

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**“PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LOS LODOS DE AGUAS  
RESIDUALES URBANAS – PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**EDWIN DIONY HUANCA CCAZA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**Producción de Biogás a partir de los lodos de Aguas Residuales Urbanas – Puno**

**TESIS PRESENTADA POR:**

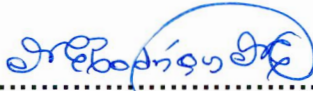
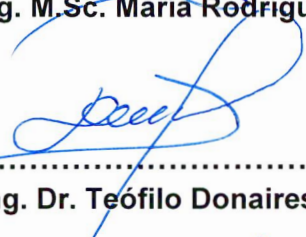
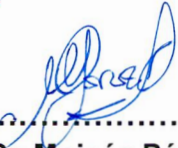

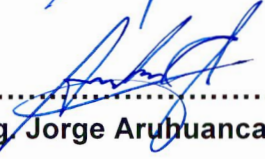
**Edwin Diony Huanca Ccaza**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO QUÍMICO**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de Octubre 2017**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:**



<b>PRESIDENTE</b>	:	.....  <b>Ing. M.Sc. María Rodríguez Melo</b>
<b>PRIMER MIEMBRO</b>	:	.....  <b>Ing. Dr. Teófilo Donaires Flores</b>
<b>SEGUNDO MIEMBRO</b>	:	.....  <b>Ing. M.Sc Moisés Pérez Capa</b>
<b>DIRECTOR DE TESIS</b>	:	.....  <b>Ing. M.Sc Salomón Ttito León</b>
<b>ASESOR DE TESIS</b>	:	.....  <b>Ing. Jorge Arubuanca Cartagena</b>

**Área: Tecnología ambiental**

**Tema: Tratamiento de lodos residuales**

**Línea: Tecnología de energías renovables**

## DEDICATORIA

Dedico este Trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento, tan importante de mi formación profesional, a mi Madre por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones, A mi Padre, quien con sus consejos a sabido guiarme mi carrera profesional, A mi Hermano Sergio a quien quiero como un Padre, por compartir momentos significativos conmigo y por siempre estar dispuesto a escucharme y ayudarme en cualquier momento.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y dame fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A mi padre, por acompañar durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos.

A mi hermano, que con sus consejos me ha ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

## INDICE

INDICE .....	5
INDICE DE TABLAS .....	8
INDICE DE FIGURAS .....	9
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCION .....	14
<b>CAPITULO I</b> .....	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, JUSTIFICACION Y OBJETIVOS .....	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	16
1.1.1. PROBLEMA GENERAL .....	17
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS .....	18
1.2. ANTECEDENTES .....	18
1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	18
1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	25
1.3. JUSTIFICACION .....	25
1.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA .....	25
1.3.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL .....	26
1.3.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL .....	27
1.4. OBJETIVOS .....	27
1.4.1. OBJETIVO GENERAL .....	27
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	27
<b>CAPITULO II</b> .....	28
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL, HIPOTESIS Y VARIABLES .....	28

2.1. MARCO TEORICO .....	28
2.1.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	28
2.1.2. TRATAMIENTO DE AGUAS A NIVEL DOMICILIARIO .....	30
2.1.3. TEORÍA DE LA BIODEGRADACIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO .	32
2.1.4. DIGESTIÓN ANAEROBIA – BIODEGRADABILIDAD .....	41
2.2. MARCO CONCEPTUAL .....	46
2.3. HIPOTESIS .....	51
2.3.1. HIPOTESIS GENERAL .....	51
2.3.2. HIPOTESIS ESPECÍFICOS .....	51
<b>CAPITULO III</b> .....	<b>52</b>
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....	52
3.1. AMBITO DE ESTUDIO .....	52
3.1.1. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN .....	52
3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE UBICACIÓN .....	52
3.1.3. CLIMA.....	53
3.1.4. COMPONENTES.....	53
3.2. MATERIALES .....	53
3.3. METODOLOGIA .....	55
3.3.1. Muestreo, manipulación y transporte de las muestras de aguas residuales .....	55
3.3.2. Caracterización y análisis de las aguas residuales urbanas.....	58
3.3.3. Procedimiento experimental para el tratamiento de los lodos que arrastran las aguas residuales.....	83
3.3.4. Equipo experimental .....	86
3.3.5. Tratamiento de datos Producción de Biogás o de metano (mL CH <sub>4</sub> ) .....	87
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>89</b>
RESULTADOS Y DISCUSION .....	89

4.1. ZONA DE ESTUDIO: .....	89
4.1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	90
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL CAUDAL A TRATAR .....	92
4.2.1. Zona de estudio: Puno.....	92
4.2.2. Determinación del volumen de muestra .....	94
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES .....	94
4.3.1 Determinación de DBO <sub>5</sub> y nutrientes.....	96
4.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICO PARA UNA SEDIMENTACIÓN COMPLETA .....	98
4.4.1 SEDIMENTACIÓN LIBRE .....	98
4.5 FILTRACIÓN.....	100
4.6. RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR DESPLAZAMIENTO DEL LÍQUIDO MANOMÉTRICO EN EL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE AGUA. ....	101
4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.....	107
CONCLUSIONES .....	111
RECOMENDACIONES .....	112
BIBLIOGRAFIA .....	113
ANEXOS .....	116

**INDICE DE TABLAS**

TABLA 1: METANOGENOS.....	40
Tabla 2. Parámetros físico químicos de lodos separados de las aguas residuales urbanas.....	46
Tabla 3. Determinación de los recipientes, la preservación y el tiempo para el análisis de la muestra.....	57
Tabla 4. Conductividad eléctrica de soluciones de KCl a 20°C.....	63
Tabla 5. Cantidades de Reactivos y Muestra.....	69
TABLA 6. Población y Tasa de crecimiento intercensal – Región Puno.....	90
Tabla 7. Resultados de datos de monitoreo y mediciones in situ de las aguas residuales de la ciudad de Puno descargadas en la laguna el Espinar.....	95
Tabla 8. Resultados de datos de monitoreo y mediciones en laboratorio de las aguas residuales de la ciudad de Puno descargadas en la laguna el Espinar.....	96
Tabla 9. Variación de sólidos totales en los conos Inhoff en función del tiempo para calcular el tiempo de retención hidráulica.....	99
Tabla 10. Composición del líquido separado de los lodos sedimentables en la operación de sedimentación.....	101
Tabla 11. Desplazamiento en cm del manómetro diferencial de agua, por efecto de la producción de biogás.....	102
Tabla 12. Volumen producido de biogás durante el proceso de degradación anaeróbica.....	106
Tabla 13. Análisis estadístico descriptivo de la producción de biogás desde el día 5 hasta el día 47 de la fermentación anaeróbica.....	109



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de biogás .....	33
Figura 2. Degradación anaeróbica de la materia orgánica, (DQO) en metano.....	44
Figura 3. Fases de la degradación anaeróbica, por diferentes poblaciones bacterianas. (1) Bacterias hidrolíticas-acidogénicas, (2) Bacterias acidogénicas, (3) Bacterias homoacetogénicas, (4) Bacterias metanogénicas y (5) bacterias metanogénicas acetoclasticas.....	45
Figura 4. Mapa de ubicación de la laguna de oxidación de la Isla el Espinar .....	53
Figura 5. Punto de muestreo y recojo de muestras de aguas residuales .....	56
Figura 6. Curvas de Concentración de O <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S .....	82
Figura 7. Conos Inhoff utilizados para determinar la velocidad de sedimentación .....	84
Figura 8. Sistema de filtrado a presión de vacío .....	85
Figura 9. Esquema de producción y monitoreo de biogás .....	85
Figura 10. Toma fotográfica del digester anaeróbico.....	86
Figura 11. Imagen de los biodigestores utilizados. ....	87
Figura 12. Ubicación de zonas de estudio: Ciudad de Puno (Puno), vista de la Planta de tratamiento de aguas residuales y del lago Titicaca .....	91
Figura 13. Variación de la temperatura del agua residual y ambiental en la captación de la Planta El Espinar (Puno).....	93
Figura 14. Variación de la concentración de sólidos totales en función del tiempo en los conos Inhoff.....	100
Figura 15. Comportamiento de la temperatura y el desplazamiento del líquido manométrico durante la experimentación .....	103
Figura 16. Esquema del equipo experimental para determinar la presión del biogás	104
Figura 17. Prueba de ignición del biogás producido .....	107
Figura 18. Producción diaria de biogás, desde el día 05 hasta los 47 días de fermentación anaeróbica. ....	108
Figura 19. Correlación diaria de la temperatura del biogás versus el tiempo de fermentación anaeróbica. ....	109

## RESUMEN

El problema de las aguas residuales y por ende de los lodos residuales en la ciudad de Puno tiene un efecto directo sobre el desarrollo de la ciudad. La falta de una gestión del manejo adecuado de las aguas y lodos residuales conlleva a la proliferación de focos infecciosos, riesgo de salud ambiental y deterioro del paisaje de la ciudad, frente a ello se planteó como objetivos: Producir biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno, evaluar los parámetros como temperatura, presión, agitación y tiempo de retención en la producción de biogás, evaluar la carga orgánica, pH y características físico químicas de los lodos de las aguas residuales urbanas para controlar el volumen de producción de biogás, la metodología fue la siguiente: las aguas residuales se muestrean en frascos los cuales fueron limpiados cuidadosamente ante de cada uso, y se sometieron a examen de laboratorio con el propósito de identificar y cuantificar los parámetros y sus características fisicoquímicas, obteniéndose los siguientes resultados: Tiempo de retención 43 días, a una temperatura promedio de 27.4 °C con una presión 214.5 cm<sup>3</sup> así mismo en la evaluación de la carga orgánica de los lodos de aguas residuales encontrándose promedios de 75.20 ppm de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 0.089 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> N y 2.201 de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> también se encontró una DBO<sub>5</sub> de 319.90 ppm, se han evaluado los parámetros físico químicos encontrándose que el pH promedio óptimo de 8.08, conductividad promedio de 1909.25 μs/cm, Oxígeno disuelto promedio 5.50 ppm, Sólidos totales 1200.25 ppm y una turbiedad promedio de 110.45 NTU. Se ha logrado comprobar que mediante la descomposición anaerobia de los lodos que arrastra la laguna espinar de la ciudad de Puno,

que es una medida de solución que se tiene en la laguna, como una alternativa ecológica y energética. El promedio de producción de biogás obtenido fue de  $14.88 \text{ cm}^3$  a partir del 5 día hasta los 47 días de fermentación anaeróbica y una producción acumulada  $214.5 \text{ cm}^3$  al final de la fermentación, los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas, por la composición química que llevan presentan una buena relación  $C/N > 20$ , su valor de desviación estándar indica que en promedio las observaciones individuales se desvían de las medias en  $4.84 \text{ cm}^3$ . Así mismo nos indica que el rango fue de  $4.84 \text{ cm}^3$  como valor mínimo hasta un rango máximo de  $27.48 \text{ cm}^3$  con una varianza de 25.35 respectivamente.

**Palabras clave:** biogás, degradación, lodos, fermentación

## ABSTRACT

The problem of wastewater and therefore of sewage sludge in the city of Puno has a direct effect on the development of the city. The lack of proper management of wastewater and sewage sludge leads to the proliferation of infectious foci, environmental health risk and deterioration of the city's landscape. The following objectives were proposed: Producing biogas from sludge drag the urban wastewater from the city of Puno, evaluate the parameters such as temperature, pressure, agitation and retention time in the production of biogas, evaluate the organic load, pH and physical chemical characteristics of sludge from urban wastewater to control the volume of biogas production, the methodology was as follows: the wastewater is sampled in jars which were carefully cleaned before each use, and subjected to laboratory examination with the purpose of identifying and quantifying the parameters and their physicochemical characteristics , obtaining the following results: Retention time 43 days, at an average temperature or of 27.4 °C with a pressure of 214.5 cm<sup>3</sup> also in the evaluation of the organic load of the sewage sludges, with averages of 75.20 ppm of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 0.089 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> N and 2.201 of PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, a BOD<sub>5</sub> of 319.90 was also found ppm, the physical and chemical parameters have been evaluated, finding that the optimum average pH of 8.08, average conductivity of 1909.25 μs / cm, dissolved oxygen average 5.50 ppm, Total solids 1200.25 ppm and an average turbidity of 110.45 NTU. It has been verified that by means of the anaerobic decomposition of the sludge that drains the spinal lagoon of the city of Puno, which is a measure of the solution that is found in the lagoon, as an ecological and energetic alternative. The average biogas production obtained was 14.88 cm<sup>3</sup> from 5 days to 47 days of anaerobic fermentation and

an accumulated production of 214.5 cm<sup>3</sup> at the end of the fermentation, the sludge that drains the urban wastewater, due to the chemical composition they carry they have a good C / N > 20 ratio, their value of standard deviation indicates that on average the individual observations deviate from the means in 4.84 cm<sup>3</sup>. It also indicates that the range was 4.84 cm<sup>3</sup> as a minimum value up to a maximum range of 27.48 cm<sup>3</sup> with a variance of 25.35 respectively.

**Key words:** biogas, degradation, sludge, fermentation.

## INTRODUCCION

El principal producto obtenido en la digestión anaerobia es el biogás. Su composición depende tanto de cómo se ha desarrollado el proceso como del sustrato utilizado. Generalmente, la biomasa vegetal produce mayores cantidades de biogás; sin embargo, el contenido en metano del mismo es menor que en el caso de origen animal, por lo que se reduce su poder energético. La digestión anaerobia es considerada como una de las fuentes de energía más económicas y de fácil adquisición. El biogás obtenido puede ser utilizado para múltiples aplicaciones: cocción de alimentos, iluminación, refrigeración, calefacción ambiental para uso residencial y comercial, calor útil para procesos industriales, echar andar bombas de agua y otras maquinarias agrícolas, motores de combustión interna para energía motriz, y generación de electricidad.

Entre los factores que determinan el uso de la digestión anaerobia como una alternativa viable que garantiza una fuente de energía renovable y confiable más limpia podemos citar los siguientes:

- Ayuda a mitigar el cambio climático, al prevenir que el metano sea liberado en el aire.
- Reduce la contaminación del agua, al usar las materias primas que podrían terminar en ríos o lagos.
- Requiere un área pequeña, en comparación con la disposición de los desechos municipales sólidos.
- Incrementa las condiciones de higiene.

- Reduce las molestias causadas por el olor.
- Ayuda a reducir las plantas, que como los lirios acuáticos se han vuelto una plaga.
- Además del combustible, el proceso de fermentación proporciona lodos residuales que pueden usarse como alimento para animales o como abono de excelente calidad y de más rápida producción, contribuyendo de esta manera a la conservación y el sostenimiento de la fertilidad del suelo.

Este trabajo pretende proporcionar un alcance para establecer un tratamiento de los lodos residuales que son arrastrados por las aguas residuales, y tratar la carga sólida de materia orgánica por medio de un tratamiento anaeróbico para la producción de biogás urbana

Por lo expuesto la finalidad de esta investigación es comprobar que es posible producir y obtener biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales de la ciudad de Puno.

## CAPITULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población incrementa el volumen de las aguas residuales, lo cual constituye un grave problema ambiental, ya que dichos materiales se van acumulando sin que los agentes naturales puedan estabilizar o destruir toda esa materia, debido a la velocidad con que esta se genera (Ennabili, 1998).

Las aguas residuales sin tratar son una de las causas principales de daños a la propiedad, pérdida de espacios y daños ecológicos alrededor de las principales áreas urbanas y del Lago Titicaca. No hay ningún sistema de tratamiento funcionando, no se posee medidas de control adecuadas para el tratamiento y disposición de aguas servidas, lodos residuales, residuos y desechos sólidos peligrosos, que finalmente terminan contaminando la bahía de la ciudad. El cuerpo de agua del lago Titicaca se encuentra afectado por las aguas servidas y lodos sedimentados en las Lagunas de Estabilización, con intensos procesos de eutrofización debido a la falta de depuración.



El problema de las aguas residuales y por ende de los lodos residuales en la ciudad de Puno tiene un efecto directo sobre el desarrollo de la ciudad. La falta de una gestión del manejo adecuado de las aguas y lodos residuales conlleva a la proliferación de focos infecciosos, riesgo de salud ambiental y deterioro del paisaje de la ciudad.

¿Qué solución se puede encontrar para limpiarlas? La solución está en aplicar la biotecnología al importante campo de la ecología, tan íntimamente relacionado con la posibilidad de conservar un medio ambiente. Limpiar las aguas y la reutilización de los Lodos Residuales es apenas uno de sus aspectos. La biotecnología ambiental tiene como objetivo la protección y la restauración de la calidad del medio ambiente.

En el caso particular de la Bahía Interior de Puno, al referirnos explícitamente a las dos lagunas de estabilización, se observa claramente que no se cuenta con factores externos que renueven sus aguas, estas aguas son vertidas directamente al lago Titicaca y los lodos residuales depositados sin ningún tratamiento en la zona alta de Capullani salida a Moquegua.

En tal sentido la importancia de la presente investigación radica en el tratamiento de los lodos residuales que son arrastrados por las aguas residuales, es así que nos proponemos tratar la carga sólida de materia orgánica por medio de un tratamiento anaeróbico para la producción de biogás, ante tal problema surge la siguiente interrogante:

### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

- ¿Será posible producir biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno?

### 1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Será posible determinar y evaluar los parámetros en la producción de biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno?
- ¿Será posible evaluar las características físico químicas para controlar el volumen de producción de biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno?
- ¿Será posible determinar como una alternativa energética y ecológica producir biogás a partir de los lodos de aguas residuales.

## 1.2. ANTECEDENTES

### 1.2.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Estudios de la biomasa y análisis bromatológico de la lenteja de agua *Lemna sp* en la Bahía de Puno, realizado durante 1986 a 1990, encontraron que la biomasa es mayor en lugares donde existen altos grados de contaminación por aguas residuales y varía de acuerdo a las zonas, meses y año de estudio. Además, la composición química en proteínas, grasa, cenizas, fibra, carbohidratos, calcio, fósforo y hierro, varía en las diferentes zonas de estudio de acuerdo al mayor o menor grado de contaminación y la disponibilidad de nutrientes que permiten el desarrollo de esta especie (Palacios & Laguna, 1991).

El desarrollo de la lenteja de agua puede ser hasta 21 días en sistemas de laboratorio, las condiciones necesarias para el desarrollo de la lenteja de agua

son las siguientes: temperatura de 18 a 25°C, salinidad 20 a 24 gr.L<sup>-1</sup>, pH de 5,6 a 7,5 (Magbanua et al, 2010).

Santiago et al. (1996), con el objetivo de financiar los sistemas de tratamiento de aguas residuales, se desarrolló una tecnología de tratamiento para éstos mediante el cultivo de lenteja de agua, planta acuática que es un alimento excelente para la cría de aves y peces. Se ha logrado su policultivo y se operó una planta piloto de 3000 metros cuadrados de superficie de lagunas de cultivo, la cual garantiza una remoción de contaminantes y patógenos superior al 90 %. Cada hectárea de cultivo puede tratar con esta eficiencia, los residuales de entre 2500 y 5000 cerdos, o los residuales de entre 10 000 y 15 000 personas, descargando diariamente medias de 1,73 kg de DQO y 0,55 kg de  $DBO_5$ . El rendimiento promedio de 0,59 ton de lenteja de agua fresca / ha\*día, con máximos de 1,29 ton, con concentraciones mínimas de proteína. El equipo de estudio de Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y el Proyecto Especial Binacional (PELT) (1999) condujeron la investigación de la calidad de los sedimentos del lago, en 12 puntos de la Bahía Interior de Puno. Particularmente, los sedimentos contaminados con altos contenidos orgánicos se localizan en los cuerpos de agua A (orilla oeste de la Bahía Interior de Puno) y B (Orilla de la isla Espinar). El contenido promedio de los sedimentos en la Bahía Interior de Puno fue de 16.1 mg/g-sólido seco de nitrógeno total y 1.4 mg/g-sólido seco de fósforo total. El contenido total de sedimentos fue estimado en 13 389 toneladas de nitrógeno y 1164 toneladas de fósforo. Estas cantidades de nutrientes son iguales a la descarga de cargas contaminantes de

hace 20 a 40 años en la ciudad de Puno. Este equipo de estudio informa los siguientes resultados:

Contenido promedio de sedimentos:

Total de Nitrógeno:	16,1mg/g-sólido seco
Total de Fósforo:	1,4 mg/g-sólido seco
Contenido de humedad:	76%
Gravedad específica:	2,2

Pauss *et al.* (1984), utilizo residuos sólidos municipales separados manualmente, con lo cual la fracción orgánica no contenía partes no biodegradables (por ejemplo, plásticos, madera, etc.). Los digestores utilizados fueron reactores de tipo tanque agitado de laboratorio que funcionaron en condiciones mesofílicas (35°C) y con un tiempo de residencia entre catorce y veinte días. La concentración de alimentación se mantuvo entre 30 y 56 g SVT por litro. En esas condiciones y con una carga orgánica de 1.0 a 4.0 kg SVT/ ( $m^3$  día), la producción volumétrica del metano fue de 0.55 a 1.37  $m^3/(m^3 \cdot día)$ , y la producción específica, de 0.35 a 0.43  $m^3/kg$  SVT.

