.



Figura 13. Toma de datos con el equipo LANTEC GEM 500

(a) Se muestra el equipo de medición LANTEC GEM 500, y (b) medición de la composición del biogás.

En los resultados presentados, se utilizaron los datos después del Tiempo de Retención Hidráulica (TDH) de 56 días.

La Figura 14, muestra los niveles medios alcanzados de CH₄, CO₂ y O₂ para los tratamientos T₁ (restos de trucha) y tratamiento T₂ (restos de truchas tratadas con 10% B-LAC) durante todo el período de ejecución del experimento, obtenido con el software MINITAB 16.

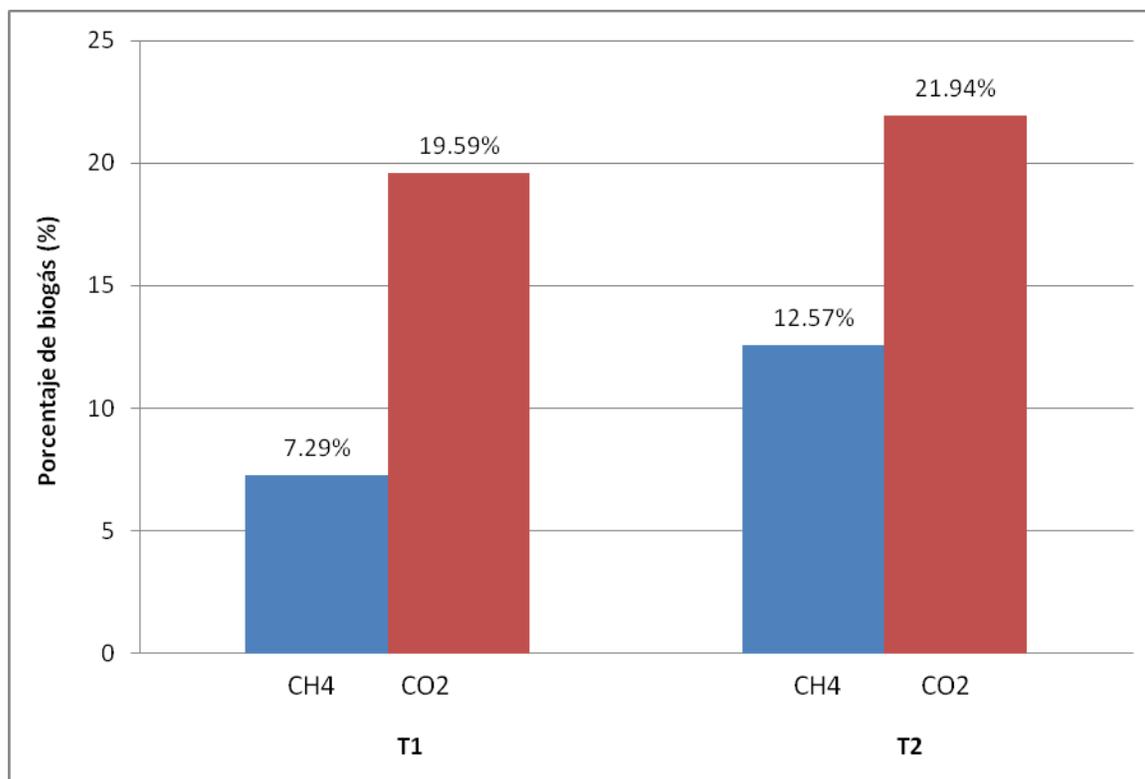


Figura 14. Composición promedio del biogás de los tratamientos

Tratamiento T₁: restos de trucha

Tratamiento T₂: restos de trucha con 10% B-LAC.

El porcentaje mayor de CH₄ lo obtuvo el sustrato tratamiento T₂ (restos de truchas con 10% B-LAC) con un 12.57%, mientras que el tratamiento T₁ (restos de trucha) obtuvo un 7.29%. Los niveles promedios de CO₂ entre ambos tratamientos son similares, el menor fue de

19.59% para el tratamiento T₁ (restos de trucha) y el mayor fue de 21.94% para el tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC).

Se evidencia presencia de O₂ en ambos tratamientos con valores variables en el tiempo. Según Mandujano, los microbios que producen el gas metano no toleran la presencia de oxígeno ni de luz, es por ello, por lo que no se llega a generar un nivel significativo de CH₄.

El resumen estadístico descriptivo de la composición promedio del biogás se muestra en el Anexo 3.

Un m³ de biogás, en condiciones normales que posee un 60% de metano (CH₄), 40% de dióxido de Carbono (CO₂), y trazas de otros gases o “impurezas”, alcanza un poder calorífico próximo a las 5.500 kcal/m³, esto se debe a que, en definitiva, la concentración de CH₄ es el que determina el poder calorífico (Gon, 2008 y Montes, 2008).

En la Figura 15 se observa que la producción de CH₄ en ambos tratamientos va en aumento, siendo el sustrato del tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC) el que produjo una mayor cantidad de CH₄ en los primeros 7 días hasta alcanzar un máximo de 26.2%, para luego disminuir considerablemente al cierre de mes (no llegó a estabilizarse).

