



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSTGRADO
DOCTORADO
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



**COMPOSTAJE Y BIODIGESTIÓN CON SUBPRODUCTOS DE CAMAL EN
PUNO - PERÚ**

TESIS

PRESENTADA POR:

DANIEL EFRAÍN APAZA APAZA

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTORIS SCIENTIAE EN:
CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**



PUNO - PERÚ

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
BIBLIOTECA CENTRAL AREA DE TESIS
Fecha ingreso: 14 OCT 2014
Nº 100696

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSTGRADO

DOCTORADO

CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



**COMPOSTAJE Y BIODIGESTIÓN CON SUBPRODUCTOS DE CAMAL EN
PUNO-PERÚ**

TESIS

PRESENTADA POR:

DANIEL EFRAÍN APAZA APAZA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTORIS SCIENTIAE EN:

CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**ESCUELA DE POSTGRADO
DOCTORADO**

CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

TESIS

**COMPOSTAJE Y BIODIGESTIÓN CON SUBPRODUCTOS DE CAMAL EN
PUNO-PERÚ**

PRESENTADA POR:
DANIEL EFRAÍN APAZA APAZA
PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTORIS SCIENTIAE EN:
CIENCIA TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:

.....
Dr. Felix H. Cotacallapa Gutiérrez

PRIMER MIEMBRO

:

.....
Dr. Eduardo Flores Condori

SEGUNDO MIEMBRO

:

.....
Dr. Ernesto Calancho Mamani

ASESOR DE TESIS

:

.....
Dr. Edmundo B. Moreno Terrazas

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) y la Unidad Coordinadora del Programa de Ciencia y Tecnología de la Presidencia del Consejo de Ministros (FINCyT) por la beca otorgada para los estudios de doctorado y la realización de la investigación.

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno por la oportunidad de proseguir con mi formación a nivel de post grado.

Al Dr. Edmundo Moreno por su constante e incondicional apoyo para la realización y culminación de la investigación.

A los miembros del jurado por sus contribuciones en bien de la mejora de la investigación.

A la empresa Camal Frigorífico Sur Export Delicar por su predisposición y colaboración en bien de la realización de la investigación.

Daniel.

DEDICATORIA

A Dios por todas las bendiciones.

A mi padre Fernando Apaza Paripanca y a mi Madre Cirila Apaza Condori, por su acompañamiento y fuente de inspiración para ser una mejor persona cada día; a mis hermanos Dora, José, Gladiz e Hilaria por sus consejos y apoyo.

A mi esposa Rut Quispe, por su invaluable acompañamiento, comprensión y amor incondicional.

Daniel.

ÍNDICE

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Marco Referencial	24
2.2.1 Residuos de Mataderos	24
2.2.1.1 Residuos Líquidos de Mataderos	24
2.2.1.2 Los Residuos Sólidos de Mataderos	25
2.2.1.3 Características de los Residuos de Mataderos	27
2.2.2 Tratamiento y Valorización de Residuos de Mataderos	32
2.2.2.1 Compostaje	34
2.2.2.2 Digestión Anaerobia	40
2.3 Marco Conceptual	46
CAPITULO III: METODOLOGÍA	49
3.1 Características de la Zona de Estudio	49
3.2 Tipo de Investigación.	51
3.3 Diseño de la Investigación.	52
3.4 Metodología para Muestreo y Recolección de Datos	52
3.4.1 Objetivo 01: Determinar el método mas adecuado de elaboración de compost con sub productos de camal.	52
3.4.2 Objetivo 02: Determinar el método mas adecuado de biodigestión con sub productos de camal	60
3.5 Análisis de Datos.	68
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71

4.1 Método de elaboración de compost con sub productos de camal.	71
4.1.1 Caracterización de los sub productos del camal Delicar-Puno	71
4.1.2 Monitoreo de los procesos de compostaje con subproductos del camal Delicar-Puno.....	85
4.1.3 Caracterización de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-Puno.....	90
4.2 Métodos de biodigestión con sub productos de camal	99
4.2.1 Monitoreo del proceso de biodigestión con subproductos del camal Delicar- Puno	99
4.2.2 Caracterización de los productos de dos métodos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno	102
CONCLUSIONES	113
RECOMENDACIONES.....	116
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXOS.....	132

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Resultados de la evaluación de compost de cuatro biopilas.....	7
Cuadro 2: Cantidad de subproductos generados por vacuno sacrificado.....	26
Cuadro 3: Características del estiércol de vacuno según diferentes autores ...	28
Cuadro 4: Procedimientos aceptados para la eliminación de los subproductos animales (spa´s) en España (EC 1774/2002).....	34
Cuadro 5: Muestras y parámetros analizados por muestra de subproductos del camal de vacunos Delicar-Puno, entre marzo y mayo de 2013.....	56
Cuadro 6: Detalle de volúmenes de mezclas de subproductos para compostaje en camal Delicar-Puno.....	57
Cuadro 7: Muestreo y análisis para caracterización de compost con sub productos del camal Delicar-Puno, junio de 2013	59
Cuadro 8: Detalle de volúmenes de mezclas de subproductos para biodigestión en camal Delicar-Puno, entre marzo y mayo de 2013	66
Cuadro 9: Muestreo y análisis para caracterización de productos de biodigestión con sub productos del camal Delicar-Puno, junio de 2013.....	68
Cuadro 10: Volumen de subproductos de camal por vacuno y producción diaria en camal Delicar-Puno, marzo – mayo de 2013.....	72
Cuadro 11: Metales en contenido de estómagos (sub producto de camal) en camal Delicar-Puno.....	83
Cuadro 12: Metales en dos tipos de compost con sub productos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.....	97
Cuadro 13: Metales en productos de dos procesos de biodigestión con sub productos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013	110
Cuadro 14: Normatividad para el compost.....	133
Cuadro 15: Características físico químicas de subproductos el camal Delicar-Puno.....	136
Cuadro 16: Características microbiológicas de los subproductos del camal Delicar-Puno.....	137
Cuadro 17: Análisis de varianza temperaturas de proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	137
Cuadro 18: Coeficiente de correlación entre temperaturas ambiental (máxima, mínima y promedio) y temperatura del proceso de compostaje (compost 1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	138
Cuadro 19: Monitoreo de humedad, pH, y conductividad en proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	140
Cuadro 20: Análisis de varianza humedad en pila de compost en el proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	140
Cuadro 21: Análisis de varianza de pH en pila de compost en el proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	141
Cuadro 22: Análisis de varianza de conductividad eléctrica en pila de compost en el proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	141

Cuadro 23: Características físico-químicas de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-Puno.....	142
Cuadro 24: Análisis de varianza de pH del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	142
Cuadro 25: Análisis de varianza de conductividad eléctrica del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.	143
Cuadro 26: Análisis de varianza de humedad del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	143
Cuadro 27: Análisis de varianza de materia orgánica del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	143
Cuadro 28: Análisis de varianza de nitrógeno del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	144
Cuadro 29: Análisis de varianza de potasio del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	144
Cuadro 30: Análisis de varianza de sodio del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	144
Cuadro 31: Análisis de varianza de fosforo del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	144
Cuadro 32: Análisis de varianza de relación carbono/nitrógeno del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.	145
Cuadro 33: características microbiológicas de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-puno.....	145
Cuadro 34: Análisis de varianza de Coliformes fecales del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	146
Cuadro 35: Análisis de varianza de salmonella del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	146
Cuadro 36: Concentración de metales en compost con respecto a metales en contenidos de estómago del camal Delicar, marzo-mayo de 2013 (mg/kg).....	147
Cuadro 37: Temperatura ambiental máxima y mínima fuera y dentro de invernadero en el proceso de biodigestión de subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	148
Cuadro 38: Análisis de varianza de temperatura ambiental máxima fuera y dentro de invernadero en el proceso de biodigestión de subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	148
Cuadro 39: Análisis de varianza de temperatura ambiental mínima fuera y dentro de invernadero en el proceso de biodigestión de subproductos del camal Delicar, marzo-mayo.....	149
Cuadro 40: Coeficiente de correlación entre temperaturas ambiental (máxima, mínima) fuera del invernadero y dentro del invernadero en el proceso de biodigestión (biodigestión 1 y biodigestión 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	149
Cuadro 41: Parámetros fisicoquímicos de los productos de dos procesos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno.....	152
Cuadro 42: Análisis de varianza de pH del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	153

Cuadro 43: Análisis de varianza de pH del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	153
Cuadro 44: Análisis de varianza de conductividad eléctrica del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	154
Cuadro 45: Análisis de varianza de conductividad eléctrica del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	154
Cuadro 46: Análisis de varianza de humedad del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.	155
Cuadro 47: Análisis de varianza de materia orgánica del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013...	155
Cuadro 48: Análisis de varianza de materia orgánica del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013..	155
Cuadro 49: Análisis de varianza de nitrógeno del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.	155
Cuadro 50: Análisis de varianza de nitrógeno del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	156
Cuadro 51: Análisis de varianza de potasio del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	156
Cuadro 52: Análisis de varianza de potasio del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	156
Cuadro 53: Análisis de varianza de sodio del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	157
Cuadro 54: Análisis de varianza de sodio del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	157
Cuadro 55: Análisis de varianza de fósforo del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	157
Cuadro 56: Análisis de varianza de fósforo del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.....	158
Cuadro 57: Análisis de varianza de relación C/N del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.	158
Cuadro 58: Análisis de varianza de relación C/N del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013.	158
Cuadro 59: Análisis microbiológico de los productos de dos procesos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno...	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación y localización del área de estudio.....	51
Figura 2: Subproductos de camal Delicar-Puno contenido de estómagos, sangre y efluente de izquierda a derecha, marzo-mayo de 2013.....	53
Figura 3: Composteras sobre superficie del suelo con piso impermeabilizado y cubiertas con polietileno en el camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013	58
Figura 4: Biodigestor tubular	61
Figura 5: Elección del lugar para instalación de biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo de 2013.....	61
Figura 6: Limpieza (izquierda) y nivelado de terreno (derecha) para biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo de 2013.....	62
Figura 7: Cunas para biodigestores instalados en el camal Delicar-Puno, marzo 2013.....	62
Figura 8: Instalación del invernadero sobre las cunas para biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo de 2013.....	63
Figura 9: Montaje de la válvula de salida de gas para los biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo 2013.....	64
Figura 10: Instalación de tubos de entrada de residuos y salida de material producto de la digestión para los biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo 2013.....	65
Figura 11: Preparación de cama para colocación de digestor en la cuna en el camal Delicar-Puno, marzo 2013.....	65
Figura 12: Comportamiento del caudal durante el proceso de faenado en camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.....	75
Figura 13: Características físico químicas de subproductos del camal Delicar-Puno, marzo 2013.....	76
Figura 14: Características microbiológicas de los subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013	81
Figura 15: Monitoreo de temperatura de dos procesos de compostaje y temperatura ambiental máxima y mínima en el camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.....	86
Figura 16: Monitoreo de humedad (H%), pH y conductividad (mS/cm) en pilas de dos procesos de compostaje en el camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.....	88
Figura 17: Características físico-químicas de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013	91
Figura 18: Características microbiológicas de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013	95
Figura 19: Monitoreo de temperatura ambiental máxima y mínima fuera y dentro de invernadero durante el proceso de biodigestión de los subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013	100
Figura 20: Parámetros fisicoquímicos de los productos de dos procesos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013...	103
Figura 21: Resultados de análisis microbiológico de los productos de dos procesos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013	108

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar el método más adecuado de elaboración de compost y biodigestión con sub productos de camal en altura. El estudio se desarrolló en la Comunidad de Capullani, Puno, a 4062 msnm, con coordenadas 15°53'53.6" Lat. S y 70°00'26.5" Long O, entre marzo y mayo de 2013. Caracterizamos los sub productos del camal, evaluamos dos métodos de compostaje, dos métodos de biodigestión y evaluamos la calidad de los productos finales. Los subproductos mostraron buena calidad física, química y bacteriológica para el compostaje y la biodigestión. Los métodos de compostaje no mostraron diferencia estadísticas en los procesos. El compost 1 y 2, no mostró diferencias estadísticas en pH, conductividad, humedad, materia orgánica, nitrógeno total, potasio total, sodio, fosforo total, relación C/N, Coliformes fecales y Salmonella sp. En relación a la presencia de metales en la producción de compost, encontramos niveles por debajo de los límites permitidos. Así las compostas producidas cumplieron con parámetros de calidad para países como Chile y España a excepción del parámetro humedad. En los procesos de biodigestión se registró una fermentación psicrófila y mesófila. El biol y biosol, presentaron diferencias en los niveles de pH, conductividad y fósforo. El biol 1 y 2, mostraron diferencias en niveles de nitrógeno total de 0.05, 0.13%; potasio total 2.04, 5.7%; sodio 6.48, 8.40% y relación C/N 1123.05, 430.06, respectivamente. Los tratamientos no influyeron sobre los niveles de materia orgánica en todos los productos de la biodigestión; en el biosol 1 y 2 los tratamientos no influyeron sobre los niveles de humedad 79.01 y 77.02%, nitrógeno total 2.24 y 2.18%, potasio total 16.56 y 17.10%, sodio 12.72 y 13.72%, y relación C/N 24.5 y 25.0, respectivamente; obteniéndose una baja concentración de metales; el segundo tratamiento de biodigestión presentó una mayor concentración de nutrientes en sus productos y una mayor remoción de Coliformes fecales.

Palabras clave: altura, biodigestión, camal, compost, subproductos de camal.

ABSTRACT

The research aimed to determine the most appropriate method of composting and bio-digestion with slaughterhouse by-products on height. The study was carried out in Capullani, Puno Community, to 4062 m asl, with coordinates of 15°53'53.6" S and 70°00'26.5" W, between March and May, 2013. We characterized the by-products from the slaughterhouse, evaluated two composting methods, two bio-digestion methods and assessed the quality of the final products. The by-products showed good quality physical, chemical and bacteriological for composting and bio-digestion. Composting methods did not show statistical difference in the processes. Compost production type 1 and 2 did not show statistical difference concerning pH, conductivity, moisture, organic matter, total nitrogen, total potassium, sodium, total phosphorus, C/N, fecal coliforms and Salmonella sp. Concerning the presence of metals in the compost production, we found levels below the permitted limits. Therefore, the compost produced met quality standards for countries like Chile and Spain except moisture parameter. In bio-digestion processes recorded a psychrophilic and mesophilic fermentation. Biol and biosol, produced showed differences in pH, conductivity and phosphorus levels. Biol 1 and 2 produced, showed differences in total nitrogen levels of 0.05, 0.13 %, total potassium of 2.04, 5.7 %, sodium 6.48, 8.40% and C/N 1123.05, 430.06, respectively. The treatments did not influence over the levels of organic matter in all bio-digestion products. Biosol 1 and 2 produced had not effect of treatments on moisture levels of 79.01 and 77.02%, total nitrogen of 2.24 and 2.18%, total potassium of 16.56 and 17.10%, sodium of 12.72 and 13.72%, and C/N of 24.5 and 25.0, respectively. We found a low concentration of metals in the products; the second bio-digestion treatment had higher concentration of nutrients in its products and also a higher removal of fecal coliforms.

Keywords: high altitude, bio-digestion, slaughterhouse, compost, by-products of slaughterhouse

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas y su desarrollo, tanto social como económico deben respetar a lo que se ha denominado “desarrollo sostenible”, definiéndose éste como “la satisfacción de las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de cubrir las necesidades de las generaciones futuras” (World Commission of Environment and Development, 1987); por esta razón uno de los retos más importantes que tiene actualmente la industria moderna es el de hacer compatible la producción con la depuración de los residuos, emisiones y vertidos que ésta genera (Sánchez, 1995).

Así las industrias cárnicas (camales, mataderos, centros de beneficio), durante el proceso de faenado obtienen carne y subproductos adecuados y no adecuados para el consumo humano; los residuos no adecuados son divididos en residuos con valor comercial y que son comercializados (grasas y huesos) y los residuos no comercializables, tales como rumen, residuos de panza e intestinos, estiércol, etc. (Álvarez, *et al.*, 2004). Así la generación de los desechos orgánicos que se

generan en la industria cárnica es un gran problema, ya que al haber una mezcla de los mismos en los efluentes de los rastros la carga orgánica es demasiada y la problemática es mayor, siendo casi nulos el manejo y aprovechamiento; sin embargo, lejos de ver a los desechos como un contaminante, estos pueden tener una amplia aplicación desde la elaboración de compostas, hasta la alimentación animal (Uicab-Brito y Sandoval, 2003).

Para alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente, es necesario, además de garantizar la eliminación y la valorización responsable de los residuos (sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar procedimientos ni métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente), la adopción de medidas encaminadas a limitar la producción de residuos, en particular promoviendo las tecnologías limpias y los productos reciclables y reutilizables, la parte de los costos no cubierta por la explotación de los residuos debe costearse de acuerdo con el principio "quien contamina paga" (Directiva 2006/12/CE).

Para la gestión de los residuos de camal (biorresiduos) figuran opciones, además de la prevención en origen, la recogida (selectiva o mixta), como la digestión anaerobia y el compostaje, dependiendo los beneficios ambientales y económicos de los distintos métodos de tratamiento, en gran manera, de las condiciones locales (densidad de población, infraestructuras y el clima) así como de los mercados para los productos asociados (energía y compost) (CCE, 2008).

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La población de ganado vacuno nacional ha tenido un crecimiento constante de 3 116 058 en 1961 a 5 037 499 en el 2012 con un crecimiento del 10.9% con respecto al censo del año 1994; así la región Puno en el 2012, cuenta con 606 961 vacunos que representa el 12.05% de la población nacional, donde las provincias de Puno, Melgar y Azángaro se encuentran en el segundo, cuarto y sexto lugar dentro de las provincias con mayor número de ganado vacuno a nivel nacional (INEI, 2013).

Sin embargo, a pesar del gran potencial pecuario de la región, actualmente en los camales, la reutilización de los subproductos y residuos de los procesos de beneficio es mínima o nula, afectando negativamente a la empresa por los altos costos que implican el tratamiento y disposición final con el deterioro de su imagen como empresa. Así en el distrito de Puno, en la comunidad de Capullani, se localiza el camal Delicar, el mismo que se encuentra en proceso de

formalización, habiendo funcionado con deficiencias en infraestructura, procesamiento y mantenimiento, con la disposición de sus residuos líquidos en pozas de sedimentación artesanales y la de los residuos sólidos como estiércol, contenido de estómagos (rumen, retículo, omaso), sangre, restos de vísceras en inmediaciones del camal, que constituyen problemas severos que deben ser superados a fin de obtener la autorización respectiva para su funcionamiento formal.

Por otro lado, las tecnologías limpias son opciones aún no aplicadas por estas empresas de beneficio de animales en altiplano peruano, a pesar de su gran desarrollo y evidencia de resultados positivos en otros países; las tecnologías limpias como el compostaje y biodigestión, no han alcanzado su plena madurez, existen todavía problemas de índole tecnológico (fiabilidad, demostración, control de calidad), social (aceptación) y económico (costos, riesgos financieros, reembolsos). Así para el altiplano no se tiene desarrollado un método adecuado de compostaje y biodigestión con residuos de camal, para las condiciones ambientales de Puno, desconociéndose los procesos que ocurren en los mismos y la composición final de los productos como el compost (producto del compostaje), biol (parte líquida de la biodigestión) y biosol (sedimento o lodos productos de la biodigestión) que no permiten su aprovechamiento; ello contribuye a la inadecuada disposición y acumulación constante de los residuos dentro y fuera de las instalaciones de los centros de beneficio, generando problemas ambientales como el deterioro del paisaje, emisión de gases de efecto invernadero, contaminación de cuerpos de agua, contaminación de

suelos, etc. y situaciones de riesgo para la salud pública ante la proliferación de vectores (moscas, ratones), canes y la emisión de malos olores.

Todo ello ha llevado a formular las siguientes preguntas de investigación: ¿Cuál es el método más adecuado de elaboración de compost y biodigestión con sub productos de camal en altura que optimice la composición final de abonos orgánicos en altura?. Y como preguntas específicas:

- ¿Cuál es el método más adecuado de elaboración de compost con sub productos de camal que optimice su composición final en altura?
- ¿Cuál es el método más adecuado de biodigestión con sub productos de camal que optimice la composición final del biol y biosol en altura?

Los objetivos fueron; como objetivo general: Determinar el método más adecuado de elaboración de compost y biodigestión con sub productos de camal en altura que optimice la composición final de abonos orgánicos en altura. Y como objetivos específicos:

- Determinar el método más adecuado de elaboración de compost con sub productos de camal en altura que optimice su composición final.
- Determinar el método más adecuado de biodigestión con sub productos de camal en altura que optimice la composición final del biol y biosol.

Las hipótesis planteadas fueron; de manera general: Los diversos métodos de compostaje y biodigestión con subproductos de camal en altura son diferentes

en su proceso y afectan la composición final del compost, biol y biosol en altura.

Y como hipótesis específicas:

H₀: Los métodos de elaboración de compost con subproductos de camal en altura no afectan su composición final.

H₀: Los métodos de biodigestión con subproductos de camal en altura no afectan la composición final del biol y biosol.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.

En la ciudad de La Paz-Bolivia, se refiere que los residuos no comercializables de mataderos pueden ser tratados mediante digestión anaeróbica; reportándose la composición del estiércol de vaca, rumen de vaca y sangre de vaca un pH de 7.10, 6.10 y 7.4; contenido de humedad de 85.86%, 86.58% y 76.97%; nitrógeno total 1.9%, 2.2% y 15%; materia orgánica 74%, 90% y 96%; fosforo total 9200mg/kg, 6600 mg/kg y 870 mg/kg; sodio total 1100 mg/kg, 20000 mg/kg y 12000 mg/kg y potasio total 15000 mg/kg, 8800 mg/kg y 2900 mg/kg; relación C/N 23, 24 y 4 respectivamente; los cuales mezclados en una proporción de 17% EVC (estiércol de vacuno y cerdo), 17 de SVCRR (residuos sólidos de matadero-rumen, sangre, residuos de estómago) y 66% FV (residuos de frutas y vegetales) dieron como residuos del proceso de digestión anaerobia en 50 días a 36°C liquido filtrado y residuo sólido (lodo) con las siguientes características:

nitrógeno 0.10% y 0.31%, fósforo 0.01% y 0.091%, potasio 0.063% y 0.072%, pH 7.1% para ambos residuos respectivamente; para la producción de biogás se adopta 50 días como un tiempo adecuado de retención (Álvarez, *et al.*, 2004).

En la Subestación Experimental Santander de CENICAFÉ-Colombia, se llevó a cabo un estudio experimental comparativo mediante una prueba de campo en un periodo de 40 días, donde se llevó a cabo el montaje de las pilas de 150 kg. de pulpa del café a los cuales se incorporaron microorganismos nativos para optimizar los procesos de compostaje. En estos estudios se obtuvo compost en 40 días, con características químico-físicas (cuadro 1), que cumple con los parámetros exigidos por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5167 del 2004 (Vásquez de Días *et al.*, 2010).

Cuadro 1

Resultados de la evaluación de compost de cuatro biopilas.

Parámetro	Compost	Sustrato Orgánico (Norma 5167 ICA)
Humedad	20%	≤ 40%
Cenizas	27.1 a 31.4%	Mayor a 15%
pH	8.46 a 9.6	> 1.5% menor de 9
Conductividad	15.7 a 16.3 dS/m	Mayor de 0.75%
Relación C/N	10 a 23	< 20%
Nitrógeno orgánico	2.06% a 2.33%	1.15 -1.5%
Fosforo total	0.6% a 0.76%	Menor de 0.6
Potasio total	3.5% a 5.5%	
Calcio	1% a 1.2%	
Magnesio	0.29% a 0.8%	
Azufre	0.25% a 0.29%	
Hierro	0.57% a 0.9%	
Manganeso	104 ppm a 112 ppm	
Cobre	20 ppm a 26 ppm	
Zinc	34 ppm a 66 ppm	
Boro	43 ppm a 47 ppm	
Sodio	0.02% a 0.03%	
Sílice (SiO ₂)	11.1% a 18.4%	

Fuente: Vásquez de Días *et al.*, 2010.

En el Centro Modelo de Tratamiento de Residuos de la Universidad Nacional Agraria la Molina-Perú, se realizó la evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de PVC con dos diferentes mezclas: uno con una relación estiércol y agua de 1/4 y otro

con 1/5 con un tiempo de retención hidráulica de 36 días. La fermentación se dio dentro de rango de temperatura psicrófila por debajo de 20°C y el rango de temperatura mesófila (20-40°C); los resultados promedio de los análisis de calidad de biol mezcla 1/4 y mezcla 1/5 fue pH 7 para ambos casos, conductividad 15.4 dS/m y 14.4 dS/m, nitrógeno 1094.5 mg/l y 996.6 mg/l, fósforo 225.7 mg/l y 224 mg/l, potasio 2930.8 mg/l y 2692.4 mg/l, calcio 1132 mg/l y 1172.6 mg/l, magnesio 544.4 mg/l y 500 mg/l, sodio 922.4 mg/l y 857.6 mg/l, Coliformes fecales un promedio de 6.08×10^3 NMP/100 ml y 1.27×10^3 NMP/100ml respectivamente; así las cantidades de Ca, Mg y Na, encontradas en los bioles de las mezclas se asemejan a la de los abonos orgánicos (Quipuzco *et al.*, 2011).

En una finca agrícola experimental en la vega del Guadalquivir en el municipio de Córdoba - España en el proceso de compostaje a escala industrial, de la fracción orgánica de los residuos urbanos, en pilas de compost de 20 toneladas, en un clima con precipitaciones, sequía estival y con temperaturas mayores de 40°C de noviembre a junio; las características de material fresco de residuos sólidos urbanos fue de pH (6.1), C.E. (8.0 dS/m), M.O. (58%), N (2.4%), C/N (14.1), P (0.3 %P₂O₅), Cd (4 mg/kg), Cu (47 mg/kg), Cr (104 mg/kg), Ni (98 mg/kg), Pb (120 mg/kg) y Zn (90 mg/kg); y del compost en un periodo de 3 años, fue de pH (8.1-8.4), C.E. (11.4-19.7 dS/m), M.O. (33-39%), N (2.6-2.9%), C/N (7.1-8.1), P (0.2-0.3 %P₂O₅), Cd (2-3 mg/kg), Cu (252- 373 mg/kg), Cr (30-84 mg/kg), Ni (50-64 mg/kg), Pb (120-165 mg/kg) y Zn (415-603 mg/kg); todo el compost producido satisface los límites legales en cuanto al máximo contenido

metálico, aunque este compost quedaría clasificado como de tercera categoría según la normativa española; las concentraciones de Cd, Cu y Zn, fueron muy altas y hacen imposible considerar estos compost como productos ecológicos en el ámbito europeo, pero es aceptable para su uso agrícola, habiendo sido aplicado en cultivos de trigo y ajo; no encontrándose incidencias de metales sobre los frutos ni suelos (Rosal *et al.*, 2007).

En la Universidad de Aveiro-Portugal en el estudio de digestión anaerobia de residuos de camal se refiere que, muestreando lodos (digestato) de digestores exitosos y sistemas de tratamiento fallidos con un tiempo de retención hidráulica de 50, 36 y 25 días, los lodos de los reactores que trabajaron con éxito mostraron valores de carbono orgánico total de 33.8 ± 0.3 , 25.4 ± 0.2 y 27.8 ± 0.3 %; nitrógeno 5.7 ± 0.2 , 6.0 ± 0.1 y 6.3 ± 0.3 %; relación de C/N fue de 5.9, 4.2, y 4.4 respectivamente. El análisis químico de reactores fallidos difieren de su homólogos carbono orgánico total 18.3 ± 0.7 % y nitrógeno total 4.2 ± 0.3 % y C/N 4.3, en la acumulación de ácidos grasos volátiles y ácido grasos de cadena larga llevaron a que falle y colapse del proceso anaerobio con la flotación de agregados de biomasa y la formación de espuma en la parte superior del reactor como consecuencia de la adhesión de las grasas. La digestión anaeróbica mostró ser por lo tanto una tecnología adecuada para el tratamiento eficiente de lípidos y residuos de proteínas (Cuetos *et al.*, 2009).

En el congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria Ambiental en Lima, se refiere que un matadero es una fuente rica en residuos sólidos de alto contenido orgánico, estos residuos desaprovechados son: sangre, contenido ruminal,

estiércol, uñas, cascos, restos de pelo entre otros. Siendo la composición del contenido ruminal fresco de 85% de humedad, 9% de proteína, 25% de fibra y 7% de grasa, fósforo 0.36% y calcio 0.36%; y en seco 12% de humedad, 13% de proteína, 27% de fibra y 2% de grasa, pudiéndose por ello ser aprovechado en la alimentación animal, producción de compost o en los procesos de lombricultura por poseer buen contenido de proteínas y fibra (Hómez, 1998).

Durante el invierno de 2004/2005, en Ontario-Canadá, se evaluó la viabilidad de la utilización del compostaje como una técnica para el tratamiento de la sangre de matadero. La sangre utilizada presentó un promedio de nutrientes de nitrógeno 15.8%, fósforo 0.61%, potasio 0.9%, materia seca 13.5%, pH 6.8, carbono 49.7% y relación C/N 3.2. La sangre fue mezclada con fibra de madera, hojas de los árboles y estiércol de vacuno, en tres lotes separados en una instalación cubierta que facilita el compostaje, equipado con un tornero mecánico y aireación forzada durante más de 120 días, concluyéndose que se ha elaborado un compost de buena calidad usando sangre como parte de la receta en los tres casos; los *E. coli* y *Salmonella* aparentemente fueron destruidos durante el proceso de compostaje. En las condiciones adecuadas y con una selección adecuada de un sustrato de compostaje, la sangre podría servir fácilmente como un ingrediente en una receta de compost. Debido a que tanto el nivel N y el total de sólidos son bastante altas, debe ser igualada con un material que tiene una alta relación C:N (Fleming y MacAlpine, 2005).

En el estudio sobre valorización agronómica de residuos de matadero de bovinos por compostaje aeróbico en Dakar-Senegal, refiere que el contenido de

los primeros estómagos del procesamiento de ganado fue deshidratado y mezclado con harina de pescado y estiércol de caballo por capas alternas y mojado con agua corriente en un lugar protegido por un techo; en montones en forma de cono de 1,5 metros con un diámetro de 2 a 3 metros. Los resultados muestran un aumento de temperatura brusco en el segundo día después de instalar la pila; alcanzó 60 °C en el sexto día y 70 °C en el séptimo día. El volteado permitió al medio ser aireado, observándose una disminución transitoria de la temperatura seguido de un incremento, debido a los nuevos contactos establecidos entre los microorganismos y las piezas parcialmente o aún no bio degradadas del contenido del primer estómago del ganado; las dosificaciones químicas muestran un ratio muy bajo de C/N (8.12), prevaleciendo el aspecto de "enmienda" sobre el aspecto "fertilizante orgánico". Esto podría ser menos contaminante al reducir la duración del compostaje que fue de 30 días (Seck y Gueye, 2010).

Con el fin de generar una propuesta de Producción Más Limpia (PML) acorde con las necesidades y situación socioeconómica de los centros de beneficio animal (mataderos) en Risaralda-Colombia, se logró identificar que la actividad de mayor impacto común a este sector productivo, es el manejo inadecuado de subproductos tales como la sangre, el rumen y el estiércol cuya cantidad aportada por vacuno es de 15 l=15.45 kg, 15kg y 2kg; nitrógeno 7%, 5% y 1.5%; relación C/N 9, 4 y 25; humedad 97%, 45% y 15% respectivamente. Como estrategia de PML que ofrece una solución económicamente viable y técnicamente pertinente para el tratamiento y disposición de estos subproductos,

se identificó el proceso de compostaje ya que éste, permite el tratamiento conjunto de dichos subproductos sin incurrir en altos costos, y al mismo tiempo obtener un producto denominado "compost", que puede ser aprovechado como enmienda o abono, de acuerdo a las características físico-químicas que presente (Guerrero y Monsalve, 2006).