Fruteau *et al.* (1997) experimento con un reactor en mesofílico con un 30% de ST y en un tiempo de retención entre 20-55 días. Obtuvieron 210-290  $Nm^3$  de  $CH_4/ton SV_{eliminados}$ . El proceso utilizado estuvo en semicontinuo, para sólidos de alta concentración, de una sola etapa y de flujo pistón, su principal característica fue la ausencia completa de cualquier equipo mecánico dentro del reactor. El proceso biológico se mantuvo estable sobre la base de acidez volátil, la alcalinidad y mediciones de amoníaco en el efluente.

Lopez, (1989), centró su atención en un digester de primera generación, tipo cúpula fija de 23 m<sup>3</sup> de volumen operacional con tratamiento secundario y laguna de estabilización. El efluente proveniente del tratamiento anaerobio es utilizado como principal fuente para el fertiriego y aplicación de abono orgánico para sus cultivos. Se realizaron ensayos de laboratorio, basados en la medición de los Potenciales Biológicos de un número significativo de muestras tomadas del proceso real que arrojaron resultados concretos sobre las mejores variantes de aplicación del residual al digester en cuanto al grado de dilución a que son aplicados, al mismo tiempo que se realizó un estudio físico - químico de los principales componentes del afluente a la planta de tratamiento para determinar entre otros aspectos la variabilidad del pH y la DQO en condiciones de tratamiento anaerobio. La tecnología estudiada y propuesta en este proyecto para su generalización al resto de las fincas privadas de producción porcina, alcanza altos grados de remoción de la materia orgánica y rendimientos en la producción de biogás que coinciden con las medias históricas registradas en la bibliografía para este tipo de tratamiento 0,4 m<sup>3</sup> Biogas/m<sup>3</sup> de Reactor, equivalente a 9.3 m<sup>3</sup> de biogás diario. Por otro lado, la variante de aplicación de la residual porcina dilución 1:1 demostró ser la más apropiada para este tipo de tratamiento al alcanzar un mayor grado de remoción de la materia orgánica y mejor tiempo de retención hidráulica.

Montes (2008), realizó dos estudios técnicos, el primero de ellos compara el rendimiento en función de ST (sólidos totales), STV (sólidos totales volátiles) y DQO (demanda química de oxígeno), y la producción y riqueza de biogás de tres digestores usando tres sustratos diferentes fangos, fracción orgánica de

residuos sólidos urbanos (FORSU) y codigestión de fango- FORSU, así como un breve análisis económico a partir de los valores obtenidos respecto a la producción y riqueza de biogás. El segundo estudio, compara las tecnologías de digestión en fases y monoetapa, utilizando como sustrato una mezcla de fango- FORSU en codigestión, en función también de ST, STV y DQO y la riqueza del biogás obtenido. Los digestores en monocapa en rango mesofílico, alimentados en 3 sustratos diferentes (fango, FORSU y codigestión de fango- FORSU), tenían un volumen útil de 100 litros, trabajando a flujo pistón con la ayuda de una bomba tornillo. En los tres digestores se obtuvieron rendimientos de eliminación de ST, STV y DQO que permiten asegurar una perfecta estabilización de los lodos. La producción específica de biogás fue mayor en el digester monoetapa en codigestión. Con respecto a la riqueza del biogás, también el digester monoetapa fango- FORSU en codigestión consiguió un mayor porcentaje, 73,09 % CH<sub>4</sub>. Los digestores en fases y monoetapa en rango mesofílico, alimentados con una mezcla de fango- FORSU en codigestión tenían un volumen de 130 litros (30 litros para la fase ácida y 100 litros para la fase metánica) y 100 litros para el digester en monoetapa. El digester ácido trabajó a la temperatura ambiente en mezcla completa con la ayuda de un agitador de hélices. En el digester de fases se obtuvo un porcentaje de eliminación de STV superior en 18% que en el digester en monoetapa. Siendo el porcentaje de eliminación de DQO similar en ambos sistemas. En cuanto a la riqueza del biogás se obtuvo un mayor porcentaje de CH<sub>4</sub> (70,18%) en el digester de fases.

En la Universidad de León, España, Gómez et al (2009), realizaron un estudio que consistió en digerir lodos primarios y codigerir estos lodos (22%) con una mezcla de frutas y hortalizas de la fracción orgánica de los residuos sólidos. La digestión anaerobia se realizó en monoetapa en un digester con un volumen de trabajo de 3 litros para ambos casos. En la digestión de fango se alimentó con una carga orgánica de 2.5-3.6 g SV/día y con tiempo de retención de 37-47 días, obteniéndose % SV/ST de 49.6-54, una producción de biogás de 0.4-0.8 L/g  $SV_{ELIMINADOS}$  y 0.5-1.5 L/día. En la codigestión se utilizó una carga de 2.5-4.3 gSV/día y un tiempo de retención de 37-47 días, obteniéndose %SV/ST de 51-58.5 y una producción de biogás de 0.6-0.8 L/g  $SV_{ELIMINADOS}$  y 0.7-4.4 L/día. Concluyeron que el proceso de digestión anaeróbica se puede realizar bajo condiciones de mezcla. En la codigestión de los lodos primarios con la mezcla de frutas y hortalizas de los RSU se obtuvo más biogás que con la digestión de los lodos primarios, debido a la mayor concentración de sólidos volátiles.

Boubaker et al (2011), realizaron una investigación a escala laboratorio, de la codigestión anaerobia de las aguas residuales generadas en la obtención del aceite de oliva (RMA) y los residuos sólidos obtenidos durante la molienda (RSMA). Utilizaron un digester tubular con una alimentación en semi-continuo, operado con temperaturas mesofílicas. Cada digester fue alimentado con un influente compuesto por RMA y RSMA, con un ratio de carga orgánica entre 0.67-6.67 gDQO/L día. El tiempo de retención hidráulico fue de 12.24 y 36 días. La concentración de DQOT de RMA usado como principal sustrato fue de 24.56 y 80 gDQO/L. La cantidad de RSMA seco usado como cosustrato fue

aproximadamente de 56 g/l de RMA. Dos principales efectos fueron demostrados en esta investigación. Primero, el rendimiento de biogás de RMA mejoro cuando fue codigerido con RSMA. En efecto, el mejor rendimiento desde la codigestión de RMA (DQOT=56 gDQO/L) con RSMA, un TRH= 12 d, fue 0.95l/l/d. Mientras que se obtuvo 0.7 l/l/d cuando RMA fue digerido solo bajo las mismas condiciones de TRH y concentración de DQOT del influente. Segundo, la mejor eliminación de DQO (89.6%) fue obtenida con un influente DQOT= 24 gDQO/L digerido con un TRH=36 días. Finalmente observaron además que la producción de metano cesó con RMA tuvo concentraciones  $\geq$  80 gDQO/L y digerido a TRH  $\leq$  12 d sin una dilución apropiada.

Según Beam, R (2011), la digestión anaerobia de lodos de depuradora se ha utilizado para la reducción de sólidos en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, pero ha ganado el reconocimiento como una forma de producción de energía. El proceso de la digestión se ha optimizado a través de diversos estudios paramétricos diseñado para determinar el efecto de cada parámetro y encontrar un rango óptimo para la operación. El rango óptimo de pH se 7,0-7,5. Prueba de temperatura mostraron que el rango mesofílico (30-40 ° C) proporciona el más alto, la producción de gas más constante. Ajuste de la alcalinidad con hidróxido de magnesio aumentaron el pH y alcalinidad. La producción de biogás fue mayor en las muestras con alcalinidad que van desde 2.000-2.500 mg /L como CaCO<sub>3</sub>.

Ramirez & Noreña (2003), reportan que en la laguna tropical Rasa (Colombia), el sedimento se ajusta al tipo orgánico (contenido medio de carbono orgánico: 16,5%), con alto contenido de agua (media: 84,4%). Como



consecuencia de las altas temperaturas del agua, los valores de carbono orgánico y fósforo hallados fueron mucho menores al ser comparados con los encontrados en ecosistemas lacustres de la zona templada. A pesar de su condición de ecosistema raso (profundidad media: 1,60 m) y su naturaleza cinética, el metabolismo de corto circuito afecta la velocidad de la descomposición y con esto los contenidos de materia orgánica y nutrientes en el sedimento.

### 1.2.2. ANTECEDENTES NACIONALES

La Universidad Nacional del Altiplano (UNA). Tarapa (2014). En su trabajo de tesis "OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE GASEOSO Y SÓLIDO A PARTIR DE PLANTAS ACUÁTICAS Y LODOS SEDIMENTADOS DE LA BAHÍA INTERNA, PUNO- LAGO TITICACA reporta que el volumen de gas metano en el biocombustible gaseoso generados por la codigestión anaerobia de lodos sedimentados y plantas acuáticas (*Schenoplectus tatora* y *lemna gibba*) a nivel de laboratorio fue de  $0,052 m^3$  con una concentración promedio de 75,77 % y a nivel de planta piloto se generó un volumen de  $17,39 m^3$  con una concentración promedio de 71.03%.

### 1.3. JUSTIFICACION

#### 1.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno donde la materia orgánica durante este proceso es transformada en Biogás (gas combustible) y lodos con propiedades adecuadas para ser usados como bioabono.

Las biotecnologías anaeróbicas debido a su capacidad de degradar ciertos compuestos tóxicos, así como de contaminantes orgánicas comunes en aguas residuales han avanzado a niveles elevados de aplicación y se ha establecido como una opción viable en el tratamiento y restauración de muchos efluentes residuales. El tratamiento anaeróbico de aguas residuales con niveles de contaminación altos, es en el presente aceptado como una tecnología probada y aprobada.

Con el presente trabajo se trata de valorar las ventajas de un reactor anaeróbico en el tratamiento de lodos residuales estableciendo estrategias que permitan la asimilación de esta tecnología y su explotación para la obtención de Biogás.

### **1.3.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

En la sociedad actual es un imperativo restaurar la calidad del agua descargada por toda la población hacia las Lagunas de Estabilización, ubicadas en la zona baja de la ciudad a orillas del Lago Titicaca.

El proyecto en mención podrá beneficiar a la población en general y directamente a los pobladores que habitan en la zona baja próximos a las Lagunas de Estabilización. En dichas lagunas no existe un tratamiento a los lodos residuales.

Al realizar el tratamiento a los lodos la carga orgánica disminuirá, mejorando así el tratamiento de las aguas residuales en las Lagunas de Estabilización.

### **1.3.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL**

El presente proyecto tiene su justificación ambiental, desde el punto que beneficiara a la población con la descontaminación ambiental producido por la acumulación de lodos que en es una materia orgánica putrefactable, se dará una solución ambiental al problema de la contaminación generada por los lodos que arrastra las aguas residuales, los cuales son generadores de malos olores y producción de gases como  $H_2S$  en los lugares en donde se acumulan.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

- Producir biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar los parámetros como, temperatura, presión, y tiempo de retención en la producción de biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno.

- Evaluar la carga orgánica, pH y características físico químicas de los lodos de las aguas residuales urbanas para controlar el volumen de producción de biogás a partir de los lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno.

- Evaluar la producción de biogás de lodos de aguas residuales como una alternativa energética y ecológica.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL, HIPOTESIS Y VARIABLES**

#### **2.1. MARCO TEORICO**

##### **2.1.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

###### **2.1.1.1. Pasos de tratamiento**

En el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos:

- Tratamiento preliminar; destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos un proceso de pre-aireación.
- Tratamiento primario; que comprende procesos de sedimentación y tamizado.
- Tratamiento secundario; que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) para reducir la mayor parte de la DBO.
- Tratamiento terciario o avanzado; que está dirigido a la reducción final de la DBO, metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos. (Naveau, et al. 1984).

###### **2.1.1.2. Sistemas de tratamiento biológico**

Los objetivos del tratamiento biológico son tres:

- reducir el contenido en materia orgánica de las aguas,
- reducir su contenido en nutrientes, y
- eliminar los patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas, los principales sistemas son:

- **Estanques de lodos activos**

El tratamiento se proporciona mediante difusión de aire por medios mecánicos en el interior de tanques. Durante el tratamiento los microorganismos forman flóculos que, posteriormente, se dejan sedimentar en un tanque, denominado tanque de clarificación. El sistema básico comprende, pues, un tanque de aireación y un tanque de clarificación por los que se hace pasar los lodos varias veces. (Naveau, et al. 1984).

Los dos objetivos principales del sistema de lodos activados son:

- La oxidación de la materia biodegradable en el tanque de aireación y
- La floculación que permite la separación de la biomasa nueva del efluente tratado.

- **Tratamiento anaerobio**

Consiste en una serie de procesos microbiológicos, dentro de un recipiente hermético, dirigidos a la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Es un proceso en el que pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos pero que está dirigido principalmente por bacterias. Presenta una serie de ventajas frente a la digestión aerobia: generalmente requiere de

instalaciones menos costosas, no hay necesidad de suministrar oxígeno por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Por otra parte, se produce una menor cantidad de lodo (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos), y además este último se puede disponer como abono y mejorador de suelos. Además, es posible producir un gas útil. (Naveau, et al. 1984)

#### - **Humedales artificiales**

Este sistema consiste en la reproducción controlada, de las condiciones existentes en los sistemas lagunares someros o de aguas lenticas los cuales, en la naturaleza, efectúan la purificación del agua. Esta purificación involucra una mezcla de procesos bacterianos aerobios-anaerobios que suceden en el entorno de las raíces de las plantas hidrófilas, las cuales a la vez que aportan oxígeno consumen los elementos aportados por el metabolismo bacterial y lo transforman en follaje.

Este sistema es el más amigable desde el punto de vista ambiental ya que no requiere instalaciones complejas, tiene un costo de mantenimiento muy bajo y se integra al paisaje natural propiciando incluso refugio a la vida silvestre.

### **2.1.2. TRATAMIENTO DE AGUAS A NIVEL DOMICILIARIO**

Es importante comprender que el sistema de tratamiento más adecuado debe ser el que considere las condiciones específicas del medio ambiente e incluso de las culturales. La instalación de los sistemas de tratamiento no solo debe contemplar eficacia en si de la depuración, sino también debe analizar la relación de los elementos circundantes, las necesidades particulares, el costo,

el mantenimiento, el rehúso, y la utilización o disposición de los subproductos de la depuración, los principales sistemas son: (García, et al. 2009).

#### - **La fosa séptica**

Es común encontrar una gama muy amplia de formas de disponer el agua con el nombre genérico de fosa séptica, sin embargo, no todas cumplen con el objetivo de liberar los acuíferos de contaminación, debido que suelen confundirse con pozos negros o de absorción, en los que las aguas son infiltradas al suelo sin un verdadero tratamiento. También suelen llamarse de este modo a tanques de sedimentación y almacenamiento que son vaciados periódicamente, para trasladarlos a un sitio donde se puedan arrojar con impunidad. (García, et al. 2009).

El modelo de fosa más funcional es el tanque de tres cámaras con una secuencia de tratamiento que consiste en primer lugar en una cámara de sedimentación que en algunos casos también cumple la función de trampa de grasas, de allí el agua pasa a una cámara con condiciones anaerobias donde se reduce la carga orgánica disuelta. La tercera cámara cumple las funciones de sedimentador secundario para clarificar el agua antes de ser dispuesta en un campo de oxidación. El problema básico de las fosas sépticas es que suelen acumular lodos hasta el punto de saturación, lo cual se incrementa si la fase anaerobia no funciona correctamente. El efluente debe necesariamente ser tratado en un campo de oxidación antes de infiltrar al suelo y los lodos extraídos necesitan tratamiento adicional.

### - **Biodigestores anaerobios**

El uso de digestores anaerobios es más común cada día, ya sea para el tratamiento de excretas animales, la producción de biogás, la purificación de aguas residuales, y la elaboración de biofertilizantes. Existen varios tipos de Biodigestores y se clasifican según el régimen de carga y la dirección del flujo en su interior. (García, et al. 2009).

#### **Régimen:**

- Flujo continuo: son los que reciben su carga por medio de una bomba que mantiene una corriente continua.
- Flujo semi-continuo son los que reciben una carga fija cada día y aportan la misma cantidad.
- Estacionarios son los que se cargan de una sola vez y pasado el tiempo de retención se vacían completamente.

### - **Sistema mixto**

Los sistemas mixtos de tratamiento domiciliario son aquellos en los que se arman con diferentes sistemas de tratamiento con el fin de lograr la máxima remoción en el menor espacio posible estos pueden combinar digestores para aguas negras, lechos vegetales, sistemas de enramado, aireadores, etc. (García, et al. 2009).

## **2.1.3. TEORÍA DE LA BIODEGRADACIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO**

### **2.1.3.1. Condiciones determinadas para la síntesis de metano**

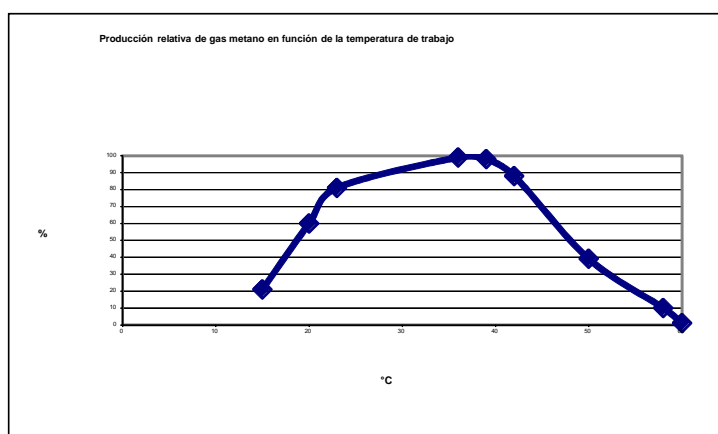
La variedad de microorganismos que intervienen, sus actividades a la vez complementarias e inhibidoras unas de otras, la diversidad posible de los



constituyentes del sustrato, hacen bastante más difícil la conducta óptima de la fermentación metánica. Además, existen otros parámetros, internos y externos, del desarrollo del proceso (SCRIBAN, 1985).

### - La Temperatura

Habitualmente se admite que la digestión anaerobia no se puede efectuar sino a temperaturas superiores a 10 °C e inferiores a 65 °C. Dentro de unos límites, la producción de metano tiene dos puntos óptimos, uno en una zona mesofílica hacia los 40 °C, el otro en la zona termofílica entre 50 – 55 °C.



**Figura 1. Producción de biogás**

FUENTE: Valera P. A.,1995

### - El pH

En las diferentes fases de la digestión, el pH fluctúa entre los valores de 6.5 y 8.0. Una disminución del pH por debajo de 6.5 puede significar una concentración demasiado alta de ácidos grasos volátiles y por tanto una inhibición de la metanogénesis, por encima de un pH 8.0 se produce la

formación de hidrógeno, de hidrógeno sulfurado y de amoníaco (SCRIBAN, 1985).