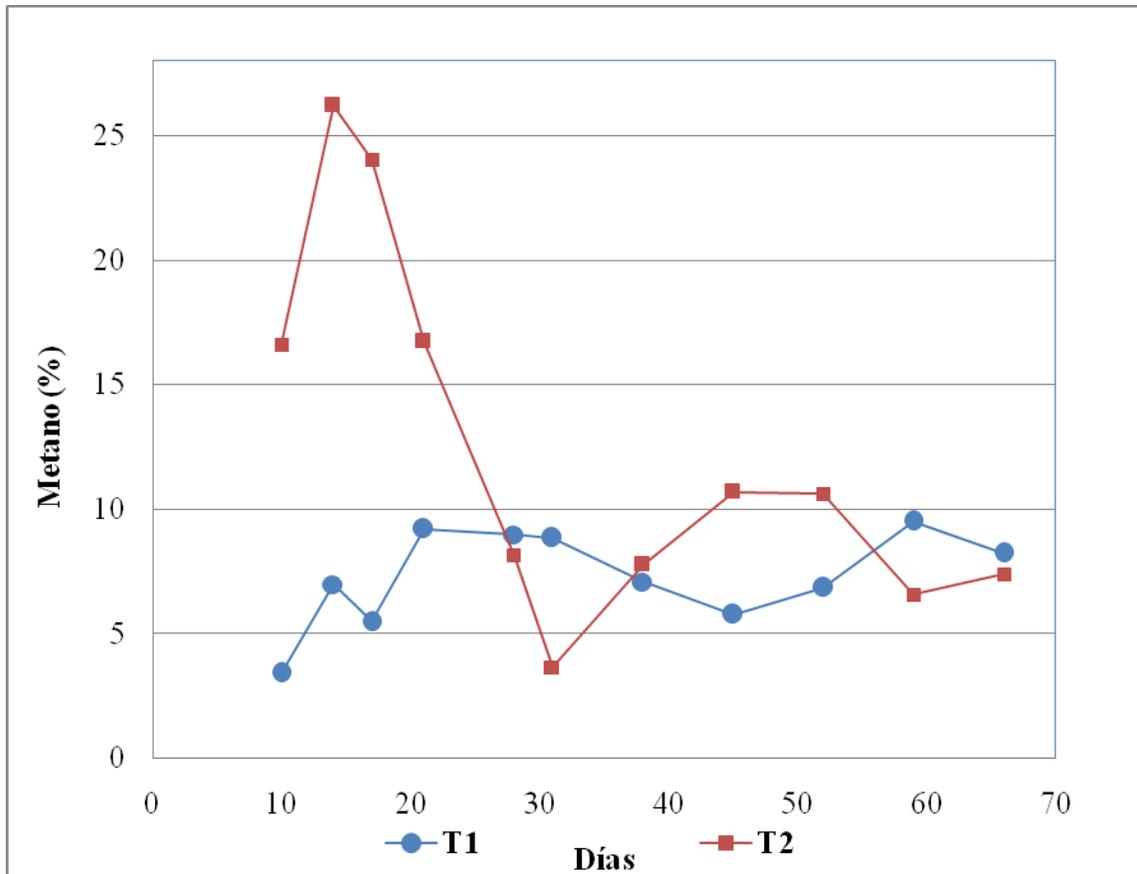


Figura 15. Generación de metano (CH₄) durante el tiempo de estudio

Tratamiento T₁: restos de trucha

Tratamiento T₂: restos de trucha con 10% B-LAC

El tratamiento T₁ (restos de trucha) genera un disminuido porcentaje de biogás – comparado con el tratamiento T₂(restos de trucha con 10% de B-LAC), como se observa en la Figura 15 llego a alcanzar un máximo de 9.5% durante todo el periodo de estudio.

Las generación de metano a 32 °C y 30° C muestran la tendencia general del proceso de fermentación para el tratamiento T₁(restos de trucha) y tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC) respectivamente. Registrándose un máximo de producción de metano al séptimo día del proceso para ambos tratamientos (Ver Figura 15). Según Gonzales (2004) indica que los máximos de generación de metano, con respecto al tiempo, dependen de la temperatura de fermentación ya que a temperaturas menores los máximos en generación de metano coinciden

con tiempos más prolongados de fermentación, la cual está más estrechamente relacionada con la temperatura y con el pH que se tengan en el biodigestor.

4.3.3.5. Ensayos microbiológicos

Los resultados de los ensayos microbiológicos de los dos tratamientos antes de la biodigestión se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14: Resultado de los análisis microbiológicos de los tratamientos antes de la biodigestión

Análisis Microbiológicos	Restos de trucha (T₁)	Restos de trucha con 10% B-LAC (T₂)
Enumeración de Coliformes Totales (NMP/g)	50 x 10 ³	< 3
Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/g)	90	< 3
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	< 3	< 3

Nota: El valor < 3 indica ausencia de microorganismos en ensayo.

*Los resultados del tratamiento T1 son medibles en NMP/g

De ambos tratamientos, el tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC), presenta valores menores a 3 NMP/ml para Coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*, y esto se debió a la presencia de bacterias productoras de ácido láctico provenientes de haber sido tratados con B-LAC, las cuales desarrollaron mayor actividad microbiana por contener melaza de caña. El ácido láctico generado inhibe el crecimiento de los microorganismos patógenos, se considera que la reducción en el pH es el principal efecto inhibitor debido a la producción de ácidos orgánicos (Carrasco, 2002).