En el uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica en la elaboración de composta en Yucatán-México; se refiere que las características de algunos residuos como estiércol de bovino y harina de sangre son carbono 7% y 35%, nitrógeno 0.5% y 15% y relación C/N 15% y 2%; así mismo, el contenido ruminal tiene una humedad de 85%, proteína y grasa 9.6%, fibra 2.84% y ceniza 27.06%. Siendo las cantidades de un vacuno adulto o joven, sangre 8-10 litros y contenido ruminal de 10% a 12% de peso vivo del animal. Concluyéndose que el proceso de composteo es una tecnología poco costosa que puede ser aplicada para el manejo de algunos de los residuos de mataderos, tal es el caso del contenido ruminal, por su forma de obtención y los componentes de origen (Uicab-Brito y Sandoval, 2003).

Durante el compostaje de 35 días de estiércoles procedentes de bovino de carne y leche, borrega y cabra en la Universidad Autonomía Agraria "Antonio Navarro"-México, los estiércoles de bovino lechero y carne las temperaturas más altas fueron de 41 y 42.56 °C respectivamente durante 4 días, en el caso de los estiércoles de cabra y borrega su temperatura máxima fue de 45.92 °C; el comportamiento del pH en el compostado de estos estiércoles fue similar considerando que ninguno descendió a niveles ácidos al final del proceso el

estiércol de bovino de carne termino en un rango de pH entre 8.50 - 8.75, los demás estiércoles terminaron con pH entre 9.0 – 9.50. En cuanto a la CE el estiércol de bovino de carne inicio con valores de 5.41 dSm-1 disminuyendo a los a los 7 días a valores menores de 2 dSm-1, para posteriormente incrementarse hasta 5.1 dSm-1 , manteniéndose posteriormente sin superar los 3 dSm-1, en las deyecciones de bovino lechero, los valores iniciales de CE fueron de 1.158 dS m-1; del día 7 al 13 se incrementaron hasta alcanzar valores de 2.93 dSm-1, después estos disminuyeron con el compostaje; en el estiércol de cabra la CE tuvo un comportamiento similar a la del de borrega, debido a que iniciaron con una CE de 1.548 dSm-1 aproximadamente, disminuyendo durante los 15 días de compostaje, pero volviéndose a incrementar a partir del día 16 alcanzando valores de 1.806 dSm-1. Los valores de CE finales fueron inferiores a los iniciales, lo que quiere decir que la CE disminuyo con el proceso de compostaje (Hernández *et al.*, 2004).

En la ciudad de Tacna se diseñó, construyó y evaluó el funcionamiento de un biodigestor familiar de 2 m (2.24m³) tipo manga de polietileno, alimentado con estiércol fresco de ganado ovino para la producción y promoción del biogás y biol, en los meses de Marzo y Abril del 2011, con un tiempo de retención inicial de 30 días, produciendo biogás en forma diaria en un promedio de 400 litros/día con un rango de temperatura del biodigestor entre 30 a 40°C oscilando la temperatura ambiente entre 20 y 30°C durante los meses de evaluación, siendo la producción diaria de biol de 40 litros/día en promedio (Salazar *et al.*, 2012).

En Cueca-Ecuador se refiere que el biol en base a estiércol fresco de ganado vacuno compuesto por: 2 l de agua, 3.25 kg de estiércol de vaca, 0.13 kg de sulfato de magnesio, 0.13 l de miel de caña, 0.13 l de leche y 0.325 kg de alfalfa bien picada, con un reposo por 60 días. El biol presentó durante preparación y cosecha un pH de 8.35 y 6.16, temperatura 19.5°C y 16.5°C, y conductividad 13.37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 16.84 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente; concluyéndose que el biol diluido en agua para cultivos de *Raphanus sativus* l (rabanito), la concentración ideal para nitrógeno es 5%, para fósforo 15% y para potasio 5% (Cordero, 2010).

En Derio-España se estudió el potencial de producción energética de subproductos de matadero mediante digestión anaerobia, refiriéndose que la mezcla de residuos de los mataderos presentan valores de pH 6.92, conductividad 2.67 dS/m, sólidos totales 19%, sólidos volátiles 15.5%, Kjeldahl de nitrógeno 2.7%, demanda química de oxígeno (DQO) 420 gO₂/kg y proteína 17%; así los subproductos de matadero son sustratos ideales para el proceso de digestión debido al alto contenido de materia orgánica. En el proceso de digestión los valores de pH aumentaron gradualmente, siempre dentro del rango óptimo de la actividad microbiana (6,5 a 8,0). Concluyéndose que la digestión anaeróbica parece ser un procedimiento adecuado para disminuir la cantidad de materia orgánica en subproductos de matadero, con una producción de biogás en torno a 2,3 l/l reactor/día con 70% de metano, a pesar de la baja tasa de carga (1.05 gVS//día) y alto tiempo de retención hidráulica (125 días) (Lacalle et al., 2010).

En el trabajo de investigación desarrollado en el canton Salcedo-Ecuador a 2628 msnm, se refiere que al análisis el biol de bovino presentó un pH 5.8, C.E. 15.6 mS/cm, M.O. 22%, N total 1.8%, P 679.0 ppm, K 0.3%, Ca 0.2%, Mg 0.1%, Cu 78 ppm, Mn 89 ppm y Zn 36.7 ppm; midiéndose su efecto en el rendimiento en el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*). Los análisis estadísticos registraron como el mejor tratamiento el biol de bovino a una dosis 5 cc/l y 15 días después del corte, el cual reportó excelentes resultados, ya que se obtuvo una gran altura de planta de 96.32 cm en todas las parcelas, con brotes en promedio de 18.53, mayor número de hojas por rama y un incremento en el rendimiento, siendo el biol para el agricultor de fácil preparación, permitiendo aprovechar el estiércol de los animales como una alternativa de fertilización foliar (Guanopatin, 2012).

En el estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso de fermentación anaerobia para producción de biogás, se refiere que el biol de estiércol de vacuno con restos de comida cacera; hojas, tallos y frutos de banano, presentó un pH de 6.7 a 8.1, nitrógeno de 0.2 a 2.63 g/kg, fósforo total de 0.048 a 1.01 g/kg, potasio total de 0.29 a 4.2 g/kg, calcio total de 0.056 a 2.1 g/kg, magnesio de 0.131 a 0.38 g/kg y 0.135%, sodio de 0.4 a 2.1 g/kg, aluminio 0.04 mg/kg, boro 0.56 mg/kg, zinc 0.05 mg/l y entre las características generales del biosol fresco de estiércol de vacuno se tiene: agua 15.7%, sustancia orgánica seca 60.3%, pH 7.6, nitrógeno total 2.7%, fósforo (P_2O_5) 1.6%, potasio (K_2O) 2.8%, calcio (CaO) 3.5%, magnesio (MgO) 2.3%, sodio (Na) 0.3%, azufre (S) 0.3% y boro (B) 64 ppm; así la calidad del biol y biosol dependen de las materias primas fermentadas (Aparca y Jansen, 2008).

En el trabajo de investigación realizado en la provincia de Pichincha- Ecuador a 2850 msnm, se refiere que la composición del biol de la Hacienda Aychapicho fue de: pH 0.1, C.E. 0.2 mS/cm, NH₄ 7.2 ppm, K 12 ppm, Na 2,3 ppm, Ca 4 ppm, Mg 2.4 ppm, NO₃ < 13 ppm, Cl <7.1 ppm, SO₄ 9.6 ppm, HCO₃ 12 ppm, P 4.6 ppm, Fe 179 ppm, Mn 44 ppm, Zn 6.5 ppm, B 28 ppm, Cu <6.4 ppm, Mo <9.6 ppm y Si 0.6 ppm. Resultando el efecto de la aplicación de biol en praderas muy adecuado, pues al aplicar sólo biol presentó el mayor rendimiento de materia verde en comparación con la fertilización química, alcanzando en el último corte una producción de 38562,50 kg/ha; económicamente el tratamiento más eficiente fue la aplicación del Biol en el 100% por alcanzar la mejor tasa interna de retorno marginal (Jiménez, 2011).

El estudio llevado en Lacatuga-Ecuador a 2865 msnm, refiere que el biol se logra a través de la fermentación anaeróbica de las heces frescas de bovino en un tanque de 1 m³ de volumen, sellado herméticamente en el cual se coloca la materia fresca diluida en agua alrededor de 90%, junto con materiales como suero de leche y melaza que sirven como fuente de energía para los microorganismos descomponedores, añadiéndose levaduras y microorganismos específicos para la descomposición de materia orgánica al inicio del proceso de fermentación anaeróbica que duró 40 días. Al final del proceso se colectó biol que correspondió entre 80 a 85% del volumen inicial. Se probó el efecto de aplicar biol activado, silicio y su combinación en la calidad de inflorescencias (capítulos) de alcachofa. En los cultivos sin aplicaciones, se obtuvo mayor o igual producción de capítulos, y estos rendimientos se redujeron a mayor

número de aplicaciones; y el silicio foliar siempre causó un efecto negativo (Baldeón, 2009).

En la región Accra-Ghana, se analizó comparativamente los niveles de contaminación, en el efluente de dos digestores anaerobios, tratando excrementos humanos (HE) y residuos de frutas (FW) (piña y cáscara de mango). Se operaron los dos digestores a temperatura mesofílica con tiempo de retención hidráulica de 14 días; en el cual excepto la conductividad (3.95 $\mu\text{S}/\text{cm}$) del tratamiento de HE, la DBO (4250 mg/l), DQO (5794 mg/l), CT(1909000 UFC/100ml), CF(1295000 UFC/100ml), *E. coli* (925000 UFC/100ml) y *Salmonella* (2/25g muestra) se redujeron entre 50-75% en el efluente. La reducción en el digestor de tratamiento de HE fue más alta que en el digestor de tratamiento de FW a excepción de la DQO, Conductividad y *Salmonella*. A pesar de la reducción en ambos digestores, la calidad del efluente excede las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) o la Agencia de Protección Ambiental de Ghana para la eliminación o uso en la agricultura (Issah *et al.*, 2012).

En la ciudad de Benin-Nigeria se refiere que, se examinó las calidades bacteriológicas y fisicoquímicas de efluentes de un matadero de gobierno y dos privados, y sus efectos sobre el río Ikpoba. Los recuentos de bacterias en efluentes de mataderos fueron: Coliformes totales 1.8-2.8 y 2.1-3.3 x 10³ UFC/ml, *E. coli* 0.1-0.2 y 0.12-0.22 x 10⁵ UFC/ml, para matadero del gobierno y privados, respectivamente. Las características físico-químicas del efluente fueron de temperatura 26 y 27°C, pH 4.8 y 5.3, SO₄ 16 y 14 mg/l, nitrato (NO₃)

1.34 y 0 mg/l, fosfato (PO_4) 32 y 24.5 mg/l, para matadero del gobierno y privados, respectivamente. Refiriéndose la existencia de impactos negativos de los efluentes de mataderos en el río Ikpoba (Atuanya *et al.*, 2012).

En la ciudad de Ibadan-Nigeria. Se estudio el impacto del efluente del matadero de Bodija sobre los parámetros físico-químicos del río Oshunkaye. Refiriéndose que los rangos de parámetros físico-químicos del efluente del matadero fueron los siguientes: pH 6.92–8.18, temperatura 32–34°C, sólidos totales 7726–47630 mg/l, sólidos suspendidos totales 1498–6803 mg/l, demanda química de oxígeno 947–2566 mg/l, aceite y grasa 2500–12590 mg/l, nitrato 62–159 mg/l, fosfato 142–180 mg/l, cloruro 1052–1727 mg/l, plomo 0.08–0.2 mg/l, níquel 0.18–0.49 mg/l, cobre no detectado–0.17 mg/l, zinc 0.67–6.08 mg/l y cadmio (no detectado). Usando la clasificación de calidad del agua superficial de Prati *et al.*, el río se clasificó como extremadamente contaminada después de su mezcla con el efluente. Mientras que antes de la mezcla, se clasificó como poco contaminado (Osibanjo y Adie, 2007).

El estudios sobre el impacto del efluente de matadero sobre aguas superficiales del río Alamuyo en Ibadan-Nigeria, refiere que entre las características físico-químicas del efluente del matadero se encuentran: temperatura 33.48°C, pH 7.7, sólidos disueltos totales 2363.5 mg/l, sólidos suspendidos totales 11032 mg/l, oxígeno disuelto 0 mg/l, DBO 3898.5 mg/l, SO_4^{2-} 15.303 mg/l, nitrato 24.13 mg/l, fosfato 5.283 mg/l, Amonio 76.14 mg/l, calcio 63.33 mg/l, potasio 375.33 mg/l, Sodio 975 mg/l, Fe 5.52 mg/l, Mn 0.433 mg/l, Zn 0.307 mg/l (Raheem y Morenikeji, 2008).

En Pichincha-Ecuador se realizó el estudio de impactos ambientales en tres camales, mencionándose que en la actualidad los camales producen contaminación, debido a la inadecuada eliminación de subproductos líquidos como la sangre, y sólidos como el contenido ruminal, estiércol y residuos de vísceras. Los desechos sólidos no son aprovechados totalmente y el desecho líquido es eliminado en alto porcentaje. Ocasionando serios impactos en los recursos naturales de su entorno. Los promedios mensuales de animales faenados fueron de 88-345 bovinos, 144-406 porcinos, 5-111 ovinos y 2 camélidos; los efluentes del camal presentaron un caudal promedio 0.1-0.34 l/seg, con un volumen promedio de 1425.6-4838.4 l/día, STD 88-422 mg/l, SS 42-379 mg/l, DBO 210-880 mg/l, DQO 311-1208 mg/l, pH 7.8-9.2 y temperatura 8.3-18°C (Landeta, 2009).

En Tabasco-Mexico a 9 msnm, se evaluó la elaboración y eficacia en el cultivo de maíz, de un biofertilizante líquido fermentado (biol) con base a estiércol de bovino, recién extraído del rumen de un bovino sacrificado, preparado en un biodigestor de 200 l en el que se adicionaron 50 kg de estiércol, 5 kg de ceniza y 5 kg de roca fosfórica, 25 l de suero de leche de vaca y 10 litros de melaza, dejándose fermentar por 36 días, hasta que se estabilizó la temperatura y la producción de gas. Al finalizar la fermentación se determinó las características del biol, siendo estas de pH 5.4 y 10.1, fósforo 0.25 y 0.85 ppm, potasio 1.16 y 0.26 cmol/kg, nitrógeno total 0.56 y 0.06%, para el biol artesanal y comercial, respectivamente. El biofertilizante utilizado en concentraciones de 5% ,10% y 15%, no presentó diferencias significativas entre el artesanal y el comercial,

respecto al testigo, infiriéndose que posiblemente se partió por debajo de la dosis óptima (Alejandro, 2012).

En Manabí-Ecuador a 5 msnm se investigó la elaboración de abono orgánico (compost) para el aprovechamiento de los desechos sólidos de camal que representan, estiércol 10% del P.V. y rumen 25% del P.V., refiriéndose una relación C/N en contenido ruminal de 15.63. Se realizaron pruebas de compostaje en 45 días, con 200 kg de volumen cada pila y volteados cada 2 días; agregando aserrín ó cascarilla de café. El compost obtenido presentó las siguientes características: pH 7.5, 8.42 y 8.5; humedad 20, 46.98 y 49.36%; cenizas 20.81, 15.8 y 17.89%; materia orgánica 31.57, 45.38 y 52.11%; relación C/N 16.02, 13.43 y 14.46, para compost de la pila #1(rumen 15%, estiércol 20% y aserrín 65%), pila #2 (rumen 15%, estiércol 15% y cascarilla de café 70%) y pila #3(rumen 35%, estiércol 5% y cascarilla de café 60%), respectivamente; resultado como el mejor tratamiento el tratamiento #3 en cuanto a sus características físicas (Vélez, 2012).

En Alejandría-Egipto, fueron colectadas y analizadas las aguas residuales de un matadero, presentando un pH 6.8, sólidos en suspensión 400 mg/l, sólidos totales 3900 mg/l, sólidos volátiles 600 mg/l, demanda química de oxígeno (DQO) 4400 mg/l, nitrógeno amoniacal (NH_4 25 mg/l y ortofosfato (PO_4 7.5 mg/l. Posteriormente fueron tratadas anaeróbicamente en un reactor a escala de laboratorio en el cual se mantuvo a 5, 4, 3, 2, 1 y 0,5 días como tiempos de retención hidráulica. La eficiencia de remoción de la DQO, PO_4 y NH_4 fue en el rango de 77-96%, 65-84% y 31-52% respectivamente. Refiriéndose que el

tratamiento bajo condiciones anaeróbicas, a 24°C en promedio, puede darse eficientemente con buenos resultados en la remoción de DQO, (más de 90% del DQO soluble y 80% de PO₄). No siendo afectado el rendimiento del reactor cuando el tiempo de retención hidráulica se redujo de 5 días a 1 día con respecto a la eficiencia de remoción de la DQO y PO₄ (Seif y Moursy, 2001).

En Riobamba-Ecuador, se refiere que el camal municipal es una rica fuente de residuos sólidos de alto contenido orgánico, el sistema de distribución de desagües del camal y de la zona de mercadeo se conectan directamente con la matriz sin tratamiento alguno, beneficiándose 120-130 bovinos, 350 porcinos y 350 ovinos por día; generándose de 12 a 15 l/bovino de sangre del cual 1% va al alcantarillado, 25 kg/bovino de rumen o contenido gástrico y 25 kg/animal de desecho en lavandería. Refiriéndose que el rumen o contenido de estómagos junto con la sangre, son las principales materias causantes de contaminación para el medio ambiente (Castro, 2011).

En el trabajo sobre digestión anaerobia de subproductos de la industria cárnica en Burgos-España, se refiere que los SPAs (todo producto de origen animal no destinado al consumo humano por motivos sanitarios) se caracterizan por un elevado contenido en materia orgánica, principalmente compuesta por proteínas y grasas (contenido ruminal: sólidos totales 115-120 g/kg, MO 90-95%, proteína 70-80 g/kg y grasa 85-90 g/kg; sangre: sólidos totales 150-200 g/kg, MO 92-95% y proteína 145-200 g/kg). Los residuos de la industria cárnica, presentan un elevado potencial de producción energética mediante codigestión anaerobia, pero los fenómenos de inhibición por ácidos grasos de cadena larga (AGCL) y

amoníaco limitan su tratamiento a elevadas cargas. Los estudios realizados hasta el presente indican que los pretratamientos térmicos ayudan a aumentar la biodisponibilidad. Tanto para evitar la inhibición por AGCL como amoníaco, es necesario avanzar en el desarrollo de sistemas con alta tasa de retención de microorganismos (Palatsi *et al.*, 2010).

En Durango-México, se realizó un estudio orientado a la producción de composta (pilas con volteo periódico) y vermicomposta a partir de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales del rastro municipal para cerdos y vacas. Partiendo de 75 m³ de lodo residual con 5.6 de pH, 81.4% de MO, 1.76 % de N_{TK}, 0.06 % de P_d y 0.14% de K_d, se produjeron 10.9 toneladas de composta en 150 días, con 4.9 de pH, 64.2% de MO, 2.06 % de N_{TK}, 0.16 % de P_d y 0.13% de K_d, siendo destruidos los Coliformes fecales a los 22 días. En cuanto a la vermicomposta, se produjeron 12.5 ton en 210 días con una calidad nutrimental menor a la de la composta, con 5.7 de pH, 48% de MO, 1.4 % de N_{TK}, 0.12 % de P_d y 0.15% de K_d. Comparando entre ellas, la composta producida por el método de pilas volteadas fue la de mejor calidad (Vicencio *et al.*, 2011).

En la ciudad de Semarang-Indonesia, se estudio las fuentes y características de residuos de los mataderos de vacunos para la producción de biogás. Los residuos presentaron las siguientes características el rumen, aguas residuales (pH 7.19, Nitrógeno total 212 mg/l) y el estiércol (Humedad 79.77%, materia seca 20.23%). Basado en las características de los residuos de matadero, estos fueron muy adecuados y tuvieron un alto potencial para ser tratados

anaeróticamente para la producción de biogás. El agua residual tuvo la potencia para producir un total de 2.472 m³ de biogás/m³de agua residual (2.225 m³ de biogás/unidad de animal sacrificado). La degradación de las deyecciones ganaderas tuvo una potencia para la producción total de 618,90 l de biogás/kg en base seca, con una composición de CH₄, CO₂ NH₃ que fue de 48.89, 47.87, y 2.43% de volumen, respectivamente (Budyono *et al.*, 2011).

En Sinchal-Barcelona-Ecuador, se utilizaron fuentes orgánicas para la elaboración de biofertilizantes líquidos a base de estiércol de vacuno, para ser aplicados en fase de vivero al algarrobo. Para la elaboración de los biofertilizantes se utilizó un biodigestor de régimen estacionario, realizándose el análisis físico-químico a los dos meses encontrándose 4.9 de pH, 0.6% de SDT, 2.2% de CO, 4.1% de MO, 0.2% de N, 0.1% de P, 0.3% de Na, 0.2 de K y 0.2 de Ca, para el biofertilizante de estiércol de vacuno preparado con 60 kg de estiércol (proveniente del rumen), 6 l de melaza, 6 l de microorganismos activados, 80 l de agua). Para las variables altura de planta y número de hojas los biofertilizantes tuvieron efecto al ser aplicados al algarrobo. Esto fue corroborado con el poco tiempo (37 días) en el que permanecieron las plantas en la fase de vivero (Wong y Jiménez, 2009).

2.2 Marco Referencial.

2.2.1 Residuos de Mataderos.

El sacrificio de ganado genera una gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que en la gran mayoría de los mataderos son vertidos directamente a los sistemas de alcantarillado en las grandes ciudades o a los ductos o cauces abiertos en los pequeños municipios. Estos residuos generan situaciones graves de contaminación (CONAMA, 1998; Müller y Ardoíno, 2000; Berh, 2002).

2.2.1.1 Residuos Líquidos de Mataderos.

Los residuos líquidos se generan a partir del agua consumida en mataderos siendo este de 2 a 15 m³ de agua por tonelada de peso vivo de carcasa del cual se convierte en efluente el 80-95% el agua utilizada; el efluente de mataderos contiene altos niveles de materia orgánica, por la presencia de estiércol, sangre, grasa, sal, fosfatos, nitratos y alta temperatura; la contribución más significativa a la carga orgánica es la sangre seguido por la grasa, la sangre es también el mayor contribuidor al contenido de nitrógeno en el efluente del matadero; sal y fósforos se originan por la presencia de estiércol y contenido estomacal en el efluente; las fluctuaciones en el pH se dan debido a la presencia de agentes limpiadores cáusticos o ácidos. Por lo tanto la calidad del efluente depende en la magnitud en la cual la sangre, grasa, estiércol y contenidos estomacales son excluidos del efluente (UNEP, 2000).

Los vertidos procedentes de las salas de sacrificio, triperías, vaciando de panzas y las aguas de lavado de establos e instalaciones diversas, el volumen varía y depende de la importancia de la instalación, del modo de explotación y del tamaño de las reses sacrificadas; así los vertidos tienen en su composición materias sólidas en suspensión, grasas, nitrógeno, pentóxido de fósforo, óxido de potasio y de calcio, permanganato y cloruros, así las aguas residuales de matadero sufren una rápida putrefacción, lo que provoca la aparición de olores nauseabundos. Por otro lado se pueden recuperar derivados de las materias primas siendo los más importantes: grasas, sangre, residuos sólidos (trozos gruesos de residuos tales como carne, piel, etc.), pelo, hueso y cuernos. El tratamiento de los vertidos luego de someter a una decantación previa floculación puede ser tratado mediante digestión, vertido controlado, lechos bacterianos, lodos activados y esterilización antes de ser vertidos a un curso de agua; en la actualidad el nivel de reciclado de las aguas residuales es muy elevado en todas estas industrias, llegándose en algún caso a alcanzar órdenes del 95% (Seoánez, 1998).

2.2.1.2 Los Residuos Sólidos de Mataderos.

Los residuos sólidos contribuyen a la contaminación de los ríos y acuíferos subterráneos –por la infiltración en el suelo de los lixiviados y por el arrastre de las lluvias-, llegando a incidir en la calidad de las aguas marítimas, contaminando las reservas disponibles de agua y provocando el agotamiento de los espacios para disponer los residuos así como el encarecimiento de los costos de tratamiento, entre otros efectos. Sin embargo, la problemática del

manejo integral de los residuos sólidos está acompañada de oportunidades para el desarrollo sostenible, no sólo por el ahorro de los pasivos ambientales y los gastos en salud, sino también por las ventajas económicas y sociales producidas por la recuperación de materiales comerciales. La manera de encarar la problemática está relacionada con los conceptos actuales de evitarlos y minimizarlos (Fernández y Sánchez, 2007).

Así los residuos sólidos generados por un matadero son: subproductos no aprovechados (cuernos, pezuñas, pelos, cascos, otros), grasas y sebos, estiércol, contenido ruminal y decomisos del matadero. Detallándose su producción por vacuno sacrificado en el cuadro 2 (Guerrero y Monsalve, 2006).

Cuadro 2

Cantidad de subproductos generados por vacuno sacrificado.

Subproducto	Cantidad Aportada por Vacuno Sacrificado
Rumen	15 kg
Estiércol	2 kg
Sangre	15 litros=15.45 kg
Decomisos	2 kg
Tendido (viruta)	50 kg

Fuente: Guerrero y Monsalve, 2006.

El tratamiento de los desechos y eliminación de las aguas residuales provenientes de mataderos y plantas procesadoras de carne es una necesidad económica y de higiene pública. La principal fuente de contaminación de las aguas residuales de los mataderos se originan de heces y orina, sangre, pelusa,

lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y de vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos (Muñoz, 2005).

2.2.1.3 Características de los Residuos de Mataderos.

a. Estiércol.

Sztern y Pravia (1999) refieren que el estiércol es una descripción general de cualquier mezcla de heces, orines y desperdicios. La composición físico-química del estiércol varía de una producción agropecuaria a otra, dependiendo entre otros factores del tipo de ganado, de la dieta, y de las condiciones bajo las cuales se produce el estiércol; teniéndose las siguientes referencias (cuadro 3).

Cuadro 3

Características del estiércol de vacuno según diferentes autores.

Característica	U.M.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
Volumen	kg/100kg g de P.V.		8							
	Kg/bovino							16		
pH	Unidad pH			5.9-9.2		8			8.2	
Materia Seca	%			10.4-39.3					25.1	
Sólidos Totales	%				13.4- 56.2					
Relación C/N					25	26			22	18
Carbono	%				17.4- 40.6				42.5	
Nitrógeno	%	1.5-2.5		0.94-1.67	0.3-2	1.5	1.6		1.9	1.7
Humedad	%					36				
Fosforo (P ₂ O ₅)	%	2-2.5		0.42-1.08	0.1 -1.5	0.6	1.2		0.46	
	mg/kg									
Calcio (CaO)	%			2.9	0.35	3.2	2.2			
Magnesio (MgO)	%			0.01-0.33	0.13	0.8	1.1			
Potasio (K ₂ O)	%	1.6-2		0.56-1.89	0.1	2.5	1.8		2.5	
Azufre	%			0.36-1.8						
Sodio	%			0.7		1.6				
Zinc	%			41-272						
	ppm					130.6				
Manganeso	ppm					264				
Hierro	ppm					< 354				
Cobre	%			10.5-27.9						
Cadmio	%			0.1-0.24						
Cromo	%			0.79-2.05						
Níquel	%			0.2-3.1						
Materia orgánica	%					70				
Producción de metano	l/día/Kg		35.3							

Fuente: Eghball, 2000 y Hartz et al., 2000 (a); Martí, 2008 (b); Céspedes, 2005 (c); Varnero y Arellano, 1990 (d); Romero, 1997(e); Bertsch, 1995 (f); Muñoz, 2005 (g); Fleming y MacAlpine, 2005 (h); Fernández y Sanchez, 2007 (i).

b. Contenido Ruminal.

Los rumiantes son mamíferos que se han especializado en consumir material vegetal fibroso, que las enzimas digestivas son incapaces de degradar, pero mediante la fermentación que proporcionan los microorganismos que viven en simbiosis en el rumen, son aprovechados (Araujo y Vergara, 2007). Entonces, el estómago de los rumiantes se encuentra constituido por cuatro compartimientos, rumen, retículo, omasum y abomasum; sólo el último produce enzimas digestivos capaces de degradar alimentos, el rumen nunca se vacía, pero con ayuno prolongado el contenido puede llegar a ser cada vez más fluido (Phillipson, 1981).

En bovinos el volumen es de unos 48 l o 15-21% del peso corporal (Owens y Goetsch, 1988); Phillipson (1981) reporta contenidos ruminales de 30-60 kg en los bovinos, variando con la dieta y la tasa de pasaje a través del tubo digestivo. La materia seca en el contenido ruminal se encuentra entre 10 y 15% (Phillipson, 1981). Otros autores, estiman que oscila desde menos de 7% hasta más de 14% del peso fresco del material ruminal de ganado vacuno (Owens y Goetsch, 1988).

Así mismo se reporta en Buenos Aires-Argentina que el contenido del rumen de bovinos, es uno de los subproductos que pueden utilizarse como ingrediente en las raciones de los mismos desechándose en la actualidad, ya que aún teniendo 24 hrs. de ayuno los animales al momento del sacrificio, pueden obtenerse por lo menos 30 kg de contenido, en virtud de que el paso del alimento por el tracto

gastro intestinal de los rumiantes es lento, con una composición de materia seca 10.35-11.17%, materia orgánica 70-80%, humedad 84.48%, proteínas grasas 10.40%, fibra 34.29% y ceniza 15.85% (Rafaelli *et al.*, 2006).

c. Sangre.

En el matadero de Santa Cruz de Malambo Atlántico - Colombia, el volumen de sangre por res se considera el 4% del peso del animal; por lo tanto, de un animal de 482,75 kilogramos se deberían recuperar 19,31 kilogramos de sangre por res; sin embargo, según los resultados obtenidos y reportados se recoge en promedio 9,36 kilogramos de sangre por res lo que corresponde sólo al 48,47% del volumen total recuperable (Beltrán y Perdomo, 2007).

Por otro lado se refiere que la harina de sangre contiene nitrógeno 3.5% y fósforo 8% (Readman, 1991) y el desecho de agro industria como la sangre seca nitrógeno 13%, fósforo 2% y calcio 0.5% (Bertsch, 1995). La sangre de bovino contiene una relación C/N de 3 y nitrógeno 10 a 14% (Fernández y Sánchez, 2007).

Con la demanda de productos de la sangre disminuyendo a la luz de las preocupaciones con respecto a la posibilidad de la propagación de ciertas enfermedades, la industria debe encontrar usos alternativos para la sangre. Debido a que el compostaje se está volviendo más y más popular como un método de eliminación de ganado muerto, parece razonable suponer que se puede utilizar para el tratamiento de la sangre (Fleming y MacAlpine, 2005).

d. Efluente.

La composición de las aguas residuales de un rastro o matadero depende, fundamentalmente, de la especie que se procesa. En general, contienen sangre, excremento, contenido ruminal o estomacal, grasa, pelos y huesos (Signorini *et al.* 2006).

El efluente producido es un matadero corresponde al 1700 litros de agua por res procesada aumentando esta en un 25% si se lleva a cabo el tratamiento de los productos no comestibles (Muñoz, 2005) mezclada en diferentes grados con sangre, grasas, contenidos de estómagos y vísceras, y aguas de lavado; presentando las siguientes características:

- pH 6.5, DQO 9600 mg/l, DBO 7450 mg/l, TDS 1650 mg/l, SST 2280 mg/l y Turbidez 1489 NTU, no cumpliendo con los requisitos de la norma local de descarga de efluente de Nepal-Pakistan (Ali *et al.*, 2010).
- DQO 609.3 mg/l, DBO 80.9 mg/l, SST 189.66 mg/l, conductividad 2520 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DO 2.3 mg/l en el matadero de Dagoretti - Kenia, no cumpliendo con la Norma Nacional de Gestión Ambiental para descargas de efluentes en el medio ambiente de ese país (Koech *et al.*, 2012).
- Coliformes fecales de 4.8×10^6 a 5.8×10^5 NMP/100ml, Coliformes fecales de 8.2×10^4 a 3.2×10^4 NMP/100ml, Estreptococos fecales de 5.2×10^4 a 2.0×10^4 NMP/100ml y *Escherichia coli* de 1.2×10^4 a 2.0×10^3 NMP/100ml, en mataderos de Abuja-Nigeria; de los cuales los Coliformes totales excedieron el límite recomendado para la descarga en aguas superficiales (Nafarnda *et al.*, 2012).