- **Tiempo de permanencia de los sustratos**

Es la composición misma del sustrato y las condiciones de funcionamiento que se mantienen, las que permiten determinar el tiempo de permanencia óptimo de desechos o de efluentes en el bioreactor.

Se buscará la forma de hacer mínimo el tiempo de permanencia en el bioreactor en la medida en la que este parámetro es determinante de las dimensiones y por tanto del coste del bioreactor (SCRIBAN, 1985).

- **El potencial redox**

Los ensayos realizados en cultivos puros han demostrado que las bacterias metanógenas sólo actúan a un bajo potencial redox: -300 a -330 Mv. Por esto es conveniente la introducción al digestor de elementos oxidantes y particularmente de asegurar una buena hermeticidad.

- **Los nutrientes y los inhibidores**

Habitualmente se admite como óptimo una relación de C/N (Carbono/Nitrógeno) es de 35 y C/P (Carbono/Fósforo) es de 150. El nitrógeno existe por lo general en cantidad suficiente en la mayoría de sustratos metanizables, tanto más ya que la metangénesis no produce aumento de la biomasa y por tanto no consume cantidades importantes (SEOANEZ, 1995).

Bajo la forma de nitrato, si las cifras son superiores a 150 mg/L, el nitrógeno puede convertirse en inhibidor de la metanogénesis porque su poder oxidante podrá afectar elevando el potencial redox.

- **La agitación**

La agitación permite mejorar la productividad asegurando una buena homogeneidad del contenido en el biorreactor y favoreciendo los intercambios térmicos. Por otra parte, permite asegurar, en parte, la desgasificación de los lodos. Esta agitación se hará mecánicamente (SEOANEZ, 1995).

- **Tamaño de partículas**

El substrato alimentado al biorreactor debe ser un material digerible y lo más accesible a los ataques de los microorganismos. En general los materiales bien triturados y solubles producen más gas que los duros y gruesos.

- **Inóculos y enriquecimiento de bacterias.**

Hay que garantizar que, en el medio en digestión, exista la suficiente cantidad de bacterias que aseguren el equilibrio dinámico del proceso. Cuando se inicia la digestión, es recomendable el sembrado con lodos de pantano, efluentes de procesos de digestión anterior. Asimismo, debe asegurarse la retención de una población bacteriana suficiente dentro del biorreactor para evitar la acidificación del proceso y para disminuir el tiempo de retención (SCRIBAN, 1985).

### **2.1.3.2. Las etapas de la digestión anaerobia**

La degradación de las materias orgánicas por digestión anaerobia, es decir, en ausencia de oxígeno, conduce a la producción de un gas compuesto principalmente de metano y gas carbónico.

Esta fermentación bacteriana pone en juego diversas poblaciones de microorganismos.

Los sustratos utilizados por estas bacterias y los productos que ellas fabrican permiten distinguir varias fases en la biosíntesis del metano: hidrólisis del sustrato, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (SCRIBAN, 1985).

#### - **La hidrólisis del sustrato**

Las moléculas más grandes y complejas del sustrato (lípidos, glúcidos, proteínas...) son despolimerizadas y transformadas en moléculas más sencillas por acción de bacterias hidrolíticas. La hidrólisis se reconoce como una etapa limitante, dado que algunos residuos orgánicos naturales (desechos lignocelulósicos) son muy resistentes a la acción bacteriana. Es posible que la acción combinada de enzimas y de bacterias permita optimizar esta importante fase de fermentación metánica. (SCRIBAN, 1985).

#### - **La acidogénesis**

Una parte de los monómeros producidos por la hidrólisis del sustrato es transformada en ácidos grasos (ácido acético, propiónico, butírico), alcoholes (metanol, etanol), gas carbónico e hidrógeno.

Esta fase pone en juego una población compleja de bacterias, en su mayoría anaerobias estrictas (bacteroides Rumicola clostridium, Bifido bacterium) aislables en cultivos puros. (SCRIBAN, 1985).

### - La Acetogénesis

Esta etapa es primordial en el proceso dado que transforma a los productos de la acidogénesis en precursores del metano (ácido acético, ácido fórmico, hidrógeno y gas carbónico). Estas reacciones permiten evitar una acumulación de ácidos grasos volátiles, diferentes al acético, los cuáles, a concentraciones muy elevadas se convierten en inhibidores de la metanogénesis.

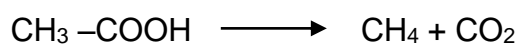
Se han podido identificar algunas especies: Desulfovibrio, Clostridium thermoaceticum, Clostridium formicoaceticum, Acetobacter woodii, la mayor parte de las bacterias acetógenas aún son poco conocidas. Esta etapa de la fermentación metánica ha permanecido muy ignorada. (SCRIBAN, 1985).

### - La metanogénesis

Las bacterias metanógenas son organismos anaerobios estrictos (*Methanobacterium thermoautotrophicum*, *Methanosarcina barkeri*...) Estas bacterias realizan la síntesis del metano especialmente a partir de hidrógeno, y de gas carbónico:



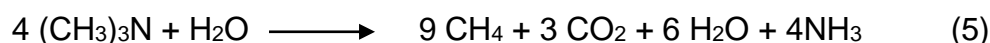
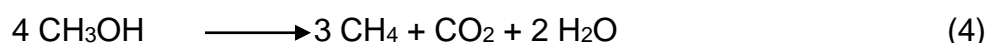
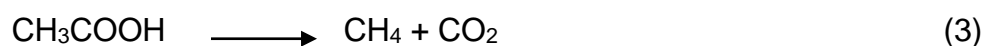
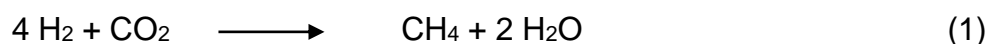
Y a partir de ácido acético:



Algunas bacterias tienen una temperatura óptima de 30 – 45 °C, son las bacterias mesofílicas. Otras tienen una marcadamente elevada, a 50 – 55 °C, son las bacterias termofílicas. (SCRIBAN, 1985).

Es importante notar que las bacterias generadoras de metano sólo pueden emplear determinados sustratos para llevar a cabo su función. Hoy en día, se

sabe que las sustancias que sirven como sustrato a los organismos metanogénicos son:  $\text{CO}_2 + \text{H}_2$ , formiato, acetato, metanol, metilaminas y monóxido de carbono. Las reacciones típicas de producción de energía ligadas a estos compuestos son las siguientes:



En un digestor anaeróbico, las dos vías principales de producción de metano son: (1) la conversión de hidrógeno y dióxido de carbono en metano y agua y (2) la conversión de acetato en metano y dióxido de carbono. Los organismos metanogénicos y los acidogénicos comparten una relación sintrópica (mutuamente beneficiosa) en la que los metanógenos convierten en metano y dióxido de carbono los productos finales de la fermentación, tales como el hidrógeno, el formiato o el acetato. Los metanógenos, son capaces de utilizar el hidrógeno producido por los organismos acidogénicos debido a su eficacia en la hidrogénesis.

Como quiera que los organismos metanogénicos son capaces de mantener la presión parcial del  $\text{H}_2$  a valores extremadamente bajos, el equilibrio de las reacciones de fermentación se desplaza en el sentido de la formación de productos finales más oxidados (p.e. formiato y acetato). La utilización del hidrógeno producido por los acidogénicos y otras bacterias anaerobias, por parte de los organismos metanogénicos, se conoce con el nombre de

transferencia de hidrógeno entre especies. De hecho, las bacterias metanogénicas eliminan compuestos que pueden inhibir el crecimiento de los microorganismos acidogénicos.

Mientras la digestión prosiga con normalidad, la alcalinidad oscilará entre 1.000 y 5.000 mg/L, y la concentración de ácidos volátiles será inferior a 250 mg/L. Es necesario disponer de suficiente cantidad de nutrientes tales como nitrógeno o fósforo, para asegurar el crecimiento adecuado de la comunidad biológica. (SCRIBAN, 1985).

### **VIAS DE DEGRADACIÓN PARA OBTENER EL BIOGAS**



### **Microorganismos productores de biogás**

El metano CH<sub>4</sub> se conoce desde el siglo XVIII como un gas que se desprende de ambientes anaerobios ricos en materia orgánica, puede ser recogido y quemarse con facilidad (SCRIBAN, 1985).

Como ya hemos comentado el CH<sub>4</sub> es el resultado de un grupo muy especializado de bacterias que convierten los productos de fermentación de

otras materias orgánicas anaerobias (como el CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, Formiato y Acetato) bien en CH<sub>4</sub> o CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> (SCRIBAN, 1985). Estas son las bacterias metanogénicas estrictamente anaerobias mucho más sensibles al O<sub>2</sub> y otros agentes oxidantes como el nitrato que las demás bacterias anaerobias. Muchas bacterias metanógenas son termófilas y algunas hipertermófilas también se conocen miembros halófilos (SCRIBAN, 1985). Para ellas la metanogénesis es obligada y para reducir el CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> solo puede oxidar H<sub>2</sub>, Formiato, Metanol, Metilaminas o Acetato y posiblemente el Etanol y el Propanol en casos especiales (SCRIBAN, 1985). Según SCRIBAN, el análisis se pone de manifiesto se componen de tres grupos

**TABLA 1: METANOGENOS**

Metanógenos							
Grupo	Géneros representativos	% G+C	Lípidos característicos	Estructura de la pared celular	Gram	Motilidad	Sustratos utilizados
I	Methanobacterium	32-50	Déteres C <sub>20</sub> y Tetraéteres C <sub>40</sub>	Pseudomureína	+	-	H <sub>2</sub> ; algunos usan formiato
	Methanobrevibacter	27-32					
II	Methanococcus	30-32	Diéteres C <sub>20</sub>	Proteína (trazas de glucosamina)	-	+	H <sub>2</sub> ; formiato
III	Methanospirillum	45-47	Diéteres C <sub>20</sub> y Tetraéteres C <sub>40</sub>	Vaina proteica; material estructural desconocido	-	+	H <sub>2</sub> ; formiato H <sub>2</sub> ; formiato metanol; metilamina; acetato
	Methanosarcina	38-51	Diéteres C <sub>20</sub>	Heteropolisacárido	+	-	

FUENTE: (SCRIBAN RENE,1985)



## 2.1.4. DIGESTIÓN ANAEROBIA – BIODEGRADABILIDAD

### 2.1.4.1. Ensayos de biodegradabilidad

El fundamento de base de los ensayos de biodegradabilidad consiste en simular la digestión anaerobia en un ensayo controlado, introduciendo un sustrato orgánico en el cultivo anaerobio y realizando un seguimiento de la generación de biogás y metano. (SCRIBAN, 1985).

Los ensayos de biodegradabilidad anaerobia permiten determinar una serie de características del residuo, como son:

- Fracción biodegradable de un residuo o corriente en condiciones anaerobias. Las sustancias presentes en un residuo sólido tienen unos porcentajes de biodegradabilidad muy variados, desde totalmente biodegradables a recalcitrantes.
- Potencial metanogénico del residuo (*Biochemical Methane Potential - BMP*). Corresponde a la cantidad de metano generada en la descomposición anaerobia por unidad de residuo.
- Viabilidad del tratamiento de un residuo. El número de sustancias que se tratan mediante la tecnología anaerobia va aumentando progresivamente, por lo que resulta necesario el conocimiento de la respuesta del sistema ante la entrada de una nueva corriente o compuesto.
- Variación que sufre la biodegradabilidad de un residuo ante un pre-tratamiento, son cada vez más las tecnologías que se están desarrollando con el objetivo de incrementar la biodegradabilidad de los residuos orgánicos. Los ensayos de biodegradabilidad permiten evaluar la influencia que un pre-tratamiento de los lodos en el proceso de digestión anaerobia, comparando las

cantidades de metano producidas por el residuo tanto fresco como el sometido al proceso de tratamiento de hidrólisis.

#### **2.1.4.2. Biodegradabilidad anaerobia**

La biodegradabilidad es la propiedad intrínseca de una sustancia que hace referencia a la tendencia que ésta tiene en ser biológicamente degradada. Se define como sustancia biodegradable aquella que puede ser descompuesta mediante la acción de los microorganismos. En función del grado de transformación es posible distinguir dos tipos de biodegradabilidad:

- Biodegradabilidad primaria o hidrolítica/acidogénica: Es la transformación de la sustancia a nivel estructural, donde pierde alguna de su propiedad específica y forma nuevos compuestos que podrán ser biodegradables. Algunos compuestos no son capaces de completar la ruta de degradación durante el proceso de biodegradación anaerobia, como es el caso por ejemplo de los ácidos grasos volátiles.
- Biodegradabilidad final o metanogénica: Es la transformación completa de la sustancia en compuestos inorgánicos y algunos productos no biodegradables resultantes del proceso metabólico celular. En la biodegradabilidad metanogénica se obtienen como principales productos finales el metano y el dióxido de carbono, bien como otros compuestos inorgánicos ( $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2$ ,  $NO_x$ ,  $H_2S$ ).

La biodegradabilidad se suele expresar como el porcentaje de sustancia que es degradado en un periodo de tiempo dado en comparación con la cantidad

teórica que podría ser convertida estequiométricamente, en base a su análisis elemental. (SCRIBAN, 1985).

### 2.1.5. TRATAMIENTO DE LODOS

Los lodos separados en las etapas de sedimentación y filtración se sometieron a los sub siguientes procesos para la obtención de biogás

#### a) DIGESTIÓN ANAERÓBICA

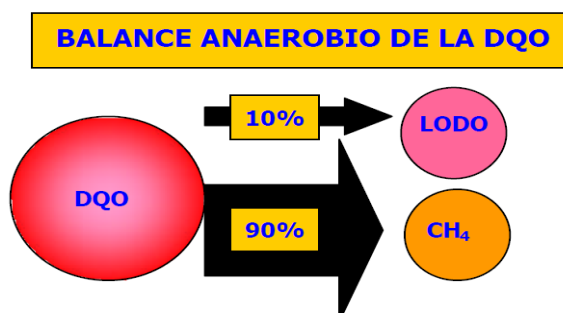
La digestión anaeróbica es el proceso fermentativo que ocurre en el tratamiento de los lodos separados de las aguas residuales urbanas, el proceso se caracteriza por la conversión de la materia orgánica en metano y  $\text{CO}_2$ , en ausencia de oxígeno y la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.



La digestión anaeróbica es un proceso que se produce en ambientes naturales como los pantanos, zonas anegadas de materia orgánica, sedimentos de orillas de lagos, zonas anóxicas del suelo, en fuentes de aguas termales sulfuradas y en el tracto digestivo de los rumiantes, por lo que inóculo para iniciar la fermentación anaeróbica de este trabajo es parte de la materia prima, (lodos).

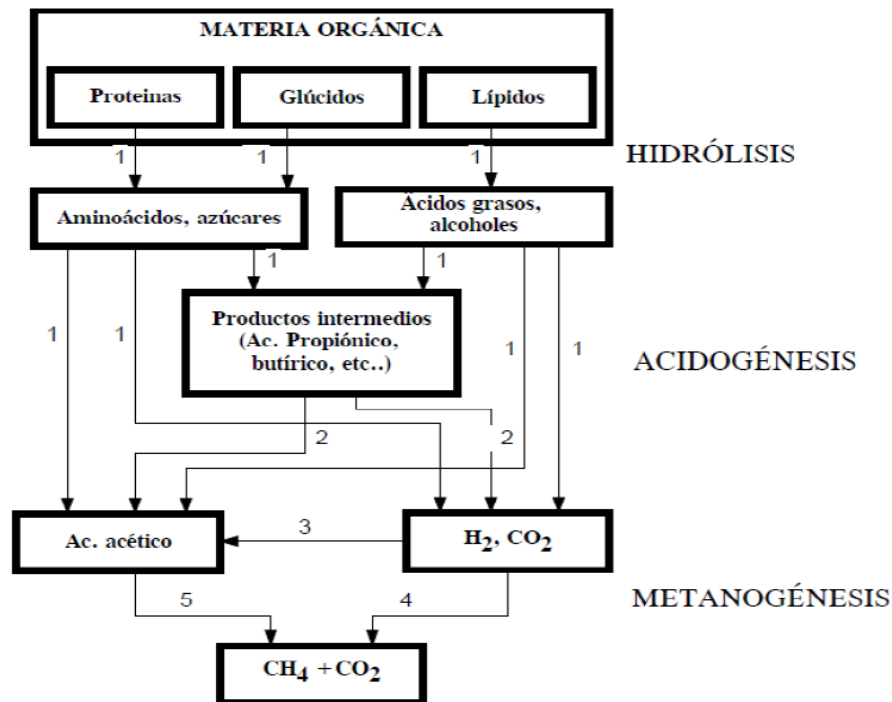
En el campo del tratamiento de los lodos de las aguas residuales, la contaminación orgánica es evaluada a través de la demanda química de oxígeno (DQO), lo cual mide básicamente la concentración de materia orgánica, y esta materia orgánica en el tratamiento anaeróbico convierte el 90

% en metano y el 10 % restante es componente de los lodos depurados, como se esquematiza en la siguiente figura. Mientras que el tratamiento aerobio solo el 50 % se convierte en energía.



**Figura 2. Degradación anaeróbica de la materia orgánica, (DQO) en metano**

La degradación anaerobia de la materia orgánica que contiene los lodos separados de las aguas residuales urbanas requiere la intervención de diversos grupos de bacterias facultativas y aeróbicas estrictas, las cuales se utilizan en forma secuencial y los productos metabólicos generados por cada grupo se esquematiza en la siguiente figura. La digestión anaeróbica de los lodos separados de las aguas residuales urbanas involucra tres grupos trópicos y cuatro pasos de transformación como se parecía en la siguiente figura.



**Figura 3. Fases de la degradación anaeróbica, por diferentes poblaciones bacterianas. (1) Bactérias hidrolíticas-acidogénicas, (2) Bacterias acidogénicas, (3) Bactérias homoacetogénicas, (4) Bactérias metanogénicas y (5) bacterias metanogénicas acetoclasticas.**

De la figura 3 se puede apreciar que el proceso de fermentación anaeróbica es un proceso complejo, porque se involucra diferentes tipos de bacterias, siendo la última etapa la metanogénesis o la producción de metano, como etapa de control de este proceso de estudio se controló y monitoreo la producción de gas por desplazamiento de la altura de líquido manométrico en un manómetro diferencial, que a continuación se discute en detalle.

#### **2.1.5.1. Características fisicoquímicas de los lodos (sustrato)**

El residuo orgánico (lodo de aguas residuales) utilizado para el desarrollo de este estudio sobre digestión anaeróbica para la producción de biogás, es el residuo orgánico separado de las aguas residuales por sedimentación y

filtración, en una proporción de 0.87 mL por cada litro de agua residual, (20 gramos), con la siguiente composición físico química

**Tabla 2. Parámetros físico químicos de lodos separados de las aguas residuales urbanas**

Parámetros	Valor
pH	7.5 +/- 0.65
ST (ppm)	820 +/- 19
SV (ppm)	172 +/- 32
SST (ppm)	581 +/- 22
SSV (ppm)	106 +/- 11
DBO <sub>5</sub>	213 +/- 09
N <sub>T</sub> (ppm)	5.06 +/- 0.25

Fuente: Romero, R. J (2002)

De la Tabla 2 se puede concluir que la composición química de los lodos tiene una alta carga orgánica, por la cantidad de DBO que tiene lo cual garantiza una buena producción de biogás.

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

#### - AERÓBICO

Proceso bioquímico de fermentación de algún compuesto orgánico que tiene lugar con la presencia de oxígeno.

#### - ANAERÓBICO

Procesos metabólicos que tienen lugar en ausencia de oxígeno. Si es anaerobiosis estricta significa que el oxígeno impide el proceso.

#### - AGUAS GRISES

Las aguas grises son todas aquellas que son usadas para nuestra higiene corporal o de nuestra casa y sus utensilios. Básicamente son aguas con jabón, algunos residuos grasos de la cocina y detergentes biodegradables. Es importante señalar que las aguas grises pueden transformarse en aguas negras si son retenidas sin oxigenar en un tiempo corto. El tratamiento es sencillo si contamos con el espacio verde suficiente, aprovechando la capacidad de oxigenación y asimilación de las plantas del jardín o el huerto mediante un sistema de "drenaje de enramado".