El biol o también llamado abono líquido obtenido para el tratamiento T₂(restos de trucha con 10% B-LAC), cumple con los límites máximos mencionados por la Organización Mundial de la Salud, la cual menciona que el líquido utilizado como riego sea menor a 1000 NMP/100 ml.

Al finalizar el proceso de biodigestión, en todos los tratamientos se realizaron los análisis microbiológicos a los bioles obtenidos. Los resultados del análisis microbiológico para ambos tratamientos T₁ (restos de trucha) y tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC) luego del proceso de la biodigestión se observan en el Cuadro 15.

Cuadro 15: Resultado de los análisis microbiológicos de los bioles

Análisis Microbiológicos	T₁R₁	T₁R₂	T₁R₃	T₂R₁	T₂R₂	T₂R₃
Enumeración de Coliformes Totales (NMP/mL)	4	< 3	< 3	< 3	< 3	4
Enumeración de Coliformes Fecales (NMP/mL)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/mL)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

El análisis muestra que ambos tratamientos disminuyeron hasta un valor que indicó ausencia de microorganismos, por lo que se concluye que la biodigestión contribuye a la reducción de la carga microbiana patógena.

Durante el proceso de fermentación, las bacterias productoras de ácido láctica inhiben el crecimiento de microorganismos que ocasionan la putrefacción, reduciendo la presencia de Coliformes totales, fecales y *Escherichia colia* <3 NMP/mL. Las bacterias ácido lácticas son ácido - tolerantes lo que le permite tener actividad microbiana durante el proceso de digestión (Carrasco, 2002).

V. CONCLUSIONES

- Se logró valorizar los restos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) para obtener biogás y biol, empleando el consorcio microbiano B-LAC en biodigestores tipo batch.
- El tratamiento restos de trucha con B-LAC obtuvo 12.57% de gas metano (CH_4) lo que le permitió obtener mejores resultados en producción y calidad de biogás y biol.
- No se determinó la cantidad de biogás (volumen), por fallas en la construcción y déficit en la supervisión del pH, lo que influyó en la generación de gas metano CH_4 .
- El biogás que se obtuvo en ambos tratamientos alcanzaron un máximo de 26.2% para el tratamiento de T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC) y de 9.5% para el tratamiento de T₁ (restos de trucha), en ambos casos el porcentaje es insuficiente para generar energía.
- Se evaluó la calidad del biol producido a partir de restos de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) con el consorcio microbiano B-LAC. Los bioles obtenidos fueron caracterizados de la siguiente manera, tratamiento T₁ (restos de trucha) contiene una concentración de nitrógeno de 3829 ppm, potasio de 522.67 ppm y fósforo de 503.47 ppm; y el tratamiento T₂ (restos de trucha con 10% B-LAC) contiene una concentración de nitrógeno de 3220 ppm, potasio de 1322.49 ppm y fósforo de 399.94 ppm.
- La fermentación anaeróbica se dio a temperaturas mesófilas, en un rango entre 20°C y 40°C.

- El biol obtenido en ambos tratamientos obtuvo una buena composición de N-P-K que podrían ser aprovechadas como fertilizante líquido. Así, las cantidades de micronutrientes Ca, Mg y Na se asemejó a la de los abonos orgánicos tratados con otros residuos pesqueros, por lo que puede ser usado como fertilizante en cultivos hidropónicos.
- Los análisis microbiológicos realizados a los bioles obtenidos de ambos tratamientos evidenció que el proceso de biodigestión anaeróbica no terminó con patógenos. Así también, demostró que los bioles obtenidos son productos inocuos, que debido a su nivel de ligeramente ácidas están libres de microorganismos patógenos, y su uso no implicaría riesgos a la salud de las personas, la calidad del suelo y de cultivos.
- Los bioles obtenidos alcanzaron un valor promedio < 3 NMP/ml. de enumeración respecto a la *Escherichia coli* para ambos tratamientos, manteniéndose por debajo de los límites máximos para riego mencionados por la Organización Mundial de la Salud.
- Los resultados de esta investigación serán de mucha utilidad para la formulación de proyectos de mayor envergadura que implique el reaprovechamiento y/o valorización de los residuos pesqueros proveniente del proceso de acuicultura y otros.