- pH 7.4, conductividad 1.7 mS/cm, fósforo 7.1 mg/l, nitrógeno 332.2 mg/l en Yucatan-Mexico (Castillo *et al.*, 2012).
- Caudal 0.45 l/seg, temperatura 16°C, pH 7.62, Conductividad 3387.5 µS/cm, Coliformes totales >1100NMP/100ml y Coliformes fecales 118.5 NMP/100ml en el camal de llave-Puno (Apaza, 2013).

Con respecto a los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes líquidos tratados de actividades agroindustriales hacia los cuerpos de agua natural se refiere que no excederán los valores de pH 6-9, SST 300 mg/l, DBO₅ 250mg/l, DQO 500 mg/l, fósforo total 40mg/l, nitrógeno total 50 mg/l (MINAM, 2009).

2.2.2 Tratamiento y Valorización de Residuos de Mataderos.

El tratamiento biológico (incluidos el compostaje y la digestión anaerobia) puede clasificarse como reciclado cuando el compost (o digestato) se aplica al suelo o se utiliza para la producción de sustratos de cultivo. Si no se prevé ese uso, debe clasificarse como pre tratamiento antes del depósito en vertederos o la incineración. El compostaje es la opción de tratamiento biológico más común siendo el más adecuado para residuos verdes y material leñoso. Los métodos cerrados son los más costosos, pero requieren menos espacio, son más rápidos y estrictos en términos de control de emisiones de proceso (olores, bio aerosoles, etc.), la digestión anaerobia es especialmente adecuada para el tratamiento de bioresiduos húmedos, incluidas las grasas, no obstante, el producto final (digestato) está generalmente tan contaminado, que dificulta su utilización posterior aunque puede compostarse y utilizarse para fines similares

como compost, mejorando así la recuperación global de los recursos incluidos en los residuos, además, en la digestión anaerobia debe considerarse recuperación de energía (CCE, 2008).

El proceso de compostaje es un proceso microbiológico bajo condiciones aeróbicas y termófilas (45°C–80°C). En otras palabras, es un proceso microbiológico de oxidación que necesita el abastecimiento de oxígeno (O₂), donde las bacterias termófilas consumen alrededor de la mitad de la materia orgánica y producen su propio ambiente caliente saliendo agua (H₂O) y dióxido carbónico (CO₂). Por el contrario en los procesos anaeróbicos y mesófilos (30°C–40°C) salen los gases metano (CH₄), dióxido carbónico (CO₂) y los malos olores por la producción del hidrógeno sulfúrico (H₂S) (Zandvliet, 2009).

De acuerdo a las características que presentan los residuos de camal se presentan oportunidades para la eliminación, tratamiento y valorización de los subproductos y materiales de animales. Entre los sub productos de mataderos se pueden distinguir según el reglamento europeo son: categoría 1 y 2 que incluyen los subproductos y materiales no destinados al consumo humano, con la salvedad de que por su mayor riesgo, los de la categoría 1 deben ser completamente destruidos; la categoría 3 incluye los subproductos y materiales no destinados al consumo humano recogidos como residuos en mataderos y empresas del sector alimentario y con un nivel de riesgo menor, siendo los tratamientos aceptados los que se detallan en el cuadro 4 (Pons, 2004).

Cuadro 4

Procedimientos aceptados para la eliminación de los subproductos animales (spa's) en España (EC 1774/2002).

Procedimiento	Cat. 1	Cat 2	Cat 3
Incineración	si	si	si
"Rendering" (o cocción) e incineración	si	si	si
"Rendering", esterilización (133°C, 3bar, 20 min) y deposición en vertedero autorizado	si	si	si
Combustión grasas animales separadas en los procesos de "rendering"	si 850°C/2sg	si	si
"Rendering", esterilización (133°C, 3bar, 20 min) y aplicación al campo como fertilizante	no	si	si
"Rendering", esterilización (133°C, 3bar, 20 min) y valorización como biogás o compost	no	si	si
Producción derivados grasas para usos técnicos	no	si	si
"Rendering", higienización (12mm, 70°C, 1h) y valorización como biogás o compost	no	no	si
Producción de derivados de grasas	no	no	si
Producción de "petfood"	no	no	si

Fuente: Pons, 2004.

2.2.2.1 Compostaje.

El compostaje, es la intervención humana dentro del proceso natural de descomposición de la materia orgánica con una combinación de condicionales ambientales apropiadas y un tiempo adecuado. Dicho de otra manera, es un proceso bioxidativo controlado, en el que intervienen numerosos y variados

microorganismos, que requiere una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, y que produce al final de los procesos de degradación, CO₂, agua y minerales, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos (García, 2000).

El contenido de materia orgánica total durante el proceso de compostaje decrece por la respiración de la biomasa, que genera CO₂, H₂O y un incremento general en el contenido de metales (Rosal et al., 2007).

Presenta diversas ventajas dentro de las cuales destacan la facilidad de operación del sistema, bajo capital de inversión comparada con la digestión anaeróbica, no genera olores molestos, reduce la cantidad de Coliformes fecales y por lo tanto, de organismos patógenos (Vamero, 2011). A pesar de sus ventajas, la utilización del compost no está exenta de riesgos, sobre todo los derivados del uso de materia orgánica no estabilizada. Los principales son: la reducción oxígeno radicular, la producción de compuestos fitotóxicos en el suelo o la inmovilización del nitrógeno por los microorganismos en enmiendas con alta relación C/N (Bengtsson et al., 2003).

a. Parámetros del proceso de compostaje.

El tamaño de la pila para una pila casera debe ser entre 1m X 1m X 1m y 1.75m X 1.75m X 1.75m, para garantizar auto calentamiento y aireación general. Si se aíslan los lados de la pila se pueden mantener pilas más pequeñas, si se hacen pilas más grandes hay que voltearlas frecuentemente o usar chimeneas de aire.

Cuando la temperatura del interior de la pila llega entre 45°C y 65°C, se revuelve todo y se construye de nuevo la pila, asegurando que el material del interior llegue al exterior y viceversa. Si no hay manera de medir la temperatura, hay que voltearla cada 3 o 4 días al inicio y menos frecuente después. Las temperaturas máximas interiores van a ser cada vez menores con los volteos sucesivos. En una pila de compostaje hay microorganismos y se clasifican de acuerdo al rango de temperatura en el que operan como: psicofílicas entre -18°C y 18° C. (0 y 64°F), mesofílicas entre 5° C y 43°C (41 y 109° F) y termofílicas entre 40 y 93° C (104 y 200°F). Es deseable alcanzar en la pila condiciones termofílicas (arriba de los 40° C), porque esas bacterias son las que trabajan más rápido y hay otros microorganismos que solo trabajan a esas temperaturas, además que se destruyen microbios patógenos y malezas (Navarro, 2002).

Dado que el compostaje es un proceso predominantemente aerobio, las prácticas de manejo deben crear condiciones óptimas para el establecimiento y desarrollo de los microorganismos que intervienen en él refiriéndose que los condicionantes que favorecen el compostaje son: Relación Carbono/Nitrógeno siendo su óptimo de 25 a 30 y un rango de 20 a 40, humedad 50% a 60% y un rango de 40% a 65%, volteado (aireado) 1 vez por semana, temperatura optima 65 a 75°C en un rango de 55% a 75%, pH óptimo de 6.5 a 8 y un rango de 5.5 a 9, diámetro de partícula óptimo de 0.5 a 1cm en un rango de 0.3 a 5 cm, tamaño del montón equivalente a 0.8m en un rango de 0.8 a 1.2m y tiempo óptimo de 2 a 3 meses (Guerrero y Monsalve, 2006 y Meléndez y Soto, 2003).

En la elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional en pilas o montones se refiere entre los parámetros de compostaje una humedad de 40-60%, relación C/N de 25-30, pH de 6-8, diámetro de partículas de 2 a 5 cm, altura de compost de 1.5m y base de 1.6m (Palmero, 2010).

En la elaboración de composta con contenido ruminal y algunos residuos de la industria cárnica se refiere que las condiciones del proceso de compostaje deben tener una humedad entre 15-35%, aunque puede ser también de 40%-60% si se puede mantener una buena aireación, una humedad superior producirían anaerobiosis, pero menor al 10% reduciría la actividad biológica y el proceso se haría extremadamente lento; relación C/N ideal inicial en el proceso es de 20-30 y un final apropiado de 12 a 15 (optimo 25), temperatura 60°C, volteado una vez por semana las primeras 4 semanas, pH de 6.5-7.5, diámetro de partícula $\leq 20\text{mm}$ (Uicab-Brito y Sandoval, 2003).

Para el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos en Desaguadero, se consideró un pre tratamiento donde se quitaron materiales inorgánicos (plásticos, vidrios, metálicos u otros), prepara en pedazos de 2-5 cm, humedad de mezcla de 40-60%, relación C/N de 20:1 a 40:1; luego la primera fase de fermentación termófila con temperaturas que superan los 60°C para eliminar los patógenos, con mayor evaporación, durando 3 semanas con la pérdida del 25% de masa orgánica por metabolismo y oxidación; la segunda fase de fermentación mesofílica la temperatura disminuye hasta 40°C el proceso arda 6 semanas y la pérdida de masa orgánica es de más o menos 15%; la tercera fase de maduración, la temperatura cuando esta madurado baja hasta menos de 30°C,

pudiendo bajar la humedad hasta 25-35% y el pH del compost maduro se estabiliza a 6-8, la pérdida de masa orgánica es de 10% con ello el compost maduro presenta una relación C/N de 16-20 (Zandvliet, 2009).

El pH en el compostaje es tolerado por las bacterias de manera amplia. No obstante pH cercano al neutro (6.5-7.5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino nos asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores de pH inferiores a 5,5 (ácidos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8 (alcalinos) también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos. Durante el proceso de compostaje se produce una secesión natural del pH, que es necesaria para el proceso y que es acompañada por una sucesión de grupos fisiológicos (Sztern y Pravia, 1999).

b. Características del compost.

El compost presenta diferentes características de acuerdo a los insumos utilizados en su elaboración y las condiciones en las que se desarrolla así se cuenta con diversos estudios que muestran las características estudiadas del compost.

El Compost de utilizado en Cabana-Puno para cultivos de quinua, presentó las siguientes características pH de 7.4 a 7.81, conductividad eléctrica de 2.65 a 4.96 mmhos/cm 25°C, nitrógeno de 3 a 3.57%, fósforo de 2.29 a 2.49%, potasio

de 1.27 a 1.3%, calcio de 0.3 a 0.49%, magnesio de 0 a 0.01%, zinc 0.01%, boro 0% y cobre trazas (Puma, 2008).

En Chile se refiere que el compost de cama animal, aserrín de pino, mezcla de ballica-trebol y cascarilla de rosa mosqueta presenta pH 8.16-8.3, conductividad 2.92-3.43dS/m, nitrógeno 1.83-2.45%, materia orgánica de 56.42-62.37%, relación C/N de 13.87-17.18 y relación amonio Nitrato 0.11 a 0.14 (Céspedes, 2005).

La sangre de matadero mezclada con fibra de madera, hojas de los árboles y estiércol de vacuno en Canadá, dio como resultado un compost de pH 8.1, materia seca 22.6%, carbono 35.3%, nitrógeno 3%, fósforo 0.53%, potasio 4.3% y relación C/N 11.80 (Fleming y MacAlpine, 2005).

El compost obtenido a partir de residuos de cocina contiene alrededor de un 1% de N, un 0.7% de P_2O_5 y un 6.5% de K_2O (CCE, 2008).

c. Normatividad.

Referente al compost a nivel nacional no se cuenta con una normatividad específica, refiriéndose en el reglamento técnico para los productos orgánicos que es permitido la fertilización y abonamiento orgánico con estiércol animal y restos vegetales preferentemente compostados siendo este de uso libre; los subproductos de industrias alimentarias y textiles de material biodegradable de origen microbiano, vegetal o animal sin aditivos sintéticos de uso restringido,

cuyas condiciones y procedimientos deben ser establecidos por el programa de certificación orgánica (D.S N° 044-2006-AG).

Se tiene referencia de normatividades como la Norma Chilena 2880 del 2004 que clasifica al compost en dos Clases la A y la B según sus características físicas, químicas, microbiológicas y de metales pesados, también se cuenta con normatividad en Colombia la NTC 5167, normatividad en España la BOE. 12731 de 1998, una norma Australiana la 4454 de 1999, también se cuenta con normatividades para metales pesados para compost en otros países en especial de Europa (Vásquez de Días *et al.*2010) los mismos que se pueden apreciar en el anexo cuadro 14.

2.2.2.2 Digestión Anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Este proceso lo llevan a cabo microorganismos anaerobios que actúan en el interior de un biodigestor. Este biodigestor o reactor no es más que una cámara hermética al aire, en la que se dispone la materia orgánica sin oxígeno para que pueda llevarse a cabo la fermentación. La digestión anaerobia se presenta entonces como una posibilidad de tratamiento de residuos orgánicos. Los residuos que se pueden digerir son variados: excretas de animales, residuos de vegetales y plantas, otros residuos o aguas residuales agroindustriales. Aunque la mayoría de sustratos orgánicos serán adecuados, la madera o los residuos leñosos son desaconsejables (Werner *et al*, 1989).

Esta conversión se produce en diversos ambientes, ya sean naturales, como los sistemas gastrointestinales (rumen), los sedimentos marinos, de ríos y lagos, las fuentes termales o las turberas, o bien en sistemas controlados como los fermentadores o digestores anaerobios (Vincent, 1997). De esta forma la digestión anaerobia, como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola (bioabonos) y al mismo tiempo, producir energía gaseosa, eliminando la emisión de malos olores como el de amoníaco producto de la acumulación de excretas y orina sin tratar (Varnero, 2011).

a. Parámetros del proceso de operación de un biodigestor.

Varnero (2011), refiere que según, los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

- a.1. Hidrólisis, de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) por encimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos.
- a.2. Etapa fermentativa o acidogénica, que da lugar a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios.
- a.3. Etapa acetogénica, dando lugar a ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

a.4. Etapa metanogénica, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H_2 y CO_2 .

Los parámetros en los que opera un biodigestor varían de acuerdo a la zona y los insumos según varios autores, se refiere que:

Para un proceso óptimo de biodigestión la relación óptima de carbono/nitrógeno sería de 30, cuando la relación es muy estrecha (10) hay pérdida de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido y si la relación es muy amplia (40) se inhibe el crecimiento debido a la falta de nitrógeno; pH de 6.5 a 7.5; temperatura de $10^{\circ}C$ a $37^{\circ}C$ incrementándose la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas cuando se incrementa la temperatura, siendo las bacterias metanogénicas las más sensible a los cambios de temperatura; tiempo de retención hidráulica referido al tiempo que requieren las bacterias para degradar la materia orgánica se encuentra condicionada de manera importante por la temperatura y tipo de sustrato, siendo para el estiércol de vacuno líquido de 20 a 30 días, evitando en el digestor las costras y espacios muertos (Gon, 2008).

Para el proceso de biodigestión recomendados en Lima, para la generación de biogás a partir de residuos de porcinos es de pH 6 a 7 con una variación de $\pm 5\%$ por día, temperatura constante $\pm 1^{\circ}C$ (Ruiz, 2010).

En Bolivia para el proceso de biodigestión en biodigestores familiares se refiere que la temperatura óptima para el Altiplano es de $10^{\circ}C$ dándose en el rango de $>5^{\circ}C$ a $70^{\circ}C$ ($30^{\circ}C$ para trópico, $20^{\circ}C$ para valle), el tiempo de retención

hidráulica recomendable para el altiplano es de 60 días +25% para la mejora de los productos de la biodigestión como fertilizantes (20 días para trópico y 30 días para valle), la relación estiércol agua para un biodigestor tubular se recomienda entre 1:4 o 1:3, debiendo corresponder a volumen líquido del biodigestor el 75%, al volumen gaseoso el 25% y la relación opima entre longitud y diámetro de maga tubular de 5 a 10 siendo el óptimo de 7 (Martí, 2008).

Por otro lado en el manual de biogás de Chile se refiere que para la biodigestión el óptimo de pH es de 6.8 a 7.4, siendo el rango de $\geq 6 \leq 8$, la temperatura para una fermentación por microorganismos psicrófilos $< 25^{\circ}\text{C}$, mesófilos de 25°C a 45°C y termófilos de 45°C a 65°C , con una variación de temperatura de 0.6 a $1.2^{\circ}\text{C}/\text{día}$ (Vamero, 2011) y un tiempo de retención hidráulica de 60 a 90 días para clima templado con invierno frío, 40 a 60 días para regiones cálidas con inviernos fríos cortos y 30 a 40 días para regiones planas con clima tropical (Vamero, 1991).

b. Productos de la biodigestión.

Como productos principales de este proceso de degradación se pueden obtener: fertilizante orgánico líquido, fertilizante orgánico lodoso y biogás; además ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos: mejora la capacidad fertilizante del estiércol, disminuyendo su agresividad; el efluente es mucho menos oloroso que el afluente y el control de microorganismos patógenos. Y otros beneficios cualitativos como mejores condiciones higiénicas, mejor

iluminación, independencia energética, mejora del trabajo de la granja, mejora de la calidad del suelo (Werner et al, 1989).

b.1 Biol.

El biol es una fuente de fito reguladores que se obtiene como producto del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos (estiércol en agua, alfalfa, roca fosfórica, leche, pescado, etc.) en mangas de plástico (biodigestores), que actúa como bioestimulante orgánico en pequeñas cantidades y es capaz de promover el crecimiento y desarrollo de las plantas, que se obtiene en 1 a 2 meses en verano y de 2 a 4 meses en invierno en Puno (3821 a 4000 msnm) y utilizado en múltiples cultivos con aplicaciones dirigidas al follaje; la composición química del biol es: nitrógeno 4%, fósforo disponible 68 ppm, potasio disponible 480 ppm y conductividad eléctrica 2 mmho/cm (Colque et al., 2005).

b.2 Biosol.

Es el resultado de separar la parte sólida del “fango” resultante de la fermentación anaeróbica dentro del fermentador, resultando ser su humedad principalmente biol residual, se puede emplear solo o en conjunto con compost u otros fertilizantes; la ventaja de usar el biosol como fertilizante es que se reduce la necesidad de abono por su mayor disponibilidad de nutrientes, es decir solo se necesita de 2-4 toneladas/ha a comparación de 15-30 toneladas/ha de estiércol ó 10-20 toneladas/ha de compost si se usaran estos. Entre los nutrientes del guano fresco y el guano fermentado (biol y biosol) este último

muestra un ligero incremento de los mismos; entonces se puede entrever que se puede manejar la calidad final del biosol partiendo de la buena calidad del sustrato a fermentar (Aparca y Jansen, 2008).

Con referencia a los lodos entre los problemas más importantes se refiere en primer lugar la concentración de metales pesados, que puede reducir la fermentación en los digestores, y la posibilidad de inutilizar los lodos para uso en agricultura. En segundo lugar la existencia de organismos patógenos, que pueden ser arrastrados por lixiviados y puestos en contacto con verduras en fresco, en el caso de un mal sistema de abonado (Hernández, 2001).

c. Normatividad.

Para los abonos orgánicos producto de la biodigestión no se cuenta con una normatividad nacional y la misma es escasa a nivel internacional, así se refiere en la BOE 12731 orden del 28-05- 1998 de España que para materias orgánicas líquidas el nivel de materia orgánica es de 30% (BOE 12731, 1998).

2.3 Marco Conceptual.

- a. **Compost.** Producto que resulta del proceso de compostaje. Está constituido principalmente por materia orgánica estabilizada, donde no se reconoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras (NCh2880, 2004).
- b. **Enmiendas Orgánicas.** Cualquier sustancia orgánica capaz de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (NCh2880, 2004).
- c. **Pasteurización.** Efecto de reducción de microorganismos patógenos y de la viabilidad de semillas y material de propagación, mediante la mantención de la temperatura de toda la masa en compostaje sobre un nivel de temperatura mayor o igual a 55°C por, a lo menos, tres días consecutivos u otra relación de tiempo-temperatura de resultados equivalentes (NCh2880, 2004).
- d. **Pila.** Depósito o espacio en el que se encuentran las materias en compostación (NCh2880, 2004).
- e. **Residuos Sólidos.** Son todas 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 normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, las siguientes operaciones o procesos: minimización de residuos, segregación en la fuente,

reaprovechamiento, almacenamiento, recolección, comercialización, transporte, tratamiento, transferencia y disposición final (Ley 27314).

- f. Tecnología limpia.** Se define como aquella capaz de proporcionar un beneficio humano, que en términos generales utilice menos recursos naturales y cause un menor impacto ambiental que otra tecnología alternativa con la que es económicamente competitiva (Cliff, 1995).
- g. Volteo.** Procedimiento periódico mediante el cual se homogeniza y oxigena el material que compone una pila de compost (NCh2880, 2004).
- h. Estabilización.** Fase de a etapa de maduración en la cual la actividad biológica en los materiales que se están compostando disminuye hasta un nivel tal que no hay incremento significativo de temperatura por la aireación (NCh2880, 2004).
- i. Matadero.** Es un establecimiento precario donde se realizan actividades de beneficio sin las condiciones apropiadas para el beneficio, es decir no cuentan con instalaciones apropiadas, tampoco tiene el permiso correspondiente y no recibe los servicios del médico veterinario para clasificar la carne y verificar la buena salud de los animales a beneficiarse (MINAM, 2009).
- j. Beneficio.** Es el sacrificio de animales para la producción de carne de consumo humano, cumpliendo las normas higiénico-sanitarias correspondientes, dando un buen trato a los animales e involucrando

procesos de calidad, buenas prácticas de operación y control de riesgos (MINAM, 2009).

- k. Camal.** Es un establecimiento destinado al beneficio de ganado (vacuno, ovino, etc.) y aves (pollo) para consumo humano y donde se realiza la clasificación, por el médico veterinario, de la carne (extra, primera, segunda). El establecimiento, para su funcionamiento, tiene certificación sanitaria por parte del SENASA. Los animales beneficiados en estos locales provienen mayormente de los centros de engorde (MINAM, 2009).
- l. Tratamiento.** Cualquier proceso, método o técnica que permita modificar las características físicas, químicas o biológicas del residuo líquido a fin de reducir o eliminar su potencial peligro de daño a la salud y al ambiente (MINAM, 2009).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1 Características de la Zona de Estudio.

- a. Ubicación Geográfica.** Está localizada en: Región, Departamento, Provincia y Distrito de Puno, Comunidad de Capullani.

- b. Localización del Área del Estudio.** Es el área específica donde funciona el Camal Frigorífico Sur Export Delicar, localizado a 6.5 km de la ciudad de Puno, por la ruta del tramo de la Carretera Puno-Moquegua, a 4062 m.s.n.m. El acceso a este camal es primero por vía asfaltada (Carretera Puno Moquegua- 6 km) y luego por carretera afirmada (0.5 km) (Figura 1) en las coordenadas:

15°53'53.6" S y 70°00'26.5" O

El camal es de carácter privado que se encuentra en proceso de formalización ante las instancias correspondientes; con un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental aprobado mediante Resolución de Dirección General N° 041-12-AG-DVM-DGAAA, del 14 de setiembre de 2012, el camal se dedica exclusivamente al beneficio de ganado vacuno, de jueves a martes, siendo los días de mayor actividad los jueves y domingo, y el día de descanso el miércoles, siendo el promedio de beneficio de ganado de 20 cabezas de ganado vacuno diarios.

El camal actualmente cuenta con un sistema artesanal de tratamiento de aguas servidas a través de pozas de sedimentación, cuyo efluente se descarga al medio ambiente, por otro lado los residuos sólidos (estiércol, contenido de estómagos, sangre y restos de vísceras) son acumulados en el exterior de las instalaciones del camal, y que ocasionalmente es retirado por ladrilleros, cuando el volumen es suficiente y su humedad se ha reducido, los residuos como sangre, grasas, pedazos de vísceras, vísceras decomisadas, entre otros no tienen un tratamiento ni destino final aparente; todo ello le genera al camal serios problemas ambientales y de salud pública.

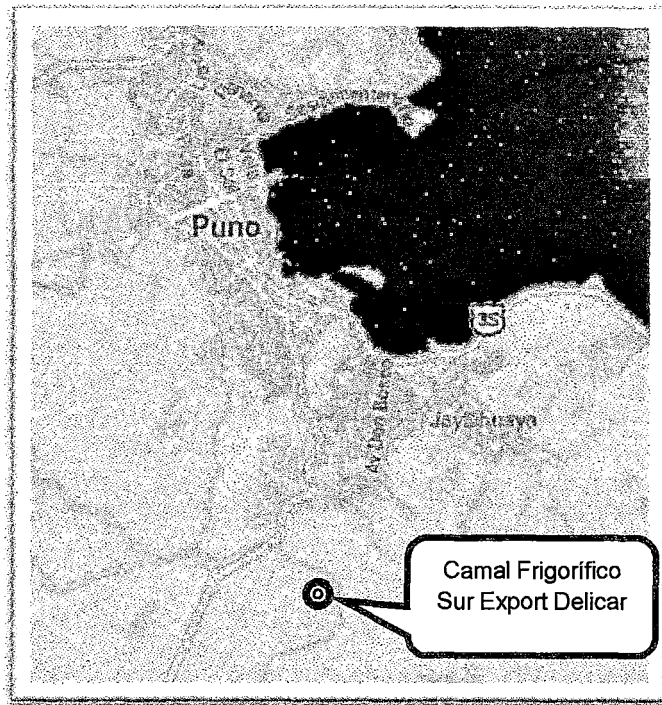


Figura 1: Ubicación y localización del área de estudio.

c. **Aspectos Climatológicos.** Al encontrarse sobre los 4000 m.s.n.m presenta un clima frígido o de puna, con precipitaciones promedio de 700 mm y temperatura promedio de 6°C, con veranos lluviosos e inviernos secos, este escenario, hay que añadir la incidencia de vientos, las variaciones diarias de temperatura, la intensa radiación solar, la reciente formación de suelos, la diversidad de cobertura vegetal, todo lo cual nos lleva a reconocer que nuestros ecosistemas son muy complejos y frágiles (Ministerio del Ambiente, 2012).

3.2 Tipo de Investigación.

El tipo de investigación es descriptiva, experimental y analítica.

3.3 Diseño de la Investigación.

El planteamiento del problema pretende determinar el efecto de las características de los residuos de camal, métodos de compostaje y biodigestión en la calidad física, química, bacteriológica de los abonos orgánicos (compost, biol y biosol). Esta relación de variables se expresa de la siguiente forma.

$$Y = f(X_i)$$

Donde: (X) es la variable independiente (causa); (Y) es la variable dependiente.

3.4 Metodología para Muestreo y Recolección de Datos.

3.4.1 Objetivo 01: Determinar el método más adecuado de elaboración de compost con sub productos de camal.

Para ello se procedió a:

3.4.1.1 Caracterización física, química y microbiológica de los sub productos del camal Delicar-Puno.

Caracterización física, química y microbiológica de sub productos del camal (contenido de estómagos, sangre y efluente) (Figura 2); con mediciones in situ y toma de muestras para análisis físico, químico y microbiológico en los laboratorios de la UNA-Puno y de metales en el laboratorio LAS de la ciudad de Arequipa. Se tomaron tres muestras simples de cada subproducto y en diferentes días para análisis físico – químico y para análisis bacteriológico; y una muestra compuesta del contenido de estómagos para metales.

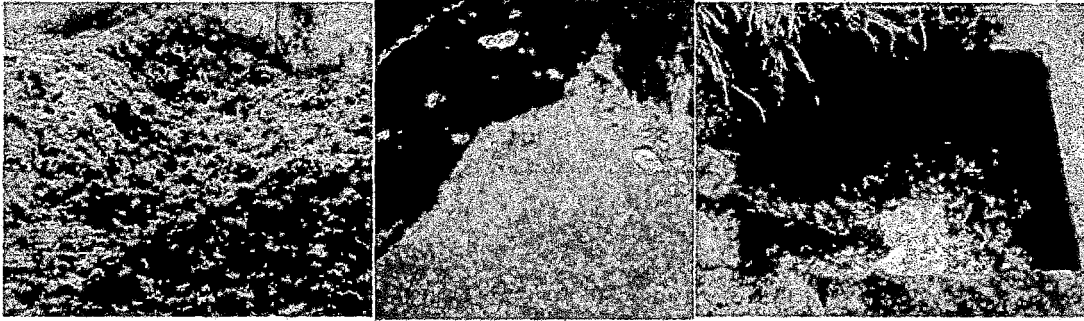


Figura 2: Subproductos de camal Delicar-Puno contenido de estómagos, sangre y efluente de izquierda a derecha, marzo-mayo de 2013.

Los análisis realizados para los subproductos de camal fueron:

Análisis físico - químicos

- Volumen (kg/cbz, l/seg), se determinó mediante el pesado del contenido de estómagos por vacuno beneficiado en kg al momento de su disposición en el “estercolero” y pesado de sangre por vacuno beneficiado en kg al momento de su recuperación en envases utilizados por el camal, durante el desangrado en el proceso de beneficio. Y método volumétrico para efluente, midiéndose en la salida de las instalaciones del camal en l/seg (Villavicencio y Villablanca, 2010).
- Humedad (%), para contenido de estómagos y sangre, mediante el método de secado en horno a 65°C por al menos 24 horas (AOAC, 1980).
- pH (unidad pH), se usó el pHmetro digital marca HANNA Modelo HI 98183, previamente calibrado, que fue introducido directamente al efluente y sangre; sin embargo, para sólidos como el contenido estómagos previamente este se mezcló (10 g de muestra + 20 ml de agua destilada) para su medición una vez homogeneizada.

- Conductividad (mS/cm), se usó el equipo HACH conductivity / TDS meter, introducido directamente al efluente y sangre, y para sólidos estos se mezclaron previamente (10g de muestra + 20 ml de agua destilada).
- Materia Orgánica (%), se determinó mediante el método de incineración a 550°C por tener alto contenido orgánico las muestras evaluadas (Pansu y Gautheyrou, 2006).
- Nitrógeno Total (%), determinado mediante el método de micro Kjeldahl (APHA, 1999).
- Fosforo Total (%), determinado mediante el método de metabanadato de amonio (GIUMA, 1997).
- Potasio Total (%) y Sodio (%), determinados mediante el método de fotómetro de llama (APHA, AWWA, WFF, 1992).
- Relación C/N, dado por la relación carbono entre nitrógeno; para ello se realizó la conversión de materia orgánica a carbono orgánico: Carbono orgánico (%) = Materia orgánica (%) / 1.724 (Pansu y Gautheyrou, 2006).

Análisis microbiológicos

Los análisis microbiológicos se realizaron en base a lo referido por Cano (2006).

- Coliformes totales (NMP/100ml, NMP/g), primeramente se hizo una dilución a la -3, luego incubado a 37°C por 24 horas, la prueba presuntiva se realizó en medio de cultivo caldo Lactosado (dispuesto en 09 tubos con campana Durhan) siendo positivo cuando se produce desprendimiento de gas, y

prueba confirmativa con siembra en agar verde brillante de los positivos de la prueba presuntiva en placa petri por 24- 48 horas, a partir del número de tubos positivos confirmados se calcula el número más probable de Coliformes totales por mililitro o por gramo de muestra de ensayo mediante la tabla NMP.

- Coliformes Fecales (NMP/100ml, NMP/g), o termotolerantes con un procedimiento similar a Coliformes totales, pero incubado a 44°C y determinado mediante calculo estadístico de número de células viables
- Salmonella sp. (UFC/ml, UFC/g); para lo cual primero se realizó el enriquecimiento en caldo Tetracionado a 37°C por 24 horas y posterior siembra en medio sólido selectivo SS agar a 37°C por 24-48 horas con recuento en placa.

Análisis de metales

- Al, Sb, As, Ba, Be, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Ag, Na, Sr, Tl, Ti, V, Zn, SiO₂ y Sn (mg/kg); determinado para contenido de estómagos por el método 772 método de ensayo para la determinación de metales en alimentos del Laboratorio Analítico del Sur, en la ciudad de Arequipa, mediante el equipo de Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES Dual) basado en el método EPA 6010C (EPA, 2007).

Cuadro 5

Muestras y parámetros analizados por muestra de subproductos del camal de vacunos Delicar-Puno, entre marzo y mayo de 2013.

Muestreo	N° Muestras		N° Parámetros Analizados/Muestra			
	Simple	Compuesta (sólo metales)	Físico - Químico	Microbiológico	Metales	Total
Contenido de estómagos	3	1	10	3	31	44
Sangre	3		10	3		13
Efluente de camal	3		9	3		43
Total	9	1	29	9	31	100

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.2 Monitoreo de procesos de compostaje con subproductos del Camal Delicar-Puno.