En caso de no contar con el espacio suficiente, las aguas grises deben ser sometidas a un tratamiento previo que reduzca el contenido de grasas y de materia orgánica en suspensión, para posteriormente ser mezcladas con las aguas negras y pasar a un tren de tratamiento.

#### - AGUAS NEGRAS

Las aguas negras son las que resultan de los sanitarios y que por su potencial de transmisión de parásitos e infecciones conviene tratar por separado con sistemas de biorreactores.

#### - BIODEGRADACIÓN

Descomposición de la materia por la actividad de las bacterias y hongos, humedad, luz solar y oxigenación. Se habla de degradación anaeróbica cuando no interviene el aire en la descomposición de residuos orgánicos, y de descomposición aeróbica cuando la degradación es en presencia del aire.

#### - BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA

Proceso de transformación microbiológica anaeróbica, bajo condiciones controladas, de residuos orgánicos en digerido. Estado previo al de compost.

#### - BIODIGESTIÓN

Cuando los desechos orgánicos inician el proceso químico de fermentación (pudrimiento), liberan una cantidad de gases llamados biogás. Con tecnologías apropiadas, el biogás se puede transformar en otros tipos de energía, como calor, electricidad o energía mecánica. El biogás también se puede producir en plantas especiales: los residuos orgánicos se mezclan con agua y se depositan en grandes recipientes cerrados llamados digestores, en los que se produce la fermentación por medio de bacterias anaeróbicas.

#### - BIOGÁS

Gas generado en la descomposición anaeróbica de la materia orgánica de los residuos sólidos domiciliarios. Está compuesto de metano ( $\text{CH}_4$ ), aire, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ácido sulfhídrico y vapor de agua.



#### - BIOMASA

Materia orgánica constituida y/o originada por organismos vivos (vegetales y animales). La biomasa es uno de los primeros recursos energéticos utilizados por el ser humano, y todavía en la actualidad es uno de los más necesarios para una importante cantidad de población mundial. La energía de la biomasa es aquella que se produce a partir de productos vegetales y sus derivados.

#### - DIGERIDO.

Producto orgánico parcialmente estabilizado, resultado del proceso de biodigestión anaeróbica, que requiere una fase de maduración en condiciones aeróbicas para conseguir las características de compost.

#### - DIGESTOR ANAERÓBICO

Depósito cerrado en el que se mantiene un tiempo a los lodos procedentes de la fase aeróbica de la depuradora. En él actúan bacterias en ausencia de oxígeno y se termina de digerir la materia orgánica que traía el agua, para la generación y aprovechamiento del biogás.

#### - HIDROCARBUROS

Compuestos orgánicos formados por carbono e hidrógeno. Los átomos de C pueden formar largas cadenas. Así, por ejemplo, el hidrocarburo más sencillo es el CH<sub>4</sub> (metano). La gasolina C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> está formada principalmente por diferentes isómeros del octano.

- MATERIA ORGÁNICA

Compuestos que contienen carbono combinado con otros elementos químicos.

La materia orgánica puede ser de origen natural. La mayoría de los compuestos orgánicos son una fuente de alimentación para las bacterias y normalmente son combustibles.

- METANO (CH<sub>4</sub>)

Gas inodoro, incoloro, asfixiante, que puede explotar bajo ciertas condiciones de mezcla con aire y que puede producirse a partir de residuos sólidos cuando estos experimentan una descomposición anaeróbica.

- METANOGÉNESIS

Es la etapa de formación de metano.

- SISTEMA HELIOBIORREACTOR

Compone de los siguientes: colector solar, bioreactor y termo acumulador

## **2.3. HIPOTESIS**

### **2.3.1. HIPOTESIS GENERAL**

- El tratamiento anaeróbico de lodos residuales permite la producción de biogás.

### **2.3.2. HIPOTESIS ESPECÍFICOS**

- Los parámetros para la producción de biogás dependen de la, temperatura, presión y tiempo de retención en el reactor.

- El volumen de producción de Biogás está en función de la carga orgánica, pH y características físico químicas del lodo residual.

- La cantidad de Biogás obtenido es económica, energética y ecológicamente aceptable.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

#### **3.1. AMBITO DE ESTUDIO**

Lagunas de estabilización de la ciudad de Puno

##### **3.1.1. ANTECEDENTES DE OPERACIÓN**

Construida en el año 1972, capacidad de tratamiento entre 40 al 45% de aguas servidas de la ciudad de Puno.

Estuvo operativa hasta el año 1985, la cual quedo inhabilitado por las lluvias que condujeron a una inundación en las lagunas.

Entre los años 1995 y 1996 EMSA PUNO S.A. con el financiamiento del Programa Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (PRONAP), rehabilito la antigua planta del Espinar ampliando su capacidad de tratamiento hasta cubrir un 70% del total de aguas servidas de la ciudad de Puno.

##### **3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE UBICACIÓN**

Región Puno, Provincia Puno, Distrito Puno. Extremo sur de la ciudad de Puno, entre la Isla El Espinar y los barrios Chanu Chanu y el Cuartel Manco Capac.

Figura 4.

### 3.1.3. CLIMA

Semilluvioso y frío en verano. Seco en las estaciones de otoño, invierno y primavera. La temperatura promedio es de 9.1 °C.

### 3.1.4. COMPONENTES

Compuesta por dos lagunas de estabilización en serie:

- Laguna Primaria de forma irregular con una extensión de 13.4 Ha
- Laguna Secundaria de forma irregular con una extensión de 7.9Ha.



Figura 4. Mapa de ubicación de la laguna de oxidación de la Isla el Espinar

## 3.2. MATERIALES

### 3.2.1. Materia prima

Lodos que arrastran las aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno.

### 3.2.2. Material de laboratorio, reactivos y equipos

A continuación, se detallan los materiales, equipos y reactivos empleados:

### 3.2.2.1. Materiales de laboratorio

- Buretas automáticas, de precisión graduada.
- Peras de decantación: 500, 300, 250 y 100 mL.
- Probetas de 10, 25, 100, 250, 300 y 500 mL.
- Matraces Erlenmeyer: 125, 250 y 300 mL.
- Matraces volumétricos: 100, 250, 500 y 1000 mL.
- Botellas muestreadoras de vidrio y polipropileno.
- Papel filtro GB140 de 55 mL.
- Pipetas graduadas, volumétricas y automáticas: 1, 5, 10 mL.
- Botellas de incubación para la determinación de DBO.
- Instrumental de colección sólida: luna de reloj, pinzas y espátulas.

### 3.2.2.2. Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado,  $H_2SO_4$ .
- Solución ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$  12 N.
- Nitrato de plata,  $AgNO_3$  0,2 M.
- Permanganato de potasio,  $KMnO_4$  N/40.
- Oxalato de sodio,  $Na_2C_2O_4$  N/40.
- Solución de sulfato de manganeso,  $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ .
- Solución yoduro álcali.
- Solución almidón.
- Solución tiosulfato de sodio,  $Na_2S_2O_3$  N/40.
- Nutrientes para  $DBO_5$ , nutrient pillows buffer, HACH.

### 3.2.2.3. Equipos

- Estufa eléctrica.

- Balanza analítica, (METTLER TOLEDO).
- Agitador magnético, (LMIN tipo LE-302).
- Equipo de filtración.
- Centrifugadora BOECO xc-2000.
- Baño maría, (PRECISION SCIENTIFIC modelo 66618).
- pH-metro Metrohm 914.
- Bureta automática BRAND class A.
- Juego de tamices, (TAYLER ASTM 200).
- Termómetro.

### **3.3. METODOLOGIA**

#### **3.3.1. Muestreo, manipulación y transporte de las muestras de aguas residuales**

##### **3.3.1.1. Muestreo**

Para que la muestra sea representativa, se prefiere sitios de muestreo con flujo muy turbulento donde el agua residual este bien mezclada; sin embargo, el sitio de muestreo debe seleccionarse de acuerdo con cada problema individual de estudio (Romero), el muestro o recojo de aguas residuales se realizó del punto de descarga antes de las rejillas como se muestra en la figura 5.



**Figura 5. Punto de muestreo y recojo de muestras de aguas residuales**

#### **3.3.1.1.1. Propósitos del muestreo.**

Las aguas residuales se muestrean y someten a examen de laboratorio con el propósito de identificar y cuantificar sus características físicas, químicas.

La gran variedad de condiciones en que se realizan los muestreos hace imposible establecer un procedimiento único.

Las muestras tienen que ser representativas, quiere decir que deben reflejar verdaderamente las características del agua servida que se muestrea. Por tanto los muestreos y las muestras deben tener en cuenta los objetivos por los cuales se muestrea. En el caso de que un agua residual cruda o tratada descargue en un cuerpo receptor, el agua contaminada resultante variará sus características en el tiempo como resultado de los complejos procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren.



En general pueden identificarse como objetivos del muestreo de las aguas residuales los siguientes:

- Identificar y cuantificar las características de un agua con el objetivo de conocer la cantidad de lodos que arrastran.
- Cuantificar los indicadores importantes para evaluar la eficiencia en la producción de biogás a partir de las aguas residuales.

Los frascos para muestreo fueron limpiados cuidadosamente antes de cada uso, y una vez tomado la muestra fue llevada inmediatamente al laboratorio para su análisis; el procedimiento seguido para la toma de las muestras, el recipiente usado, el preservante y el periodo de estabilización se da en la tabla 3.

**Tabla 3. Determinación de los recipientes, la preservación y el tiempo para el análisis de la muestra.**

PARAMETRO	RECIPIENTE	PRESERVATIVO	PERIODO DE ESTABILIDAD
Temperatura	Polietileno o Vidrio	Ninguno	Determinar in situ
pH	Polietileno o Vidrio	Ninguno	Determinar in situ
Sólidos suspendidos	Vidrio	Enfriar a 4 °C y analizar lo antes posible	6 horas
Oxígeno disuelto	Vidrio	Ninguno	Determinar in situ
DQO	Polietileno	Enfriar a 4 °C	7 días
DBO	Vidrio	Enfriar a 4 °C y analizar lo antes posible	horas

**FUENTE:** EPA Region IV Standard Operating Procedure and quality Assurance Manual (Marzo, 1996)

### 3.3.1.1.2. Volumen de muestra

La manera más simple de tomar una muestra proporcional al caudal es mezclando volúmenes de agua proporcionales al caudal, extraídos a intervalos regulares y definidos de tiempo. La aplicación de este método presupone el conocimiento del caudal medio (promedio aritmético) del sistema que se va a muestrear. El caudal de un sistema colector de aguas residuales varía en el tiempo y presenta máximos y mínimos.

La fórmula que se aplicará será la siguiente:

$$V_{muestra} = \frac{Q_t \times V_{total}}{Q_m \times No\ muestras} \quad 3.1$$

Dónde:

$V_{muestra}$  : Volumen de muestra que se toma expresado en mL.

$Q_t$  : Caudal en el momento que se toma la muestra expresada en  $m^3/seg$  (o en L/seg si  $Q_m$  está en L/seg).

$Q_m$  : Caudal promedio durante el período de muestreo expresado en  $m^3/seg$  (o en L/seg si  $Q_t$  está en L/seg).

$V_{total}$  : Volumen final total de la muestra compuesta en mL.

$No\ muestras$  : Número de muestras que se van a tomar para constituir la muestra compuesta. Por ejemplo, si se va a tomar una muestra cada una hora durante 24 horas, será 24, si se va a tomar una muestra cada media hora durante 24 horas será 48, etc.

### 3.3.2. Caracterización y análisis de las aguas residuales urbanas

El agua residual de procedencia urbana de la ciudad de Puno será determinada y caracterizada en los siguientes aspectos:

### 3.3.2.1. Características fisicoquímicas

Las características fisicoquímicas principales son:

- Temperatura
- pH
- Conductividad
- Turbidez
- Solidos totales
- Oxígeno disuelto
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).
- Nutrientes (nitrógeno y fósforo)
- Sulfatos en suspensión

### 3.3.2.2. Análisis fisicoquímico de las aguas residuales

#### (1) Medición de temperatura

Normalmente, las medidas de temperatura pueden realizarse con cualquier termómetro mercurio graduado en escala Celsius que, como mínimo deberá tener una escala con marcas cada 0.1 °C sobre el tubo capilar y una capacidad térmica mínima que permita un equilibrio rápido.

**Aplicación:** Aguas de todo tipo y suelos.

**Material y aparatos:**

Termómetro de mercurio graduado con escala 0.1°C, entre 1-100 °C.

**Procedimiento:**

La lectura de temperatura se realiza sumergiendo el termómetro en el interior de la muestra hasta una profundidad determinada y esperando hasta lectura constante. Esta medida se realizará nada más tomar la muestra (si la climatología lo permite) y al llegar al laboratorio.

## (2) Medición de pH.

El pH se midió utilizando el método electrométrico, cuyo principio se basa en la diferencia de potencial que existe entre un electrodo de vidrio y uno de referencia, la lectura se dio sumergiendo el pH metro hasta que las condiciones se establezca (aproximadamente 1 minuto), a la profundidad adecuada para alcanzar una lectura representativa, el pH metro rutinario fue calibrado previamente. (CEPIS).

El pH se determina potenciométricamente mediante la medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de un electrodo de vidrio, que es función de la actividad de los iones hidrógeno a ambos lados de la membrana.

### **Material y Reactivos:**

- pH-metro.
- Soluciones patrón de pH 4.00 y 7.00.

### **Procedimiento:**

Si la conductividad eléctrica no supera 100mS/cm, las muestras no requieren preparación especial para la medida del pH.

(a) Calibración del pH-meter con las soluciones tampón de referencia (de acuerdo con las instrucciones del aparato). Ojo el electrodo deberá estar siempre en disolución (3M KCl).

(b) La temperatura de la muestra debe ser la adecuada para efectuar la medida de pH (temperatura ambiente).

(c) Se tomará como valor de pH de la muestra, cuando la medida de lectura sea estable por al menos 1 minuto. El valor puede ser leído con una precisión

de 0,1 unidades o 0,01 unidades.

(d) Entre medida y medida de pH de muestras diferentes, el electrodo debe limpiarse con agua destilada y posteriormente secado.

#### **Expresión de los resultados:**

En unidades de pH con precisión de 0,1 a la temperatura que se efectuó la medición.

#### **Observaciones:**

Se recomienda determinar el pH de las aguas *in situ*, de modo que no se modifiquen los equilibrios iónicos debido al transporte o permanencia más o menos prolongada de las muestras en los recipientes de almacenado. Si el pH de alguna muestra alcanza un valor superior a 8.30 se deberá calibrar el pHmetro con la solución de pH 7 y con otra de pH 9.

En buenas condiciones de operación, la precisión es de  $\pm 0,02$  y la sensibilidad 0,05.

#### **Factores interferentes:**

Cuando el valor de pH es superior a 10, pueden ocurrir los llamados errores básicos. En tales casos se recomienda la utilización de electrodos resistentes al medio básico. Cambios en la estructura del vidrio pueden provocar errores en la lectura, en tales casos es recomendable el cambio del electrodo. La sensibilidad en la lectura puede verse afectada por la presencia de aceites en la muestra. En tales casos el error en la medida puede prevenirse mediante el lavado del electrodo con jabón o detergentes seguido de agua, ácido clorhídrico diluido y agua.

### **(3) Determinación de la Conductividad Eléctrica.**

Se denomina conductividad eléctrica de un agua a la aptitud de esta para transmitir la corriente eléctrica, definida como la conductancia de una columna de agua comprendida entre dos electrodos metálicos de  $1 \text{ cm}^2$  de superficie y separados el uno del otro por  $1 \text{ cm}$ .

La conductividad depende de la actividad y tipo de los iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida, y se determina mediante la expresión.

$$P = C \cdot K \quad 3.2$$

Donde:

P = conductividad específica en  $\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$

C = conductividad medida en  $\text{ohm}^{-1}$

K = constante de la celda en  $\text{cm}^{-1} = L/A$

L = separación de los electrodos

A = área de los electrodos.

Para medir la constante de la celda, se mide la conductividad de una disolución patrón de KCl cuya conductividad específica es conocida y se calcula como  $K = P/C$ . En la tabla 4 se indican los valores de conductividad específica en  $\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  de KCl de distintas concentraciones a  $20^\circ\text{C}$ .

Las medidas de conductividad dependen en gran medida de la temperatura, debiéndose referir a la temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . Si las medidas se realizan a otra temperatura deben corregirse según la fórmula  $C_{(25^\circ\text{C})} = C_T \cdot F$ , siendo  $C_T$  la conductividad medida a la temperatura de trabajo y F un factor dado por las tablas a mostrar.

**Material y reactivos:**

- Conductímetro equipado con celdas de conductividad de inmersión de distintas constantes.
- Termómetro con escala de 0 a 100°C
- Solución patrón de KCl 0.01M (0.7456 g/L), esta solución tiene una conductividad de 1271 mS/cm a 20°C.

**Procedimiento:**

- Medir la conductividad de la muestra a una temperatura lo más cercana posible a 20°C.

**Expresión de los resultados:**

La conductividad se expresa en mS/cm a 20°C.

**Tabla 4.** Conductividad eléctrica de soluciones de KCl a 20°C

Concentración (Mol/L)	Conductividad ( $\mu$ S/cm)
0.0001	13.44
0.0005	66.46
0.001	132.20
0.005	644.80
0.01	1271.00
0.02	2488.00
0.05	5996.00
0.1	11600.00
0.2	22320.00

**FUENTE:** J. Tanaka, S. L. Suib, Experimental Methods in Inorganic Chemistry, Prentice Hall, Upper Saddle River: New Jersey, 1999.

#### **(4) Turbidez**

La turbidez es uno de los parámetros más importantes en la calidad del agua, es un indicativo de su contaminación, tiene un papel importante en el desempeño de laboratorios de prueba de análisis de las plantas de tratamiento de aguas residuales y de plantas purificadoras de agua.

La turbidimetría es una técnica instrumental óptica de medición de la concentración de partículas en suspensión, se mide en NTU.

Agua para consumo humano: Turbidez 5 NTU máximo.

#### **(5) Sólidos totales**

Los sólidos totales (ST) se determinaron sobre las muestras brutas de sustrato de cada reactor. La determinación se realizó de acuerdo con el método normalizado APHA-AWWA-WPFC-2540B del Standards Methods, por gravimetría utilizando una balanza electrónica con calibración manual METTLER TOLEDO con una precisión de 0,0001 gramos, previa desecación de las muestras a 105 °C hasta un peso constante, en una estufa de secado, modelo CONTERM de SELECTA. Los resultados se expresan en ppm.

#### **(6) Determinación de Oxígeno Disuelto.**

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales y residuales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de OD es una prueba clave de la contaminación en la muestra y control del proceso de tratamiento en aguas residuales. En aguas de consumo, la mínima cantidad de oxígeno (> 4mg/L) es esencial para prevenir la corrosión de las tuberías. En esta práctica realizaremos la determinación de oxígeno disuelto a través de un método volumétrico (modificación del método



de Winkler).

**Reactivos:**

- Solución de sulfato de manganeso (II). Disolver 12 g de  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  en agua y aforar a 25 mL con agua.
- Solución ácida-iodo. Se prepara una disolución de 25 mL formada por 8.75 g de NaOH (o 12.5 g de KOH), 3.75 g de KI o (3.37 g de NaI) y 0.025 g de  $\text{NaN}_3$ . (Disolución preparada).
- Solución de tiosulfato sódico (0.01M), a preparar antes de su utilización.
- Ácido ortofosfórico (85 % p/v) o Ácido sulfúrico concentrado.
- Solución de almidón. Utilícese una solución acuosa o mezclas solubles de polvo de almidón. Para preparar la solución acuosa, disuélvase 2 g de almidón soluble y 0.2 g de ácido salicílico como conservador en 100 mL de agua destilada caliente.

**Material:**

- Botellas de color topacio de capacidad entre 100 y 150 mL.
- Material volumétrico.