VI. RECOMENDACIONES

- Seguir estudiando la utilización del B-LAC para otros sustratos de la industria acuícola.
- Asegurar un buen armado de los biodigestores, para evitar las fugas de gas producido en el proceso, y también la inserción de oxígeno.
- Calibrar los equipos de medición antes de realizar la toma de muestra.
- Realizar la evaluación de nitrógeno, carbono, materia orgánica y humedad del inóculo Purín de cerdo, para determinar su influencia en el proceso de fermentación.
- Mantener el valor de pH entre 6.5 a 7.2 durante todo el proceso de digestión anaeróbica para evitar así una pobre producción de biogás.
- Evaluar la calidad del agua utilizada en los biodigestores para evitar influir negativamente en la generación de biogás. Se recomienda un estudio y análisis de la utilización de agua de ríos o lagunas, previamente tratadas, para la reducción de la carga de patógenos.
- Evaluar la factibilidad técnico – económica de producir abono orgánico líquido a partir de restos de trucha a mayor escala.
- Realizar una prueba o ensayo de germinación antes de aplicar el biol directamente como fertilizante para conocer su concentración y determinar la dosis a utilizar, además de caracterizar el suelo que se utilizara; con el fin de evitar efectos negativos tanto del cultivo como del suelo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, G.K., DONNELLY, T. y MCKEOWN, K.J. 1982. Proceso Biquímico 28-32.
- AOAC. 1980. Official methods of analysis. Association of official analytical chemist.
- AMBROSIO, M. 2009. Procesamiento Pesquero, Disposición de residuos e impacto ambiental. Pp 6.
- ARCHER, B. Y KIRSOP, H. 1990. “The microbiology and control of anaerobic digestion”. Anaerobic digestion: a waste treatment technology, Wheatley A., ed., Elsevier applied science, pp 43-87.
- ARÉVALO, J. 1998. Efecto del bioabono liquido en la producción de pastos y en la fertilidad del suelo. pp 25.
- BAERE, 1984. High rate dry anaerobic composting process for the organic fraction of solid wastes. En: Biotechnology and Bioengineering Symp. Nro. 15. Wiley and Sons, S. pp 321-330.
- BAZÁN, R. 1996. Manual para el análisis químico de suelo, aguas, plantas. Fundación para el desarrollo.
- BOSSIO, F. 2007. Obtención de un Bio-fertilizante basado en Residuos de Pescado y Roca Fosfatada. Tesis Bach. Biología. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- BUSCHMANN, A. H. 2001. Impacto Ambiental de la Acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el Mundo, pp 16.
- CASTILLO, C., MEJÍA, C. y ARÉVALO, J. 2011. Diseño de experimentos al completo azar, pp 10.

- CÁRDENAS, G. 2009. Aislamiento térmico de biodigestor en planta de tratamiento de aguas servidas Osorno. Tesis Ing. Mecánico. Universidad Austral de Chile, Osorno pp 132.
- CARRASCO, M.S. (2002). Antibacterial Activity of Lactic Acid bacteria Isolated from Argentinian Dairy Products. The Australian Journal of Dairy Technology. Vol. 57. No. 1, 15-19.
- CARE PERÚ. 2008. Memoria Institucional 2007- 2008.
- CEDECAP (Centro de Demostración y Capacitación en Tecnologías Apropriadas). 2007. Biodigestores de Polietileno: Construcción y Diseño. (en línea). Consultado el 03/01/12. Disponible en: http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/8bib_arch.pdf
- CUESTA, J., MARTÍN, F., VICENTE, G. y VILAR, S. 1991. Informe de Vigilancia Tecnológica Madrid. Situación actual de la producción de biogás y de su aprovechamiento en Velázquez Madrid. ISBN 978-84-612-9487-9.
- DEL PILAR, M. 1983. Variable que influyen el proceso de digestión anaeróbica (1° Curso seminario nacional de capacitación en biogás Cajamarca 13.23 de junio) pp 1-5.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2006. Construcción de un biodigestor (en línea). Consultado el 12/01/12. Disponible en: http://www.fao.org/sd/teca/search/tech_dett_es.asp?tech_id=1025
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Programa de información de especies acuáticas. *Oncorhynchus mykiss*. Programa de información de especies acuáticas. Texto de Cowx, I. G. In: Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO [en línea]. Roma. Actualizado 15 June 2005. [Citado 8 October 2014]. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es
- FERRY, G. 1992. "Biochemistry of Methanogenesis". Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology, 27(6), pp 473-503.
-
- GARCÍA, L., PATEL, C. y OLLIVIER, B. 2000. "Taxonomic, phylogenetic, and ecological diversity of methanogenic Archaea". Anaerobe, 6, pp 205-226

- GARCÍA, L., 2008. “Uso de bacterias probióticas en el ensilado de residuos de pescado. Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. 142 p.
- GON, L. 2008. Guía para Proyectos de Biodigestión en Establecimientos Agropecuarios. Buenos Aires, Argentina.
- GOSTINCAR, J. 1998. Técnicas Agrícolas en Cultivos Extensivos. Biblioteca de la Agricultura. Editorial Idea Books S.A. Madrid, España pp. 383-394.
- GUERRERO, B. 1993. Abonos Orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico del suelo. Edición Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos. Lima, Perú.
- GUEVARA, A. 1996. Fundamentos básicos para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales. Producción de Gas y Saneamiento de Efluentes. OPS (ORGANIZACIÓN Panamericana de la Salud), CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales) y OMS (Organización Mundial de la Salud). Lima, Perú.
- GTZ (Cooperación Técnica Alemana).2008. Biodigestores familiares. Guía diseño y manual de instalación.
- GUNNERSON, G. y STUCKEY D.C. 1986. Anaerobic digestion. Principles and practices for biogas systems. The word bank technical paper #49, Washington D.C., pp 93-100.
- HERRERA, A. 2000. Verdades y mitos sobre la materia orgánica y los abonos orgánicos. Asistente técnico del Instituto de la Potasa y el Fósforo A.C. Para México y Norte de Centroamérica (en línea). Consultado el 12/09/14. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/B325756563B28C9506256B22005EBA1F/\\$file/VERDADES+Y+MITOS+.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/B325756563B28C9506256B22005EBA1F/$file/VERDADES+Y+MITOS+.pdf)
- HIDROSAT, 2008. Estudio de Impacto Ambiental para el Cultivo de la Trucha “Arco Iris” (*Oncorhynchus mykiss*): Peruviana Acuicultura Company SAC. Lima, Perú, pp 205.
- HIGA, T. y PARR, J. 1994. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. Japon. Pp 84.