Para determinar el método de compostaje más adecuado, se evaluó dos métodos con 03 repeticiones cada una (ver cuadro 6):

1. **Compost 1** = Compuesto de sólo contenido de estómagos (100%).
2. **Compost 2** = Compuesto de contenido de estómagos (95%) más sangre (5%), los cuales fueron dispuestos en 5 capas (3 de contenido de estómagos y 2 capas de sangre), de manera intercalada.

Preparándose composteras de 150 kg, en forma de parva, cada una de 0.8m de base, 0.4m de alto por 1.5m de largo.

Cuadro 6

Detalle de volúmenes de mezclas de subproductos para compostaje en camal

Delicar-Puno

Procesos	Detalle	Insumos		Total	Repeticiones
		C.E (kg)	Sangre (lt)		
Compostaje 1	Contenido de estómagos	150		150	3
Compostaje 2	Contenido de estómagos + sangre	142.5	7.5	150	3
TOTAL					6

Fuente: Elaboración propia

Nota: CE=Contenido de Estómagos

Las composteras se instalaron sobre la superficie del suelo, previamente acondicionado y sobre material impermeable (plástico) a fin de controlar la humedad del suelo, y fueron cubiertas con el mismo material para evitar la excesiva humedad por efecto de lluvias o la excesiva pérdida del mismo por efecto del calor como se muestra en la Figura 3.

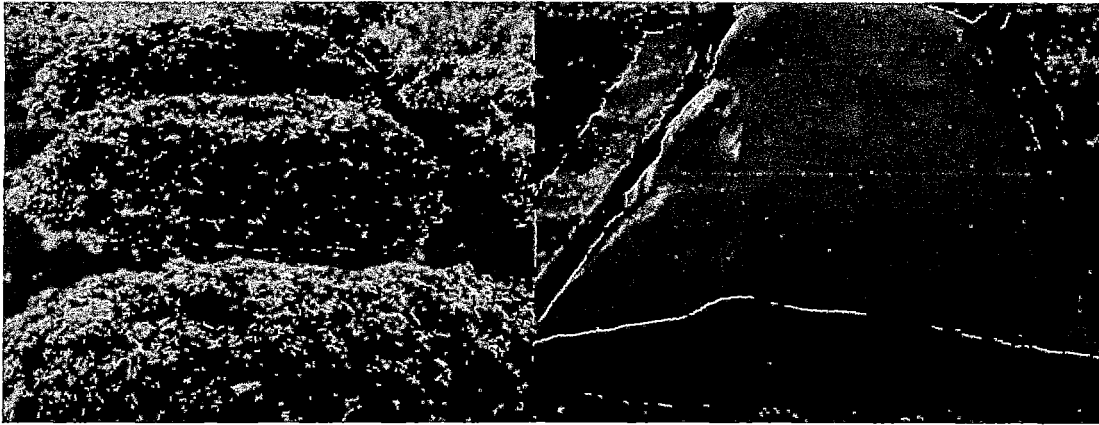


Figura 3: Composteras sobre superficie del suelo con piso impermeabilizado y cubiertas con polietileno en el camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

Para los dos métodos de compostaje se realizó el volteado cada 7 días; con monitoreo cada 15 días de:

- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), en las composteras con un termómetro tipo reloj.
- Humedad (%), mediante el método de secado en horno a 65°C por al menos 24 horas.
- pH (unidad pH), se usó el pHmetro digital marca HANNA Modelo HI 98183, previamente calibrado, que fue introducido a una mezcla de 10 g de muestra + 20 ml de agua destilada.
- Conductividad (mS/cm), se usó el equipo HACH conductivity / TDS meter, que se introducido en una mezcla de 10g de muestra + 20 ml de agua destilada.

3.4.1.3 Caracterización del compost con subproductos del camal Delicar-Puno

Se estudió las características de compost producto de los procesos de compostaje al día 75 para ser comparadas con estudios similares y normatividades. Los parámetros analizados fueron (cuadro 7): humedad (%), conductividad (mS/cm), relación C/N, pH, materia orgánica (%), nitrógeno total (%), fósforo total (%), potasio total (%), sodio (%), metales (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Ag, Na, Sr, Ti, V, Zn, SiO₂ y Sn) mg/kg, Coliformes totales (NMP/g), Coliformes fecales (NMP/g) y Salmonella sp (UFC/g).

Cuadro 7

Muestreo y análisis para caracterización de compost con sub productos del camal Delicar-Puno, junio de 2013

Muestreo	Nº Muestras		Nº Parámetros Analizados/Muestra			
	Simples	Compuesta (sólo metales)	Físico - Químico	Micro-biológico	Metales	Total
Compost 1	3	1	10	3	31	44
Compost 2	3	1	10	3	31	44
Total	6	2	20	6	62	88

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Objetivo 02: Determinar el método mas adecuado de biodigestión con sub productos de camal.

3.4.2.1 Monitoreo del proceso de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno.

- a. Para la determinación del método más adecuado de biodigestión con sub productos de camal (contenido de estómagos de vacuno y efluente de camal); se procedió a la instalación de 08 biodigestores tubulares de 200 litros de capacidad cada uno, de los cuales la parte liquida ocupó del 75% al 80% y la parte gaseosa del 25 al 20% (Figura 4), la dilución del contenido de estómagos con agua ó efluente fue de 1:4; considerando un tiempo de retención de 75 días a fin de obtener una mejor calidad de los abonos orgánicos (biol y biosol) objetos del presente estudio; considerándose esta tecnología como la más apropiada por sus características constructivas y por su bajo costo, para gestionar las excretas y otros residuos orgánicos del matadero de modo que pueda ser replicable por cualquier camal o centro de beneficio; con la finalidad de mejorar las condiciones ambientales se instaló una infraestructura tipo invernadero y se acondicionaron camas para los biodigestores sobre la superficie del suelo por la excesiva humedad encontrada en el suelo.

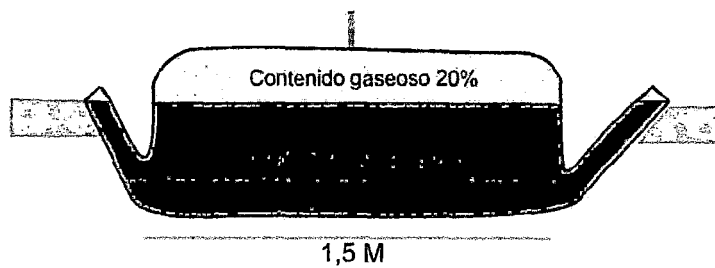


Figura 4: Biodigestor tubular (Martí, 2008).

Para la instalación de los biodigestores se realizaron las siguientes actividades:

- Elección del lugar: se tomó en cuenta la distancia al lugar de disposición de los residuos, el área total, pendiente del suelo y posibilidad de adecuación para la investigación (Figura 5).



Figura 5: Elección del lugar para instalación de biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo de 2013.

- Preparación de cama del biodigestor; el que consistió en la habilitación del terreno para la instalación (limpieza y nivelado del terreno) (Figura 6).



Figura 6: Limpieza (izquierda) y nivelado de terreno (derecha) para biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo de 2013.

- Instalación de cuna del digestor; para ello se empleó madera (tablas de 2 plgs x 3.3m, cuartones de 4x4 plgs x 3.3m y cintas de 2 plgs x 3.3m), instalándose 4 cunas continuas de 3.30 m de largo, 0.3 ancho inferior, 0.5 m ancho superior y 0.6 m de alto (Figura 7).



Figura 7: Cunas para biodigestores instalados en el camal Delicar-Puno, marzo 2013.

- Construcción del invernadero; se procedió a la instalación de paredes de madera rellenas con tierra (15 cm de ancho), posteriormente el armado de

la estructura de madera del invernadero (cuartones de 2X2 plg x 3.3m y cintas de 2 plg x 3.3m) que tuvo un ancho 3.30 m, largo 3.30 m y altura máxima 2.1 m, considerando la orientación norte-sur de acuerdo a las corrientes de vientos, la estructura fue fijada con vigas de madera unidas a las cunas y en el suelo; la misma que fue cubierta con plástico amarillo a fin mejorar las condiciones ambientales para los procesos de biodigestión (Figura 8).

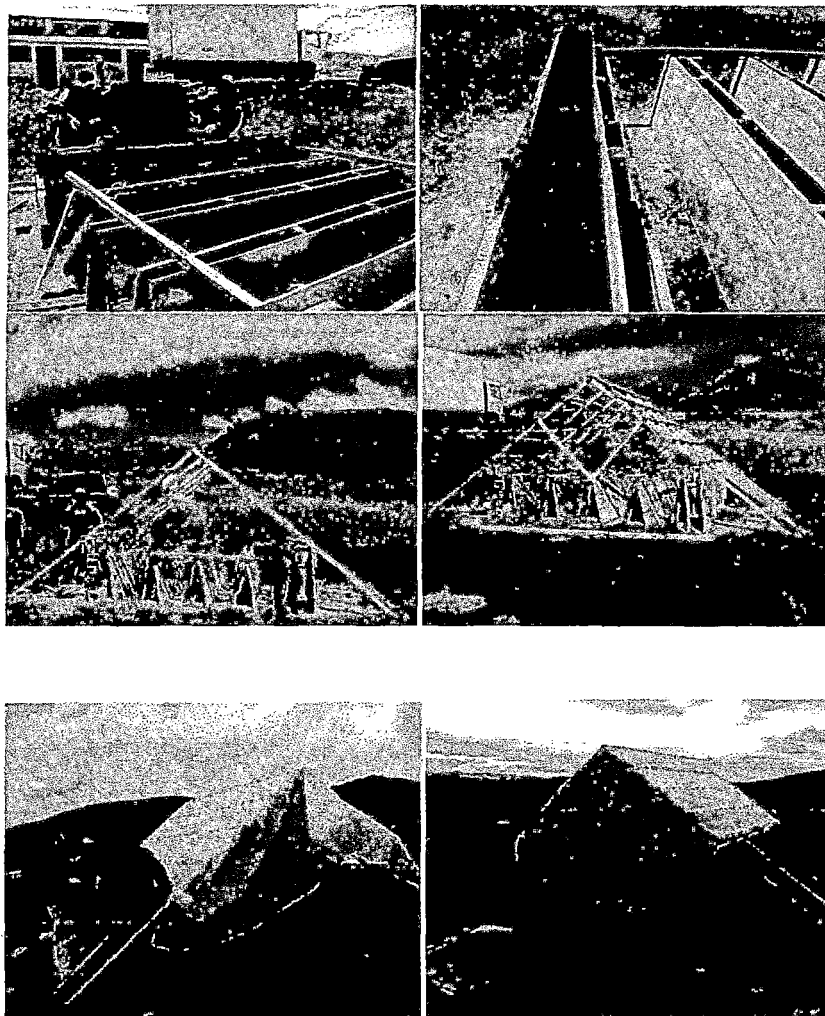


Figura 8: Instalación del invernadero sobre las cunas para biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo de 2013.

- Construcción del digestor; el que consistió en:

Montaje de la salida del gas, perforación para salida de gas en la manga, montaje de válvula de salida en la manga (Figura 9).

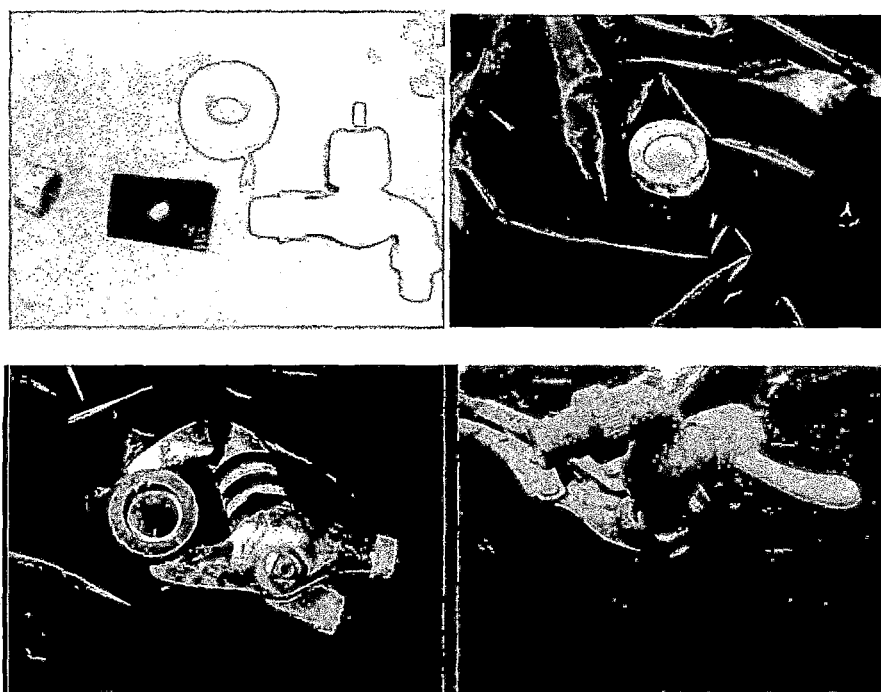


Figura 9: Montaje de la válvula de salida de gas para los biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo 2013.

Instalación de tubos de entrada y salida (preparación de tubo, colocación de tubo en abertura de maga, amarre de tubo con jebe) (Figura 10).

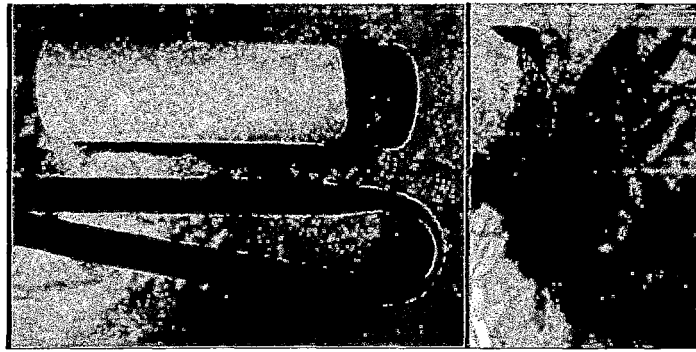


Figura 10: Instalación de tubos de entrada de residuos y salida de material producto de la digestión para los biodigestores en el camal Delicar-Puno, marzo 2013.

- Colocación de mangas en las cunas; procediéndose a: la preparación de cama para el digestor (con pasto seco producto de la limpieza del terreno, y cubriendo el piso y paredes de la cuna de biodigestor con rafia, para evitar dañar los digestores y finalmente se procedió a la colocación de la manga en la cama del biodigestor (Figura 11).

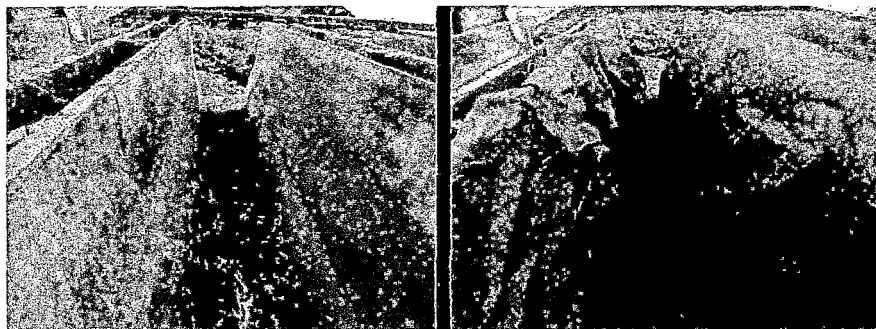


Figura 11: Preparación de cama para colocación de digestor en la cuna en el camal Delicar-Puno, marzo 2013.

- Acondicionamiento y fijación de entrada y salida; se realizó con alambre de construcción el cual fue amarrado en los tubos de entrada y salida de los digestores y para fijarlos se sujetó provisionalmente en las vigas superiores de las cunas esto facilitó el manejo de los digestores para la investigación.
- Para determinar el método de biodigestión más adecuado, se evaluó dos métodos de biodigestión con 4 repeticiones, cada biodigestor tuvo un volumen total de 150 lt de las cuales, 04 fueron de contenido de estómagos (20%) más agua (80%) y 04 de contenido de estómagos (20%) más efluente (80%) guardando la relación de 1:4 (ver cuadro 8), preparándose y homogeneizándose las mezclas en recipientes de 50 lt antes de ser cargadas en los digestores de 1.5m de largo, evaluándose la calidad de los productos de la biodigestión (biol y biosol) al día 75.

Cuadro 8

Detalle de volúmenes de mezclas de subproductos para biodigestión en camal Delicar-Puno, entre marzo y mayo de 2013.

Procesos	Detalle	Insumos				Total	Repeticiones
		C.E (kg)	Sangre (lt)	Agua (Lt)	Efluente (Lt)		
Biodigestión 1	Contenido de estómagos + agua	30		120		150	4
Biodigestión 2	Contenido de estómagos + efluente	30			120	150	4
TOTAL							8

Fuente: Elaboración propia

Nota: CE= Contenido de estómagos.

- b. Durante el proceso de biodigestión se realizó 68 monitoreos de:
- Temperatura ambiente fuera del invernadero (°C), se registró la temperatura máxima y mínima mediante un termómetro ambiental de dos columnas de mercurio de máxima-mínima, cada 24 horas.
 - Temperatura ambiente dentro del invernadero (°C), se registró la temperatura máxima y mínima mediante un termómetro ambiental de dos columnas de mercurio de máxima-mínima ubicado en el centro del invernadero, cada 24 horas.

3.4.2.2 Caracterización de los productos de la biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno.

Se estudió las características de los productos de la biodigestión (biol y biosol) al día 75 para ser comparadas con estudios similares y normatividades. Los parámetros analizados fueron (cuadro 9): humedad solo en el biosol (%), conductividad (mS/cm), relación C/N, pH, materia orgánica (%), nitrógeno total (%), fósforo total (%), potasio total (%), sodio (%), metales (Al, Sb, As, Ba, Be, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Pb, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, P, K, Se, Ag, Na, Sr, Ti, V, Zn, SiO₂ y Sn) mg/kg, Coliformes totales (NMP/100ml ó g), Coliformes fecales (NMP/100ml ó g) y Salmonella sp (UFC/ml ó g).

Cuadro 9

Muestreo y análisis para caracterización de productos de biodigestión con sub productos del camal Delicar-Puno, junio de 2013

Muestreo	Nº Muestras		Nº Parámetros Analizados/Muestra			
	Simples	Compuesta (sólo metales)	Físico - Químico	Micro-biológico	Metales	Total
Biol 1	4	1	9	3	31	43
Biol 2	4	1	9	3	31	43
Biosol 1	4	1	10	3	31	44
Biosol 2	4	1	10	3	31	44
Total	16		38	12	124	174

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Análisis de Datos.

Todos los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis descriptivo de datos; con medidas de tendencia central (moda, media o promedio), y coeficiente de variabilidad (Hernández *et al.*, 2003).

Para la comparación entre métodos de compostaje y biodigestión, se aplicó un diseño completo al azar referido por Ibañez (2000), con 2 tratamientos para compostajes y 3 repeticiones para el mismo; 2 tratamientos para la biodigestión y 4 repeticiones para el mismo, cuyo modelo estadístico lineal fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots, n$ = número de tratamiento.

$j = 1, 2, \dots, n$ = número de repeticiones.

Donde:

γ_{ij} = Unidad experimental.

μ = Efecto medio.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento (método de compostaje o biodigestión).

ε_{ij} = Error experimental.

Para contrastar promedios, se utilizará la prueba de rango múltiple de Tukey ($p \leq 0.05$).

Para el análisis de variables discretas (Coliformes totales y Coliformes fecales) primero se hizo una transformación de los datos de tal manera que sigan una distribución normal ya que los parámetros biológicos tienen una distribución asimétrica, mediante la fórmula \sqrt{x} , de tal manera que las varianzas de cada muestra se homogeneícen bastante entre si (Gaete, 1979), para luego realizar el análisis de varianza.

Para el análisis de la influencia de la temperatura ambiental sobre los proceso de compostaje y biodigestión se hizo el cálculo del coeficiente de correlación referido por Ibañez (2003), definido por:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)}{n}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}\right] \left[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2}{n}\right]}}$$

X= Variable temperatura ambiental (máxima, mínima, promedio).

Y= Variable temperatura en proceso de compostaje o biodigestión.

r = Coeficiente de correlación.

r=0.2 a r=0.3 coeficiente de correlación muy bajo.

r=0.4 a r=0.5 coeficiente de correlación bajo.

r=0.6 a r=0.7 coeficiente de correlación alto.

r=0.8 a r=1.0 coeficiente de correlación muy alto.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Métodos de elaboración de compost con sub productos de camal.

4.1.1 Caracterización de los sub productos del camal Delicar-Puno.

4.1.1.1 Caracterización físico-químico de sub productos del camal Delicar-Puno.

a. Volumen de subproductos de camal Delicar-Puno.

Los principales subproductos identificados en el camal Delicar fueron el efluente, contenido de estómagos y sangre; subproductos del beneficio promedio de 16 cbz/día (vacunos hembra) con una máxima y mínima de 27 y 10 cbz/día respectivamente, y un tiempo de faenado promedio de 3.88 hrs/día con una máxima de 6 hrs/día y una mínima de 2.5 hrs/día (los valores mayores correspondieron al día de beneficio con dos turnos de faenado).

El caudal promedio del efluente fue de 0.36 l/seg con una máxima de 0.47 l/seg, una mínima de 0.31 l/seg, estimándose un promedio de volumen de efluente de 328.77 l/cbz y con una producción total de efluente de 4876.58 l/día.

El volumen de contenido de estómagos (rumen, retículo y omaso) por vacuno hembra con un ayuno de 24 horas fue en promedio de 52.75 kg/cbz con una máxima de 63 kg/cbz y una mínima de 48 kg/cbz, estimándose una producción de contenido de estómagos de 844 kg/día.

El volumen promedio de sangre recuperada en el camal Delicar fue de 5.95 kg/cbz con una máxima y mínima de 7.4 kg/cbz y 4kg/cbz respectivamente, con una producción promedio de sangre recuperada de 95.20 kg/día (cuadro 10).

Cuadro 10

Volumen de subproductos de camal por vacuno y producción diaria en camal Delicar-Puno, marzo – mayo de 2013.

Detalle	U.M	Máximo	Mínimo	Promedio	C.V. %
Vacunos	Cbz/día	27.00	10.00	16.00	
Tiempo faenado	Hrs/día	6.00	2.50	3.88	
Caudal efluente	l/seg	0.47	0.31	0.36	16.53
Volumen efluente	l/cbz	419.62	248.83	328.77	
Volumen efluente	l/día	6718.51	4161.67	4876.58	
Volumen de cont. estómagos	kg/cbz	63.00	48.00	52.75	11.40
Volumen de cont. estómagos	kg/día	1424.25	527.50	844.00	
Volumen sangre recuperada	kg/cbz	7.40	4.00	5.95	21.60
Volumen sangre recuperada	kg/día	160.65	59.50	95.20	

Fuente: Elaboración propia.

El caudal promedio del efluente (0.36 l/seg) fue similar al del camal de llave-Puno (0.45 l/seg) (Apaza, 2013) y al caudal (0.1-0.34 l/seg) de 3 mataderos en Pichincha-Ecuador (Landaeta, 2009); sin embargo, el volumen de efluente por vacuno beneficiado considerando que el 80-95% del agua utilizada se convierte en efluente (UNE, 2000) es inferior a los volúmenes referidos por UNEP (200) (2-15m³ de agua por Tm de peso vivo) y Muñoz (2005) (1700 l de agua/vacuno) atribuido al menor tamaño de las instalaciones y tipo de faenamiento, utilizándose el agua principalmente para la evacuación de residuos del faenamiento como la sangre, el lavado de vísceras y limpieza.

El volumen promedio de contenido des estómagos (rumen, retículo y omaso) por vacuno con ayuno de 24 horas (52.75 kg/cbz), considerando que la mayor parte corresponde al contenido ruminal es similar al 10-12% del peso vivo (Uicab-Brito y Sandoval,2003), 30-60 kg (Phillipson,1981) y 15-21% del peso vivo (Owens y Goetsch,1988); mayor a 15 kg/vacuno (Guereo y Monsalve, 2006) y 25 kg/bovino en el camal de Riobamba-Ecuador (Castro, 2011); corroborándose que el contenido ruminal de un bovino, aun teniendo 24 hrs. de ayuno al momento del sacrificio, pueden ser por lo menos 30 kg (Rafaelli *et al.*, 2006).

El volumen de sangre recuperada por vacuno (5.95 kg/cbz) fue inferior al volumen de 8-10 l/bovino (Uicab-Brito y Sandoval,2003), 15.45 kg/bovino (Guerrero y Monsalve, 2006), 4% del peso vivo (Beltrán y Perdomo, 2007) y 12 - 15 l/bovino (Castro, 2011); atribuido a que el desangrado de los vacunos se realizó en el piso y en recipientes poco adecuados por lo que más del 50% de la

sangre es evacuada con el efluente constituyendo una de las principales causas de contaminación para el medio ambiente (Castro, 2011).

El comportamiento del caudal del efluente con monitoreos cada media hora, durante el proceso de faenado manifestó variaciones desde 0.02 l/seg a 0.88 l/seg; los valores menores corresponden al momento en el que no se realiza ninguna actividad relacionada la faenamamiento, siendo estos producto del escurrimiento residual de las labores de limpieza y fugas de agua en las instalaciones internas del camal; el primer incremento del caudal (0.12 l/seg) se relacionó al bañado de los animales antes del desangrado, el caudal más elevado (0.88 l/seg) con la evacuación de la sangre no recuperada, un ligero descenso (0.36 l/seg) al momento del desollado, eviscerado, izamiento de los vacunos, y limpieza de vísceras; registrándose un incremento (0.65 l/seg) en el momento de la limpieza final de la playa de faenado del camal, con un continuo descenso, que se relacionó con las actividades de limpieza de vísceras y la zona de vísceras; sólo en un caso se registró el trabajo en dos turnos de faenado el cual se dio a partir de la 13:00 hrs con un volumen menor de caudal en el segundo turno asociado a una menor cantidad de cabezas beneficiadas (Figura 12).

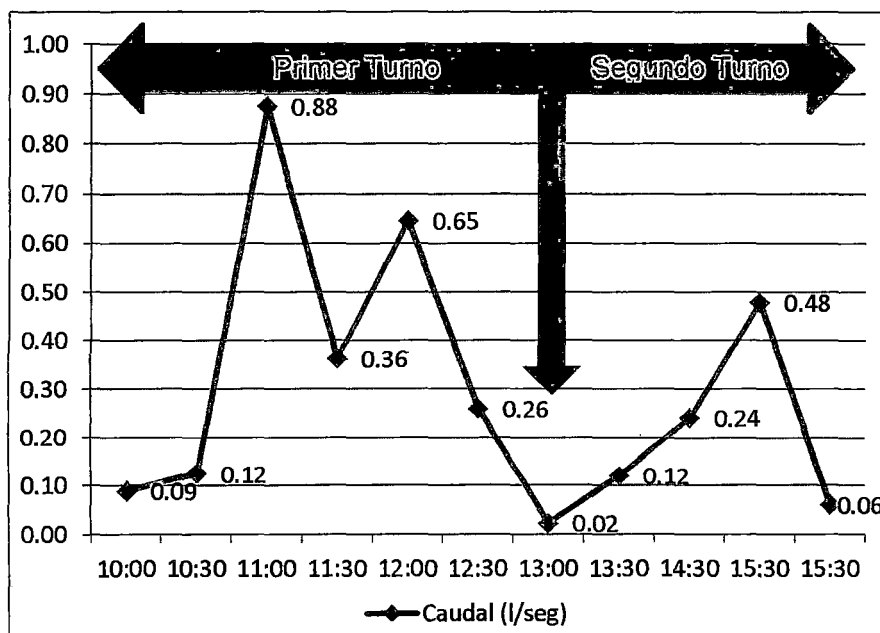


Figura 12: Comportamiento del caudal durante el proceso de faenado en camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

b. Humedad, pH, Conductividad, Materia Orgánica, Nitrógeno Total, Fosforo Total, Potasio Total, Sodio, Relación C/N de subproductos del camal Delicar-Puno

Los subproductos, efluente, contenido de estómagos y sangre, presentaron en promedio un pH de 7.29, 7.20 y 7.34, materia orgánica (MO) de 97.18%, 93.48% y 99.94%; nitrógeno total (N) de 4.33%, 2.07% y 10.23%; potasio total (K) de 6.5%, 35.82% y 5.92%; sodio (Na) de 5.75%, 25.61% y 9.38%; fósforo total (P) de 0.93%, 1.10% y 0.67%; relación carbono/nitrógeno (C/N) de 13.22%, 27.02%, 5.84%, respectivamente; los contenidos de estómagos y sangre tuvieron una humedad promedio de 84.29% y 73.79%, respectivamente, (Figura 13) (ver anexo cuadro 15); resaltando el gran contenido de materia orgánica, siendo

sustratos ideales para los proceso de digestión anaerobia (Lacalle *et al.*, 2010) y principales causas de contaminación para el medio ambiente (Castro, 2011).

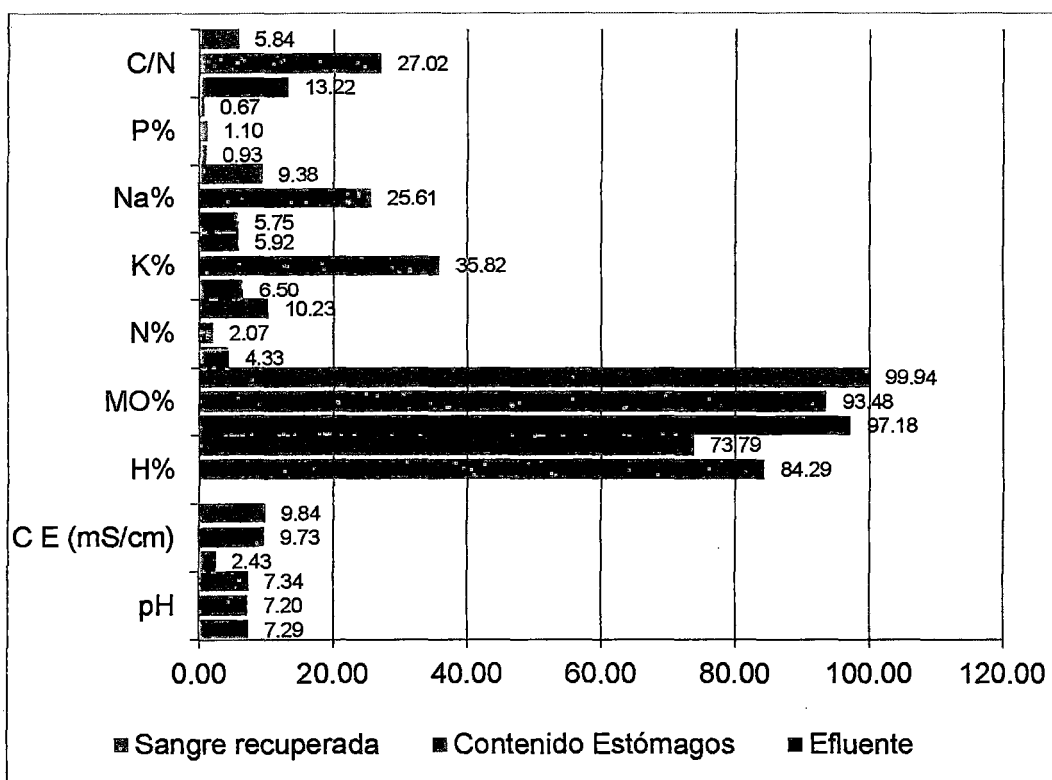


Figura 13: Características físico químicas de subproductos del camal Delicar-Puno, marzo 2013.

El efluente presentó un pH (7.29) promedio dentro de los LMP (6-9) para efluentes de centros de beneficio (MINAM, 2000) y 6.92-8.18 para mataderos en Nigeria (Asibanjo y Adie, 2007); con valor similares a 7.62 en llave (Apaza;2013), 7.4 en México (Castillo *et al.*, 2012), 7.19 en Indonesia (Budyono *et al.*, 2011); superior a 6.5 en Pakistán (Ali *et al.*, 2010), 4.8-5.3 en Nigeria (Atuanya *et al.*, 2012) y 6.8 en Egipto (Seif y Moursy, 2001); menor a 7.7 en Nigeria (Raheem y Morenikeji, 2008) y 7.8-9.2 en Ecuador (Landaeta, 2009).