**Procedimiento:**

- (a) A la muestra de agua contenida en una botella (llenar completamente la botella), se le añaden 0.1 mL de la solución de manganeso y 0.5 mL de ácida-iodo. Manténgase la punta de la pipeta por encima de la superficie del líquido, al añadir los reactivos. Tápese con cuidado para excluir las burbujas de aire, y mézclese invirtiendo varias veces.
- (b) En el laboratorio, cuando el precipitado se ha depositado suficientemente

(hasta aproximadamente la mitad del volumen del frasco) se pipetea 2 ml de ácido fosfórico o 0.5 mL de  $H_2SO_4$  (c) y se añaden a la botella (para formar un sobrenadante claro por encima del hidróxido de manganeso floculado). Seguidamente se vuelve a agitar de forma continuada durante 10 min.

(c) Transferir el contenido de la botella (después de haber medido su volumen con una probeta) a un erlenmeyer y valorar con la disolución de tiosulfato (0,01M) hasta color paja pálido.

(d) Añádanse unas gotas de la solución de almidón y valórese hasta la desaparición del color azul.

### **Cálculos:**

1.0 mL de  $Na_2S_2O_4$  0.01 M equivale a 0.08 mg de oxígeno.

El contenido de oxígeno disuelto se expresará como:

$$O_2 \text{ (mg/L)} = x * 80 / (V - V_r) \quad 3.3$$

Siendo:

x: mL de tiosulfato 0.01M consumidos,

V: volumen de muestra (mL),

$V_r$ : volumen de reactivos añadidos sin contar con el ácido.

### **(7) Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua y oxidables en condiciones operatorias definidas. De hecho, la medida corresponde a una estimación de la materia oxidable presente en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros). La DQO está en

función de las características de la materia presente, de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación, etc., por lo que es bien evidente que la reproducibilidad de los resultados y su interpretación no podrán ser satisfactorios más que en las condiciones de metodología bien definidas y estrictamente respetadas. En la técnica, el papel del catalizador consiste en facilitar la oxidación, pero ésta no es total en presencia de compuestos orgánicos estables (urea, piridina, derivados aromáticos, etc.). La fiabilidad de la técnica es muy dudosa en presencia de cloruros.

Es preferible efectuar las tomas de muestras en recipientes de vidrio, pues los frascos de materia plástica pueden ocasionar la presencia de contaminantes orgánicos. Practicar la medida de la DQO muy rápidamente después de tomar la muestra, que debe de ser representativa y estar bien homogeneizada. Sin embargo, se puede conservar cierto tiempo si se ha acidificado convenientemente con ácido sulfúrico a pH 2-3.

En condiciones definidas, cierta materia contenida en el agua se oxida con un exceso de dicromato potásico, en medio ácido y en presencia de sulfato de plata y de sulfato de mercurio. El exceso de dicromato potásico se determina con el sulfato de hierro y amonio (sal de Mohr).

#### **Reactivos:**

##### (a) Solución de Digestión:

- Dicromato potásico 1.02 g
- Ácido sulfúrico 16.7 mL
- Sulfato mercúrico 3.33 g
- Enrasar a 100 mL con agua desionizada

(b) Reactivo ácido sulfúrico Sulfato de plata cristalizado 1.65 g

- Ácido sulfúrico hasta enrase 250 mL

(c) Solución de sulfato de hierro II y amonio (sal de Mohr) 0.10N:

- Sulfato de hierro II y amonio 9.8g
- Ácido sulfúrico 5 mL
- Agua desionizada hasta enrase 250 mL

(d) Solución de ferroína: (disolución preparada)

- 1,10-fenantrolina (monohidrada) 1.485 g
- Sulfato de hierro 0.695 g
- Agua desionizada hasta enrase 100 mL

#### **Procedimiento:**

Lávense los tubos y los tapones con ácido sulfúrico al 20% antes de usarlos por primera vez para evitar contaminaciones. Colóquese la muestra en el tubo y añádase la solución de digestión. Viértase con cuidado el reactivo de ácido sulfúrico en el vaso, de forma que se cree una capa de ácido debajo de la capa de la solución de digestión de la muestra, inviértase varias veces cada uno de los tubos para mezclar completamente. Se desprenderá calor. Mézclase por completo antes de aplicar calor para evitar el calentamiento local del fondo del tubo y una posible reacción explosiva.

Colóquense los tubos en el digestor de bloque a 150°C y sométase a reflujo durante 2 horas. Enfríese a temperatura ambiente y pásese el contenido a erlenmeyers que contengan una varilla agitadora. Añádase 1 ó 2 gotas de indicador de ferroína y titúlese rápidamente con sulfato de hierro y amonio. El punto final es un marcado cambio de color del azul verdoso al marrón rojizo, aunque el azul verdoso puede volver a aparecer en pocos minutos.

**Tabla 5.** Cantidades de Reactivos y Muestra

<b>Tubo digestor</b>	<b>muestra (mL )</b>	<b>Solución Digestora (mL)</b>	<b>Reactivo Sulfúrico, (mL)</b>	<b>Ac.</b>
16*100	2.5	1.5	3.5	
20*150	5.0	3.0	7.0	
25*150	10.0	6.0	14.0	

**Expresión de los resultados:**

La demanda química de oxígeno (DQO), expresada en mg de O<sub>2</sub>/L es igual a:

$$O_2/L = ((A-B)*M*8.000))/V \quad 3.4$$

Donde:

A: volumen de sal de Mohr necesario para el blanco (mL).

B: volumen de sal de Mohr necesario para la muestra, (mL)

M : molaridad de la sal de Mohr.

V: volumen de la muestra tomada para la determinación.

**Observaciones:**

Si la DQO es superior a 800 mg/L, proceder a una dilución con agua destilada. Si el contenido en cloruros es superior a 1.5 g/L, aumentar la cantidad de sulfato de mercurio para tener una relación HgSO<sub>4</sub>/Cl<sup>-</sup> próxima a 10.

El método no es aplicable más que para las aguas cuyo contenido en cloruros es inferior a 3 g/L.

**(8) Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.**

La demanda bioquímica de oxígeno, se midió por el método de Winkler modificado, que consiste en medir el OD al instante y tomar la medida de otra muestra, incubada por 5 días del OD. Se prepara agua residual de muestra en diluciones con agua bi destilada con nutrientes especiales para DBO, esta agua con nutrientes se satura con oxígeno disuelto (aireada por 30 minutos a 20 °C), se sacan dos diluciones por muestra (en botellas especiales para DBO), una para la medida instantánea y otra para la incubación por 5 días a 20 °C, manteniendo un tapado hermético con el sello de agua; a la primera dilución se le agrega 1 mL de sulfato de manganeso y 1 mL de azida de sodio, lo que hace precipitar la solución en aproximadamente 5 minutos, se agita para que haya buena mezcla. Se añade 1 mL de ácido sulfúrico concentrado y mover la botella para que haya buena mezcla y se produzca el sello de agua, se titula con tiosulfato de sodio 0,025 N, primero se agrega unas gotas de tiosulfato de sodio hasta que el color amarillo oscuro se aclare a amarillo pálido, se agrega 1 ml de almidón, y el color cambia a azul, enseguida se vuelve a titular hasta que el color vire a color transparente, se lee el total de tiosulfato gastado. La lectura de OD se determina con la siguiente fórmula:

$$OD = \left( \frac{a \times f \times 1000}{V} \right) \times \left( \frac{V}{V - 2} \right) \times 0,2 \quad 3.5$$

Donde:

- OD: oxígeno disuelto (mgO/L)
- V: volumen de la botella (mL)
- A: gasto de tiosulfato de sodio (mL)
- f : factor de tiosulfato de sodio

Con el fin de asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos, es preciso diluir convenientemente la muestra con una solución especialmente preparada de modo que se asegure la disponibilidad de nutrientes y oxígeno durante el periodo de incubación, este procedimiento se indicó anteriormente. Al cumplirse los 5 días se prosigue con la misma técnica anterior; luego de los cuales se lee nuevamente el OD, teniendo estos datos, la  $DBO_{5,20}$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$DBO_{5,20} = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2) \times f}{P} \quad 3.6$$

Donde:

$DBO_{5,20}$ : demanda bioquímica de oxígeno al 5 día (mgO/L).

D1: OD de la muestra diluida 15 minutos después de la preparación (mgO/L).

D2: OD de la muestra diluida después de la incubación (mgO/L)

P: fracción decimal de la muestra usada.

B1: OD en el testigo (conteniendo solo agua de dilución), antes de la incubación (mgO/L).

B2: OD en el testigo (conteniendo solo agua de dilución) después de la incubación (mgO/L).

F: relación entre inóculo en la muestra e inóculo en el testigo.

Para determinar la DBO, se deja que ocurra la descomposición bacteriana en botellas específicas para DBO en condiciones controladas. Luego se determina la cantidad de oxígeno consumido (Tchobanoglous y Burton).

## (9) Nutrientes

### a) Determinación de nitrito en agua por espectrofotometría

El nitrógeno de nitritos raras veces aparece en concentraciones mayores de 1 mg/L, aun en fuentes de plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas superficiales y subterráneas su concentración por lo general es menor de 0.1 mg/L. Su presencia indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido en nitrato.

Los nitritos en concentraciones elevadas reaccionan dentro del organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosominas de alto poder cancerígeno. El nitrito ( $NO_2^-$ ) se determina mediante la formación de un colorante azo de color púrpura rojizo por reacción de diazotación-copulación de sulfanílamida con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (NED diclorhidrato) a pH entre 2,0 y 2,5. Según el Standard Methods este método es adecuado para determinar nitrito en concentraciones de 10 a 1000  $\mu g NO_2^-$ -N/L. El sistema de color obedece la ley de Beer en concentraciones hasta de 180  $\mu g NO_2^-$ -N/L a 543 nm si se emplea celda de 1 cm de longitud; se pueden hacer mediciones en el intervalo de 5 a 50  $\mu g NO_2^-$ -N/L con una celda de 5 cm de paso de luz y un filtro de color verde. Se pueden determinar concentraciones más altas por dilución de la muestra.

#### Aparatos

- \_ Espectrofotómetro UV-VIS marca Hewlett Packard modelo 8453.
- \_ Balanza analítica electrónica con aproximación de 0.0001 g.

#### Reactivos



\_ Agua libre de nitritos. Agua UP, obtenida mediante un purificador Labconco WaterPro PS.

\_ Reactivo de coloración. A 800 mL de agua agregar 100 mL de ácido fosfórico del 85% y 10 g de sulfanilamida, agitar y disolver totalmente. Agregar 1 g de N-(1-naftil)-etilendiamina diclorhidrato. Mezclar hasta disolver, y diluir a 1 L con agua. Esta solución es estable hasta por seis meses si se guarda en una botella oscura y en refrigeración.

\_ Preparación de la solución patrón de 250 mg N -  $\text{NO}_2^-$ /L a partir de un patrón trazable. Tome 250 mL de Nitrito de sodio trazable de 1000 mg N -  $\text{NO}_2^-$ /L, asegúrese que la concentración corresponda a las unidades mencionadas y lleve a volumen en un balón de 1000 mL.

\_ Solución stock de nitrito, 250 mg N -  $\text{NO}_2^-$ /L a partir del sólido: El  $\text{NaNO}_2$  comercial grado reactivo es de mínimo 99% de pureza. Como el  $\text{NO}_2^-$  se oxida fácilmente en presencia de humedad, usar un frasco de reactivo reciente para preparar la solución patrón y guardar los frascos herméticamente tapados cuando no estén en uso. Disolver 0.6161 g de nitrito de sodio y diluir a 500 mL en balón aforado con agua ultrapura, 1 ml = 250 mg/L. Almacene esta solución en la nevera de reactivos y preserve con 1 mL de cloroformo.

#### **Procedimiento de análisis:**

Las muestras con sólidos suspendidos abundantes, fíltrelas primero con un prefiltro de fibra de vidrio.

Curva de Calibración. Prepare una curva de calibración cada vez que cambie de solución de coloración (lote de reactivo), o de solución patrón de nitrito.

Encienda el Espectrofotómetro UV-VIS con la lámpara de tungsteno, 45 minutos antes de iniciar las lecturas. La lectura debe hacerse a 543 nm.

Verifique que la celda de vidrio de 1 cm esté perfectamente limpia, si la observa manchada de color rosado déjela en jabón aproximadamente 15 minutos, hágale un lavado con  $H_2SO_4$  al 5% y enjuáguela perfectamente con agua desionizada.

Cuando vaya a iniciar la lectura de la curva de calibración, transfiera una alícuota de 25,0 mL del blanco (agua ultra pura) y los estándares en erlenmeyer de 125 mL y adicione 1 mL del reactivo de coloración, deje desarrollar color y comience la lectura después de 30 minutos, pero antes de 2 horas después de su adición, lea el blanco como blanco y como muestra y los estándares, como estándares y como muestras, siguiendo las instrucciones del equipo.

Para iniciar las lecturas fotométricas, coloque el blanco de reactivos en la celda, léalo como blanco, verifique la observación de una línea recta horizontal en el rango de la longitud de onda de los 543 nm, inmediatamente léalo como muestra y codifíquelo como BLANCO, la absorbancia debe registrar cifras exponenciales de  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$ , continúe con los estándares de control en orden creciente desde el de más baja concentración, léalos como muestras.

Registre los resultados de los estándares con 2 cifras significativas en la carta de control, verifique que los valores se encuentren dentro del rango de 2 (S) desviaciones estándar por encima ó por debajo, respecto del valor teórico esperado.

### Procesamiento de datos y cálculo de resultados

El espectrofotómetro arroja resultados en  $\text{mg N} - \text{NO}_2^- / \text{L}$  de acuerdo al factor de dilución digitado en el momento de la lectura, aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{mg N} - \text{NO}_2^- / \text{L} = \text{Pendiente} \times \text{Absorbancia} \times \text{FD}$$

Pendiente = Obtenida a partir de la curva de calibración.

Absorbancia = Lectura realizada por el espectrofotómetro.

$\text{mg NO}_2^- / \text{L}$  = Concentración de nitritos calculada y registrada por el espectrofotómetro UV-VIS

FD = Factor de dilución

Escribir el resultado con dos cifras significativas, redondeando de acuerdo a los criterios establecidos en el procedimiento de lineamientos de control de calidad analítica.

### b) Determinación de nitratos

La medición de nitratos en aguas residuales se hace en  $\text{mg/L}$ . El método es conocido usualmente con el nombre de Reducción de Cadmio, que es donde los iones de nitrito reaccionan en un medio ácido con ácido sulfánilico para formar una sal diazonium intermedia. La pareja de sal con ácido gentísico forma una solución de coloración ámbar. Los resultados de las pruebas son medidos en 430nm y 500nm.

**Objetivo del procedimiento:** Determinar la cantidad de nitratos en las muestras de agua potable, servidas (aguas negras), aguas salinas o de mar; y

también comprobar si el cliente cumple con las Normas establecidas por el país, al igual que conocer si toma las medidas pertinentes del caso.

### **Descripción o metodología del Procedimiento:**

El analista de pruebas del CIH, al iniciar la prueba debe tomar las medidas necesarias de seguridad utilizando la vestimenta adecuada (Bata, guantes, mascarilla, calzado), luego procede a revisar, verificar que el equipo y las herramientas para la generación de la prueba esté disponible y en buenas condiciones para dar inicio a la prueba de reactivos de nitratos.

#### **• Procedimiento de Reactivo de Nitratos:**

(HACH 8039. Reducción de Cadmio rango 0.3 – 30 mg/L  $NO_3^-N$ , resultados medidos en 430nm)

(HACH 8171. Reducción de Cadmio rango 0.1 – 10 mg/L  $NO_3^-N$ , resultados medidos en 500nm).

- Inicialmente el analista de pruebas, revisa y verifica que el espectrofotómetro, se encuentre en buen estado y con todos sus elementos anexos presentes;

- Luego, procede a seleccionar la programación del mismo, tocando el botón de Hach Programs, para seleccionar el programa el cual puede ser 353 N, nitrato HR (HACH 8171) o 355 N, nitrato HR (HACH 8039); de esta manera, da inicio a la medición en el espectrofotómetro.

- El analista de pruebas, procede a vertir el líquido en los dos o más viales (las muestras y el blanco que es el agua a analizar), tomando como medida de requisito 10mL del vial.

- Posteriormente, a los diferentes viales se le añade el contenido de un sobre del reactivo Nitruver 5 (polvo de nitrato), para proceder a tapar y agitarlos aproximadamente por unos 30 segundos, homogenizando uniformemente la sustancia.

### **Descripción o metodología del Procedimiento:**

Seguidamente, se limpian los viales con papel toalla o se lavan con agua destilada para eliminar las posibles huellas o marcas, que puedan afectar la medición o lectura.

El analista de pruebas, programara el reloj interno o temporizador del instrumento a 2 min, como periodo de reacción de la sustancia; si, se necesita hacer una dilución de la muestra, el periodo de reacción es de 10 min.

**Nota:** Al combinar la muestra con el polvo de nitrato, y este cambiar su color original a ámbar, nos indica la presencia de nitratos en las sustancias a investigar, el cambio de color por lo general ocurre en el periodo de espera de reacción de la sustancia.

Una vez, acabado el tiempo de 2 min, el instrumento, mostrara la medición obtenida, la cual el analista de pruebas procederá a anotar la lectura en mg/L de  $NO_3^-N$ . Para la medición de cada muestra, se debe calibrar el equipo (Espectrofotómetro) a 0.00 mg/L de  $NO_3^-N$ , con la utilización del vial llamado blanco.

Finalmente, el analista de prueba, remite los datos tomados de las muestras.

**Cálculo de los resultados:**

X0 = Vial Blanco (muestra del agua a analizar)

X1 ... Xn = Vial con muestra (Reactivo más agua servida, potable, o salina de mar).

N = Cantidades de veces en la que se mide la misma muestra o vial.

Promedio de la muestra.  $X1 = X1.1 + X1.2 + \dots + X1.N / N$

**c) Determinación de fosfatos por espectroscopia visible**

Reactivos:

- 1: solución de molibdato de amonio
- 2: solución de ácido sulfúrico 5 N
- 3: solución de tartrato antimónico de potasio
- 4: ácido ascórbico en polvo
- 5: fenolftaleina
- 6: ácido sulfúrico 1 N
- 7: standard de fosfatos 10 ppm

**Preparación de soluciones standard:**

Se toma una sal de fósforo de grado químico analítico, y a partir de esta sal se prepara una solución patrón de 1000 ppm de fósforo como  $PO_4^{-3}$ . A partir de esta solución patrón se hacen las diluciones correspondientes para preparar soluciones y hacer las lecturas correspondientes para trazar una curva de calibración que esté en el rango de 0 a 3 ppm.

**Procedimiento:**

Se toman 50 ml de la muestra del agua o solución que se desea analizar, así como de un blanco y de las soluciones estándar preparadas y con cada una de éstas se hace lo siguiente:

Se agrega una o dos gotas de fenolftaleína. Si la solución adquiere un color rosa significa que la solución es alcalina, por lo que deberá agregarse gota a gota ácido sulfúrico 1 N hasta desaparición del color rosa.

Agréguese a los 50 ml. de solución 8 ml. de reactivo combinado y a los 10 minutos (aproximadamente) se efectúan las lecturas de absorbancia en: blanco, estándares y soluciones problema a 880 nm de longitud de onda.

**(10) Determinación de Sulfatos**

El ión sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) precipita en medio ácido con cloruro de bario de modo que forma cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. Se mide la absorbancia luminosa de la suspensión de  $\text{BaSO}_4$  con un fotómetro y se determina la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  por comparación con la lectura de una curva patrón. La concentración mínima detectable es de aproximadamente: 1 mg  $\text{SO}_4^{2-}$ /L.

**Reactivos:**

(1) Cloruro de bario  $\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  cristalino

- Reactivo: 30mL de HCl concentrado, 300mL de  $\text{H}_2\text{O}$ , 100 mL de etanol (aproximadamente 95%) y 75g de NaCl. (Preparar 1L para toda la mesa).
- Solución patrón de Sulfato. Preparar una disolución disolviendo 0.148g de

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  . Aforar a 1 L. (Solución 100 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$ . (Preparar 1 L para toda la mesa).