- IDINT: Instituto de investigaciones tecnológicas 1990. Planta de biogás, diseño, construcción y operación. Bogotá, Colombia. pp 11-27.
- INFANTES, P. 2006. Razones de éxito o fracaso de los biodigestores en el país. Seminario Internacional “Las Energías renovables y el desarrollo de regiones rurales”. Universidad nacional San Antonio Abad – Cusco/ Universidad de Lima.
- INIA: Instituto de investigación y tecnología agraria y alimentaria. 1997. Aplicación de las tecnologías de fermentación anaeróbica y otros procesos complementarios en la depuración de efluentes de origen ganadero, pp 8-9.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SANTO DOMINGO. 2012. ¿Qué es el abono orgánico? (en línea). Consultado el 10/01/12. Disponible en: <http://www.intec.edu.do/~yberges/abonos.doc>
- ISR: Instituto para la Sostenibilidad de los recursos. 2005. Boletín del II Congreso sobre Residuos Biodegradables y Compost . (en línea). Consultado el 10/01/12. Disponible en: <http://www.acrplus.org/index.php/es/2013-06-11-10-59-36/eventos-pasados/event/165-2-congres-on-biowaste-and-compost-the-challenge-of-encouraging-final-products-consumption>
- JUSCAMAITA, J. 2012. Producción del consorcio microbiano B-LAC. Profesor Asociado del Departamento Académico de Biología UNALM.
- KOLMANS, E., VÁSQUEZ, D. 1999. Manual de Agricultura Ecológica. Una introducción a los principios básicos. Programa ecológico, pp 55–65.
- MAGAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2005. Red de Autoridades Ambientales. Módulo de Sensibilización Ambiental para el Sector Pesquero. . (en línea). Consultado el 10/01/12. Disponible en: http://www.mma.es/portal/secciones/biblioteca_publicacion/publicaciones/revista_ambienta/n50/pdf/14life502005.pdf
- MANDUJANO, I., FÉLIX, A. y MARTÍNEZ, A. 1981. Biogás energía y fertilizantes a partir de desechos orgánicos. México. Pp 11.

- MARCHAIM, M. y ZIMMERMANN H. 1985. La purificación del biogás. Gate – GTZ. Lengericher Handelsdruckerei, Lengerich, Alemania.
- MARTÍ, N. 2006. Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process. USA. ISBN: 1-58112-332-9.
- MATEO, M. 1983. Bioquímica de la digestión anaeróbica (Seminario Nacional de Capacitación en biogás Cajamarca 13-23 de Junio) pp 5-11.
- MCLNEMEY, M., BRYAN, M. y STAFFORD, D. 1979. “Metabolic stages and energetic of microbial anaerobic digestion”. Anaerobic Digestion, Stafford W. y H., Applied Science, pp 91-98.
- MENDOZA BOJORGUEZ, RAÚL. 2004. “Manual de Cultivo de Truchas Arcoiris en jaulas flotantes”. Programa de transferencia de tecnología en acuicultura para pescadores artesanales y comunidades campesinas.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN –PRODUCE. Viceministerio de Pesquería, Dirección Nacional de Acuicultura; Piscicultura de la Trucha, 2004.
- MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN –PRODUCE. Viceministerio de Pesquería, Dirección Nacional de Acuicultura; cosecha, producción y comercialización de la trucha, 2011.
- MONTES, M. 2008. Estudio técnico-económico de la digestión anaeróbica conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás. Tesis Dr. Ing. Químico. España. Universidad Politécnica de Madrid. 487 p.
- MOSQUERA, B. 2010. Abonos orgánicos. Manual para elaborar y aplicar abonos orgánicos. USAID del pueblo de los Estados Unidos de América.
- PALOMINO, V. 2007. Tesis de Tratamiento de Residuos Sólidos Domésticos mediante Biodigestores para la obtención de Biogás y Bioabonos, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- PEÑA, N. 2008. Utilización de Residuos de Pota (*Dosidicus gigas*) para la obtención de un Fertilizante Orgánico Líquido. Tesis. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

- PÉREZ, J. 2014. Producción de trucha. Jefe de Centro de PATSAC. Comunicación Personal.
- POGGIO, D. 2007. Diseño y Construcción de Dos Digestores Anaeróbicos en el Altiplano Andino Peruano. Tesis Mg. Agricultura. Universidad Politécnica de Cataluña. Madrid, España. Pp 163.
- RODRIGUES, H. y RODRIGUES, J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas, Criterios de interpretación, México. pp 63-111.
- RUIZ, C. 2002. Aplicación de digestores anaerobios discontinuos en el tratamiento de aguas residuales industriales, Sevilla, España. pp 5-35.
- SAICO, L. 2003. Determinación de substratos óptimos para la producción de biogás a partir del estiércol de ganado ovino, vacuno y porcino de los corrales de crianza de la UNALM. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina Facultad de Zootecnia. Lima, Perú.
- SASEE, L. 1984. La planta de biogás: bosquejo y detalle de plantas sencillas. Pp 5-83
- SCHLAEFLI, F. 2010. Tratamiento de residuos orgánicos del comedor del comedor universitario de la UNALM en un biodigestor semi-continuo para la producción de biogás y biol. Tesis. Universidad Nacional Agraria La Molina Facultad de Ciencias. Perú.
- SOUBES, M. 1994. “Microbiología de las digestión anaerobia” III Taller y Seminario Latinoamericano “Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”, Montevideo-Uruguay, pp 15-28.
- TAIGANIDES, E. 1980. Biogás: recuperación de energía de los excrementos animales, Zootécnia N° 35. pp 2-12.
- TOERIEN, D. y HATTINGH, W. 1969. “The microbiology of anaerobic digestion”. Water Research, 3, pp 385-389.
- TOMAS, C., DAVID, R., ÁNGEL, M., ALIPIO, C., VIDAL, A y SVEN, J. 2005. Producción de Biol abono líquido natural y ecológico. INIA – Estación experimental ILLIA – Puno. pp 8.
- VERASTEGUI, J. 1980. El biogás como alternativa energética para zonas rurales. OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de Energía). Boletín Energético del Ecuador 14: 57-94.