La conductividad promedio (2.43 mS/cm) del efluente fue similar a 2520 μ S/cm (Koech, 2012), inferior a la conductividad del camal de llave 3387.5 μ S/cm (Apaza, 2013) y superior a 1.7 mS/cm (Castillo *et al.*, 2012); las concentraciones de fósforo (0.93%) y nitrógeno(N) (4.33%) del efluente del camal Delicar, fueron superiores a 7.1 mg/l y 332.2 mg/l, respectivamente, para efluentes de rastros en Mexico (mataderos) (Castillo *et al.*, 2012), y el N del camal Delicar superior a 212 mg/l del camal de Indonesia(Budiyono *et al.*, 2011); el Potasio (6.5%) y Sodio (5.75%) de camal Delicar fue superior a 375.33 mg/l y 975 mg/l, respectivamente, de un matadero en Nigeria (Raheem y Morenikeji, 2008).

Por las características físico químicas del efluente estas sufren una rápida putrefacción, con la aparición de olores nauseabundos en las zonas de disposición (Seoáñez, 1998), que atrae hacia el matadero roedores, canes y aves silvestres; causando impactos negativos al medio ambiente (Atuanya *et al.*, 2012; Asibanjo y Adie, 2007); a su vez adecuado y con gran potencial para el tratamiento anaerobio y producción de biogás (Budiyono *et al.*, 2011; Seif y Moursy, 2001).

Los contenidos de estómagos presentaron un pH promedio (7.2) de mejor calidad por su aproximación al pH neutro y superior a 6.1 reportado en camales de Bolivia (Álvarez *et al.*, 2004) y 6.92 en mezclas de residuos de camal en España (Lacalle *et al.*, 2010). El promedio de conductividad eléctrica (9.73 mS/cm) del contenido de estómagos fue mayor a 2.67 dS/m en mezcla de residuos de mataderos (Lacalle *et al.*, 2010).

La humedad promedio (84.29%) del contenido de estómagos fue similar al 85% (Uicab-Brito y Sandoval, 2003), 86.58% (Álvarez *et al.*, 2004), 84.48% (Rafaelli *et al.*, 2006), 85% (Hómez, 1998) y similar a 10-15% de materia seca (Phillipson, 1981) en contenido ruminal; superior a 79.77% (Budiyono *et al.*, 2011), las diferencias se atribuyen, a la diferencia en los tiempos de ayuno, ya que el ayuno prolongado puede hacer al contenido del rumen más fluido (Phillipson, 1981). La materia orgánica promedio (93.48%) en contenido de estómagos fue similar al 90% (Álvarez *et al.*, 2004) y 90-95% (Palatsi *et al.*, 2010) en contenido ruminal; superior a 78-80% en contenido ruminal en matadero frigorífico de Argentina (Rafaelli *et al.*, 2004).

La relación C/N promedio (27.02) del contenido de estómagos fue similar a 24 en contenidos ruminales en Colombia (Uicab-Brito y Sandoval, 2003); mayor a 15.63 en contenido ruminal en Ecuador (Vélez, 2012). En contenido de estómagos el nitrógeno total promedio (2.07%) fue similar a 2.2% en contenido ruminal (Álvarez *et al.*, 2004) y 2.7% en mezcla de residuos de camal (Lacalle *et al.*, 2010), inferior a 46.71% en contenido ruminal (Hómez; 1998); el promedio de fósforo (1.1%) fue similar a 6600 mg/kg (Álvarez *et al.*, 2004) y superior a 0.36% (Hómez, 1998) de contenidos ruminales; los valores promedio de potasio (35.82%) y sodio (25.61%) fueron superiores a 8800 mg/kg y 20000 mg/kg (Álvarez *et al.*, 2004) en contenido ruminal.

Los contenidos de estómago (contenido ruminal principalmente), por los elevados volúmenes producidos en los centros de matanza y por sus características fisicoquímicas, es una de las mayores fuentes de contaminación

ambiental; sin embargo es una alternativa importante de alimentación animal (Uicab-Brito y Sandoval, 2003) y por tanto un ideales para procesos digestión anaerobia por el alto contenido de MO (Lacalle *et al.*, 2010) y la producción de biogás (Budiyono *et al.*, 2011).

La sangre recuperada en el matadero presentó un pH promedio (7.34) similar a 7.4 (Álvarez *et al.*, 2004) y 6.8 (Fleming y MacAlpine, 2005); humedad promedio (73.79%) similar a 76.97 (Álvarez *et al.*, 2004) y menor a 97% (Guerrero y Monsalve, 2006) y 13.5% de materia seca (Fleming y MacAlpine, 2005) para sangre de vacuno, ello atribuido a que se utilizó y analizó durante la investigación la porción coagulada de la sangre.

La relación C/N promedio (5.84) de la sangre de vacuno fue similar a 4 (Álvarez *et al.*, 2004); mayor a 2 (Uicab-Brito y Sandoval, 2003), 3 (Fernández y Sánchez, 2007) y 3.2 (Fleming y MacAlpine, 2005); menor a 9 (Guerrero y Monsalve, 2006) en sangre de vacuno. En sangre el nitrógeno promedio (10.23%) fue similar al 13% (Beartsch,1995) y 10-14% (Fernández y Sánchez, 2007); menor al 15% (Uicab-Brito y Sandoval, 2003; Álvarez *et al.*, 2004) y 15.8% (Fleming y MacAlpine, 2005); mayor a 3.5% (Readman, 1991) y 7% (Guerrero y Monsalve, 2006) en sangre de vacuno.

El fosforo promedio (0.67%) en sangre fue similar a 0.61% (Fleming y MacAlpine, 2005); menor a 8% (Readman,1991) y 2% (Bertsch,1995); y mayor a 870 mg/l (Álvarez *et al.*, 2004); el potasio promedio (5.92%) en sangre fue superior a 1% (Bertsch, 1995), 2900 mg/kg (Álvarez *et al.*, 2004) y 0.9%

(Fleming y MacAlpine, 2005) para sangre de vacuno. Sodio promedio (9.38%) superior a 12000 mg/kg (Álvarez *et al.*, 2004). La materia orgánica promedio (99.94%) en sangre fue mayor al 96% (Álvarez *et al.*, 2004) y 92-95% (Palatsi *et al.*, 2010) en sangre de mataderos.

Las características fisicoquímicas de los subproductos de camal, le confieren un elevado potencial para la codigestión anaerobia y producción energética, aumentándose su biodisponibilidad con tratamiento térmico (Palatsi *et al.*, 2010) permiten utilizar los subproducto para mejorar la concentración de nutrientes en los abonos, debiendo de cuidarse las cantidades empleadas en las mezclas por su elevada humedad, niveles de grasa y nitrógeno, que sin un manejo adecuado puede provocar una inadecuada compostación o digestión anaerobia.

4.1.1.2 Caracterización microbiológica de sub productos del camal Delicar-Puno.

Todos los subproductos de camal (efluente, contenido de estómagos y sangre recuperada) superaron el límite de detección del método, mostrando una alta carga de Coliformes totales con una moda >2400 NMP/100 ml y una alta carga de Coliformes fecales con una moda >2400 NMP/100 ml.

Los subproductos de camal efluente, contenido de estómagos y sangre recuperada fueron positivos a Salmonella sp con un promedio de 113 UFC/100ml, 317 UFC/g y 28 UFC/g (Figura 14) (ver anexo cuadro 16).

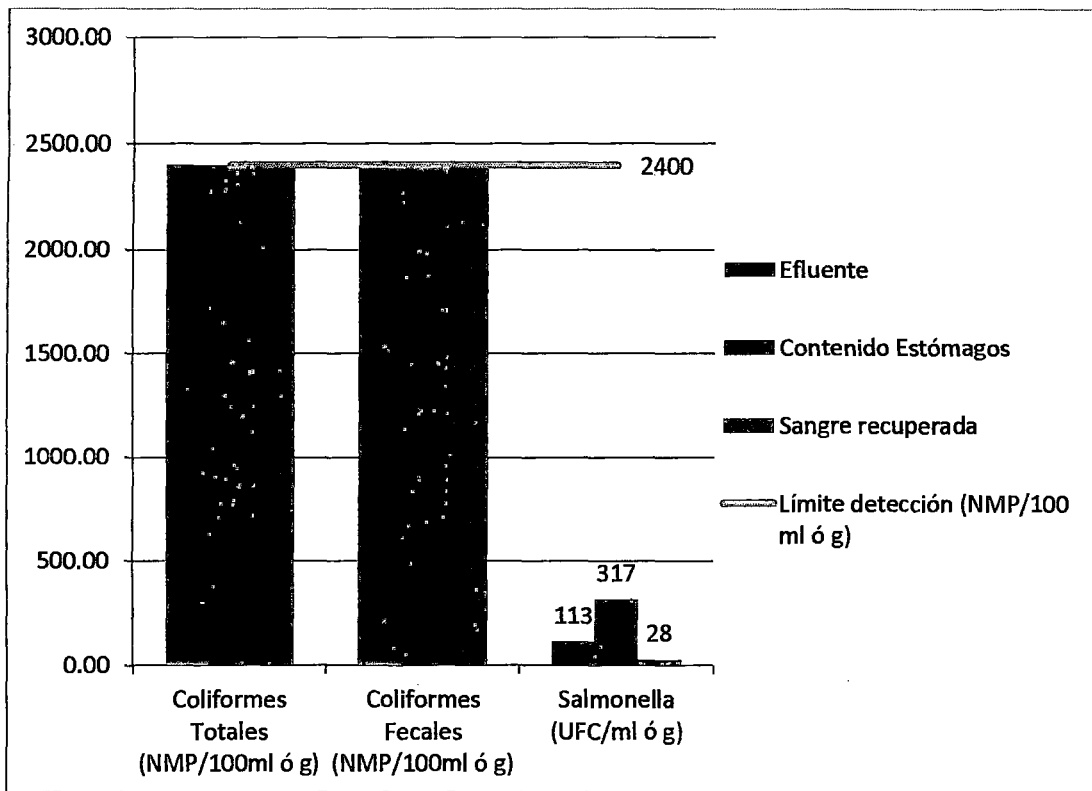


Figura 14: Características microbiológicas de los subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

El efluente presentó un nivel similar de Coliformes totales y fecales (>2400 NMP/100 ml) a 4.8×10^6 a 5.8×10^5 NMP/100ml (Nafamda, 2005) y $1.8-3.3 \times 10^3$ UFC/ml (Atuanya *et al.*, 2012) para efluentes de mataderos en Nigeria; Coliformes fecales mayor a 118.5 NMP/100ml en el camal de llave-Puno (Apaza, 2013) ello atribuido a que en el camal Delicar el efluente no sufrió ningún tratamiento previo.

Todos los subproductos de camal presentaron una alta carga microbiana por lo que se hace necesario un manejo cuidadoso y su tratamiento antes de su utilización.

4.1.1.3 Caracterización de metales en sub productos del camal Delicar-Puno.

Al análisis de metales en contenido estomacal, los metales: Ag, As, B, Be, Li y Tl presentaron niveles menores al límite de detección y ninguno sobrepasó el límite de cuantificación del método, siendo los valores los detallados en el cuadro 11.

Cuadro 11

Metales en contenido de estómagos (sub producto de camal) en camal Delicar-Puno

Metal	Unidad	Contenido de estómagos
Plata (Ag)	mg/kg	<0.12
Aluminio (Al)	mg/kg	22.8
Arsénico (As)	mg/kg	< 0.06
Boro (B)	mg/kg	<0.26
Bario (Ba)	mg/kg	7.7689
Berilio (Be)	mg/kg	<0.00395
Calcio (Ca)	mg/kg	746
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.0352
Cobalto (Co)	mg/kg	0.0082
Cromo ((Cr)	mg/kg	0.0249
Cobre (Cu)	mg/kg	1.122
Hierro (Fe)	mg/kg	59.2
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.1277
Potasio (K)	mg/kg	589
Litio (Li)	mg/kg	<0.0105
Magnesio (Mg)	mg/kg	77.19
Manganeso (Mn)	mg/kg	40.588
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.4571
Sodio (Na)	mg/kg	2680
Niquel (Ni)	mg/kg	0.1661
Fosforo (P)	mg/kg	885.9
Plomo (Pb)	mg/kg	2.623
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.1947
Selenio (Se)	mg/kg	0.2605
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	mg/kg	156.4
Estaño (Sn)	mg/kg	0.1807
Estroncio (Sr)	mg/kg	7.389
Titanio (Ti)	mg/kg	1.6243
Talio (Tl)	mg/kg	<0.065
Vanadio (V)	mg/kg	0.0825
Zinc (Zn)	mg/kg	7.158

Fuente: Elaboración propia, en base a Informe de ensayo del Laboratorio Analítico del Sur-Arequipa, en Junio de 2013.

En los estudios revisados no se tiene referencia de la caracterización en cuanto a metales de los contenidos de estómago en bovinos, por lo que se tomó como referencia el contenido de metales en estiércol de vacuno; el fósforo (885.9 mg/kg), calcio (746 mg/kg), magnesio (77.19 mg/kg), potasio (589 mg/kg), sodio (2680 mg/kg), zinc (7.16 mg/kg), manganeso (40.59 mg/kg), hierro (59.2 mg/kg), cobre (1.12 mg/kg), cadmio (0.035 mg/kg), cromo (0.025 mg/kg) y níquel (0.17 mg/kg) fueron menores a los valores de P (2-2.5%) y K (1.6-2%) (Eghball, 2000); P (9200 mg/kg), K (15000 mg/kg) y Na (1100 mg/kg) (Álvarez *et al.*, 2004); P(0.42-1.08%), Ca (2.9%), Mg (0.01-0.33%), K (0.56-1.89%), Na (0.7%) y Zn (41-272%) (Céspedes, 2005); P (0.1-1.5%), Ca (0.35%), Mg (0.13%), K (0.1%) (Varnero y Arellano, 1990); P (0.6%), Ca (3.2%), Mg (0.8%), K (2.5%), Na (1.6%), Zn (130.6 ppm), Mn (264 ppm) y Fe (<354 ppm) (Romero,1997); P(1.2%), Ca (2.2%), Mg (1.1%) y K (1.8%) (Bertsch, 1995); y P (0.46%) y K(2.5%) (Fleming y MacAlpine, 2004) para estiércol de vacuno en diferentes países.

Por lo que la calidad en cuanto a concentración de metales en contenidos de estómago de vacunos en el camal Delicar-Puno es muy buena. Cumpliendo con los requisitos de materias primas para compostaje en los metales cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc (NCh2880, 2004).

4.1.2 Monitoreo de los procesos de compostaje con subproductos del camal Delicar-Puno.

4.1.2.1 Monitoreo de Temperatura en Procesos de Compostaje.

La temperatura del proceso de compostaje del contenido de estómagos (compost 1) y del proceso de compostaje de contenido de estómagos más sangre (compost 2) fue en promedio de 17.69 °C y 18.78°C, alcanzando una máxima de 36.33°C y 34.67°C, y una mínima al finalizar el ensayo de 6.67°C y 5°C, respectivamente. La temperatura ambiental máxima y mínima en promedio fue de 27°C y -4°C, con valores máximos de 35 °C y 2 °C y mínimos de 14°C y -12°C, respectivamente; ello evidenció una gran variación de la temperatura ambiental con valores menores al finalizar el mes de mayo e inicios del mes de junio (inicio de la época más fría del año) (Figura 15).

En los procesos de compostaje no se detectó malos olores, observándose al finalizar el ensayo que el compost 2 presentó una mayor descomposición, atribuido a la acción física ejercida por la mayor presencia de moscas en el proceso de compostaje. La disminución de las temperaturas ambientales al aproximarse la época más fría en el altiplano, provocó que los roedores eligieran las pilas de compost como madrigueras por la conservación de una temperatura mayor en referencia a las temperaturas ambientales. Los vectores (moscas y roedores) se controlaron con el volteado semanal de las pilas de compost; sin embargo, se tuvo escasos resultados con las moscas y roedores, evitándose que los roedores culminen sus madrigueras.

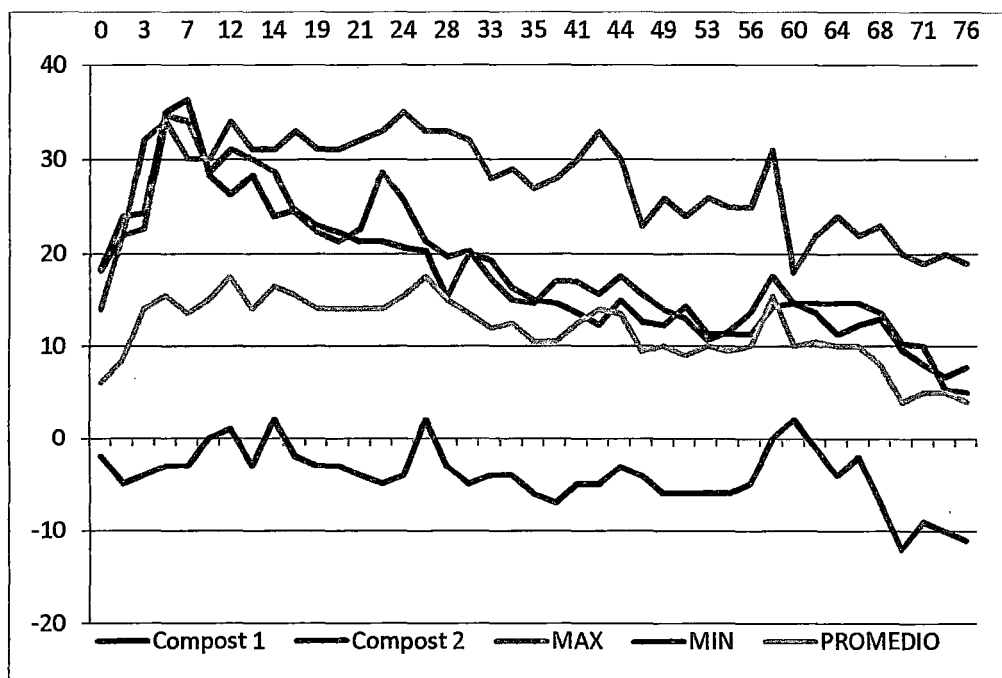


Figura 15: Monitoreo de temperatura de dos procesos de compostaje y temperatura ambiental máxima y mínima en el camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

Entre la temperatura del compost 1 (contenido de estómagos) y 2 (contenido de estómagos más sangre) no hubo diferencias a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 17), la temperatura en las pilas de compost superaron a la temperatura ambiental máxima (34 °C) en la primera semana del ensayo luego de cual decreció constantemente y se mantuvo por debajo de la temperatura ambiental máxima. Las temperaturas promedio máximas alcanzadas 36.33°C y 34.67 °C en compost 1 y 2, respectivamente, durante el proceso de compostaje estuvieron por debajo del óptimo 60°C (Uicab-Brito y Sandoval, 2003), 65-75°C (rango 55-75°C) (Guerrero y Monsalve, 2006), 65-70°C (rango 55-75°C) (Meléndez y Soto, 2003) y rango 45-80°C (Zandvliet,

2009); considerando que el compostaje es un proceso microbiológico bajo condiciones aeróbicas y termófilas (Zandvliet 2009) las bajas temperaturas favorecieron la proliferación de microorganismos mesófilas entre 5-43 °C (Navarro, 2002).

Las temperaturas ambientales mínimas y las temperaturas del proceso de compostaje del compost 1 y 2 presentaron una correlación positiva baja ($r=0.53$); las temperaturas ambientales máximas y las temperaturas del compost 1 presentaron una correlación positiva baja ($r=0.59$); las temperaturas ambientales máximas con las temperaturas del compost 2 tuvieron una correlación positiva alta ($r=0.69$); las temperaturas ambientales promedio y las temperaturas del proceso de compostaje 1 y 2 mostraron una correlación positiva alta ($r=0.67$ y $r=0.77$) (ver anexo cuadro 18).

La correlación positiva alta, corrobora la influencia de la temperatura ambiental sobre la temperatura del proceso de compostaje en altura (Zandvliet, 2009), atribuido a la menor altura de la pila de compost, de acuerdo a lo recomendado de 1 m (Meléndez y Soto, 2003) ó 1.5 m (Palmero, 2010).

4.1.2.2 Monitoreo de Humedad, pH, y Conductividad en Procesos de Compostaje.

En el proceso de compostaje en 75 días, de contenidos de estómagos (C1) y de contenidos de estómagos más sangre (C2) el promedio de humedad inicial fue 82.4% y 81.3%, culminando con 77.2% y 75.3%; el promedio del pH inicial fue de 8.5 y 8.7, culminando con valores mayores de 8.8 y 9.4 para el C1 y C2, respectivamente; el promedio de conductividad inicial fue de 4.8 mS/cm y 11.8 mS/cm, reduciéndose al culminar a 2.6 mS/cm y 3.1 mS/cm, en C1 y C2, respectivamente (Figura 16) (ver detalles en anexo cuadro 19).

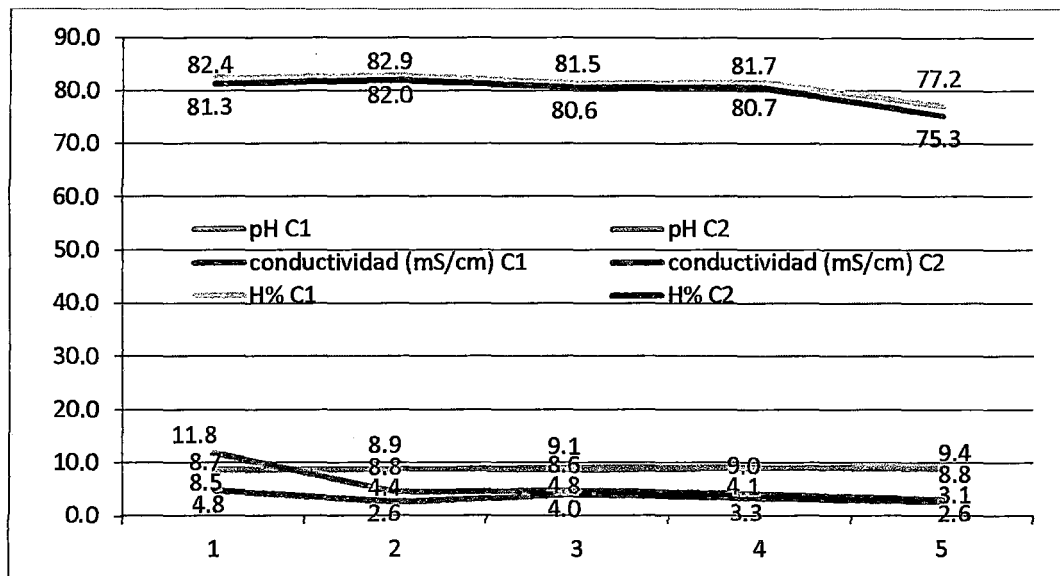


Figura 16: Monitoreo de humedad (H%), pH y conductividad (mS/cm) en pilas de dos procesos de compostaje en el camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

La humedad promedio en el proceso de compostaje de compost 1 (81.15%) y 2 (79.99) no mostraron diferencia estadística a un nivel $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro

20); la humedad promedio estuvo por encima de los óptimos recomendados de 15 a 35% (Uicab-Brito y Sandoval, 2003), 50-60% (rango 40-65%) (Guerrero y Monsalve, 2006) y rango de 40-60% (Palmero, 2010). La investigación no coincidió con la referencia de que humedades superiores al 60% producen anaerobiosis (Uicab-Brito y Sandoval, 2003), atribuido a los volteos semanales recomendado por el mismo autor, y Guerrero y Monsalve (2006); por tanto, la humedad de los subproductos de camal en las mezclas preparadas, no representó un problema para los procesos de compostaje en altura, con una adecuada aireación, y que manejado adecuadamente evita tareas como la incorporación de agua.

El pH promedio de los procesos de compostaje C1 (8.83) y C2 (8.91) no mostraron diferencia estadística a un $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 21) y sus promedios estuvieron por sobre el óptimo de 6.5-7.5 (Uicab-Brito y Sandoval, 2003), rango de 6-8 (Palmero, 2010) y dentro del rango de 5.5-9 (Guerrero y Monsalve, 2006); presumiéndose una menor la compostación, debido a que, valores superiores a 8 (alcalinos) hacen precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son asequibles para los microorganismos (Sztern y Pravia, 1999); sin embargo, los pH del compostaje fueron similares al compostaje de estiércoles de bovinos, superiores a 9 desde el inicio hasta el final del compostaje (Hernández *et al.*, 2004). El compost tuvo una variación mínima del pH en los procesos de compostaje (compost 1 C.V.= 0.02% y compost 2 C.V. =0.03%) con una secesión natural del pH, necesaria para el

proceso y que es acompañada por una sucesión de grupos fisiológicos (Sztern y Pravia, 1999).

El promedio de conductividad eléctrica del C1 (3.46 mS/cm) y C2 (5.63 mS/cm) no fueron diferentes estadísticamente a un $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 22), siendo sus valores promedios superiores a 0.87-2.93 dSm⁻¹ (Hernández *et al.*, 2004); sin embargo, mostró un comportamiento similar a lo referido por el mismo autor en el proceso de compostaje, disminuyendo las conductividades eléctricas en el proceso.

4.1.3 Caracterización de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-Puno.

4.1.3.1 Caracterización físico-químico de dos tipos de compost con sub productos del camal Delicar-Puno.

Los productos de compostaje de contenido de estómagos (compost 1= 100% contenido de estómagos) y de contenido de estómagos más sangre (compost 2= 95% contenido de estómagos y 5%), en promedio registraron un pH de 8.78 y 9.41; conductividad de 2.63 mS/cm y 3.09 mS/cm; humedad (H) de 77.23% y 75.31%; materia orgánica (MO) de 83.27% y 86.33%; nitrógeno total (N) de 2.69% y 2.57; potasio (K) de 33.65% y 31.48%; sodio (Na) de 15.36% y 24.01 %; fosforo (P) de 1.53% y 1.65% y relación de carbono/nitrógeno (C/N) de 17.97 y 19.53, respectivamente, (Figura 17)(ver anexo cuadro 23).

La alta concentración de materia orgánica evidencia la calidad del compost; sin embargo, para sus posibles aplicaciones primeramente debe de reducirse la humedad y tomarse en cuenta el pH alcalino y la concentración de sodio en las muestras.

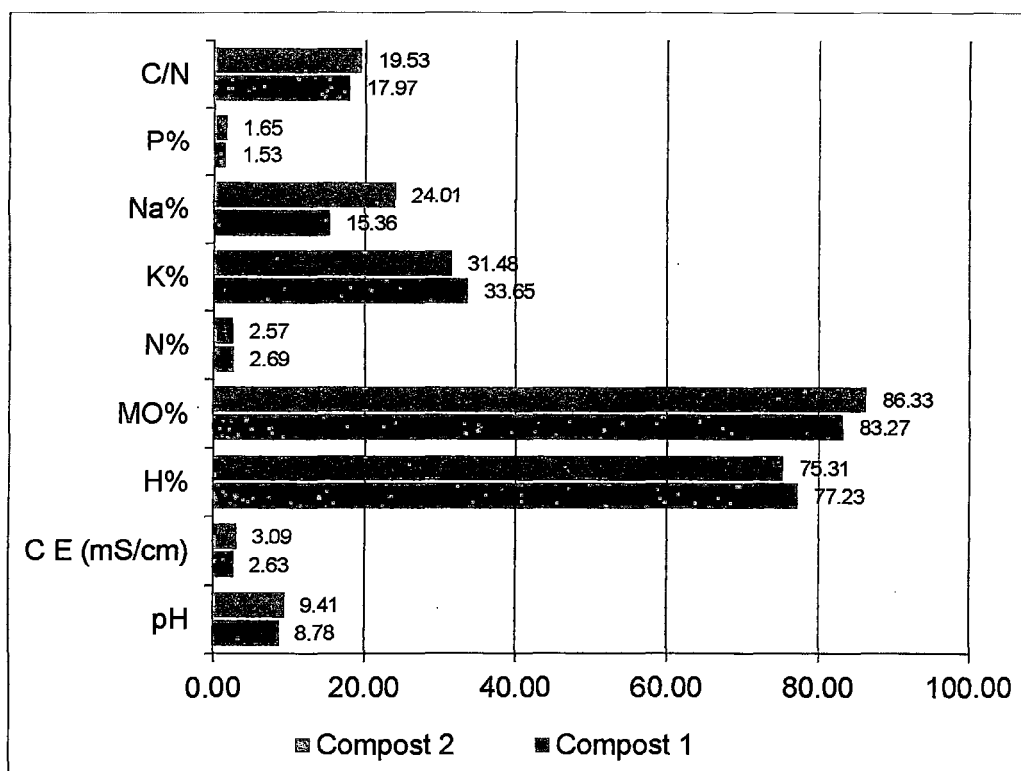


Figura 17: Características físico-químicas de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

Estadísticamente a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadros del 24 al 32) no hubo diferencia entre las características físico-químicas del compost 1 y 2, al día 75 del proceso de compostaje.

El pH del compost 1 y 2 (8.78 y 9.41) fueron similares a 7.4-7.81 (Puma, 2008), 8.16-8.3 (Céspedes, 2005), 8.1 (Fleming y MacAlpine, 2005), 8.46-9.46

(Vásquez de Días *et al.*, 2010) en compost de residuos agrícola-ganaderos y 7.5-8.5 en compost de contenido ruminal con aserrín ó pulpa de café en Ecuador (Vélez, 2012); mayor al pH de 6 en compost de residuos urbanos (Zandvliet, 2009) y 4.9 en compost de lodos residuales de mataderos en México (Vicencio *et al.*, 2011).

La conductividad del compost 1 y 2 (2.63 y 3.09 mS/cm) fueron similares a 2.65-4.96 mmho/cm (Puma, 2008) y 2.92-3.43 dS/m (Céspedes, 2005); inferior a 11.4-19.7 dS/m en compost de residuos sólidos urbanos (Rosal *et al.*, 2007) y 15.7-16.3 dS/m en compost de pulpa de café (Vásquez de Días *et al.*, 2010).

La humedad del compost 1 y 2 (77.23 y 75.31%) fueron similares al 22.6% de materia seca en compost de sangre más estiércol de vacunos (Fleming y MacAlpine, 2005); superior a 25-35% en compost de residuos sólidos urbanos (Zandvliet, 2009), 20% en compost de pulpa de café (Vásquez de Días *et al.*, 2010) y 20-49.36% en compost de contenido ruminal con aserrín ó pulpa de café (Vélez, 2012); atribuido al aislamiento durante el ensayo de las pilas de compost con polietileno que restringió la pérdida de humedad por irradiación solar o su incremento por las precipitaciones pluviales.

La concentración de nitrógeno en compost 1 y 2 (2.69 y 2.57%) cumplieron con (>0.5%) la normatividades para compost de calidad (NCh 2880, 2004), siendo similar a 2.45% para compost de cama animal, aserrín de pino, mezcla balica-trébol y cascarilla de rosa mosqueta en proporciones iguales (Céspedes, 2005) y 2.6-2.9% para compost de la fracción orgánica producto de residuos sólidos

urbanos (Rosal *et al.*, 2007); mayor al 1% en compost de residuos de cocina (CEE, 2008), 2.06-2.33% en compost de pulpa de café (Vásquez de Días *et al.*, 2010), 1.83% en compost de cama animal y aserrín de pino (Céspedes, 2005) y 2.06% en compost de de lodos residuales de mataderos municipales (Vicencio *et al.*, 2011); menor a 3-3.57% en compost de residuos agropecuarios (Puma, 2008) y 3% en compost de sangre y estiércol de vacuno (Fleming y MacAlpine, 2005).

El nivel de fósforo en compost 1 y 2 (1.53 y 1.65%), no fueron similares a ninguno compost. Sin embargo, superior a 1.27% en compost de residuos de granja (Puma, 2008) y 0.2% para la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (Rosal *et al.*, 2007); menores a 6.5% para residuos de cocina referido (CEE, 2008), 2.4% para compost de residuos de granja (Puma, 2008) y 2.06% en compost de lodo residual de matadero (Vicencio *et al.*, 2011).