**Material:**

- Pipetas (5, 25mL) graduada
- Vasos de 100mL
- 10 fiolas aforadas de 25mL y 01 de 100mL
- Agitador magnético
- Espectrofotómetro o fotómetro con filtro fijo a 420 nm
- Cronómetro

**Procedimiento:**

- a) Mídase 100 mL de muestra o una porción adecuada llevada a 100 mL en un matraz erlenmeyer de 250mL.
- b) 5 mL de la mezcla de reactivo se añaden a la muestra, justo antes de realizar la medida, y se mezcla bien.
- c) Mientras se agita y de nuevo, justo antes de realizar la medida, añádase una cucharada de cristales  $\text{BaCl}_2$ .
- d) Tras finalizar el periodo de agitación, viértase la solución en la cubeta del fotómetro y mídase la turbidez repetidamente en un periodo de 2 a 3 min. Se anotarán todas las señales, y la mayor señal obtenida será la que se utilizará para los cálculos.
- e) Un blanco, consistente en una muestra de agua sin adición de  $\text{BaCl}_2$ .



**Preparación de la curva de calibración:**

- a) Preparar disoluciones patrón en el rango de concentraciones entre 0 y 40 mg  $\text{SO}_4^{2-}$  en 100mL de disolución, a incrementos de 5mg/L. Por encima de 40mg/L la precisión disminuye y las suspensiones de  $\text{BaSO}_4$  pierden su estabilidad.
- b) Compruébese la fiabilidad de la curva de calibrado, llevando un patrón con cada tres o cuatro muestras.
- c) Se calculará la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  comparando las lecturas de la turbidez con una curva de calibrado preparada sometiendo los patrones de  $\text{SO}_4^{2-}$  al método completo.
- d) Para medir la concentración de sulfatos en la muestra háganse las diluciones convenientes y calcular la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  por interpolación de la señal obtenida en la curva de calibrado.

**Cálculo:**

$\text{mg SO}_4^{2-}/\text{L} = \text{mg SO}_4^{2-}/1000\text{mL de muestra.}$

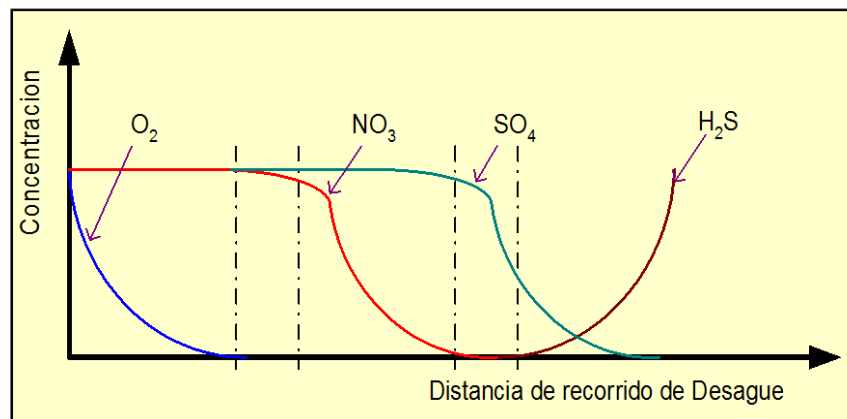
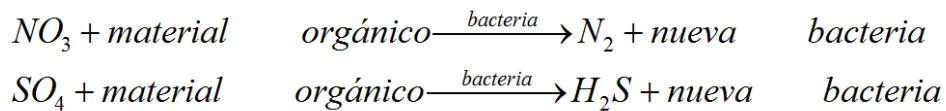
**Interferencias:**

El color o materia suspendida interferirá en gran cantidad. Parte de la materia en suspensión puede ser eliminada por filtración. Si ambas interferencias son pequeñas en comparación con la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$ , se puede corregir el posible error introducido (de color o turbidimetría) mediante muestras de blanco a las que no se les ha añadido  $\text{BaCl}_2$ .

Interferirá también un exceso de sílice superior a 500 ppm y en el caso de

aguas con abundante materia orgánica puede ser posible que el  $BaSO_4$  no precipite bien.

Las bacterias consumen el oxígeno libre, para luego empezar a reducir los componentes ricos en oxígeno, primero las que se encuentra formando los nitratos ( $NO_3$ ), luego los sulfatos ( $SO_4^{2-}$ ). Cuando se reducen los nitratos se produce nitrógeno gaseoso, la formación de ácido sulfhídrico se produce cuando los sulfatos son reducidos. Esto significa que después de la carencia de oxígeno (condición anaeróbica) se produce la formación de ácido sulfhídrico. (Fig- 6).



**Figura 6. Curvas de Concentración de  $O_2$ ,  $NO_3$ ,  $SO_4$ ,  $H_2S$**

La formación del ácido sulfhídrico está muy influenciada por la temperatura del agua residual, DBO, Tiempo de retención. Un incremento de la temperatura de  $10^\circ C$  incrementa en tres veces el grado de reducción de sulfatos. Por lo tanto, el ácido sulfhídrico se forma a menudo en desagües con un tiempo de retención alto.

### 3.3.3. Procedimiento experimental para el tratamiento de los lodos que arrastran las aguas residuales

Los componentes principales de aguas residuales urbanas, son tres elementos:

- Parte líquida,  $H_2O$ .
- Nutrientes, contaminantes inorgánicos en su mayor compuestos de nitrógeno y fósforo, que están disueltos en el agua.
- Materia orgánica, principalmente son todas las partículas sólidas insolubles en agua que están que se encuentran en las aguas residuales, principal componente de los lodos, que son materia de este estudio.

Las aguas recolectadas del punto de muestreo se tratan por diferentes técnicas que se detallan a continuación para determinar la cantidad de lodos presentes en el agua residual:

**(1) Sedimentación.** La mezcla de lodo y agua será conducida al tanque de sedimentación o clarificación, este tanque tendrá la finalidad de separar el agua de los lodos, los cuales se sedimentan por gravedad al fondo del tanque. Para mantener un tiempo de retención hidráulica necesaria en este tanque se determina la velocidad de sedimentación de los sólidos utilizando el cono Inhoff Fig. 7, de un litro de capacidad que sirve para determinar la velocidad de sedimentación.



**Figura 7. Conos Inhoff utilizados para determinar la velocidad de sedimentación**

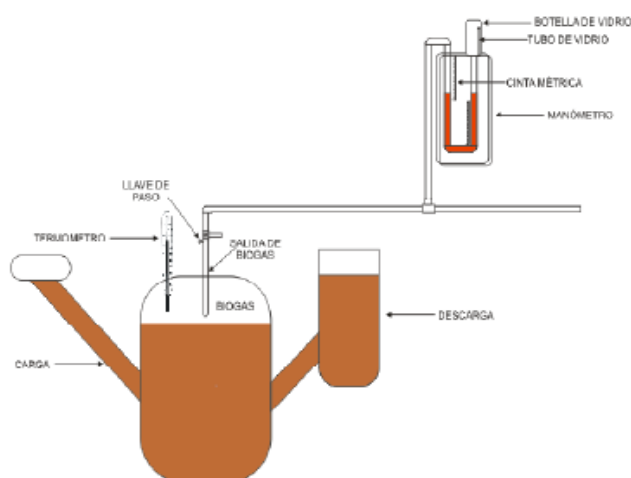
**(2) Filtración,** - El líquido elemento proveniente de la sedimentación se sometió a un filtrado al vacío utilizando el siguiente esquema mostrado en la figura 6 que consta en un embudo con papel filtro y se utilizó la presión de vacío para facilitar la velocidad de filtrado de forma que no ocurra ninguna degradación de los nutrientes. El objetivo de esta operación es separar los sólidos de densidad menor a la del agua que no se separó en el tanque de sedimentación, el sólido separado en esta operación también se junta con los lodos separados en la operación de sedimentación y se lleva al proceso de fermentación para obtener biogás.



**Figura 8. Sistema de filtrado a presión de vacío**

### 3.3.3.1. Producción de biogás

El esquema básico de funcionamiento se detalla en la siguiente figura, citando sus partes y funciones.



**Figura 9. Esquema de producción y monitoreo de biogás**

El sistema empleado se basa en la técnica manométrica con medida de la producción de biogás a partir del aumento de presión en un recipiente de volumen constante ("digestor"), y posterior medición por cromatografía gaseosa de la composición en metano del biogás.

### 3.3.4. Equipo experimental

El equipo experimental que se utilizó para la producción y monitoreo de la digestión anaeróbica se muestra en la siguiente fotografía, con una capacidad de 250 litros, para un proceso de trabajo por lotes, en base a materiales de polipropileno.



**Figura 10. Toma fotográfica del digestor anaeróbico**

#### (1) Funcionamiento

Por el tubo de carga, se carga la materia prima los lodos con un contenido de humedad de 25 % en una cantidad de 220 litros que ocupan el 85 % del área de digestión anaeróbica quedando un espacio de volumen libre de 15 % para la acumulación de biogás.

Iniciada la carga se cierran todos los conductos y se conecta al manómetro diferencial de agua conectado al equipo tal como se muestra en el esquema mostrado, al cabo de dos días se ve el primer desnivel del líquido manométrico

en el manómetro diferencia y la temperatura del interior de la cámara de fermentación aeróbica muestra una temperatura de 27 a 28 °C, cuyos resultados se muestran a continuación.

#### 3.3.4.1. Digestores utilizados

Como reactores se han utilizado botellas descartables de, 2L y 5L, de material transparente. Como se muestra en la Fig. 11, el sistema de agitación fue manual durante los 30 días de experimentación cada 8 horas, las muestras se mantuvieron a una temperatura promedio de 20 °C en una cámara preparada con tecnoport.



Figura 11. Imagen de los biodigestores utilizados.

#### 3.3.5. Tratamiento de datos Producción de Biogás o de metano (mL CH<sub>4</sub>)

Una vez finalizado el ensayo, los datos de las lecturas de presión se transforman en volumen de biogás generado.

El cálculo teórico se basa en la ley de los gases ideales y en la suposición de que la solubilidad del metano en el medio es despreciable.

$$\Delta P * V_{\text{camara de gas}} = \Delta n * R * T_{\text{ensayo}} \quad 3.7$$

Donde.

$\Delta P$  = variación de la presión durante el ensayo (atm)

$V_{\text{cámara de gas}}$  = volumen libre de la cámara de gas (dm<sup>3</sup>)

$\Delta n$  = variación en el número de moles de gas generados (mol)

$R$  = constantes de los gases ideales (atm.dm<sup>3</sup>/mol.K)

$T_{\text{ensayo}}$  = temperatura del ensayo (K)

Cuando la cantidad de gas generado es conocida, se puede relacionar con el volumen que ocuparía a una temperatura presión y presión (0°C y 1 atm).

$$\Delta V * P^0 = \Delta n * R * T^0 \quad 3.8$$

Donde:

$P^0$  = presión de referencia (1 atm)

$T^0$  = temperatura de referencia (273K)

$\Delta V$  = producción de biogás, a 0°C y 1 atm durante el ensayo (dm<sup>3</sup>)

Sustituyendo el valor de  $\Delta n$  de la ecuación 3.7 en 3.8, tenemos

$$\Delta V = \frac{V_{\text{camara}} * T^0}{T_{\text{ensayo}} * P^0} * \Delta P = c * \Delta P \quad 3.9$$

Los valores de volumen de cámara de gas,  $T_{\text{ensayo}}$ , presión de referencia y temperatura de referencia son constantes por lo que se pueden agrupar dando lugar a la constante  $c$ . con cuya ecuación se puede obtener el volumen de metano producido.



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1. ZONA DE ESTUDIO:

La región de Puno se encuentra ubicada en la zona sur-oriental del país, a una altura de 3800 msnm. Tiene una superficie de 71.999.00 km<sup>2</sup> y una densidad poblacional de 16.66 hab./km<sup>2</sup>. El nivel más bajo se encuentra adyacente al Lago Titicaca, cuyas riberas están a 3812 m de altitud, desde donde empieza a elevarse gradualmente hasta los 3900 a 4000 m, altitud que caracteriza a la producción agrícola. La ganadería se ubica a más de 4000 a 4200 msnm, donde habitan alpacas y vicuñas. En total son 10 004 Centros Poblados (territorio que tiene como mínimo 100 viviendas agrupadas contiguamente) en toda la Región, de los cuales el 95.5% están ubicados en el área rural y el 4.5% en el área urbana.

La ciudad de Puno se localiza en las riberas del Lago Titicaca, sobre la bahía menor de Puno. Sus limitantes topográficas han determinado que la ciudad adopte un plano alargado, con una orientación general de norte a sur. Según el último censo de población y vivienda el distrito de Puno cuenta con una

población de 123 906 habitantes, el mismo que en relación al censo de 1993 representa un crecimiento poblacional de 23,70% (Tudela-Mamani, 2007).

El crecimiento de la población Puneña durante los últimos años se debe en parte al proceso de migración, el cual genera desplazamientos de pobladores de las zonas rurales que buscan mejoras en el ingreso y en el acceso a servicios básicos. Este incremento poblacional también ha generado mayor consumo de agua potable y por consiguiente la generación de un mayor volumen de aguas residuales domésticas.

El ritmo de crecimiento sin embargo es muy diferente entre las poblaciones de Puno y Juliaca. En la Tabla 6 se aprecia claramente que el porcentaje de crecimiento de Juliaca es de hasta 3 veces mayor que el de Puno.

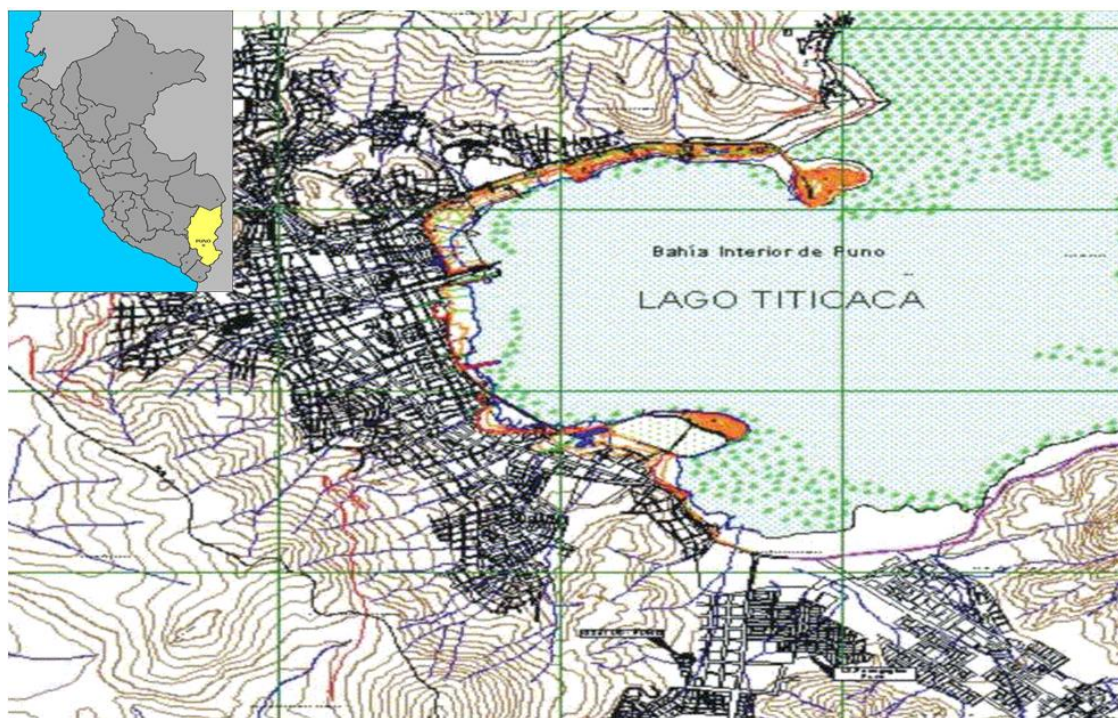
**TABLA 6. Población y Tasa de crecimiento intercensal – Región Puno**

Caracterización	Población		Incremento poblacional		Tasa de crecimiento intercensal
	1993	2007	Obs	%	
Puno dpto.	1079849	1268441	188592	17.46%	1.1
Puno provincia	201205	229236	28031	13.93%	0.9
Puno distrito	100168	125663	25495	25.45%	1.8
San Román	168534	240776	72242	42.86%	2.5
Juliaca	151960	225146	73186	48.16%	3.4

Fuente: INEI (2009)

#### 4.1.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio seleccionada en el presente trabajo de investigación se ubica en el Departamento de Puno, Distrito de Puno, Ciudad Puno, Lugar Planta de tratamiento de aguas residuales El Espinar.



**Figura 12. Ubicación de zonas de estudio: Ciudad de Puno (Puno), vista de la Planta de tratamiento de aguas residuales y del lago Titicaca**

- ALTITUD 3810 m.s.n.m.
- COORDENADAS GEOGRAFICAS;  
 15°50' de latitud sur  
 70°02' de longitud oeste

**4.1.1.1. Áreas y volúmenes**

En el siguiente cuadro se puede observar el área y volumen de cada laguna:

LAGUNA	AREA TOTAL (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN TOTAL (m <sup>3</sup> )
Laguna Primaria	141 777.08	124 168.00
Laguna Secundaria	80 495.65	10.00

## 4.2. CARACTERÍSTICAS DEL CAUDAL A TRATAR

### 4.2.1. Zona de estudio: Puno

La población de la ciudad de Puno de acuerdo al censo de población 2003 fue 129 100 habitantes. Para estimar la población de esta ciudad al 2014 se ha utilizado la tasa de crecimiento provincial, la cual ha sido 0.9% en el último periodo intercensal, 1993-2007. Población actual de la ciudad de Puno asciende a 135 100 habitantes. Por otro lado, de acuerdo a las Memorias 2008 de la Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno EMSAPUNO, la demanda de agua en esta ciudad fue estimada en 173 L/hab/día y la cobertura de alcantarillado en 74.26%. Considerando, además, un factor de contribución al alcantarillado del 80%, se calcula el caudal promedio de aguas residuales de la siguiente manera:

$$Q_p = \frac{Pob \times dot}{86400} \times 0.80 \times 0.7426 = \frac{129100}{86400} \times 173 \times 0.80 \times 0.7426 = 153.6 \frac{L}{s}$$

DONDE:

- Qp: Caudal promedio
- Pob: Población
- Dot: Dotación

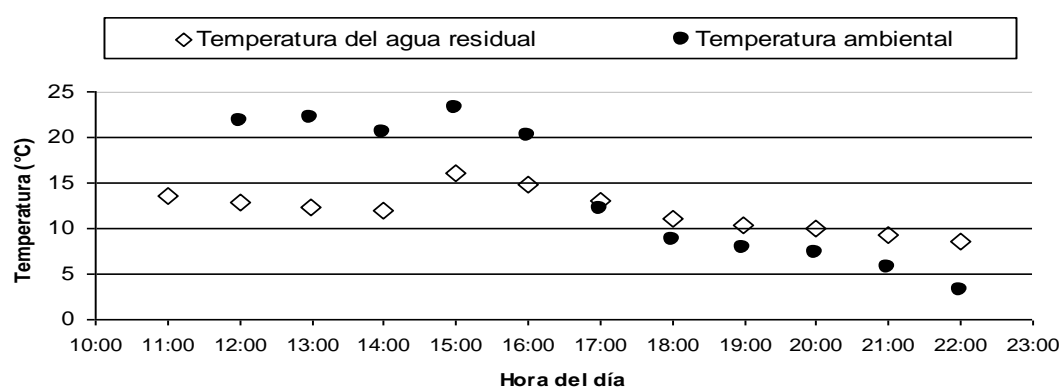
Además, se va a considerar valores del caudal de infiltración y de aportes por lluvias, similares a los estimados por el Plan Maestro Optimizado de acuerdo a este estudio el caudal de infiltración para el 2010 fue estimado en 50499 m<sup>3</sup>/mes y el aporte por lluvias en 95622 m<sup>3</sup>/mes. De esta manera el volumen total de aguas residuales para la ciudad de Puno en el 2010 será el siguiente:

$$Qt = 153.6 \frac{L}{s} + 19.5 \frac{L}{s} + 36.7 \frac{L}{s} = 209.8 \frac{L}{s}.$$

DONDE:

- Qt: Caudal total

Durante las diferentes visitas realizadas en Puno se obtuvieron los siguientes datos de temperatura del agua residual y ambiental. La estación de monitoreo fue la cámara de rejas de la PTAR el Espinar en Puno.