- WERNER, E. 1983. Bioconversión: producción de energía utilizando desperdicios agrícolas. En: el reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. Bol. Suelos No. 51. FAO. pp 253.
- ZELLWEGER, HANNES. 2012. Aprovechamiento de bioenergía a través de biodigestores. Guía de Orientación para Tomadores de Decisión e Industrias Agropecuarias. Lima, Perú.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Adecuación de los biodigestores y accesorios

A. Biodigestores:

- Requerimientos para la construcción:

UNIDAD	MATERIALES	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
6	Cilindros de plástico de 20 galones	55.00	330.00
6	Válvulas esféricas de 2 pulg.	20.00	120.00
6	Válvulas esféricas de ½ pulg.	4.00	24.00
6	Adaptadores de 2 pulg.	3.25	19.50
6	Adaptadores de 1 pulg. a ½ pulg.	6.00	36.00
12	Niples de 2 pulg.	2.50	30.00
30	Niples de ½ pulg.	1.90	57.00
12	Tuercas y contratuercas de 2 pulg.	6.00	72.00
1	Tubo de agua de 1 pulg. x 6 m	9.00	9.00
6	Tubos Tee de ½ pulg.	2.30	13.80
1	Manguera reforzada de ¾ pulg. de 6 m	12.00	12.00
18	Abrazadores ¾ pulg.	1.00	18.00
12	Codos de ½ pulg.	1.00	12.00
6	Reductores macho ¾ pulg.	4.50	27.00
6	Uniones para manguera	2.00	12.00
12	Uniones universales 2 pulg.	18.60	223.20
6	Uniones de ¾ pulg.	9.00	54.00
6	Tuercas y contratuercas de bronce de ½ pulg.	6.00	36.00
3	Siliconas negra de alta resistencia	9.00	27.00
1	Aplicador de silicona	6.00	6.00

Continúa.....

Anexo 1: Adecuación de los biodigestores y accesorios(continuación)

2	Cinta de teflón para gas	3.70	7.40
3	Pegamento	10.50	31.50
2	Cinta de teflón rojo	3.00	6.00
2	Lijas	1.80	3.60
6	Flotadores	9.00	54.00
3	Cámaras de bicicleta	8.00	24.00
1	Juego de herramientas de mecánica	25.00	25.00
1	Sierra para metal	2.00	2.00
1	Taladro y accesorios	300.00	300.00
1	Llave ajustable de 8 pulg.	8.00	8.00
1	Llave Stillson 12 pulg.	33.00	33.00
1	Broca para metal 3/8 pulg.	3.50	3.50
6	Cilindros de agua de mesa	2.50	15.00
4	Bolsas de cal industrial de 1 kg	2.00	8.00
1	Potenciómetro con reactores	220.00	220.00
1	Rollo de papel toalla	2.00	2.00
2	Docenas de vasos descartables	2.50	2.50
	Total		1884.00

- Construcción:

Se construyeron seis biodigestores en bidones cilíndricos de plásticos de 20 galones (75.7 litros o 0.08 m³) de capacidad. Con la ayuda del taladro se procedió a realizar los agujeros en los biodigestores para acoplar las piezas necesarias para un determinado fin: salida del biol del biodigestor, salida del biogás y acople del homogeneizador.

Para la salida del biol, en los biodigestores se hicieron agujeros de 2 pulg. de diámetro de forma circular, a una altura aproximado de 26 cm medidos desde la base del cilindro de plástico (Ver Figura 16a). En dichos agujeros se colocaron los niples de 2 pulg. que fueron ajustados con las tuercas (parte interior) y contratueras (parte exterior). Posteriormente, se conectó cada niple a la válvula estérica de 2 pulg., con cinta teflón y pegamento.

Siguiendo el proceso de armado, se perforó la parte superior de los cilindros de plástico (tapa) tanto para el acople del homogeneizador, y para la salida del biogás. Para el acondicionamiento del homogeneizador se colocó un niple de 2 pulg. y se ajustó a la pared de la tapa de cada cilindro con tuercas y contratuercas de 2pulg., así también se empleó pegamento para asegurar el sellado. Luego el extremo interior del niple se conectó a un adaptador de 2 pulg., acoplado a su vez a un tubo de 2 pulg. de 50 cm. Para el armado del tubo homogeneizador se empleó un tubo de agua de 1 pulg. de aproximadamente 60 cm conectado a un reductor de 1 pulg. a ½ pulg. y esto a su vez, a un tubo “Tee” de ½ pulg., que confinaban en roscas de ½ pulg.. En todas las uniones se empleó cinta teflón y pegamento.