El sodio en compost 1 y 2 (15.36-24.01%) fueron superiores a 0.02-0.03% en compost de pupa de café (Vásquez de Días, 2010). La materia orgánica del compost 1 y 2 (83.27-86.33%) fueron superior a 56.42-6.37% (Céspedes, 2005), 33-39% (Rosal *et al.*, 2007), 31.57-52.11% en compost de contenido ruminal con aserrín ó pulpa de café (Vélez, 2012) y 64.2% en Compost de lodo residual de matadero (Vicencio *et al.*, 2011); La MO del compost 1 y 2 fueron menores a la MO al de los sustratos utilizados (contenido de estómagos 93.48% y sangre 99.94% y su mezcla), corroborando que la materia orgánica durante el proceso de compostaje decrece por la respiración de la biomasa, generando CO₂ y H₂O

(Rosal *et al.*, 2007); con una pérdida del 10% hasta la maduración del compost (Zandvliet, 2009).

La relación C/N del compost 1 y 2 (17.97 y 19.53) fueron similares a 13.87-17.18 en compost de cama animal, aserrín de pino, mezcla de balica-trébol y cascarilla de rosa mosqueta en proporciones iguales (Céspedes, 2005), 16-20 en compost de residuos sólidos urbanos (Zandvliet, 2009) y 10-23 y compost de pulpa de café (Vásquez de Días, 2010); mayor a 7.1-7.7 en compost de residuos sólidos urbanos (Rosal *et al.*, 2007), 11.80 en compost de sangre y estiércol de vacunos (Fleming y MacAlpine, 2005) y 13.43-16.02 en compost de 45 días de contenido ruminal con aserrín ó cascarilla de café (Vélez, 2012); menor a la relación C/N del principal insumo de los ensayos (contenido de estómagos C/N=27.02). La relación C/N del compost cumplió con el requisito de madurez ($C/N \leq 30$) para el compost (NCh2880, 2004).

4.1.3.2 Caracterización microbiológica de dos tipos de compost con sub productos del camal Delicar-Puno

Los análisis microbiológicos de los productos de compostaje de contenido de estómagos (compost 1) y de contenido de estómagos más sangre (compost 2), dieron como resultado: Coliformes totales mayores al límite de detección del método para los dos compost; Coliformes fecales promedio de 192.67 NMP/g y 70.67 NMP/g y Salmonella sp promedio de 4.67 UFC/g y 3.67 UFC/g, respectivamente (Figura 18) (ver anexo cuadro 33).

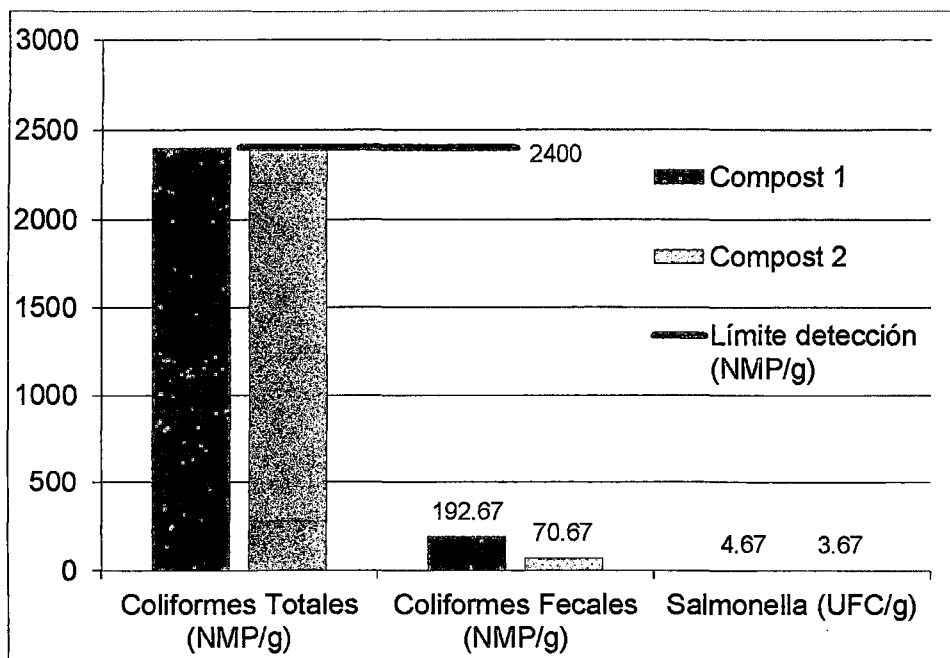


Figura 18: Características microbiológicas de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

No hubo diferencia entre el promedio de Coliformes fecales (192.67, 70.67 NMP/g) y Salmonella (4.67, 3.67 UFC/g) del compost 1 y 2, a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadros 34 y 35) evidenciándose una reducción considerable de Coliformes fecales y salmonella con respecto a los sustratos; difiriendo del compostaje de lodo residual de mataderos en el cual al día 22 fueron eliminados los Coliformes fecales del (Vicencio *et al.*, 2011); el proceso de compostaje no tuvo efecto visible sobre los niveles de Coliformes totales que se mantuvieron sobre el límite de detección del método, atribuido a las menores temperaturas alcanzadas durante el compostaje. El compost 1 y 2 cumplieron con <1000 NMP/g de coliformes fecales para compost de clase A y B, superando los 3 NMP/4g para salmonella (NCh 2880, 2004).

4.1.3.3 Caracterización de metales de dos tipos de compost con sub productos del camal Delicar-Puno.

Los metales plata (Ag), Arsénico (As) y Talio (Tl) estuvieron por debajo del límite de detección del método de análisis para el compost 1 y 2. El berilio (Be) estuvo por debajo del límite de detección para el compost 1 (cuadro 12); por lo que el compost de subproductos de camal en altura muestra una buena calidad en cuanto al contenido de metales atribuido a la escasa contaminación durante la vida de los animales y en el proceso de obtención de los subproductos.

Cuadro 12

Metales en dos tipos de compost con sub productos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013

Metal	Unidad	Compost 1	Compost 2
Plata (Ag)	mg/kg	<0.12	<0.12
Aluminio (Al)	mg/kg	87.7	164
Arsénico (As)	mg/kg	< 0.06	< 0.06
Boro (B)	mg/kg	1.398	0.4291
Bario (Ba)	mg/kg	17.065	20.628
Berilio (Be)	mg/kg	<0.00395	0.007332
Calcio (Ca)	mg/kg	2370	3460
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.09542	0.085
Cobalto (Co)	mg/kg	0.095345	0.226281
Cromo ((Cr)	mg/kg	0.07998	0.35023
Cobre (Cu)	mg/kg	2.937	6.296
Hierro (Fe)	mg/kg	164	479
Mercurio (Hg)	mg/kg	0.98194	0.3601
Potasio (K)	mg/kg	2330	1290
Litio (Li)	mg/kg	0.01534	0.09213
Magnesio (Mg)	mg/kg	249.4	238.8
Manganeso (Mn)	mg/kg	61.059	52.97
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.8531	0.7984
Sodio (Na)	mg/kg	4840	5440
Niquel (Ni)	mg/kg	0.59714	0.56136
Fosforo (P)	mg/kg	2156	2775
Plomo (Pb)	mg/kg	3.254	2.497
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.21317	0.25339
Selenio (Se)	mg/kg	0.484	0.3459
Dioxido de Silicio (SiO2)	mg/kg	359.2	502.6
Estaño (Sn)	mg/kg	0.21263	0.20369
Estroncio (Sr)	mg/kg	21.09	24.07
Titanio (Ti)	mg/kg	4.5013	14.585
Talio (Tl)	mg/kg	<0.065	<0.065
Vanadio (V)	mg/kg	0.38034	1.4381
Zinc (Zn)	mg/kg	11.55	12.46

Fuente: Elaboración propia, en base a informe de ensayo del Laboratorio Analítico del Sur-Arequipa, en junio de 2013.

La concentración de metales en el compost referido por diferentes autores superan los niveles hallados en el compost de subproductos de camal (compost 1 y compost 2) a excepción del calcio (2370, 3460 mg/kg) es similar a 0.30% en compost de residuos agropecuarios en Cabana (Puma, 2008).

Se observa un incremento considerable de la concentración de metales en el compost siendo este en promedio 211% en el compost 1 y 425% en el compost 2 con respecto al principal insumo del compostaje (contenido de estómagos) siendo el Cobalto el que más incrementó su concentración (ver anexo cuadro 36), esto se ajusta, a que la reducción de la materia orgánica provoca un incremento general del contenido de metales (Rosal *et al.*, 2007).

Los dos métodos de elaboración de compost con subproductos de camal en altura no afectaron la composición final de los productos por lo que se acepta la hipótesis nula.

El compost 1 y 2 sobrepasaron la máxima humedad permitida (30-45%) en Chile (NCh 2880, 2004) y ≤ 40 en España (BOE12731, 1998); el pH de ambos compost fue mayor a 5 a 8.5 de la normativa Chilena (NCh 2880, 2004); de acuerdo a su conductividad, el compost 1 cumplió con $<3\text{dS/m}$ de la normativa para el compost de clase A y el compost 2 cumplió sólo para la clase B ($\leq 8\text{dS/m}$ (NCh 2880, 2004); la materia orgánica de ambos compost cumplió con $\geq 20\%$ de la normativa Chilena (NCh 2880,2004) y $\geq 25\%$ de la normativa española (BOE12731, 1998); el nitrógeno, relación C/N, Coliformes fecales, metales (arsénico, cadmio, cobre, mercurio, níquel, plomo y zinc) de ambos tipos de

compost cumplieron con la normativa chilena (NCh 2880, 2004) y Española (BOE12731, 1998).

El compost 1 y 2 con sub productos del camal Delicar, considerando la previa reducción de la humedad cumplen con los requisitos exigidos para un compost de calidad en países como Chile y España atribuido principalmente a la buena calidad de los insumos utilizados.

4.2 Métodos de biodigestión con sub productos de camal.

4.2.1 Monitoreo del proceso de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno

Durante el proceso de biodigestión el promedio de temperaturas ambientales fue de máximas 26.7°C y 37.4°C, mínimas -3.3 °C y -0.4 °C y media 11.7°C y 18.5°C, con una variación de 133.2% y 102.8%, fuera y dentro del invernadero, respectivamente (Figura 19) (ver anexo cuadro 37); temperaturas ambientales menores a lo referido en Tacna para biodigestores familiares de polietileno con estiércol de ovino (Salazar *et al.*, 2012), el incremento de la temperatura favoreció a incrementar la velocidad de las de las reacciones químicas y bioquímicas; sin embargo, las sensibilidad de las bacterias metanogénicas a los cambios de temperatura (Gon, 2008), provocó la escasa producción de metano durante la investigación.

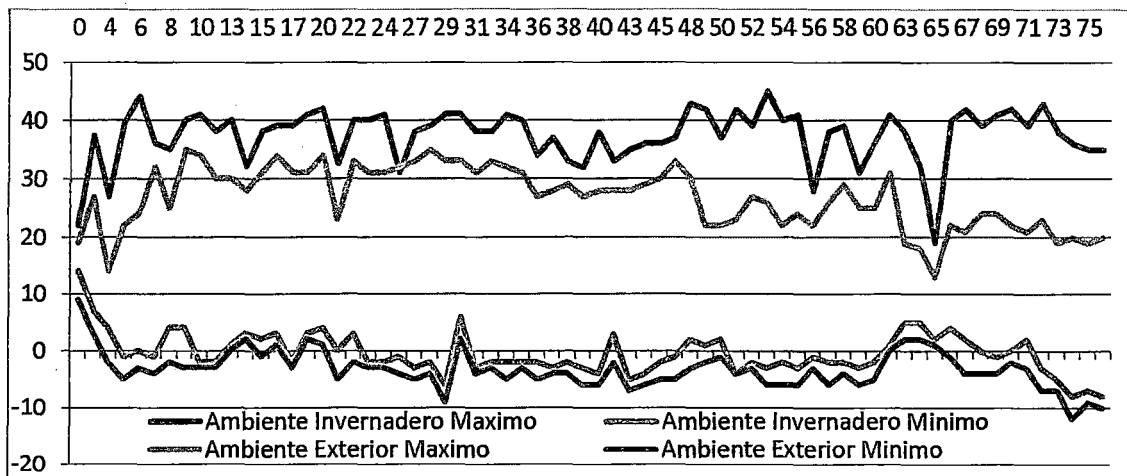


Figura 19: Monitoreo de temperatura ambiental máxima y mínima fuera y dentro de invernadero durante el proceso de biodigestión de los subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

La temperatura ambiental máxima fuera y dentro del invernadero durante el proceso de biodigestión mostraron una diferencia altamente significativa a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 38); la temperatura ambiental mínima fuera y dentro del invernadero durante el proceso de biodigestión mostraron una diferencia altamente significativa a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 39); el grado de asociación entre temperatura ambiental máxima fuera del invernadero y temperatura ambiental máxima dentro del invernadero tuvo un coeficiente de correlación positiva baja ($r=0.42$); y la asociación entre temperatura ambiental mínima fuera del invernadero y temperatura ambiental mínima dentro del invernadero tuvo un coeficiente de correlación positiva muy alta ($r=0.93$) (ver anexo cuadro 40).

Lo anterior indica que el diseño del invernadero instalado para el proceso de biodigestión tuvo una mayor capacidad para concentrar calor durante el día alcanzando valores superiores y con una asociación muy baja a la temperatura externa; sin embargo, las temperaturas mínimas del ambiente acompañadas de fuertes vientos a los 4060 msnm redujeron la capacidad de aislamiento del invernadero durante la noche existiendo una alta influencia en la temperatura mínima externa dentro del invernadero; a pesar de ello las temperaturas en el interior del invernadero fueron mayores a la temperatura del ambiente externo; siendo por ello un ambiente en mejores condiciones de temperatura para la biodigestión.

Por otro lado se observó una mayor concentración de moscas y una fuerte atracción para los roedores quienes dañaron 7 de los 8 biodigestores instalados en el interior del invernadero, pudiendo afectar el proceso de biodigestión por la apertura de agujeros, los mismos que fueron cerrados con la mayor prontitud posible; a fin de garantizar el proceso de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (Werner *et al.*, 1989); por lo que los biodigestores tubulares fabricados en mangas de polietileno resultaron ser poco confiables para el tratamiento de subproductos de camal durante el ensayo.

De acuerdo a los parámetros de biodigestión en el invernadero se tuvo un promedio de temperatura ambiental (11.7°C) mayor a 10°C para la biodigestión en el Altiplano (Martí, 2008), adecuado para una fermentación por microorganismos psicrófilos (<25°C), manteniéndose el rango de temperatura ambiental apropiado para una fermentación psicrófila y mesófila (25-45°C)

(Varnero, 2011). La variación de la temperatura dentro del invernadero fue muy superior (104 %) a la recomendación de temperatura constante ± 1 °C (Ruiz, 2010) y variación de 0.6-1.2 °C/día (Varnero, 2011) que inhibieron el proceso de biodigestión en especial para la producción de biogás.

4.2.2 Caracterización de los productos de dos métodos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno.

4.2.2.1 Caracterización físico-químico de los productos de la biodigestión con sub productos del camal Delicar-Puno.

Los productos de biodigestión de contenido de estómagos con agua (biosol 1 y biol 1) y contenido de estómagos con efluente (biosol 2 y biol 2) muestran los siguientes resultados: biosol 1, biosol 2, biol1 y biol 2 presentaron un promedio de pH de 6.49, 7.57, 6.54 y 7.14; conductividad de 1.45 mS/cm, 2.75 mS/cm, 3.83 mS/cm y 8.2 mS/cm; materia orgánica (MO) 94.23%, 93.80%, 91.15% y 91%; nitrógeno total (N) de 2.24%, 2.18%, 0.05% y 0.13%; potasio total (K) de 16.56%, 17.10%, 2.04% y 5.7%; sodio (Na) de 12.72%, 13.72%, 6.48% y 8.40%; fosforo total (P) de 0.48%, 1.56%, 0.04% y 0.06%; y relación carbono/nitrógeno (C/N) de 24.57, 25.09, 1123.05 y 430.06, respectivamente. La humedad promedio en el biosol1 y biosol 2 fue de 79.01% y 77.02%, respectivamente (Figura 20) (ver anexo cuadro 41).

Los resultados muestran que la incorporación del efluente del camal dio como resultado una mayor concentración de nutrientes en los productos del segundo

tratamiento (biol 2 y biosol 2) que pueden ser aprovechados como abono de buena calidad (Colque *et al.*, 2005).

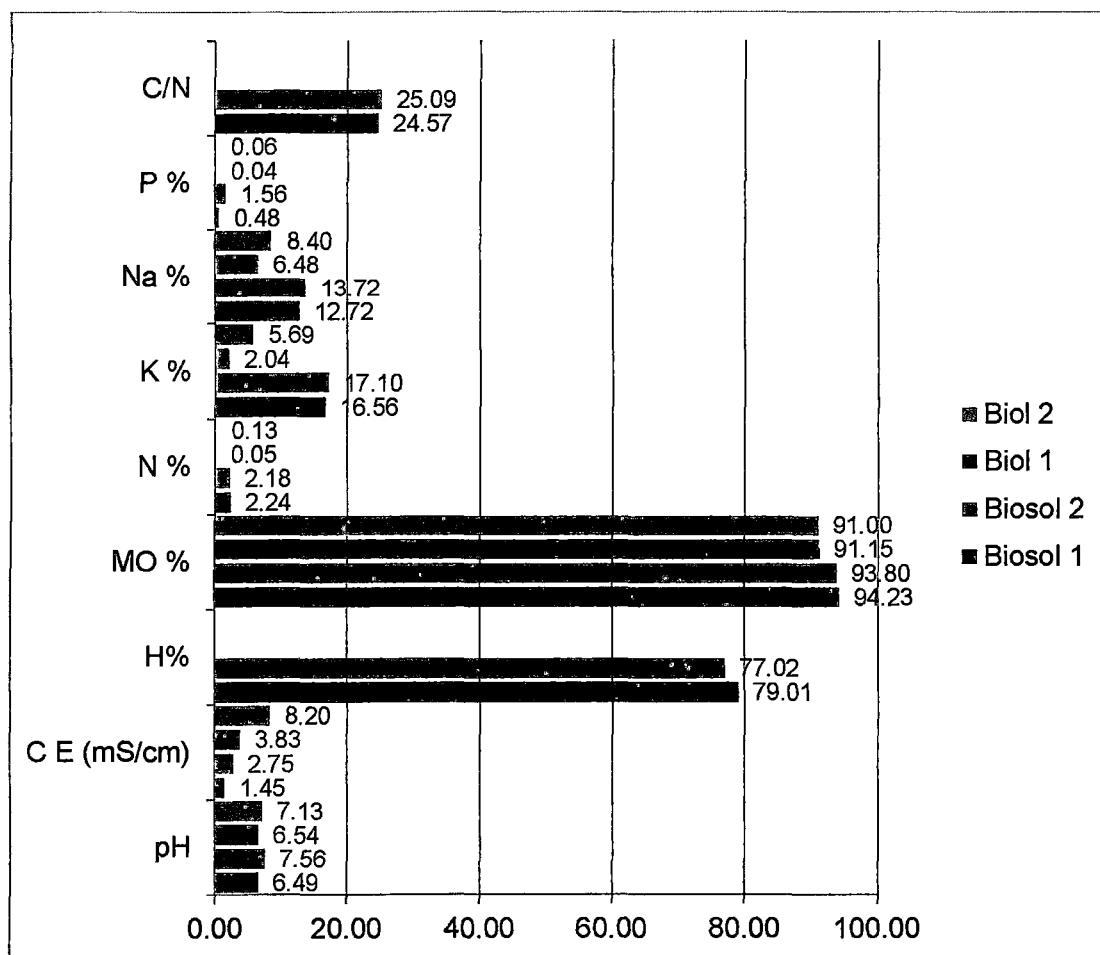


Figura 20: Parámetros fisicoquímicos de los productos de dos procesos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

El pH mostró diferencia significativa entre biosoles (1 y 2) y bioles (1 y 2) a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadros 42 y 43) siendo mayor el pH del biosol 2 (7.56) y biol 2 (7.13); el pH promedio del biosol 1 (6.49) fue menor y el del biosol 2 (7.56) mayor a 7.1 en lodos de digestor anaerobio en Bolivia (Álvarez *et al.*, 2004); los biosoles presentaron un pH mayor al pH (5.6) del lodo

residual proveniente de un matadero en México (Vicencio *et al.*, 2011); el pH del Biol 1 (6.54) y Biol 2 (7.13) se encuentran dentro del rango de 6.7 a 8.1 para biol de estiércol de vacuno con diferentes sustratos (Aparca y Hansen, 2008); el pH del biol 2 fue similar a 7 (Quipuzco *et al.*, 2001) y 7.1 (Álvarez *et al.*, 2004) atribuido a la similitud de sustratos y condiciones de fermentación anaerobia; el pH del biol 1 y 2 fueron superiores a 6.16 (Cordero, 2010), 5.8 (Guanopatin, 2012), 5.4 (Alejandro, 2012) y 4.9 (Wong y Jiménez, 2009) para biol en base a estiércol y contenido de rumen de vacuno, mezclado con diferentes sustratos. Los productos de la biodigestión mostraron una disminución en el pH con respecto a sus sustratos (contenido de estómagos 7.2 y efluente 7.29) que coincide para el biol en base a estiércol fresco de vacuno (de 8.3 a 6.16) (Cordero, 2010); sin embargo, se contrapone a la biodigestión anaerobia de subproductos de camal en Derio-España donde el pH incrementó de 6.5 a 8 (Lacalle *et al.*, 2010).

La conductividad eléctrica mostró diferencia altamente significativa entre biosol 1 (1.45 mS/cm) y 2 (2.75 mS/cm); y biol 1 (3.83 mS/cm), 2 (8.2 mS/cm) a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadros 44 y 45) mostrando una mayor conductividad el tratamiento 2 atribuido a la mezcla del contenido de estómagos de vacuno con efluente del matadero; las conductividades de ambos tratamientos para el biol son menores a 14.4-15.4 dS/m (Quipuzco *et al.*, (2001) y 15.16 mS/cm (Guanopatin, 2012); El biosol y biol presentaron una menor conductividad al del contenido de estómagos (9.73 mS/cm) atribuido a su

mezcla con agua ó efluente (2.43 mS/cm) con menor conductividad y el proceso de biodigestión.

La humedad del biosol 1 y biosol 2 estadísticamente no fueron diferentes a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 46), el biosol puede ser utilizada para el compostaje (NCh2880, 2004) o fines similares al compost (CEE, 2008).

La materia orgánica (MO) en los productos de la biodigestión, estadísticamente no fueron diferentes a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadros 47 y 48), los dos métodos de biodigestión tuvieron un efecto similar sobre este parámetro observándose la disminución de la materia orgánica como producto de los procesos biológicos en la biodigestión (Varnero, 2011), siendo por tanto la digestión anaerobia un proceso adecuado para disminuir la cantidad de MO (Lacalle *et al.*, 2010).

El nitrógeno del biosol 1 (2.24%) y biosol 2 (2.18%) no fueron diferentes a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 49); el nitrógeno del biol 1 (0.05%) y biol 2 (0.13%) estadísticamente fueron diferentes, altamente significativa a un nivel de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 50). La concentración de nitrógeno en el biosol de los tratamientos fue superior a 0.31% (Álvarez *et al.*, 2004) y 1.76% en lodo residual de camal (Vicencio *et al.*, 2011); menor a 4.2-6.3% (Cuetos *et al.*, 2009). El nitrógeno del biol 1 y 2 se encuentran dentro del rango 0.2-2.63 g/kg (Aparca y Hansen, 2008); menor a 1.8% (Guanopatin, 2012) y 0.2% (Wong y Jiménez, 2009); así mismo el nitrógeno del biol 1 fue menor y el

biol 2 mayor a 996.6-1094.5 mg/l (Quipuzco *et al.*, 2001) y 0.56% (Alejandro, 2012).

El potasio del biosol 1 (16.56%) y biosol 2 (17.1%) estadísticamente no fueron diferentes a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 51); el potasio del biol 1 (2.04%) y biol 2 (5.69%) estadísticamente mostraron una diferencia altamente significativa a un $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 52). La concentración del potasio del biosol de ambos tratamientos fueron superiores a 0.072% (Álvarez *et al.*, 2004); la concentración de potasio en biol 1 y 2 fueron también superiores a 2692.4-2930.8 mg/l (Quipuzco *et al.*, 2001), 0.29-4.2g/kg (Aparca y Hansen, 2008), 0.063% (Álvarez *et al.*, 2004), 12 ppm (Jiménez, 2011), 1.16 cmol/kg (Alejandro, 2012) y 0.2% (Wong y Jiménez, 2009), estudios similares sobre biol en base a estiércol y contenido de rumen de bovino.

El sodio del biosol 1 (12.72%) y biosol 2 (13.72%) estadísticamente no fueron diferentes a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 53); el sodio del biol 1 (6.48%) y biol 2 (8.4%) mostraron diferencia significativa a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 54). Los valores promedio de biol 1 y 2 superaron los valores 857.6-922.4 mg/l (Quipuzco *et al.*, 2001), 0.4-2.1g/kg (Aparca y Hansen, 2008), 2.3 ppm (Jiménez, 2011) y 0.3% (Wong y Jiménez, 2009).

La concentración de fósforo en biosol 1 (0.48%) y 2 (1.56%) a un $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 55) y en biol 1 (0.04%) y 2 (0.06%) a un $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 56) estadísticamente mostraron una diferencia altamente significativa. Existen

escasos reportes de concentración de fósforo en lodos o digestato de procesos anaerobios de mataderos, así el biosol 1 y el biosol 2 mostraron un nivel de concentración mayor a 0.091% (Álvarez *et al.*, 2004). El fósforo en biosol 1 y 2 estuvieron dentro de los valores referidos 0.048-1.01g/kg (Aparca y Hansen, 2008); mayores a 224-225.7 mg/l (Quipuzco *et al.*, 2001), 0.01% (Álvarez *et al.*, 2004) y 0.25 ppm (Alejandro, 2012); y menor a 0.1% en fertilizante líquido de contenido de rumen (Wong y Jiménez, 2009).

La relación C/N en biosol 1 (24.57) y 2 (25.09) estadísticamente no fueron diferentes a un $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 57); La relación C/N en biosol 1(1123.05) y biosol 2 (430.06) mostró una diferencia altamente significativa a un $\alpha=0.05$ (ver anexo cuadro 58). La relación C/N del biosol fue muy superior a 4.2-5.9 (Cuetos *et al.*, 2009), indicando que el biosol tuvo una mayor concentración de materia orgánica y mejor calidad como abono; el biosol 1 y 2 tuvieron una alta relación C/N por el bajo contenido de nitrógeno, no existiendo referencia de este parámetro en investigaciones similares.

4.2.2.2 Caracterización microbiológica de los productos de la biodigestión con sub productos del camal Delicar-Puno.

Al análisis de Coliformes Totales todos los productos de la biodigestión de contenido de estómagos con agua (biosol 1 y biosol 1) y contenido de estómagos con efluente (biosol 2 biosol 2) superaron el límite de detección del método (>2400 NMP/100ml ó g). Al análisis de Coliformes Fecales el primer tratamiento superó el límite de detección del método (>2400 NMP/100ml ó g), mientras el segundo

tratamiento mostró una considerable reducción con una moda de 1100 NMP/g en biosol 2 y un promedio de 381 NMP/100ml para biol 2.

Ambos proceso de biodigestión (tratamientos) fueron efectivos para la eliminación de salmonella que no se detectaron en sus productos (biosol y biol) (Figura 21) (ver anexo cuadro 59).

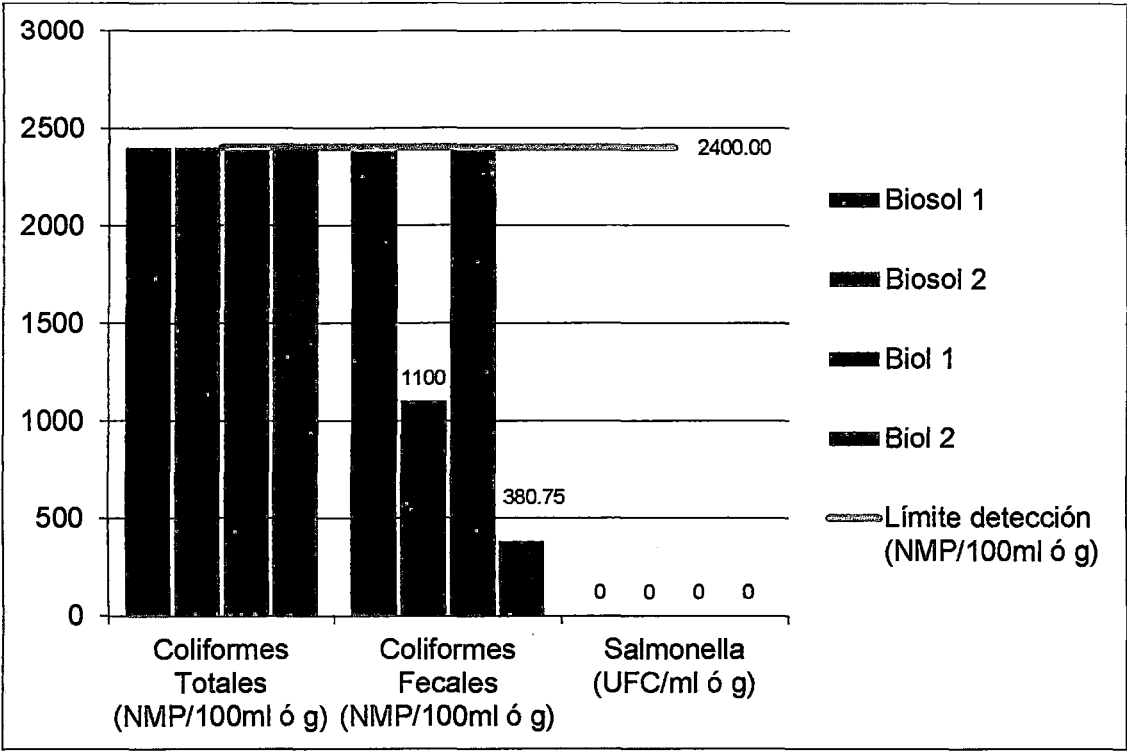


Figura 21: Resultados de análisis microbiológico de los productos de dos procesos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013

Los Coliformes fecales en el biol de los dos tratamientos (380.75->2400 NMP/100ml) se aproximan 1270-6080 NMP/100ml (Quipuzco *et al.*, 2001) y 1295000 UFC/100ml (Issah *et al.*, 2012). Los dos tratamiento de biodigestión

resultaron ser muy eficientes para el control de salmonella, más no así para Coliformes totales y fecales, permaneciendo los Coliformes totales en las cantidades similares a la de los insumos utilizados en ambos tratamientos; y los Coliformes fecales mostraron un descenso en el segundo tratamiento de biodigestión (biosol 2 y biol2), con ello se corrobora que los productos finales de la digestión anaerobia generalmente están tan contaminados lo cual dificulta su utilización (CEE, 2008). El tratamiento anaerobio en altura resultó mejor a lo referido en Accra-Ghana para salmonella, donde se obtuvo la reducción del 50 al 70% en el efluente de un digestor anaerobio al tratar excrementos humanos y residuos de frutas (Issah *et al.*, 2012).

4.2.2.3 Caracterización de metales en los productos de la biodigestión en compost con sub productos del camal Delicar-Puno.

Los productos de la biodigestión de contenido de estómagos con agua (biosol 1 y biol 1) y contenido de estómagos con efluente (biosol 2 biol 2) al análisis de metales tuvieron un nivel menor al límite de detección del método para plata, arsénico, berilio y talio para todas las muestras; boro y litio para biosol 1 y biosol 2; cobalto para biosol 1 y sodio para biol 1 y biol 2 (cuadro 13).

Cuadro 13

Metales en productos de dos procesos de biodigestión con sub productos del camal Delicar-Puno, marzo-mayo de 2013.