**Figura 13. Variación de la temperatura del agua residual y ambiental en la captación de la Planta El Espinar (Puno).**

Al respecto, durante las mediciones realizadas se observó una variación de la temperatura ambiental desde 3.2 °C a 23.2°C en la ciudad de Puno. También se observó que las más bajas temperaturas se observan en horas de la madrugada.

La temperatura del agua residual en la ciudad de Puno se encontró en el rango de variación de la temperatura de 8.5°C-16.1°C con un promedio de 11.9 °C, como se aprecia claramente en la Fig. 6, esto es fácilmente explicable si entendemos que la condición climática de la ciudad de Puno es bastante variable, alcanzando temperaturas de 25 °C durante un día soleado y de noche

bajando drásticamente la temperatura en algunos casos hasta cercano a los 0 °C.

#### **4.2.2. Determinación del volumen de muestra**

En el monitoreo, la muestra compuesta fue formada con volúmenes proporcionales al flujo (estimado en proporción al tirante a la llegada de las rejas) estimado durante la toma de muestras en el canal ubicado en la cámara de rejas. Debe de precisarse que para un cálculo más óptimo se recomienda realizar la medición en el mismo medidor ubicado en las cercanías de la cámara de rejas, el mismo que durante la realización del monitoreo en referencia se encontraba sellado con concreto, para luego realizar los procesos de sedimentación y filtración. Los lodos separados en las etapas de sedimentación y filtración que en total tenemos: (1) Volumen de lodos de la sedimentación: 0.81 litros, (2) Volumen de lodos de la filtración: 0.07 litros, que hacen un total de en volumen de 0.88 litros, que mediante cálculos sencillos si son traducidos a peso vendría a ser en total 20 gramos los cuales se sometió a los sub siguientes procesos para la obtención de biogás.

#### **4.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las muestras de agua residual para el presente estudio fueron monitoreados siguiendo las técnica de muestreo descritas en el Cap. III durante el año 2016. Las muestras tomadas utilizando los instrumentos de medición de campo se determinaron los parámetros que se muestran en la Tabla 7:

**Tabla 7. Resultados de datos de monitoreo y mediciones in situ de la aguas residuales de la ciudad de Puno descargadas en la laguna el Espinar**

MESES	T °C	pH	CONDUCTIVIDAD	OD	ST	TURBIEDAD
AÑO 2016			µs/cm	ppm	ppm	NTU
Marzo	14.20	7.60	1174.00	3.06	1220.00	97.90
Mayo	16.20	8.45	1982.00	5.76	1180.00	106.90
Agosto	13.70	8.44	2136.00	3.85	1211.00	145.00
Octubre	15.60	7.81	2345.00	9.34	1190.00	92.00
<b>PROMEDIO</b>	<b>14.93</b>	<b>8.08</b>	<b>1909.25</b>	<b>5.50</b>	<b>1200.25</b>	<b>110.45</b>

Fuente: Informe de ensayo (anexo 02)

En la Tabla 7 se muestra los valores promedio de 04 mediciones para cada mes, como se puede apreciar la variación no es drástica, por lo que para efectos de planteamiento del tratamiento propuesto se utilizara como referencia el valor promedio, el pH de descarga del agua residuales son básicas, esto se debe a que las aguas residuales urbanas tienen un alto contenido de sales y amoníaco, la conductividad es alta debido a que tiene electrolitos en solución debido al arrastré de sales en especial aguas de cocina que tienen contenido de cloruro de sodio.

Los oxígenos disueltos en las aguas residuales indican el grado de frescura o ranciedad de estas aguas, así como también necesidades de proveerlas o no, de un adecuado control de sus olores.

La solubilidad de oxígeno es directamente proporcional a la presión parcial de oxígeno, por esta razón se observa una baja solubilidad de oxígeno, lo cual también es un factor por el cual los nutrientes y la carga de materia orgánica

que tiene esta agua residual no es fácilmente degradable por tecnologías conocidas.

Los sólidos totales en su mayoría están compuestos por carga de materia orgánica los cuales son insolubles en el agua y estos a su vez determinan la turbidez del agua residual.

#### 4.3.1 Determinación de DBO<sub>5</sub> y nutrientes.

Las muestras del ítem anterior son sometidas a diferentes análisis en laboratorio con la finalidad de determinar la demanda bioquímica de oxígeno a 5 días como los otros parámetros físico químicos como nitratos nitritos, fosfatos y sulfatos cuyos resultados se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Resultados de datos de monitoreo y mediciones en laboratorio de las aguas residuales de la ciudad de Puno descargadas en la laguna el Espinar**

MESES –AÑO	DBO <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
2015	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Marzo	292.80	62.30	0.063	1.902	152.10
Mayo	326.00	84.80	0.074	2.146	132.60
Agosto	315.20	69.20	0.136	2.409	184.00
Octubre	345.58	84.50	0.082	2.347	122.50
<b>PROMEDIO</b>	<b>319.90</b>	<b>75.20</b>	<b>0.089</b>	<b>2.201</b>	<b>147.80</b>

Fuente: Informe de ensayo (anexo 02)

Siguiendo las técnicas descritas en el capítulo III se determinaron todos estos parámetros que a continuación analizaremos:



(1) La demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aeróbica, es por esto que este parámetro de polución sea tan utilizado en el tratamiento de las aguas residuales, los datos mostrados en la tabla 8 muestran un valor promedio para los meses que se monitoreo de 320 ppm.

(2) La concentración de nitratos en las aguas residuales crudas de Puno (El Espinar), fluctúa en promedio 75.20 mg/L, la misma que puede ser considerado alta, según la American Public Health Association, ya que se encuentra muy por encima de 0.1 mg/L; esto explica que durante el recorrido de las aguas residuales a través del colector existen procesos significativos de oxidación, probablemente favorecido por el flujo turbulento del agua.

(3) Los nitritos representan la fase intermedia del proceso de nitrificación, que para el caso de las aguas residuales crudas en evaluación, las concentraciones pueden ser consideradas como altas ya que estas se encuentran por encima de 0.011 mg/l y 0.026 mg/l.

(4) El fósforo total al igual que el nitrógeno, constituye un elemento importante, el cual si es vertido a cursos de agua, pueden generar serios problemas de eutrofización. Este está conformado por todas las formas de fósforo contenido en las aguas residuales. La concentración de fósforo en las aguas residuales oscila entre 1.9 mg/l y 2.4 mg/l. por lo que se puede afirmar que el contenido de fósforo en estas aguas no es alta.

(5) los sulfatos encontrados fluctúan entre 132 y 184 ppm, pueden estar en forma de ácido sulfhídrico y sulfuros debido a las siguientes razones: Descarga

directa de las industrias conectadas a la red de alcantarillado, Descomposición de compuestos orgánicos que contienen sulfuros, como ciertas proteínas, la proporción de ácido sulfhídrico se incrementa cuando disminuye el pH. Es soluble en agua.

#### **4.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRÁULICO PARA UNA SEDIMENTACIÓN COMPLETA**

Inicialmente del agua residual colectada del afluente a la laguna el Espinar-Puno se retiraron manualmente todos los sólidos de tamaño fácilmente visibles como plásticos y botellas de plástico, el agua residual libre fue sometida a una sedimentación libre con la finalidad de determinar el tiempo de retención hidráulica que se debe considerar para que los sólidos se separen del agua por sedimentación.

##### **4.4.1 SEDIMENTACIÓN LIBRE**

Con el propósito de determinar el tiempo de retención hidráulica para la sedimentación sin adicionar ningún coagulante se hicieron 10 pruebas en los conos Inhoff de un litro de capacidad, analizando en todos ellos los sólidos totales a intervalos de 30 minutos en la parte líquida encima del sedimento, cuyos resultados se muestran a continuación:

**Tabla 9. Variación de sólidos totales en los conos Inhoff en función del tiempo para calcular el tiempo determinar el tiempo de retención hidráulica**

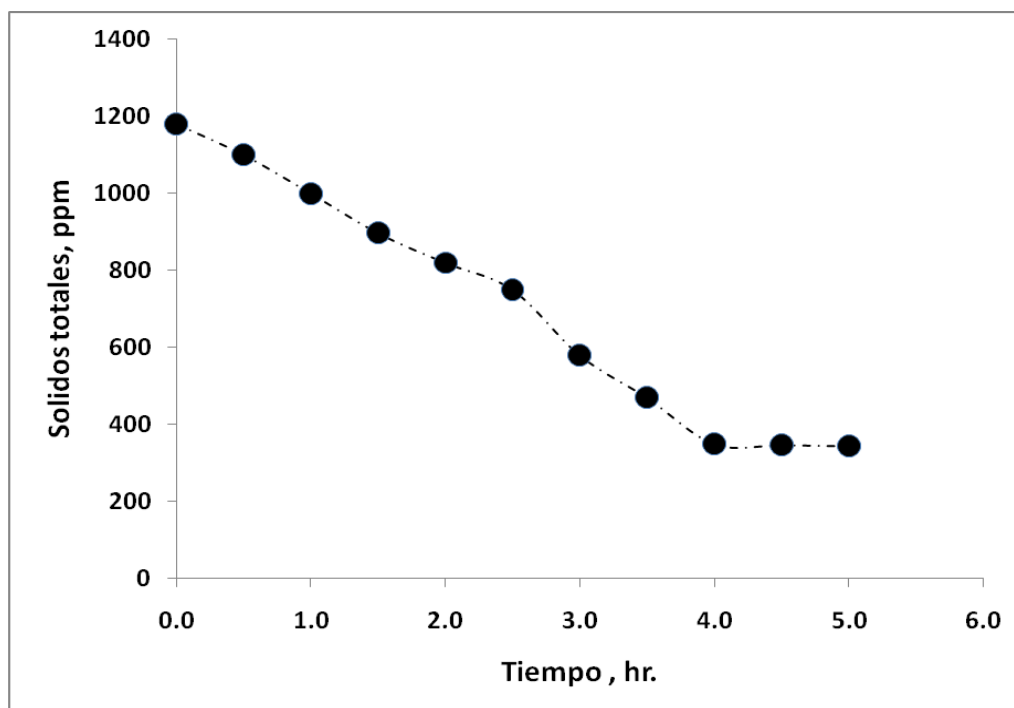
No	Tiempo, hr	ST, ppm
<b>STo</b>	0.0	1180
1	0.5	1100
2	1.0	1000
3	1.5	897
4	2.0	820
5	2.5	750
6	3.0	580
7	3.5	470
8	4.0	350
9	4.5	348
10	5.0	345

Fuente: Análisis realizado por el Tesista

En la Tabla 9, STo y ST, sólidos totales iniciales y sólidos totales al cabo de un tiempo determinado en ppm.

Los resultados de la Tabla 9 nos indican que los sólidos con densidad mayor a la del agua se sedimentan o se separan completamente del líquido en 4 hr. Tiempo a partir del cual la cantidad de sólidos totales que quedan en la parte líquida son aproximadamente constantes, lo cual indica que después de este tiempo ya es imposible separar estos sólidos por sedimentación, esto se debe a que los sólidos con densidad igual o menor que la del agua ya no sedimentarán, esta interpretación es plenamente corroborado por la Fig. 07, en

donde la curva de pendiente descendiente cambia de pendiente en el punto equivalente a 4.0 hrs.



**Figura 14. Variación de la concentración de sólidos totales en función del tiempo en los conos Inhoff.**

#### 4.5 FILTRACIÓN

El líquido proveniente de la etapa anterior separada después de un tiempo de retención hidráulica de 4.0 hr con la siguiente composición que se muestra en la siguiente Tabla:

**Tabla 10. Composición del líquido separado de los lodos sedimentables en la operación de sedimentación**

<b>Parámetros</b>	<b>Antes de sedimentación</b>	<b>Después de sedimentación</b>
<b>pH</b>	8.080	8.860
<b>STD</b>	1211.000	402.000
<b>DBO<sub>5</sub></b>	319.000	106.000
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N</b>	75.900	74.600
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N</b>	0.089	0.085
<b>PO<sub>4</sub><sup>-3</sup></b>	2.201	2.186
<b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b>	147.800	102.400

Fuente: Elaboracion propia

#### **4.6. RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS POR DESPLAZAMIENTO DEL LÍQUIDO MANOMÉTRICO EN EL MANÓMETRO DIFERENCIAL DE AGUA.**

Para el seguimiento y monitoreo de biogás producido, una vez iniciada la digestión anaeróbica en la cámara de descomposición se controló la temperatura de fermentación y el desplazamiento del manómetro diferencial cada 48 horas por un tiempo de 47 días, cuyos resultados mostramos a continuación, de la tabla se aprecia que el desnivel de líquido manométrico agua en el manómetro diferencial es insignificante hasta el quinto día de degradación anaeróbica, a partir del 7 día incrementa la altura diferencial llegando a un máximo desplazamiento el día 35, donde se alcanza la máxima

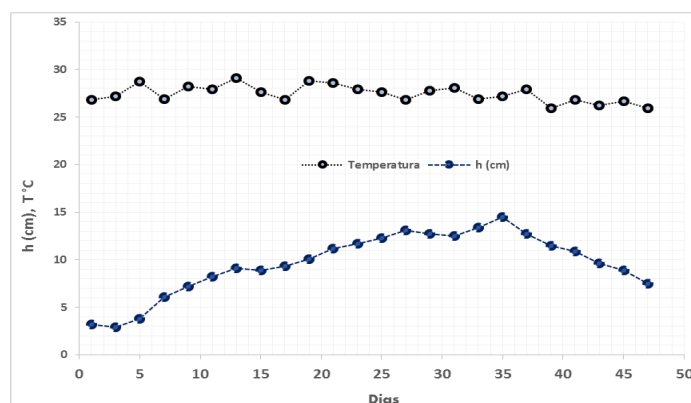
degradación anaeróbica para la producción de biogás, a partir de este día también empieza a disminuir esta lectura.

**Tabla 11. Desplazamiento en cm del manómetro diferencial de agua, por efecto de la producción de biogás.**

Día	Temperatura		Día	Temperatura	
	°C	h(cm)		°C	h(cm)
1	26.8	3.2	25	27.6	12.3
3	27.2	2.9	27	26.8	13.1
5	28.7	3.8	29	27.8	12.7
7	26.9	6.1	31	28.1	12.5
9	28.2	7.2	33	26.9	13.4
11	27.9	8.2	35	27.2	14.5
13	29.1	9.1	37	27.9	12.7
15	27.6	8.9	39	25.9	11.5
17	26.8	9.3	41	26.8	10.9
19	28.8	10.1	43	26.2	9.6
21	28.6	11.2	45	26.7	8.9
23	27.9	11.7	47	25.9	7.5

Fuente: Elaboración propia

La temperatura de fermentación se mantiene constante en un promedio de 27.4 °C durante todo el periodo de prueba, lo que indica que la temperatura no afecta la degradación anaeróbica de la materia orgánica y esto podemos apreciar en la siguiente figura.

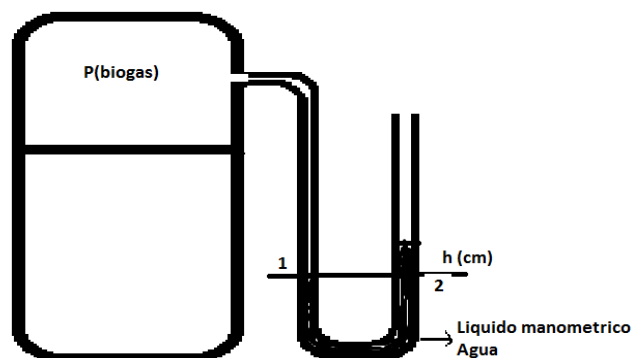


**Figura 15. Comportamiento de la temperatura y el desplazamiento del líquido manométrico durante la experimentación**

En la figura se corrobora que la descomposición de la materia orgánica en biogás inicia al quinto día alcanzando una máxima producción al cabo de 35 días, a partir del cual decrece, lo que en la práctica, que la materia orgánica sujeta a degradación anaeróbica se ha consumido, y la temperatura durante el proceso de experimentación se mantiene constante. El volumen de biogás producido podemos calcular haciendo uso de las relaciones simples de los gases ideales, en base a las siguientes ecuaciones.

(1) Cálculo de la presión de gas.

Por cálculos manométricos se tiene que la presión en un mismo nivel es igual, entonces en la siguiente figura realizamos los cálculos para determinar la presión del biogás producido.



**Figura 16. Esquema del equipo experimental para determinar la presión del biogás**

En nivel de referencia 1-2 las presiones en el manómetro son iguales, ósea

$$P_1 = P_2$$

$$P_{(\text{Biogás})} = h\gamma + P_{\text{atm}}$$

Dónde:

$P_{(\text{Biogás})}$ : Presión absoluta de biogás en la cámara de digestión. ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ )

$h$ : Desnivel del líquido manométrico, (cm)

$\gamma$ : Peso específico del agua,  $1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .

$P_{\text{atm}}$ : Presión atmosférica de Puno,  $0.66 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ .

Aplicando esta ecuación calculamos la presión de biogás en la cámara de descomposición anaeróbica para cada altura de líquido manométrico desplazado como se muestra en la Tabla 12

## (2) Cálculo del volumen de gas Producido

Veza determinado la presión de la cámara de biogás, aplicando la ecuación de los gases ideales determinamos el volumen de gas producido, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PV = nRT$$



Dónde: P: Presión absoluta del biogás en, cm

V: Volumen de biogás producido, cm

n: Numero de moles de gas producido.

T: Temperatura de fermentación anaeróbica, °C

R: Constante universal de los gases Ideales.

Si consideramos constante los valores de n, R el volumen producido se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$V_{(\text{biogás})} = kT/P_{(\text{biogás})}$$

Para condiciones de Puno haciendo los cálculos respectivos se encuentra un valor de  $k = 4.93 \text{ cm}^4/\text{°C}$ , que son utilizados para hacer la siguiente tabla.

**Tabla 12. Volumen producido de biogás durante el proceso de degradación anaeróbica.**

Día	Temperatura °C	h(cm)	P(Biogás) Kg/cm <sup>2</sup>	V(Biogás) cm <sup>3</sup>	V (Acum) cm <sup>3</sup>
1	26.8	3.2	0.98	0.000	0.000
3	27.2	2.9	0.95	0.000	0.000
5	28.7	3.8	1.04	0.000	0.000
7	26.9	6.1	1.27	21.740	21.740
9	28.2	7.2	1.38	19.309	41.050
11	27.9	8.2	1.48	16.774	57.824
13	29.1	9.1	1.57	15.765	73.589
15	27.6	8.9	1.55	15.289	88.877
17	26.8	9.3	1.59	14.207	103.084
19	28.8	10.1	1.67	14.058	117.142
21	28.6	11.2	1.78	12.589	129.731
23	27.9	11.7	1.83	11.756	141.487
25	27.6	12.3	1.89	11.062	152.550
27	26.8	13.1	1.97	10.086	162.636
29	27.8	12.7	1.93	10.792	173.427
31	28.1	12.5	1.91	11.083	184.510
33	26.9	13.4	2	9.897	194.407
35	27.2	14.5	2.11	9.248	203.655
37	27.9	12.7	1.93	10.830	214.485
39	25.9	11.5	1.81	11.103	225.588
41	26.8	10.9	1.75	12.121	237.710
43	26.2	9.6	1.62	13.455	251.165
45	26.7	8.9	1.55	14.790	265.955
47	25.9	7.5	1.41	17.025	282.980

En la Tabla 12 se aprecia que la producción de biogás a partir del 7 día se puede considerar constante en un volumen constante de aproximadamente 1 cm<sup>3</sup> diarios con un acumulado total al día 37 que se encuentra la máxima diferencia de presión manométrica de 214.5 cm<sup>3</sup> de producción, para

corroborar que el gas producido se hizo la prueba de quemado como se puede apreciar en la siguiente fotografía.