Para la salida del biogás, se perforó un agujero de ½ pulg. de forma circular en un extremo de la tapa del cilindro, utilizando un niple de ½ pulg., tuercas y contratuerca de bronce de ½ pulg., y silicona negra de alta resistencia y teflón. Por el exterior de este niple se colocó una válvula esféricas de ½ pulg., se acopló un niple de ½ pulg., conectado a un reductor macho de ¾ pulg.. Esta unión universal de ½ pulg. posee una rosca que se acopló exactamente al equipo de medición de gases del Laboratorio de Ingeniería ambiental. El reductor macho de ¾ pulg. se une a la manguera cuya longitud aproximada es de 1 metro, el cual confina a su vez en el flotador. La unión entre la manguera y el flotador fue asegurado con abrazaderas de ¾ pulg. (Ver Figura 16a). Finalmente, se obtuvo 6 biodigestores para realizar la presente investigación (Ver Figura 16b).

Una vez concluida la construcción del prototipo de biodigestor, se procedió al llenado con agua para verificar si existía fuga en el sistema, si esto ocurría, se retocaran las uniones visibles exteriores con silicona negra de alta resistencia.



(a)



(b)

Figura 16. Construcción de los biodigestores

(a) Muestra la colocación del niple de 2 pulg. para la salida del homogeneizador. La fotografía (b) la adecuación en campo de los biodigestores luego de su construcción.

B. Accesorio (sistema de medición de volumen de biogás):

- Requerimientos para la construcción:

UNIDAD	MATERIALES	PRECIO UNITARIO S/.	PRECIO TOTAL S/.
1	Bidón de plástico de 20 litros	30.00	30.00
2	Niples especiales de ½ pulg.	3.40	6.80
4	Tuercas de bronce de ½ pulg.	3.00	12.00
4	Empaques de jebe de ½ pulg.	2.50	10.00
4	Reductores de bronce de ½ pulg. a ¾ pulg.	3.50	14.00
1	Manguera reforzada de ¾ pulg. de 6 m	12.00	12.00
1	Cinta de teflón rojo	3.00	3.00
1	Siliconas negra de alta resistencia	9.00	9.00
1	Inflador	15.00	15.00
1	Balde de 20 litros	20.00	20.00
1	Juego de herramientas de mecánica	-	-
1	Taladro y accesorios	-	-
1	Broca para metal 3/4"	3.50	3.50
	Total		135.30

- Construcción

Inicialmente se perforaron dos agujeros en la tapa del bidón de 20 litros con la ayuda del taladro, por este agujero se colocaron los niples de ½ pulg. sujetos a la base de la tapa por medio de las tuercas de bronce y empaques de jebe, para evitar fugas se cubrió con silicona de alta resistencia.

En los extremos de ambos niples, se colocaron las reducciones de bronce de ½ pulg. a ¾ pulg., en la parte interior de la tapa, en las salidas de dichos reductores se acoplan 2 mangueras de ¾ pulg.. En la parte externa de la tapa, a un reductor se le adicionó un pedazo de manguera para el desfogue del líquido interior en el balde, en el otro reductor se acopló una de las mangueras del inflador, la otra manguera del inflador se colocó al flotador donde se deseó medir el volumen de biogás.

Anexo 2: Resultados del análisis especial de materia orgánica para los bioles

Repetición	Tratamiento	pH	C.E. dS/m	M.O. en solución g/L	N Total mg/L	P Total mg/L	K Total mg/L	Ca Total mg/L	Mg Total mg/L	Na Total mg/L
R1	T ₁	6.37	22.90	14.24	3801.00	584.28	524.18	3048.85	123.16	536.25
R2	T ₁	6.41	23.30	12.08	3794.00	518.94	506.10	2415.00	112.73	547.50
R3	T ₁	6.47	25.10	12.88	3892.00	407.20	537.73	2667.00	135.69	555.00
Promedio		6.42	23.77	13.07	3829.00	503.47	522.67	2710.28	123.86	546.25
R1	T ₂	6.11	22.30	24.08	3171.00	371.21	1301.40	4725.00	242.15	410.00
R2	T ₂	6.25	23.90	21.28	3248.00	419.51	1337.55	5687.50	252.59	421.25
R3	T ₂	6.17	22.30	26.86	3241.00	409.09	1328.51	4725.00	250.50	417.50
Promedio		6.18	22.83	24.07	3220.00	399.94	1322.49	5045.83	248.41	416.25

Anexo 3: Resumen estadístico descriptivo de la composición promedio del biogás

Variables	Tratamiento T1 (restos de trucha)			Tratamiento T2 (restos de trucha con 10% B-LAC)		
	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂	%CH ₄	%CO ₂	%O ₂
Recuento	12	12	12	12	12	12
Promedio	7.29	19.59	10.91	12.57	21.94	7.12
Desviación Estándar	1.80	10.69	1.40	7.03	12.25	1.30
Coeficiente de Variación	24.71	54.56	12.83	55.93	55.84	18.20
Mínimo	3.40	8.47	8.17	3.63	10.53	5.13
Máximo	9.50	43.78	12.90	26.20	48.17	9.80
Rango	6.10	35.31	4.73	22.57	37.64	4.67