Metal	Unidad	Biodigestión 1		Biodigestión 2	
		Biol 1	Biol 2	Biosol 1	Biosol 2
Plata (Ag)	mg/kg	<0.0024	<0.0024	<0.12	<0.12
Aluminio (Al)	mg/kg	0.712	1.2	33.8	66.6
Arsénico (As)	mg/kg	< 0.0012	< 0.0012	< 0.06	< 0.06
Boro (B)	mg/kg	0.1199	0.1456	<0.26	<0.26
Bario (Ba)	mg/kg	0.40729	0.40095	5.324	8.0357
Berilio (Be)	mg/kg	< 0.000079	< 0.000079	<0.00395	<0.00395
Calcio (Ca)	mg/kg	82.5	78.4	658	771
Cadmio (Cd)	mg/kg	0.001	0.00198	0.01888	0.03681
Cobalto (Co)	mg/kg	0.001094	0.003237	<0.0047	0.010956
Cromo ((Cr)	mg/kg	0.00102	0.00117	0.04511	0.12256
Cobre (Cu)	mg/kg	0.0345	0.0578	1.291	1.362
Hierro (Fe)	mg/kg	2.88	4.76	63.5	123
Mercurio (Hg)	mg/kg	<0.00041	<0.00041	1.5485	2.8252
Potasio (K)	mg/kg	173	248	253	348
Litio (Li)	mg/kg	0.00481	0.01529	<0.0105	<0.0105
Magnesio (Mg)	mg/kg	15.01	20.47	56.74	71.56
Manganeso (Mn)	mg/kg	1.1174	0.88776	10.548	15.39
Molibdeno (Mo)	mg/kg	0.01558	0.023	0.4129	0.51804
Sodio (Na)	mg/kg	>250	>250	810	1110
Niquel (Ni)	mg/kg	0.00605	0.00764	0.25737	0.20249
Fosforo (P)	mg/kg	170.2	215.2	393.6	497.9
Plomo (Pb)	mg/kg	0.0682	0.0782	2.166	2.572
Antimonio (Sb)	mg/kg	0.00428	0.00473	0.18935	0.23144
Selenio (Se)	mg/kg	0.0104	0.0104	0.3066	0.3484
Dioxido de Silicio (SiO2)	mg/kg	89.8	73.58	209.9	274.7
Estaño (Sn)	mg/kg	0.00315	0.00657	0.12327	0.20804
Estroncio (Sr)	mg/kg	0.8499	0.9974	5.502	6.554
Titanio (Ti)	mg/kg	0.04247	0.07626	2.2813	4.937
Talio (Tl)	mg/kg	<0.0013	<0.0013	<0.065	<0.065
Vanadio (V)	mg/kg	0.00247	0.00668	0.17262	0.32426
Zinc (Zn)	mg/kg	0.1444	0.2897	3.672	4.744

Fuente: Elaboración propia, en base a informe de ensayo del Laboratorio Analítico del Sur-Arequipa, en junio de 2013.

El biol 1 (82.5 mg/kg) y 2 (78.4 mg/kg) mostraron un nivel de calcio menor a 1132-1172.6 mg/l (Quipuzco *et al.*, 2001), 0.5-2.1 g/kg (Aparca y Hansen, 2008), 0.2% (Guanopatin, 2012; Wong y Jiménez, 2009) en los que se ha utilizado como sustrato estiércol de vacuno y contenido de rumen; mayor a 0.056 g/kg para biol de residuos de plátanos (Aparca y Hansen, 2008). El nivel de magnesio en biol 1 (15.01 mg/kg) y 2 (20.47 mg/kg) fue menor a 500-544.4 mg/l (Quispuzco *et al.*, 2001), 0.131-0.38g/kg y 0.135% (Aparca y Hansen (2008), 0.1% (Guanopatin, 2012) y 2.4 ppm (Jiménez, 2011).

Los metales aluminio y zinc en biol 1 (0.712-0 y 0.14 mg/kg), biol 2 (1.2 y 0.28 mg/kg) presentaron valores mayores a 0.04 mg/kg y 0.05 mg/l, respectivamente (Aparca y Hansen, 2008), la concentración de Zn en los bioles fue menor a 36.7 ppm (Guanopatin, 2012) y 6.5 ppm (Jiménez, 2011) en bioles de estiércol de bovino. La concentración de boro en biol 1 (0.12 mg/kg) y 2 (0.15 mg/kg) fue menor a 0.56 mg/kg (Aparca y Hansen, 2008) y 28 ppm en biol de hacienda (Jiménez, 2011). La concentración de cobre en biol 1 (0.034 mg/kg) y 2 (0.058 mg/kg) fue menor a 78 ppm (Guanopatin, 2012) y similar a <6.4 ppm en biol de hacienda (Jiménez, 2011). La concentración de manganeso en biol 1 (1.12 mg/kg) y 2 (0.89 mg/kg) fue menor a 89 ppm en biol de estiércol de bovino (Guanopatin, 2012) y 44 ppm en biol de hacienda (Jiménez, 2011). La concentración de hierro en biol 1 (2.88 mg/kg) y 2 (4.76 mg/kg) fue menor a 179 ppm en biol de hacienda (Jiménez, 2011). La concentración de molibdeno en biol 1 (0.016 mg/kg) y 2 (0.023 mg/kg) fue similar a <9.6 ppm en biol de hacienda en Pichincha-Ecuador (Jiménez, 2011).

El potasio mediante este método fue en biol 1 (173 mg/kg), biol 2 (248 mg/kg), biosol 1 (253 mg/kg) y biosol 2 (348 mg/kg). La concentración del potasio del biosol en ambos tratamientos fue menor a 0.072% (Álvarez *et al.*, 2004); la concentración de potasio en biol 1 y 2 fueron menores a 2692.4-2930.8 mg/l (Quipuzco *et al.*, 2001), 0.063% (Álvarez *et al.*, 2004), 1.16 cmol/kg (Alejandro, 2012) y 0.2% (Wong y Jiménez, 2009); dentro del rango de 0.29-4.2g/kg (Aparca y Hansen, 2008); y mayor a 12 ppm (Jiménez, 2011), estudios similares sobre biol en base a estiércol y contenido de rumen de bovino.

El sodio mediante este método fue en biol 1 (>250 mg/kg), biol 2 (>250 mg/kg), biosol 1 (810 mg/kg) y biosol 2 (1110 mg/kg); Los valores de biol 1 y 2 fueron similares a 857.6-922.4 mg/l (Quipuzco *et al.*, 2001), 0.4-2.1g/kg (Aparca y Hansen, 2008) y 0.3% (Wong y Jiménez, 2009) y 480 ppm (Colque *et al.*, 2005); y mayor a 2.3 ppm (Jiménez, 2011).

Los dos métodos de biodigestión con subproductos de camal en altura afectaron la composición final del biol y biosol por lo que se rechaza la hipótesis planteada.

Los resultados de los procesos de biodigestión con subproductos de camal en altura mostraron que el segundo tratamiento permitió el mejor aprovechamiento de los residuos, sus productos, el biol (parte líquida) y biosol (parte semisólida), presentaron mayor concentración de nutrientes y una baja concentración de metales que no influyeron en los procesos de biodigestión siendo por tanto este tratamiento el más adecuado que optimiza la composición final de los abonos.

CONCLUSIONES

Primera.

El volumen de subproductos del camal Delicar en Puno fue de contenido de estómagos 52.75 kg/vacuno, sangre recuperada 5.95 kg/vacuno y efluente 328.77 l/vacuno; el efluente muestra un alto contenido de materia orgánica (97.18%), nitrógeno (4.33%), potasio (6.5%), fósforo (0.93%) y sodio (5.75%), sufriendo una rápida putrefacción; todos los subproductos mostraron una buena calidad para el compostaje y la biodigestión. Los métodos de compostaje (compost 1=contenido de estómagos y compost 2= contenido de estómagos 95% + sangre 5%), durante el proceso no mostraron diferencia en temperatura (17.69 °C y 18.78°C), pH (8.83 y 8.91), humedad (81.15% y 79.99%) y conductividad (3.46 mS/cm y 5.63mS/cm); la temperatura permitió un compostaje psicrófilo y mesófilo, con una correlación positiva alta entre la temperatura ambiental y la temperatura de las pilas de compost ($r=0.67$, $r=0.77$). El compost de subproductos de camal en altura (compost 1 y compost 2) al día 75 no mostraron diferencias en sus características físicas, químicas y

microbiológicas, considerándose maduro de acuerdo a la norma chilena, y con un nivel de metales muy por debajo de los límites permitidos; el compost previa reducción de la humedad cumplen con los requisitos exigidos para un compost de calidad en países como Chile y España; resultando ambos tratamientos una tecnología adecuada para el tratamiento y valorización de los residuos de camal en altura.

Segunda.

El monitoreo de temperaturas ambientales máximas (26.7°C y 37.4°C) y mínimas (-3.3 °C y -0.4 °C) brindaron las condiciones para una biodigestión por fermentación psicrófila (<25°C) y mesófila (25-45°C), con una variación muy alta (104%) que inhibió el proceso de biodigestión. Los métodos de biodigestión 1 (contenido de estómagos más agua) y biodigestión 2 (contenido de estómagos más efluente), con un tiempo de retención de 75 días, mostraron diferencias en los niveles de pH, conductividad y fósforo para todos sus productos; diferencias en la composición de sus productos biol1 y biol 2 en nitrógeno(0.05% y 0.13%), potasio (2.04% y 5.7%), sodio (6.48% y 8.40%) y relación C/N (1123.05 y 430.06); los tratamientos no influyeron en los niveles de materia orgánica en todos los productos de la biodigestión; los tratamientos no mostraron influencia en la composición del biosol 1 y biosol 2 en humedad (79.01% y 77.02%), nitrógeno (2.24%, 2.18%), potasio (16.56%, 17.10%), sodio (12.72%, 13.72%) y relación C/N (24.57, 25.09); observándose una baja concentración de metales en ambos métodos de biodigestión. El segundo tratamiento de biodigestión, permitió el mejor aprovechamiento y valorización de contenido de estómagos y

efluente, mostrando una mayor concentración de nutrientes en sus productos, mayor remoción de Coliformes fecales y eliminación de Salmonella; mejorando la composición final del biol y biosol que pueden ser usados para fertilización de cultivos.

RECOMENDACIONES

Con la experiencia de haber desarrollado esta investigación se recomienda la realización de lo siguiente:

- Evaluar las dosis de aplicación de compost con subproductos de camal para cultivos orgánicos y según tipo de suelo.
- Evaluar las dosis de aplicación de los productos de la biodigestión (biol y biosol) con subproductos de camal para cultivos orgánicos y según tipo de suelos.
- Recuperar y valorizar la totalidad de subproductos de camal en sistemas controlados que reduzcan los efectos ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEJANDRO A., 2012, "Utilización de un Biofertilizante Líquido en Maíz (*Zea mays L.*) Bajo Condiciones del Trópico Húmedo" Tesis, Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Tabasco-México.
- ALI A., NISAR H., AND AKBER H., 2010, "The Slaughter House Waste Management" Hydro Nepal, Issue N° 7, Pakistan.
- ALVARES R, RIERA V Y VILLCA S, 2004, "Producción Anaeróbica de Biogás, Aprovechamiento de los Residuos de Matadero y Mercado" Proyecto 09 Cámara Nacional de Industrias – Instituto de Investigaciones en Procesos Químicos, Ingeniería Química, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz-Bolivia.
- AOAC, 1980, "Official Methods of Analysis", Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
- APARCA S., Y JANSEN A. 2008 "Estudio Sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso (Fermentación Anaeróbica) para Producción de

- Biogás” Professional energy and environmental consultancy, German ProfEC GmbH-Alemania, German ProfEC-Perú SAC Lima-Perú.
- APAZA, D., 2013 “Efecto de los Efluentes Residuales del Camal en la Calidad de Agua del Rio Ilave-Puno y su Efecto Socioeconómico” tesis, Escuela de Post Grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Perú.
- APHA, 1999, “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.
- APHA, AWWA, WFF., 1992, “3500 Na .D - Flame Emission Photometric Methods” Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, 18th edition. USA Washington, DC.
- ARAUJO O Y VERGARA J, 2007, “Propiedades físicas y químicas del rumen” XX reunión ALPA, XXX reunión APPA, Cusco-Perú.
- ATUANYA E., NWOGU N., Y AKPOR E., 2012, “Effluent Qualities of Government and Private Abattoirs and Their Effects on Ikpoba River, Benin City, Edo State, Nigeria” *Advances in Biological Research* 6 (5): 196-201, 2012, IDOSI Publications.
- BALDEÓN P., 2009, “Efecto de la aplicación de biol activado y silicio en la calidad del cultivo de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) en Latacunga, Ecuador” proyecto especial, Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras.
- BELTRÁN C., Y PERDOMO W., 2007, “Aprovechamiento de la sangre de bovino para la obtención de harina de sangre y plasma en el matadero Santa Cruz

- de Malambo Atlántico” trabajo de grado, Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería de Alimentos, Bogotá D.C., Colombia.
- BENGTSSON G., BENGTSSON P., Y MANSSON K., 2003, “Gross nitrogen mineralization and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity”, *Soil Biology and Biochemistry*.
- BERH G. 2002, “Gestión Ambiental en la Industria Cárnica” Secretaria de agricultura ganadería pesca y alimentos. Dirección de promoción de la calidad alimentaria - Argentina.
- BERTSCH, F. 1995, “La fertilidad de los suelos y su manejo” Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 157 p.
- BOE 12731, 1998, “Sobre Fertilizantes y Afines” Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, BOE núm. 131, martes 2 de junio 1998 Madrid, España.
- BUDIYONO, WIDIASA I., JOHARI S., Y SUNARSO, 2011, “Study on Slaughterhouse Wastes Potency and Characteristic for Biogas Production” *Internat. J. of Waste Resources*, Vol. 1(2):4-7, Sept. 2011, Semarang, Indonesia.
- CANO, S., 2006, “Métodos de Análisis Microbiológico Normas ISO, UNE...” *Analiza Calida*, Departamento de Formación, Burgos, España.
- CASTILLO E., BOLIO A., MÉNDEZ R., OSORIO J., Y PAT R., 2012, “Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional” *Revista Académica de la Facultad de Ingeniería*, Universidad Autónoma de Yucatán, México
- CASTRO M., 2011, “Manual para el Manejo Adecuado de los Residuos Sólidos Generados por el Camal Municipal de Riobamba” Tesis de Grado, Facultad

de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas y Ambientales, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

CCE, 2008, "Libro Verde: Sobre la Gestión de los Bio residuos en la Unión Europea" Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas.

CÉSPEDES M., 2005, "Agricultura Orgánica - Principios y Prácticas de Producción" Boletín INIA-Nº131, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura-INIA, Fundación para la Innovación Agraria, Chillán, Chile

CLIFT R. 1995, "Clean Technology-An introduction" Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Vol. 62.

COLQUE T., RODRÍGUEZ D., MUJICA A., CANAHUA A., APAZA V., Y JACOBSEN S., 2005, "Producción de Biol, Abono Líquido Natural y Ecológico" Proyecto quinua orgánica, Scanagri, INIA, Estación Experimental Illapa de Puno-Perú.

CONAMA. 1998. "Guía para el control y prevención de la Contaminación industrial. Industria procesadora de la carne". Santiago de Chile.

CORDERO I., 2010, "Aplicación de Biol a Partir de Residuos: Ganaderos, de Cuy y Gallinaza, en Cultivos de *Raphanus sativus* / para Determinar su Incidencia en la Calidad del Suelo para Agricultura" Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Cueca-Ecuador.

CUETOS M, GÓMEZ X, OTERO M, MORÁN A, 2009, "Anaerobic digestion of solid slaughterhouse waste: study of biological stabilization by Fourier Transform infrared spectroscopy and thermogravimetry combined with mass

spectrometry” Springer Science+ Business Media B.V., Institute of Natural Resources (IRENA), University of León, Spain and Centre for Environment and Marine Studies (CESAM), Department of Chemistry, Campus Universitario de Santiago, University of Aveiro, Portugal.

DIRECTIVA 2006/12/CE, “Relativa a los Residuos”, del Parlamento Europeo y del Consejo, Diario Oficial de la Unión Europea, 27 de abril de 2006.

DECRETO SUPREMO N° 044-2006-AG, “Reglamento Técnico para los Productos Orgánicos” Normas Legales, El Peruano, Perú.

EGHBALL, B., 2000, “Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost”, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(6)

EPA, 2007, “Method 6010C - Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry”, Revisión 3 february 2007.

FERNÁNDEZ, A Y SÁNCHEZ, M, 2007, “Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos”, Dirección Provincial de Servicios Comunes de la Ciudad de la Habana, Laboratorio de Análisis de Residuos, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, Cuba.

FLEMING, R., y MACALPINE M, 2005, “Composting Blood (Slaughterhouse Waste) Mixed With Various Substrates” - Final Report - Ridgetown College - University of Guelph Ridgetown, Canadá.

GAETE A., 1979, “Teoría y Aplicación de la Transformación de Variables en Geografía” Norte Grande, Instituto de Geografía, Universidad Católica de Chile.

- GARCÍA A. 2000, "Evaluación de una tecnología de reutilización de lodos mediante el proceso de compostaje". Tesis (Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali.
- GIUMA, 1997, "Determinación de Fósforo Total en Todo Tipo de Fertilizantes, Determinación de Potasio en Fertilizantes por Fotometría de Llama Previa Extracción con Ácidos", Grupo Interinstitucional para Uniformar Métodos Analíticos, Método AOAC.
- GON, L, 2008, "Guía para Proyectos de Biodigestión en Establecimientos Agropecuarios" Aporte al proyecto de Investigación "Transferencia y Aplicación de Dos Alternativas de Manejo y Disposición Final de Residuos Orgánicos Generados en Explotaciones Agropecuarias de la Zona de la Ciudad de Crespo, Entre Ríos" Instituto Tecnológico Universitario-Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Autónoma de Entre Ríos, Argentina.
- GUANOPATÍN R., 2012, "Aplicación de Biol en el Cultivo Establecido de Alfalfa (*Medicago sativa*)" Trabajo de Investigación, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad Técnica de Ambato, Cevallos - Ecuador.
- GUERRERO J Y MONSALVE J, 2006, "El Compostaje como una Estrategia de Producción Más Limpia en los Centros de Beneficio Animal del Departamento de Risaralda" Scientia et Technica Año XII, No 32, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- HARTZ, T., MITCHELL J., AND GIANNINI C., 2000. Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and compost. HotScience 35(2)

- HERNÁNDEZ, A., 2001, "Depuración y Desinfección de Aguas Residuales"
Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Ed.Thomson
Learning Paraninfo Magallanes, Madrid, España.
- HERNÁNDEZ A., LÓPEZ R., RODRÍGUEZ A., Y BARRIOS J., 2004,
"Temperatura pH y Conductividad Eléctrica en el Compostaje de Estiércoles"
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- HERNÁNDEZ R., FERNÁNDEZ C., Y BAPTISTA P., 2003, "Metodología de la
Investigación" Tercera Edición, Mc Graw Hill, México.
- HÓMEZ M, 1998, "Aspectos Descriptivos Técnicos para el Aprovechamiento de
los Residuos Orgánicos Generados en un Matadero Municipal para
Procesos de Compostaje y Lombricultura - Colombia" Asociación Peruana
de Ingeniería Sanitaria y Ambiental-AIDIS, Gestión ambiental en el siglo XXI,
Lima, APIS, Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental,
Lima
- IBAÑEZ V., 2000, "Aplicaciones Estadísticas en Ganadería" Facultad de
Ingeniería Estadística e Informática, Instituto de Investigación de Bovinos y
Ovinos, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- IBAÑEZ V., 2003, "Métodos estadísticos- Regresión Lineal Múltiple y no Lineal"
Facultad de Ingeniería Estadística e Informática, Universidad Nacional del
Altiplano, Puno, Perú.
- INEI, 2013, "El Nuevo Rostro del Campo" IV Censo Nacional Agropecuario,
Resultados Preliminares a Nivel Provincial, Instituto Nacional de Estadística
e Informática, Ministerio de Agricultura, Perú.

- ISSAH A., AKLAKU E., Y SALIFU T., 2012, "Comparative Study of Effluent for Pollution Indicators and Indicator Pathogenic Organisms from Anaerobic Digesters from Human and Fruit Wastes" ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, Asian Research Publishing Network (ARPN), Ghana.
- JIMÉNEZ E., 2011, "Aplicación de Biol y Fertilización Química en la Rehabilitación de Praderas, Aloag – Pichincha" Trabajo de investigación, Carrera de Ciencias Agropecuarias I. A. S. A., Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador.
- KOECH H., OGEDI G., AND KIPKEMBOI J., 2012, "Status of Treated Slaughter-House Effluent and its Effects on the Physico-Chemical Characteristics of Surface Water in Kavuthi Stream, Dagoretti-Kenya" Research Journal of Environmental and Earth Sciences, Kenia.
- LACALLE A., ESCUDERO A., BLANCO F., PINTO M., 2010, "Anaerobic Digestion of Solid Slaughterhouse Waste at Laboratory Scale" NEIKER-TECNALIA Basque Institute for Agricultural Research and Development, Derio –Spain.
- LANDETA M., 2009, "Diseño de Estrategias para Mitigar el Impacto Ambiental Negativo Causado por los Desechos Sólidos y Líquidos Generados en los Procesos de Recepción y Faenamiento en Camales Municipales de Carchi, Imbabura y Norte de Pichincha" Informe Final de Proyecto, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Pontificia Universidad Católica de Ecuador, Ibarra-Ecuador.
- LEY N° 27314, 2000, "Ley General de Residuos Sólidos" promulgado el 20 de julio 2000, Lima, Perú.

- MARTÍ J, 2008, "Biodigestores Familiares, Guía de Diseño y Manual de Instalación, Biodigestores de Polietileno Tubular de Bajo Costo para Trópico, Valle y Altiplano" Cooperación Bolivia-Alemania, GTZ – Energía – La Paz - Bolivia.
- MELENDEZ G y SOTO G, 2003, "Taller de Abonos Orgánicos" Proyecto NOS del CATIE/GTZ, el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica.
- MINAM, 2009, "Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes de Actividades Agroindustriales Tales como Planta de Camales y Plantas de Beneficio" Ministerio del Ambiente. Perú.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2012, "Informe Nacional del Estado del Ambiente 2009-2011" Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental, Lima, Perú.
- MÜLLER G. y ARDOÍNO, M., 2000, "Proyecto Gestión de Calidad en Fábricas de Embutidos. Procesamiento de Carnes y Embutidos". Publicación OEA-GTZ.
- MUÑOZ, D., 2005, "Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Matadero: Para Una Población Menor 2000 Habitantes" Grupo de Investigación en Diseño, Proceso y Energía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.
- NAFARNDÁ W., AJAYI I., SHAWULU J., KAWÉ M., OMEIZA G., SANI N., TENUCHE O., DANTONG D., AND TAGS S., 2012, "Bacteriological Quality of Abattoir Effluents Discharged into Water Bodies in Abuja, Nigeria"

- International Scholarly Research Network, ISRN Veterinary Science, Volumen 2012, Article ID 515689, Nigeria.
- NCh2880, 2004, "Compost-Clasificación y Requisitos" Norma chilena oficial, Instituto Nacional de Normalización – INN – Chile.
- NAVARRO R., 2002, "Manual para Hacer Composta Aeróbica" CESTA amigos de la Tierra, El Salvador
- OSIBANJO O., Y ADIE G., 2007, "Impact of Effluent from Bodija abattoir on the Physicochemical Parameters of Oshunkaye Stream in Ibadan City, Nigeria" African Journal of Biotechnology Vol. 6 (15), pp. 1806-1811, 6 August, 2007, Chemistry Department, Science Faculty, University of Ibadan, Nigeria.
- OWENS F., Y GOETSCH A., 1988, "Fermentación Ruminal, En. El Rumiante, fisiología digestiva y nutrición" C.D. Church (Ed) Editorial Acribia S.A.
- PANSU M., Y GAUTHEYROU J., 2006, "Handbook of Soil Analysis- Mineralogical, Organic and Inorganic Methods", Springer-Verlag Berlin Heidelberg , Printed in The Netherlands
- PALATSI J., RODRÍGUEZ-ABALDE A., FERNÁNDEZ B. Y FLOTATS X., 2010, "Digestión Anaerobia de Subproductos de la Industria Cárnica", II Jornadas de la Red Española de Compostaje. Burgos-España.
- PHILLIPSON, A., 1981, "Digestión en el rumiante, en: Fisiología de los animales domésticos. H.H. Dukes y M. J. Swenson (Eds) Aguilar Editor S.A. México.
- PONS B. 2004, "Tratamiento de Residuos: Como Eliminar y Valorizar los Residuos de Mataderos" Ingeniería química, Área de tecnología Servicios de Gestión Tecnológica S.A., España.

- PUMA L, 2008, "Respuesta de la Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) a la Incorporación de Estiércol de Lombriz y Compost en Cabana-Puno" Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Altiplano, Puno-Perú.
- QUIPUZCO L, BALDEÓN W Y TANG O, 2011, "Evaluación de la Calidad de Biogas y Biol a Partir de Dos Mezclas de Estiércol de Vaca en Biodigestores Tubulares de PVC", Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- RAFAELLI P., SANGINÉS L., PÉREZ-GIL F., Y LARROSA O., 2006, "Evaluación Nutricional de Dos Subproductos de Frigorífico: Contenido Ruminal y de la Línea Verde" Documento de Trabajo, Departamento de Investigaciones, Universidad de Belgrado, Buenos Aires, Argentina
- RAHEEM N., y MORENIKEJI O., 2008, "Impact of Abattoir Effluents on Surface Waters of the Alamuyo Stream in Ibadan" J. Appl. Sci. Environ. Manage. March, 2008, Vol. 12(1) 73 - 77 Environmental Biology Unit Department of Zoology, University of Ibadan, Nigeria.
- READMAN, J., 1991, "Soil care and management". The organic handbook 4. Henry Doubleday Research Association/Search Press. National Centre for Organic Gardening, Ryton-on-Dunsmore. Coventry CV8 3LG.
- ROMERO, M, 1997, "Abonos Orgánicos y Químicos en Producción, Sanidad y Adsorción Nutricional de Papa y Efecto en el Suelo" Tesis de M. C. Colegio de Post Graduados, México.
- ROSAL A., PÉREZ J., ARCOS M., DIOS M., 2007, "La Incidencia de Metales Pesados en Compost de Residuos Sólidos Urbanos y en su uso Agronómico

en España” Información Tecnológica Vol. 18(6), 75-82, Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Química, Campus Universitario de Rabanales Córdoba-España.

RUIZ, A., 2010 “Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos, Lima, Perú” Tesis Doctoral Universidad Ramón Llull, Centro: Instituto Químico de Sarria, Departamento: Ingeniería Química, Barcelona, España.

SALAZAR L., AMUSQUIVAR C., LLAVE J., Y RIVASPLATA C., 2012, “Producción de Biogás y Biol a Partir de Excretas de, Ganado: Experiencias en la Ciudad de Tacna” Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna, E.A.P. de Física, XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XIX-SPES), Puno-Perú.

SÁNCHEZ G. 1995, “Tecnologías electroquímicas para tratamiento de efluentes industriales”. Ingeniería Química. Noviembre 1995.

SECK M., Y GUEYE M., 2010, “Agronomical Valorization of Bovine Slaughterhouse Waste by Aerobic Composting” Manure and organic residues management approaches in non-European countries, Dakar, Senegal.

SEIF H., Y MOURSY A., 2001, “Treatment of Slaughterhouse Wastes”, Sanitary Eng. Dept., Faculty of Eng., Alexandria University, Sixth International Water Technology Conference, IWTC 2001, Alexandria, Egypt.

- SEOÁNEZ C.M. 1998, "Ecología Industrial: Ingeniería Medioambiental Aplicada a la industria y a la empresa", colección Ingeniería Medioambiental, 2da edición, Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España
- SIGNORINI M., CIVIT S., BONILLA M., CERVANTES M. E., CALDERÓN M., PÉREZ A., ESPEJEL M., ALMANZA C. 2006, "Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales".
- SZTERN D., Y PRAVIA M., 1999, "Manual para Elaboración de Compost-Bases Conceptuales y Procedimientos" Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud.
- UICAB-BRITO L, y SANDOVAL C, 2003, "Uso del Contenido Ruminal y Algunos Residuos de la Industria Cárnica en la Elaboración de Composta" Tropical and Subtropical Agro Ecosystems, Vol. 2, Núm. 2, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán-México.
- UNEP, 2000, "Cleaner production Assessment in Meat Processing" COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark, United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics.
- VÁSQUEZ DE DÍAZ M, PRADA P, MONDRAGON M, 2010, "Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos" Publicación científica en ciencias biomédicas, Universidad de Santander –UDES, Campus Universitario Lagos del Cacique, Bucaramanga, Colombia.
- VAN DE WORP J., Y HARDER W., 2003, "Sustainable supply of water: threats & challenges". Academia Europaea-1997. Annual Scientific Meeting, Gent, 3-5

- Julio de 1997. Metcalf and Eddy. Wastewater engineering. Treatment, Disposal and Reuse. 4th Edition. McGraw-Hill.
- VARNERO, M., Y ARELLANO, J., 1990. Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago, Chile, 98p.
- VARNERO, M. 1991. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) –Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile
- VARNERO M, 2011, "Manual de Biogás", Proyecto CHI/00/G32 "Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables" Ministerio de Energía, programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Organización de las Naciones para la Alimentación y la Agricultura, y Global Environment Facility. Santiago de Chile.
- VÉLEZ M., 2012, "Elaboración de Abono Orgánico para el Aprovechamiento de los Desechos Sólidos Provenientes del Camal de Manta" Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Ecuador.
- VICENCIO G., PÉREZ E., MEDINA E., MARTÍNEZ A., 2011, "Producción de Composta y Vericomposta a Partir de los Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de un Rastro" Rev. Int. Contam. Ambie. 27(3) 263-270, 2011, Durango, México.
- VILLAVICENCIO A., Y VILLABLANCA A., 2010, "Métodos de Aforos de Caudal" Informativo N° 50 INIA-URURI, Instituto de Investigaciones Agropecuarias,

- Centro de Investigación Especializado en Agricultura del Desierto y Altiplano (CIE), Ministerio de Agricultura, Chile.
- VINCENT, T. 1997, "Digestión anaerobia, bases cinéticas y microbiológicas". Universidad Autónoma de Barcelona.
- WERNER U, STOHR, U y HEES N, 1989, "Plantas de biogás en la agricultura animal". GTZ, GMBH.
- WONG, M., Y JIMÉNEZ, E., 2009, "Comparación del Efecto de 2 Biofertilizantes Líquidos a base de Estiércol Caprino y Vacuno sobre Parámetros de Crecimiento de Algarrobo (*Prosopis juliflora Sw. DC*) en Fase de Vivero", Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987, "Our Common Future". Oxford University Press.
- ZANDVLIET J, 2009, "Proyecto Integral de la Gestión Ambiental de los Residuos Sólidos de Desaguadero (Bolivia y Perú)", Proyecto Piloto de Compostaje, New York.