Anexo 4: Base de datos de los distintos parámetros estudiados

Repetición 1							
Fecha	Tratamiento	%CH₄	%CO₂	%O₂	Temp. F	Temp. °C	pH
16/12/2013	T1	2.2	26.03	15.1	80.96	27.2	6.45
	T2	11.3	35.4	10.9	80.96	27.2	6.06
20/12/2013	T1	6.1	24.9	12.8	87.98	31.1	6.39
	T2	25.6	39.4	5.5	87.98	31.1	5.93
23/12/2013	T1	5.6	24.7	12.2	89.96	32.2	6.28
	T2	17.9	28	8.3	80.96	27.2	5.83
27/12/2013	T1	8.9	24.2	11.4	91.22	32.9	6.25
	T2	9.1	15.4	12.2	94.10	34.5	5.88
03/01/2014	T1	8.1	18.1	8.9	86.18	30.1	6.16
	T2	7.3	15.2	8.4	89.06	31.7	5.81
06/01/2014	T1	6.1	11.8	10.3	87.08	30.6	6.72
	T2	2.7	6.8	10.6	82.04	27.8	6.47
13/01/2014	T1	3.5	6.9	13.1	83.12	28.4	6.4
	T2	10.5	23.5	3.8	86.18	30.1	6.32
20/01/2014	T1	6.5	9.4	12.7	78.26	25.7	6.24
	T2	7.8	14.7	6.8	80.24	26.8	6.04
27/01/2014	T1	7	9.3	13.6	100.22	37.9	7.12
	T2	11.4	11.2	8.9	98.24	36.8	7.7
03/02/2014	T1	14	12.8	10.6	91.04	32.8	6.47
	T2	4.9	7	10.2	89.06	31.7	6.09
10/02/2014	T1	10.5	10.5	10.9	89.24	31.8	6.34
	T2	6.1	12.1	6.8	89.24	31.8	6.31

Repetición 2							
Fecha	Tratamiento	%CH₄	%CO₂	%O₂	Temp. F	Temp. C	pH
16/12/2013	T1	2.8	42.6	11.2	82.94	28.3	6.50
	T2	19.5	53.1	5.4	82.94	28.3	6.09
20/12/2013	T1	6.6	29.22	11.09	87.08	30.6	6.42
	T2	26.5	40.9	5.2	87.08	30.6	5.93
23/12/2013	T1	7.7	31.4	10.7	89.06	31.7	6.31
	T2	24.2	33.3	5.9	82.94	28.3	5.8
27/12/2013	T1	9.1	27.3	10.9	90.14	32.3	6.29
	T2	18.6	22.4	8.7	91.22	32.9	5.83
03/01/2014	T1	8.4	25.3	7.8	86.18	30.1	6.15
	T2	6.9	12	8.5	89.06	31.7	5.76
06/01/2014	T1	7.8	19.6	9.1	84.92	29.4	6.46
	T2	3.4	8.8	10	82.94	28.3	7.01
13/01/2014	T1	9.3	18.2	10.6	87.26	30.7	6.32
	T2	3.5	11.3	8.5	89.24	31.8	7.09
20/01/2014	T1	4.6	7.8	12.8	79.16	26.2	6.07
	T2	15.3	14.5	4.1	80.24	26.8	6.51
27/01/2014	T1	6.2	8.1	12.8	101.12	38.4	7.25
	T2	11.2	14.6	4.5	100.22	37.9	7.15
03/02/2014	T1	8.5	10.5	10.9	91.04	32.8	5.79
	T2	7.8	15.3	4.2	87.98	31.1	5.68
10/02/2014	T1	7.3	6.8	13.7	88.16	31.2	6.42
	T2	9.1	19.2	2.9	91.22	32.9	6.35

Repetición 3							
Fecha	Tratamiento	%CH₄	%CO₂	%O₂	Temp. F	Temp. C	pH
16/12/2013	T1	5.2	62.7	5.1	84.92	29.4	6.49
	T2	19	56	4.5	82.94	28.3	6.06
20/12/2013	T1	8.2	50.2	7.2	87.08	30.6	6.42
	T2	26.5	42.4	4.7	87.08	30.6	5.91
23/12/2013	T1	3.1	3.6	15.8	87.08	30.6	6.33
	T2	30	36.6	4.5	84.92	29.4	5.78
27/12/2013	T1	9.6	17.4	15	90.14	32.3	6.3
	T2	22.5	28	6.4	90.14	32.3	5.82
03/01/2014	T1	10.4	24.1	7.8	88.16	31.2	6.19
	T2	10.2	20.1	6.6	89.06	31.7	5.81
06/01/2014	T1	12.6	25.1	7.7	84.92	29.4	6.87
	T2	4.8	16	8.8	84.92	29.4	6.48
13/01/2014	T1	8.4	14.6	10.9	88.16	31.2	6.54
	T2	9.3	19.3	8.2	89.24	31.8	6.22
20/01/2014	T1	6.2	11.8	11.1	79.16	26.2	6.28
	T2	8.9	15	8.4	80.24	26.8	6.07
27/01/2014	T1	7.3	8	9.6	101.12	38.4	8.28
	T2	9.2	9.7	7.8	100.22	37.9	7.14
03/02/2014	T1	6	10.1	9.1	89.96	32.2	6.53
	T2	7	12.3	6.8	87.98	31.1	6.65
10/02/2014	T1	6.9	13.5	7.7	87.26	30.7	6.7
	T2	6.9	14.7	8	90.14	32.3	6.41