ANEXOS

Cuadro 14
Normatividad para el compost

	Parámetro	U.M.	Norma chilena 2880 2004		Colombia NTC 5167 ¹⁹	España BOE 12731 1998	AS 4454-1999	Victoria ¹⁴	NSW ¹⁵	Germany ¹⁶	Netherlands ¹⁷	United States ¹⁸
			Clase A	Clase B								
Físicos	Tamaño de partícula	mm	< 16			< 25 ⁶						
	Olor		Característico									
	Humedad ²	%	30 a 45		> 45	≤ 40	< 25 ⁷					
	Retención de humedad	%			35-45							
	Cenizas	%			> 15							
	pH		5.0 a 8.5		> 1.5 < 9		5-7.5 ⁸					
	Densidad aparente (base seca - 20°C)	Kg/m ³	≤ 700									
		%			> 9							
	Conductividad Eléctrica	dS/m	< 3	≤ 8 ³			No limit ⁹					
		%			> 0.75							
	Mojabilidad (Wettability)	Minutos					7					
	Capacidad de Intercambio Cationico	meq/100g			> 30							
	Materia orgánica	%	≥ 20			≥ 25						
	Presencia de semillas viables de malezas	Propágulo de maleza/lt de compost	25									
	Índice de toxicidad						≥ 60					
	NDI ^{150 10}						≥ 0.5 ¹¹					
	Pérdida por ignición (loss on ignition)	%					≥ 25					
	Madurez											
	1. Relación C/N		≤ 30		> 20		≤ 20 ¹²					
	Ma.a.1 Evolución de CO ₂ (respiración)	mg C-CO ₂ /g/día	≤ 8									
Ma.a.2 Absorción de O ₂ (respiración)	mg O/g/día	≤ 3.5										
Ma.a.3 Autocalentamiento	°C	≤ 20										
Ma.b.1 Relación amonio / nitrato		≤ 3										
Ma.b.2 Concentración de amonio	mg/kg	≤ 500										
	mg/L					< 300						

	Ma.b.3 Contenido de ácidos orgánicos volátiles	mg/kg	300							
	Ma.b.4 Germinación de rabanitos	%	80							
	Materiales inertes	mm	≤ 16		≤ 10					
	Mi.1 Plásticos flexibles y/o películas > 4 mm	%	≤ 5							
	Mi.2 Piedras y/o terrones de barro > 4 mm	%	≤ 5							
	Mi.3 Vidrio y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos ≥ 2 mm		≤ 0.5							
Químicos	Carbono Orgánico Total	%			0.5					
	Nitrógeno Total	%	≥ 0.5				≥ 0.8 ¹²			
	Relación C/N		< 25 ⁴	< 30						
	Nitrógeno Orgánico	%			1.15-1.5					
	Fosforo Total	%			< 0.6		≤ 0.1 ¹³			
	Potasio	%					--			
	Azufre	%					--			
	Calcio	%					--			
	Magnesio	%					--			
	Fierro	%					--			
	Sodio	%					< 1			
Microbiológicos	Coliformes fecales	MNP/g	< 1000							
	Salmonellas	NMP/4g	3							
		NMP/25g				0				
	Nuevos de helmintos viables ¹	./4 g	1							
	Estreptococos Fecales	NMP/g				1000				
	Enterobacterias Totales	UFC/g				1000				
Aerobios Mesófilos										
Pesad	Arsénico	mg/kg	15	20			20	20	15	45
	Cadmio	mg/kg	2	8		10	3	3	1.5	39
	Cobre	mg/kg	100	1000		450	60	100	100	1500

Cromo	mg/kg	120	600	400	50	100	100	50	
Mercurio	mg/kg	1	4	7	1	1	1	0.3	
Níquel	mg/kg	20	80	120	60	60	50	20	420
Plomo	mg/kg	100	300	300	150	150	150	100	300
Zinc	mg/kg	200	2000	1100	200	200	400	200	2800
Selenio	mg/kg				5	5			100

Fuente: Elaboración propia

¹ El análisis sólo será exigible a requerimiento expreso de la autoridad competente

² En base húmeda, lo demás es en base seca

³ Restricciones en el uso si la conductividad es mayor a 3 dS/m medida en base a una dilución de 1:5

⁴ Cociente entre carbono orgánico total y nitrógeno total

⁵ En cámara de crecimiento por días

⁶ Pasan el 90% de las partículas

⁷ Maximum=% organic matter (OM) + 6 if OM > 40%; maximum =%OM + 10 if OM <40%

⁸ If pH>7.5, total de CaCO₃ content must be determined

⁹ Máximum allowable application rates of product are reduced when EC > 1

¹⁰ Nitrogen drawdown index-a mesure of rate at which a product uses (draws down) soluble nitrogen

¹¹ If a contribution to plant nutrition is claimed; critical value is > 0 if sand or gravel is not used in the test method

¹² If a contribution to plant nutrition is claimed

¹³ For products which claim to be for P-sensitive plants; no requirement otherwise

¹⁴ EPA Victoria (1996) referido por Wilkinson *et al.*, 2000

¹⁵ Grade A (EPA NSW, 1997) referido por Wilkinson *et al.*, 2000

¹⁶ RAL-GZ 25 quality criteria (DHV Group, 1997) referido por Wilkinson *et al.*, 2000

¹⁷ Limit for compost set by the BRL-K256/02 guideline (DHV Gropup, 1997) referido por Wilkinson *et al.*, 2000

¹⁸ EPA 503 Exceptional Quality Biosolids limits (logan *et al.*, 1999) referido por Wilkinson *et al.*, 2000

¹⁹ Sustratos orgánicos, Vásquez de Días *et al.* 2010

Cuadro 15

Características físico químicas de subproductos el camal Delicar-Puno

Subproductos	pH	C.E. (mS/cm)	%H	% MO	%N	%K	%Na	%P	C/N
Efluente	7.27	2.83							
	7.37	2							
	7.23								
	7.1	2.07		96.30	3.89	6.75	6.00	1.04	14.36
	7.06			97.10	3.96	6.51	5.76	0.91	14.22
	7.7	2.83		98.15	5.14	6.25	5.50	0.83	11.08
Promedio	7.29	2.43		97.18	4.33	6.50	5.75	0.93	13.22
Máximo	7.70	2.83		98.15	5.14	6.75	6.00	1.04	14.36
Mínimo	7.06	2.00		96.30	3.89	6.25	5.50	0.83	11.08
D.S.	0.21	0.40		0.76	0.57	0.20	0.20	0.09	1.52
C.V. %	2.90	16.37		0.78	13.24	3.14	3.55	9.43	11.47
Contenido Estómagos	7.5	9.2							
	8.1	10.43							
	5.55		82.26						
	8.09	9.23	85.85						
	6.08	10.06	82.73						
	8.17		85.58	93.50	1.88	32.57	28.81	1.09	28.85
	6.04		83.77	94.10	2.59	40.71	21.13	1.11	21.07
	8.08		85.52	92.85	1.73	34.19	26.89	1.10	31.13
Promedio	7.20	9.73	84.29	93.48	2.07	35.82	25.61	1.10	27.02
Máximo	8.17	10.43	85.85	94.10	2.59	40.71	28.81	1.11	31.13
Mínimo	5.55	9.20	82.26	92.85	1.73	32.57	21.13	1.09	21.07
D.S.	1.04	0.53	1.44	0.51	0.38	3.52	3.26	0.01	4.30
C.V. %	14.51	5.46	1.71	0.55	18.15	9.82	12.74	0.56	15.93
Sangre recuperada	7.39								
	6.91	8.24							
	7.5		74.72						
	7.27	9.09	70.33	99.97	8.66	5.60	9.75	0.60	6.70
	7.79	9.35	74.75	99.90	9.17	6.20	8.90	0.67	6.32
	7.2	12.69	75.35	99.95	12.85	5.95	9.50	0.75	4.51
Promedio	7.34	9.84	73.79	99.94	10.23	5.92	9.38	0.67	5.84
Máximo	7.79	12.69	75.35	99.97	12.85	6.20	9.75	0.75	6.70
Mínimo	6.91	8.24	70.33	99.90	8.66	5.60	8.90	0.60	4.51
D.S.	0.27	1.69	2.01	0.03	1.87	0.25	0.36	0.06	0.95
C.V. %	3.69	17.22	2.73	0.03	18.25	4.16	3.80	9.23	16.32

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 16

Características microbiológicas de los subproductos del camal Delicar-Puno

Subproductos	Coliformes Totales (NMP/100ml ó g)	Coliformes Fecales (NMP/100ml ó g)	Salmonella (UFC/ml ó g)
Efluente	>2400	93.00	61.00
	>2400	>2400	266.00
	>2400	>2400	13.00
Moda/Promedio	>2400	>2400	113
Máximo	>2400	>2400	266
Mínimo	>2400	93.00	13
D.S.			109.72
C.V. %			96.81
Contenido Estómagos	>2400	>2400	58.00
	>2400	>2400	235.00
	>2400	>2400	658.00
Moda/Promedio	>2400	>2400	317
Máximo	>2400	>2400	658
Mínimo	>2400	>2400	58
D.S.			251.72
C.V. %			79.41
Sangre recuperada	>2400	43.00	45.00
	>2400	>2400	40.00
	>2400	>2400	0.00
Moda/Promedio	>2400	>2400	28
Máximo	>2400	>2400	45
Mínimo	>2400	43.00	0
D.S.			20.14
C.V. %			71.08

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 17

Análisis de varianza temperaturas de proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	24.4033062	24.4033062	0.48017044	0.490352
Error	80	4065.77398	50.8221748		
Total	81	4090.17729			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 18

Coeficiente de correlación entre temperaturas ambiental (máxima, mínima y promedio) y temperatura del proceso de compostaje (compost 1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Temperatura en pila de compost		Temperatura ambiental		
Compost 1	Compost 2	MAX	MIN	PROMEDIO
18.43	18.17	14	-2	6
24	22	22	-5	8.5
24.33	22.67	32	-4	14
35	34.67	34	-3	15.5
36.33	34	30	-3	13.5
28.33	28.67	30	0	15
26.33	31	34	1	17.5
28.33	30	31	-3	14
24	28.67	31	2	16.5
24.67	24.33	33	-2	15.5
23	22.33	31	-3	14
22.33	21.33	31	-3	14
21.33	22.67	32	-4	14
21.33	28.67	33	-5	14
20.67	25.67	35	-4	15.5
20.33	21.33	33	2	17.5
15.33	19.67	33	-3	15
20	20.33	32	-5	13.5
19.33	17.33	28	-4	12
16.33	15	29	-4	12.5
15	14.67	27	-6	10.5
14.67	17	28	-7	10.5
13.67	17	30	-5	12.5
12.33	15.67	33	-5	14
15	17.67	30	-3	13.5
12.67	15.67	23	-4	9.5
12.33	14	26	-6	10
14.33	13	24	-6	9
11.33	10.67	26	-6	10
11.33	11.67	25	-6	9.5
11.33	13.67	25	-5	10
14.33	17.67	31	0	15.5
14.67	14.67	18	2	10
13.67	14.67	22	-1	10.5
11.33	14.67	24	-4	10
12.33	14.67	22	-2	10
13	13.67	23	-7	8
9.667	10.33	20	-12	4
8	10	19	-9	5
6.667	5.333	20	-10	5
7.667	5	19	-11	4

Fuente: Elaboración propia.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)}{n}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}\right] \left[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2}{n}\right]}}$$

Aplicando la fórmula para los diferentes casos se tiene:

Temperatura ambiental mínima y temperatura en pila de compost 1: $r = 0.53$
(coeficiente de correlación baja).

Temperatura ambiental mínima y temperatura en pila de compost 2: $r = 0.53$
(coeficiente de correlación baja).

Temperatura ambiental máxima y temperatura en pila de compost 1: $r = 0.59$
(coeficiente de correlación baja).

Temperatura ambiental máxima y temperatura en pila de compost 2: $r = 0.69$
(coeficiente de correlación alto).

Temperatura ambiental promedio y temperatura en pila de compost 1: $r = 0.67$
(coeficiente de correlación alto).

Temperatura ambiental promedio y temperatura en pila de compost 2: $r = 0.77$
(coeficiente de correlación alto).

Cuadro 19

Monitoreo de humedad, pH, y conductividad en proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Muestra	Día	pH	Conductividad eléctrica (mS/cm)	%H
Compost 1	15	8.46	4.79	82.38
	30	8.77	2.56	82.91
	45	9.11	3.99	81.47
	60	9.04	3.30	81.73
	75	8.78	2.63	77.23
Promedio		8.83	3.46	81.15
Máximo		9.11	4.79	82.91
Mínimo		8.46	2.56	77.23
C.V.%		2.61	24.43	2.49
Compost 2	15	8.73	11.77	81.30
	30	8.85	4.40	82.03
	45	8.59	4.78	80.64
	60	8.99	4.10	80.66
	75	9.41	3.09	75.31
Promedio		8.91	5.63	79.99
Máximo		9.41	11.77	82.03
Mínimo		8.59	3.09	75.31
C.V.%		3.16	0.55	0.03

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20

Análisis de varianza humedad en pila de compost en el proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	3.358266	3.358266	0.546696	0.480801
Error	8	49.14271	6.142838		
Total	9	52.50097			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21

Análisis de varianza de pH en pila de compost en el proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	0.017921	0.017921	0.217001	0.653755
Error	8	0.660684	0.082586		
Total	9	0.678606			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22

Análisis de varianza de conductividad eléctrica en pila de compost en el proceso de compostaje (compost1 y compost 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	11.8012	11.8012	1.805651	0.215895
Error	8	52.28563	6.535704		
Total	9	64.08683			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23

Características físico-químicas de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-Puno

Productos de Compostaje		pH	C.E. (mS/cm)	H %	MO %	N %	K %	Na %	P %	C/N
Compost 1	C1A	7.9	2.22	76.04	82.07	2.67	19.54	10.56	1.22	17.83
	C1B	9.3	2.15	80.50	86.46	2.60	37.45	14.40	1.91	19.29
	C1C	9.14	3.53	75.14	81.29	2.81	43.96	21.13	1.45	16.78
	Promedio	8.78	2.63	77.23	83.27	2.69	33.65	15.36	1.53	17.97
	Máximo	9.30	3.53	80.50	86.46	2.81	43.96	21.13	1.91	19.29
	Mínimo	7.90	2.15	75.14	81.29	2.60	19.54	10.56	1.22	16.78
	D.S.	0.63	0.63	2.34	2.28	0.09	10.33	4.37	0.28	1.03
	C.V(%)	7.13	24.10	3.03	2.73	3.24	30.68	28.44	18.59	5.73
Compost 2	C2A	9.5	3.03	79.78	85.54	2.45	30.94	24.97	1.91	20.25
	C2B	9.58	3.08	66.44	91.85	2.53	29.31	23.05	1.41	21.06
	C2C	9.15	3.15	79.70	81.59	2.74	34.19	24.01	1.63	17.27
	Promedio	9.41	3.09	75.31	86.33	2.57	31.48	24.01	1.65	19.53
	Máximo	9.58	3.15	79.78	91.85	2.74	34.19	24.97	1.91	21.06
	Mínimo	9.15	3.03	66.44	81.59	2.45	29.31	23.05	1.41	17.27
	D.S.	0.19	0.05	6.27	4.23	0.12	2.03	0.78	0.21	1.63
	C.V(%)	1.98	1.59	8.33	4.89	4.75	6.44	3.26	12.46	8.34

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24

Análisis de varianza de pH del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	0.59535	0.59535	1.861923	0.244126
Error	4	1.279	0.31975		
Total	5	1.87435			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 25

Análisis de varianza de conductividad eléctrica del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	0.308267	0.308267	1.014258	0.370862
Error	4	1.215733	0.303933		
Total	5	1.524			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 26

Análisis de varianza de humedad del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	5.5296	5.5296	0.164563	0.705752
Error	4	134.4069	33.60173		
Total	5	139.9365			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 27

Análisis de varianza de materia orgánica del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	13.98427	13.98427	0.809526	0.41913
Error	4	69.09853	17.27463		
Total	5	83.0828			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 28

Análisis de varianza de nitrógeno del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	0.0216	0.0216	1.275591	0.321863
Error	4	0.067733	0.016933		
Total	5	0.089333			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 29

Análisis de varianza de potasio del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	7.06335	7.06335	0.085056	0.785058
Error	4	332.1728	83.0432		
Total	5	339.2362			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 30

Análisis de varianza de sodio del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	112.1473	112.1473	7.590639	0.051105
Error	4	59.09767	14.77442		
Total	5	171.2449			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 31

Análisis de varianza de fosforo del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	0.022694	1	0.022694	0.246523	0.645581
Error	0.368217	4	0.092054		
Total	0.390911	5			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 32

Análisis de varianza de relación carbono/nitrógeno del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	3.656906	3.656906	1.314394	0.31552
Error	4	11.12879	2.782198		
Total	5	14.7857			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 33

Características microbiológicas de dos tipos de compost con subproductos del camal Delicar-puno.

Productos de Compostaje		Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Salmonella (UFC)
Compost 1	C1A	>2400	75.00	2.00
	C1B	>2400	460.00	12.00
	C1C	>2400	43.00	0.00
	Moda/Promedio	>2400	192.67	4.67
	Máximo	>2400	460.00	12.00
	Mínimo	>2400	43.00	0.00
	D.S.		189.48	5.25
	C.V (%)		98.35	112.49
Compost 2	C2A	>2400	64.00	2.00
	C2B	>2400	28.00	6.00
	C2C	>2400	120.00	3.00
	Moda/Promedio	>2400	70.67	3.67
	Máximo	>2400	120.00	6.00
	Mínimo	>2400	28.00	2.00
	D.S.		37.85	1.70
	C.V (%)		53.57	46.35

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 34

Análisis de varianza de Coliformes fecales del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	25.70671	25.70671	0.704632	0.448472
Error	4	145.9298	36.48244		
Total	5	171.6365			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 35

Análisis de varianza de salmonella del compost 1 y compost 2 elaborado con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamientos	1	1.5	1.5	0.065693	0.810356
Error	4	91.33333	22.83333		
Total	5	92.83333			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 36

Concentración de metales en compost con respecto a metales en contenidos de estómago del camal Delicar, marzo-mayo de 2013 (mg/kg)

Metal	Compost 1	Compost 2	Contenido de estómagos	C1-CE	C2-CE	C1-CE/CE	C2-CE/CE
Plata (Ag)	<0.12	<0.12	<0.12				
Aluminio (Al)	87.7	164	22.8	64.90	141.20	285%	619%
Arsénico (As)	< 0.06	< 0.06	< 0.06				
Boro (B)	1.40	0.43	<0.26				
Bario (Ba)	17.07	20.63	7.77	9.296	12.859	120%	166%
Berilio (Be)	<0.00395	0.007332	<0.00395				
Calcio (Ca)	2370	3460	746	1624	2714	218%	364%
Cadmio (Cd)	0.095	0.085	0.035	0.060	0.050	171%	141%
Cobalto (Co)	0.095	0.226	0.008	0.087	0.218	1062%	2659%
Cromo ((Cr)	0.080	0.350	0.025	0.055	0.325	221%	1308%
Cobre (Cu)	2.937	6.296	1.122	1.815	5.174	162%	461%
Hierro (Fe)	164	479	59.2	104.8	419.8	177%	709%
Mercurio (Hg)	0.982	0.360	0.128	0.854	0.232	669%	182%
Potasio (K)	2330	1290	589	1741	701	296%	119%
Litio (Li)	0.015	0.092	<0.0105				
Magnesio (Mg)	249.4	238.8	77.19	172.2	161.6	223%	209%
Manganeso (Mn)	61.059	52.97	40.588	20.471	12.382	50%	31%
Molibdeno (Mo)	0.853	0.798	0.457	0.396	0.341	87%	75%
Sodio (Na)	4840	5440	2680	2160	2760	81%	103%
Níquel (Ni)	0.597	0.561	0.166	0.431	0.395	259%	238%
Fosforo (P)	2156	2775	885.9	1270	1889	143%	213%
Plomo (Pb)	3.254	2.497	2.623	0.631	-0.126	24%	-5%
Antimonio (Sb)	0.213	0.253	0.195	0.018	0.059	9%	30%
Selenio (Se)	0.484	0.3459	0.2605	0.224	0.085	86%	33%
(SiO ₂)	359.2	502.6	156.4	202.8	346.2	130%	221%
Estaño (Sn)	0.213	0.204	0.181	0.032	0.023	18%	13%
Estroncio (Sr)	21.09	24.07	7.389	13.701	16.681	185%	226%
Titanio (Ti)	4.501	14.585	1.624	2.877	12.961	177%	798%
Talio (Tl)	<0.065	<0.065	<0.065				
Vanadio (V)	0.380	1.438	0.083	0.298	1.356	361%	1643%
Zinc (Zn)	11.55	12.46	7.158	4.392	5.302	61%	74%
Promedio						211%	425%
Mínimo						9%	-5%
Máximo						1062%	2659%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 37

Temperatura ambiental máxima y mínima fuera y dentro de invernadero en el proceso de biodigestión de subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

	Temperatura Ambiente Dentro de Invernadero (°C)		Temperatura Ambiente Fuera de Invernadero (°C)	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Promedio	37.4	-0.4	26.7	-3.3
Media	18.5		11.7	
Máximo	45		35	
Mínimo		-8		-12
C.V. %	104.8		133.2	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 38

Análisis de varianza de temperatura ambiental máxima fuera y dentro de invernadero en el proceso de biodigestión de subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	3870.222	3870.222	152.7181	0.000000
Error	134	3395.864	25.34227		
Total	135	7266.086			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	37.40441	68	Temperatura máxima dentro invernadero Temperatura máxima en el medio ambiente
B	26.73529	68	ambiente

Cuadro 39

Análisis de varianza de temperatura ambiental mínima fuera y dentro de invernadero en el proceso de biodigestión de subproductos del camal Delicar, marzo-mayo

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	276.7353	276.7353	22.10312	0.000006
Error	134	1677.706	12.52019		
Total	135	1954.441			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	-0.41176	68	Temperatura mínima dentro invernadero
B	-3.26471	68	Temperatura mínima en el medio ambiente

Cuadro 40

Coefficiente de correlación entre temperaturas ambiental (máxima, mínima) fuera del invernadero y dentro del invernadero en el proceso de biodigestión (biodigestión 1 y biodigestión 2) con subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Temperatura Dentro de Invernadero (°C)		Temperatura Fuera de Invernadero (°C)	
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
22	14	19	9
37.5	7	27	3
27	4	14	-2
39.5	-1	22	-5
44	0	24	-3
36	-1	32	-4
35	4	25	-2
40	4	35	-3
41	-2	34	-3
38	-2	30	-3
40	1	30	0
32	3	28	2
38	2	31	-1
39	3	34	1
39	-2	31	-3
41	3	31	2
42	4	34	1
32.5	0	23	-5
40	3	33	-2
40	-2	31	-3
41	-2	31	-3

Temperatura Dentro de Invernadero (°C)		Temperatura Fuera de Invernadero (°C)	
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
31	-1	32	-4
38	-3	33	-5
39	-2	35	-4
41	-6	33	-9
41	6	33	2
38	-3	31	-4
38	-2	33	-3
41	-2	32	-5
40	-2	31	-3
34	-2	27	-5
37	-3	28	-4
33	-2	29	-4
32	-3	27	-6
38	-4	28	-6
33	3	28	-2
35	-5	28	-7
36	-4	29	-6
36	-2	30	-5
37	-1	33	-5
43	2	30	-3
42	1	22	-2
37	2	22	-1
42	-4	23	-4
39	-2	27	-3
45	-3	26	-6
40	-2	22	-6
41	-3	24	-6
28	-1	22	-3
38	-2	26	-6
39	-2	29	-4
31	-3	25	-6
36	-2	25	-5
41	1	31	0
38	5	19	2
32	5	18	2
19	2	13	1
40	4	22	-1
42	2	21	-4
39	0	24	-4
41	-1	24	-4
42	0	22	-2
39	2	21	-3
43	-3	23	-7
38	-5	19	-7
36	-8	20	-12
35	-7	19	-9

Temperatura Dentro de Invernadero (°C)		Temperatura Fuera de Invernadero (°C)	
Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
35	-8	20	-10

Fuente: Elaboración propia

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)}{n}}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i\right)^2}{n}\right] \left[\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n Y_i\right)^2}{n}\right]}}$$

Aplicando la fórmula de coeficiente de correlación para los diferentes casos se tiene:

Temperatura ambiente máxima fuera de invernadero y temperatura ambiente máxima dentro de invernadero: $r = 0.42$ (coeficiente de correlación muy baja).

Temperatura ambiente mínima fuera de invernadero y temperatura ambiente mínima dentro de invernadero: $r = 0.93$ (coeficiente de correlación muy alto).

Cuadro 41

Parámetros fisicoquímicos de los productos de dos procesos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno

Productos de Biodigestión		pH	C.E. (mS/cm)	H%	MO %	N %	K %	Na %	P %	C/N
Biosol 1	T1M1	6.01	1.69	89.58	92.15	2.16	21.17	10.56	0.36	24.75
	T1M2	7.22	1.27	89.50	95.89	2.02	14.14	13.44	0.51	27.53
	T1M3	6.74	1.42	45.59	94.04	2.46	17.91	16.32	0.42	22.17
	T1M4	5.98	1.42	91.37	94.84	2.31	13.03	10.56	0.61	23.81
	Promedio	6.49	1.45	79.01	94.23	2.24	16.56	12.72	0.48	24.57
	Máximo	7.22	1.69	91.37	95.89	2.46	21.17	16.32	0.61	27.53
	Mínimo	5.98	1.27	45.59	92.15	2.02	13.03	10.56	0.36	22.17
	D.S.	0.52	0.15	19.31	1.37	0.16	3.22	2.39	0.09	1.95
	C.V.(%)	8.03	10.45	24.44	1.45	7.35	19.42	18.77	19.59	7.92
Biosol 2	T2M1	7.68	2.9	77.61	90.81	2.45	19.54	18.24	1.38	21.50
	T2M2	7.53	2.43	91.09	96.63	2.09	19.54	13.44	1.71	26.82
	T2M3	7.55	3.46	66.46	94.15	2.02	17.91	11.60	1.56	27.04
	T2M4	7.5	2.22	72.90	93.62	2.17	11.40	11.60	1.61	25.02
	Promedio	7.57	2.75	77.02	93.80	2.18	17.10	13.72	1.56	25.09
	Máximo	7.68	3.46	91.09	96.63	2.45	19.54	18.24	1.71	27.04
	Mínimo	7.50	2.22	66.46	90.81	2.02	11.40	11.60	1.38	21.50
	D.S.	0.07	0.48	9.04	2.07	0.16	3.36	2.72	0.12	2.22
	C.V.(%)	0.91	17.33	11.74	2.20	7.48	19.63	19.79	7.86	8.84
Biol 1	T1M1	5.99	4.17		91.55	0.05	2.45	5.76	0.04	1062.06
	T1M2	6.88	3.62		90.98	0.05	1.63	5.76	0.03	1055.45
	T1M3	6.6	3.62		91.51	0.05	1.63	6.72	0.04	1061.60
	T1M4	6.7	3.91		90.55	0.04	2.45	7.68	0.04	1313.08
	Promedio	6.54	3.83		91.15	0.05	2.04	6.48	0.04	1123.05
	Máximo	6.88	4.17		91.55	0.05	2.45	7.68	0.04	1313.08
	Mínimo	5.99	3.62		90.55	0.04	1.63	5.76	0.03	1055.45
	D.S.	0.33	0.23		0.41	0.00	0.41	0.80	0.00	109.75
	C.V.(%)	5.11	5.99		0.45	9.12	20.10	12.28	10.06	9.77
Biol 2	T2M1	7.12	7.3		90.26	0.10	4.88	8.64	0.05	523.55
	T2M2	7.24	8.2		90.64	0.12	6.51	8.64	0.06	438.13
	T2M3	6.88	10.51		91.05	0.14	6.51	8.64	0.05	377.24
	T2M4	7.3	6.8		92.04	0.14	4.88	7.68	0.08	381.34
	Promedio	7.14	8.20		91.00	0.13	5.70	8.40	0.06	430.06
	Máximo	7.30	10.51		92.04	0.14	6.51	8.64	0.08	523.55
	Mínimo	6.88	6.80		90.26	0.10	4.88	7.68	0.05	377.24
	D.S.	0.16	1.42		0.66	0.02	0.82	0.42	0.01	59.10
	C.V.(%)	2.25	17.36		0.73	13.27	14.31	4.95	16.31	13.74

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 42

Análisis de varianza de pH del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	2.322013	2.322013	12.61078	0.012055
Error	6	1.104775	0.184129		
Total	7	3.426788			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	7.565		4 Biosol 2
B	6.4875		4 Biosol 1

Cuadro 43

Análisis de varianza de pH del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	0.702113	0.702113	7.648631	0.032611
Error	6	0.550775	0.091796		
Total	7	1.252888			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	7.135		4 Biol 2
B	6.5425		4 Biol 1

Cuadro 44

Análisis de varianza de conductividad eléctrica del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	3.393013	3.393013	20.32403	0.004068
Error	6	1.001675	0.166946		
Total	7	4.394688			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	2.7525	4	Biosol 2
B	1.45	4	Biosol 1

Cuadro 45

Análisis de varianza de conductividad eléctrica del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	38.23751	38.23751	27.58748	0.001915
Error	6	8.316275	1.386046		
Total	7	46.55379			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	8.2025	4	Biol 2
B	3.83	4	Biol 1

Cuadro 46

Análisis de varianza de humedad del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	7.96005	7.96005	0.026267	0.876569
Error	6	1818.232	303.0387		
Total	7	1826.192			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 47

Análisis de varianza de materia orgánica del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	0.365513	0.365513	0.089171	0.775306
Error	6	24.59407	4.099012		
Total	7	24.95959			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 48

Análisis de varianza de materia orgánica del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	0.045	0.045	0.110667	0.750702
Error	6	2.43975	0.406625		
Total	7	2.48475			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 49

Análisis de varianza de nitrógeno del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	0.00605	0.00605	0.169034	0.695253
Error	6	0.21475	0.035792		
Total	7	0.2208			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 50

Análisis de varianza de nitrógeno del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	0.012013	0.012013	61.34043	0.000229
Error	6	0.001175	0.000196		
Total	7	0.013188			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	0.125		4 Biol 2
B	0.0475		4 Biol 1

Cuadro 51

Análisis de varianza de potasio del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	0.57245	0.57245	0.039733	0.848588
Error	6	86.44515	14.40753		
Total	7	87.0176			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 52

Análisis de varianza de potasio del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	26.71805	26.71805	48.15075	0.000444
Error	6	3.3293	0.554883		
Total	7	30.04735			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	5.695		4 Biol 2
B	2.04		4 Biol 1

Cuadro 53

Análisis de varianza de sodio del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	2	2	0.229414	0.648915
Error	6	52.3072	8.717867		
Total	7	54.3072			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 54

Análisis de varianza de sodio del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	7.3728	7.3728	13.71429	0.010049
Error	6	3.2256	0.5376		
Total	7	10.5984			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	8.4	4	Biol 2
B	6.48	4	Biol 1

Cuadro 55

Análisis de varianza de fósforo del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	2.362051	2.362051	148.7192	0.000018
Error	6	0.095296	0.015883		
Total	7	2.457347			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
A	1.5635	4	Biosol 2
B	0.47675	4	Biosol 1

Cuadro 56

Análisis de varianza de fósforo del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	0.001485	0.001485	18.96913	0.004795
Error	6	0.00047	7.83E-05		
Total	7	0.001955			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento Media N Tratamiento

A 0.06275 4 Biol 2

B 0.0355 4 Biol 1

Cuadro 57

Análisis de varianza de relación C/N del biosol 1 y biosol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	0.555788	0.555788	0.095825	0.767368
Error	6	34.80035	5.800059		
Total	7	35.35614			

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 58

Análisis de varianza de relación C/N del biol 1 y biol 2 productos de la biodigestión de los subproductos del camal Delicar, marzo-mayo de 2013

Fuente	G. L.	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F	Probabilidad
Tratamiento	1	960459	960459	92.73013	0.000072
Error	6	62145.43	10357.57		
Total	7	1022604			

Fuente: Elaboración propia

Prueba del rango estudentizado de Tukey

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey

Agrupamiento Media N Tratamiento

A 1123.05 4 Biol 1

B 430.0637 4 Biol 2

Cuadro 59

Análisis microbiológico de los productos de dos procesos de biodigestión con subproductos del camal Delicar-Puno.

Productos de Biodigestión		Coliformes Totales (NMP/100ml ó g)	Coliformes Fecales (NMP/100ml ó g)	Salmonella (UFC/ml ó g)
Biosol 1	Biosol T1M1	>2400	>2400	0.00
	Biosol T1M2	>2400	>2400	0.00
	Biosol T1M3	>2400	>2400	0.00
	Biosol T1M4	>2400	>2400	0.00
	Promedio/moda	>2400	>2400	0.00
	Máximo	>2400	>2400	0.00
	Mínimo	>2400	>2400	0.00
	D.S.			0.00
	C.V.(%)			
Biosol 2	Biosol T2M1	>2400	1100.00	0.00
	Biosol T2M2	>2400	1100.00	0.00
	Biosol T2M3	>2400	>2400	0.00
	Biosol T2M4	>2400	1100.00	0.00
	Promedio/moda	>2400	1100.00	0.00
	Máximo	>2400	>2400	0.00
	Mínimo	>2400	1100.00	0.00
	D.S.		0.00	0.00
	C.V.(%)		0.00	
Biol 1	Biol T1M1	>2400	>2400	0.00
	Biol T1M2	>2400	>2400	1.00
	Biol T1M3	>2400	>2400	0.00
	Biol T1M4	>2400	11.00	0.00
	Promedio/moda	>2400	>2400	0.00
	Máximo	>2400	>2400	1.00
	Mínimo	>2400	11.00	0.00
	D.S.			0.43
	C.V.(%)			
Biol 2	Biol T2M1	>2400	93.00	0.00
	Biol T2M2	>2400	210.00	0.00
	Biol T2M3	>2400	120.00	0.00
	Biol T2M4	>2400	1100.00	0.00
	Promedio/moda	>2400	380.75	0.00
	Máximo	>2400	1100.00	0.00
	Mínimo	>2400	93.00	0.00
	D.S.		417.51	0.00
	C.V.(%)		109.66	

Fuente: Elaboración propia.