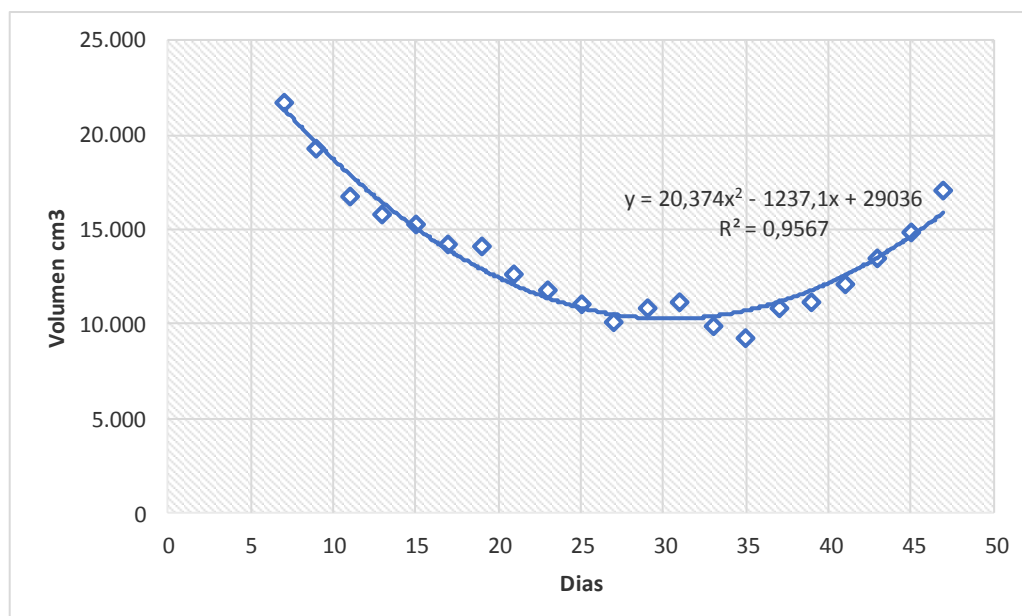


**Figura 17. Prueba de ignición del biogás producido**

Como se aprecia en la fotografía, la manguerita de descarga del biogás procedente del tanque de degradación anaeróbica se conectó a un mechero bunsen, y se puso en contacto con fuego, procediendo a la combustión del gas con una disipación de calor considerable y constante.

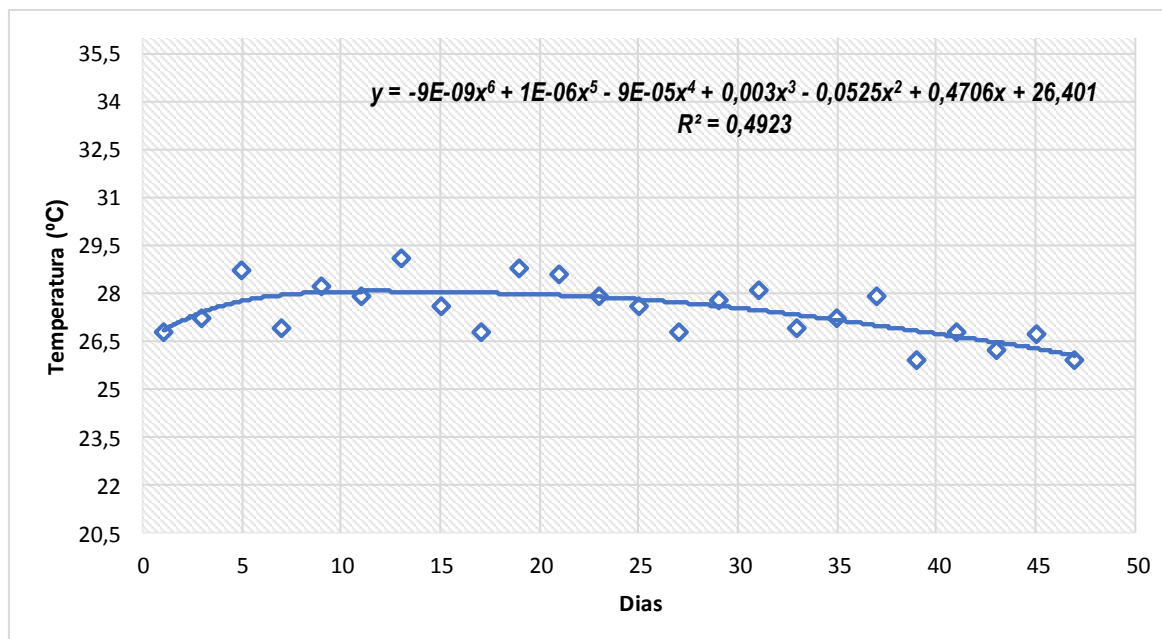
#### **4.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

Los datos de la Tabla 12 se procedió a procesar en el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS version 5.1, para calcular el promedio, la desviación estándar, máxima y mínima de producción diaria de biogás, así mismo el análisis de correlación lineal para la producción de biogás versus el tiempo de fermentación.



**Figura 18. Producción diaria de biogás, desde el día 05 hasta los 47 días de fermentación anaeróbica.**

De la figura 18 se observa que la producción diaria de biogás disminuye con respecto al paso de los días siendo la producción de biogás más baja el día 35 con un volumen de 9.248 cm<sup>3</sup> y un máximo de producción de biogás el día 07, con un volumen de 21.740 cm<sup>3</sup>, encontrándose una ecuación ajustada  $y = 20,374x^2 - 1237,1x + 29036$ , con un coeficiente de correlación de  $R^2 = 0,9567$



**Figura 19. Correlacion diaria de la temperatura del biogas versus el tiempo de fermentacion anaerobica.**

De la figura 19, se observa que la temperatura con respecto al tiempo de produccion de biogas, tiene una varianza discontinua (altibajos) y la ecuacion ajustada es de grado 06 con un coeficiente de coorelacion de  $R^2 = 0.4923$

**Tabla 13. Analisis stadistico descriptivo de la produccion de biogas desde el dia 5 hasta el dia 47 de la fermentacion anaerobica**

N°	Media	Desviación estándar	Varianza	Rango	
				Mínimo	Máximo
43	14.88	4.84	25.35	4.84	27.48

La Tabla 13 señala que el promedio de la producción de biogás fue de 14.88 cm<sup>3</sup>, su valor de la desviación estándar indica que en promedio las observaciones individuales se desvían de las medias en 4.84 cm<sup>3</sup>. Así mismo nos indica que el rango fue de 4.84 cm<sup>3</sup> como valor mínimo hasta un rango

máximo de 27.48 cm<sup>3</sup> con una varianza de 25.35 respectivamente. El biogás obtenido, por la ignición que presenta es de buena calidad, es producido por bacterias en la biodegradación de material orgánico en condiciones anaeróbicas (sin aire) y está constituido principalmente por metano como cita Sandoval, 2006; la aplicación de los procesos anaeróbicos presentan interesantes perspectivas ya que no solo podían resultar positivas en la mejora del medio ambiente, sino que además, se obtendrían cantidades importantes de energía en forma de biogás para múltiples usos, esto permitiría la inversión en procesos anaeróbicos para tratamiento de aguas residuales urbanas.

El volumen promedio diario y acumulado de biogás obtenido son valores significativos comprado con investigaciones que tiene un reporte en la literatura de una producción acumulada de 452 litros de biogás en 7 meses y 19 días en condiciones normales de presión atmosférica a partir de excretas de chancho y cuy (Delgado 2006), por lo que la cantidad de gas obtenido a condiciones de Puno a casi la mitad de a presión atmosférica de las ciudades de la costa es atractiva para plantear esta tecnología como una alternativa para el tratamiento de los lodos de aguas residuales urbanas.

## CONCLUSIONES

1. Los parámetros evaluados durante la producción de biogás son los siguientes: Tiempo de obtención 43 días, a una temperatura promedio de 27.4 °C con una presión 0.2144 kg/cm<sup>2</sup>.
2. Se ha evaluado la carga orgánica de los lodos de aguas residuales encontrándose promedios de 75.20 ppm de  $NO_3^-N$  , 0.089  $NO_2^-N$  y 2.201 de  $PO_4^{-3}$
3. Durante la producción de biogás con una DBO<sub>5</sub> 319.90ppm, se han evaluado los parámetros físico químicos encontrándose que el pH promedio optimo fue de 8.08, conductividad promedio de 1909.25  $\mu$ s/cm, Oxígeno disuelto promedio 5.50 ppm, Solidos totales 1200.25 ppm y una turbiedad promedio de 110.45 NTU
4. El promedio de producción de biogás obtenido fue de 14.88 cm<sup>3</sup> su valor de desviación estándar indica que en promedio las observaciones individuales se desvían de las medias en 4.84 cm<sup>3</sup>. Así mismo nos indica que el rango fue de 4.84 cm<sup>3</sup> como valor mínimo hasta un rango máximo de 27.48 cm<sup>3</sup> con una varianza de 25.35 respectivamente.

## RECOMENDACIONES

- Desarrollar una investigación de una planta de tratamiento aguas residuales mediante métodos anaeróbicos sin la necesidad de separar el líquido del lodo.
- Optimizar la producción de biogás añadiendo calor al inicio del proceso para que inicie más fácilmente la degradación anaeróbica
- Proponer planes de trabajo acerca de este tema tan importante que es la producción de biogás a partir de los lodos de aguas residuales, como una medida de solución a la contaminación que se tiene in situ.
- Sensibilizar a la población referente a estos temas, con el fin de preservar el medio ambiente.



**BIBLIOGRAFIA**

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) E Instituto Nacional de Desarrollo (INADE). (1999). *Estudio para el control integral de la contaminación del agua de la Bahía Interior de Puno en el Lago Titicaca en la República del Perú*. Reporte Principal. pp 3-7.
- Beam , R. (2011). *Enhanced biogas production through the optimization of the anaerobic digestion of sewage sludge*. Chemical & Biological Engineering. United States: The University of Alabama.
- Boubaker F., Cheikh Ridha B. 2011. *Anaerobic co-digestion of olive mill wastewater with olive mill solid waste in a tubular digester at mesophilic temperature*. Bioresource Technology 98: 769-774.
- Ennabili A., Mohammed A. Y Radoux M. (1998). *Biomass production and NPK Retention in Macrophytes from Wetlands of the Tingitan Península in Aquatic Botany* 62, 45-56.
- Fruteau de Laclos H., Desbois S., Saint-Joly C. 1997. *Anaerobic digestion of municipal solid organic waste: Valorga full-scale plant in Tilburg, the Netherlands*. Water Science and Technology 36 (6–7) 457–462.
- Gómez X., Cuetos M.J., Cara J., Morán A., García A.I. 2009. *Anaerobic co-digestion of primary sludge and the fruit and vegetable fraction of the municipal solid wastes. Conditions for mixing and evaluation of the organic loading rate*. Renewable Energy 31:2017-2024.
- López Cabanes José María. (1989). *Digestión anaerobia de lodos de depuradora. Etapas controlantes y cinética del proceso*. Tesis Doctoral. Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química. Universidad de Alicante. España.

- Magbanua Jr. B.S., Adams T.T., Johnston P. 2010 .*Anaerobic codigestion of hog and poultry waste*. Bioresource Technology 76:165-168.
- Montes Carmona María Estela. (2008). *Estudio técnico-económico de la Digestión Anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y Lodos de depuradora para la obtención de biogás*. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Civil: Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Palacios, L. y Laguna, G. (1993). *Evaluación de nitrógeno y fósforo en la bahía interior del lago Titicaca de la ciudad de Puno*. Tesis para optar el título de Biólogo de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú.
- Pauss A., Nuns, E.J., Naveau, H. 1984. *Production of methane by anaerobic digestion of domestic refuse*. In: EEC Conference on Anaerobic and Carbohydrate Hydrolysis of Waste, Luxembourg, 8–10 May.
- Proyecto especial binacional lago titicaca pelt, 1997. estudio integral de factibilidad, conducción, tratamiento y manejo integral de las aguas servidas – ciudad de puno (sistema salcedo – cancharani).
- Ramírez J.J. y Noreña J.F. (2003). *Caracterización del sedimento de una laguna Tropical Rasa*. Revista del departamento de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín Colombia.pp172 – 184.
- Ruelas, C. 1999. determinación de residuos sólidos en las orillas de la bahía interior de puno. biociencia, vol.1 nº 1. una puno.
- Santiago F. J. F., Novoa D. M. y Cervantes D. A. (1996). *Tratamiento de residuales porcinos y domésticos mediante el cultivo de Lemnacea*. Centro

*de Hidrología y Calidad del Agua. Instituto Nacional de Recursos  
Hidráulicos. Monserrate 213 entre Tejadillo y Empedrado. Habana Vieja.  
CP 10100. La Habana. Cuba.*

Scriban Rene. 1985. producción de metano a partir de residuos de ganado.  
edit. el manual moderno pág. 543 a 583.

**ANEXOS**

- Anexo A:** Fotografía del estado actual de la Laguna de Espinar - Puno
- Anexo B:** Fotografía del muestreo de lodos en la laguna de Espinar
- Anexo C:** Fotografía del muestreo de lodos en la laguna de Espina
- Anexo D:** Fotografía del Biodigestor Utilizado para la producción de Biogas
- Anexo E:** Certificado de análisis de lab.- Informe de ensayo N° ANA11C03.001149
- Anexo F:** Certificado de análisis de lab.- Informe de ensayo N° ANA11C03.001202
- Anexo G:** Certificado de análisis de lab.- Informe de ensayo N° ANA11C03.001294
- Anexo H:** Certificado de análisis de lab.- Informe de ensayo N° ANA11C03.001212
- Anexo I:** Certificado de análisis de lab.- Informe de ensayo N° ANA11C03.001148
- Anexo J:** Certificado de análisis de lab.- Informe de ensayo N° ANA11C03.001293
- Anexo K:** Certificado de análisis de lab.- Informe de ensayo N° ANA11C03.001201
- Anexo L:** Certificado de análisis de lab.- Informe de ensayo N° ANA11C03.001104

**Anexo A:** Fotografía del estado actual de la Laguna de espinar - Puno



**Anexo B:** Fotografía de la toma de muestreo de lodos en la laguna de Espinar



**Anexo C:** Fotografía del muestreo de lodos en la laguna de Espina



**Anexo D:** Fotografía del Biodigestor Utilizado para la producción de Biogas



Anexo E: Certificado de análisis de laboratorio

Informe de ensayo N° ANA11C03.001149



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ +51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe @http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
 AREQUIPA - PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA11C03.001149**

**Nombre del Cliente** : EDWIN DIONY HUANCA CCAZA  
**Dirección del cliente** : JIRON E JIMENEZ 161 AZANGARO  
**RUC** : NO CORRESPONDE  
**Condición del Muestreado** : POR EL CLIENTE  
**Descripción** : AGUAS RESIDUALES - LAGUNA DE OXIDACION  
**Tamaño de Muestra** : BOTELLA PLASTICA  
**Fecha de Recepción** : 03/05/2016  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 03/05/2016  
**Fecha de Emisión de Informe** : 13/05/2016  
**Página** : 1 de 1

**I. ANALISIS FISICO - QUIMICO**

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE DBO <sub>5</sub> (ppm)	326.00
DETERMINACION DE NO <sub>3</sub> -N (ppm)	84.80
DETERMINACION DE NO <sub>2</sub> -N (ppm)	0.074
DETERMINACION DE PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (ppm)	2.146
DETERMINACION DE SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ppm)	132.60

**OBSERVACIONES**

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez  
 CQFDA 00624  
 JEFE DE LABORATORIO LECC



Anexo F: Certificado de análisis de laboratorio

Informe de ensayo N° ANA11C03.001212



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
 FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**  
 Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1186  
 ✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📍 Apto. 1350  
 AREQUIPA - PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
 N° DE INFORME: ANA11C03.001202

Nombre del Cliente : EDWIN DIONY HUANCA CCAZA  
 Dirección del cliente : JIRON E JIMENEZ 161 AZANGARO  
 RUC : NO CORRESPONDE  
 Condición del Muestreado : POR EL CLIENTE  
 Descripción : AGUAS RESIDUALES - LAGUNA DE OXIDACION  
 Tamaño de Muestra : BOTELLA PLASTICA  
 Fecha de Recepción : 03/08/2016  
 Fecha de Inicio del Ensayo : 04/08/2016  
 Fecha de Emisión de Informe : 18/08/2016  
 Pagina : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO - QUIMICO

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE DBO <sub>5</sub> (ppm)	315.20
DETERMINACION DE NO <sub>3</sub> -N (ppm)	69.20
DETERMINACION DE NO <sub>2</sub> -N (ppm)	0.136
DETERMINACION DE PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (ppm)	2.409
DETERMINACION DE SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ppm)	184.00

OBSERVACIONES

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez  
 COFDA 00624  
 JEFE DE LABORATORIO LECC





**Anexo G: Certificado de análisis de laboratorio**

Informe de ensayo N° ANA11C03.001294



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe @http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
 AREQUIPA - PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA11C03.001294**

Nombre del Cliente : EDWIN DIONY HUANCA CCAZA  
 Dirección del cliente : JIRON E JIMENEZ 161 AZANGARO  
 RUC : NO CORRESPONDE  
 Condición del Muestreado : POR EL CLIENTE  
 Descripción : AGUAS RESIDUALES - LAGUNA DE OXIDACION  
 Tamaño de Muestra : BOTELLA PLASTICA  
 Fecha de Recepción : 06/10/2016  
 Fecha de Inicio del Ensayo : 10/10/2016  
 Fecha de Emisión de Informe : 25/10/2016  
 Pagina : 1 de 1

**I. ANALISIS FISICO - QUIMICO**

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE DBO <sub>5</sub> (ppm)	345.58
DETERMINACION DE NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (ppm)	84.50
DETERMINACION DE NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N (ppm)	0.082
DETERMINACION DE PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (ppm)	2.347
DETERMINACION DE SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ppm)	122.50

**OBSERVACIONES**

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez  
 CQFDA 00624  
 JEFE DE LABORATORIO LECC



**Anexo H: Certificado de análisis de laboratorio**

Informe de ensayo N° ANA11C03.001212



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe (http://www.ucsm.edu.pe) Aptdo. 1350  
 AREQUIPA - PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA11C03.001103**

**Nombre del Cliente** : EDWIN DIONY HUANCA CCAZA  
**Dirección del cliente** : JIRON E JIMENEZ 161 AZANGARO  
**RUC** : NO CORRESPONDE  
**Condición del Muestreado** : POR EL CLIENTE  
**Descripción** : AGUA RESIDUAL - LAGUNA DE OXIDACION  
**Tamaño de Muestra** : BOTELLA PLASTICA  
**Fecha de Recepción** : 02/03/2016  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 02/03/2016  
**Fecha de Emisión de Informe** : 10/03/2016  
**Página** : 1 de 1

**I. ANALISIS FISICO - QUIMICO**

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES (ppm) Método Instrumental Directo	1220.00
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO (ppm) Método Instrumental Directo	3.06
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD (µS cm-1) Método Instrumental Directo, Conductímetro ORION 162	1174.00
DETERMINACION DE pH ( unidades de pH a 20°C) Método instrumental directo	7.60
DETERMINACION DE TURBIEDAD (NTU) Método Instrumental Directo	97.90
DETERMINACION DE TEMPERATURA (°C) Método Instrumental Directo	14.20

**OBSERVACIONES**

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.E. Ricardo A. Abril Ramirez  
 COFDA 00624  
 JEFE DE LABORATORIO LECC



Anexo I: Certificado de análisis de laboratorio

Informe de ensayo N° ANA11C03.001148



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ +51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe @http://www.ucsm.edu.pe 📍 Apto. 1350  
 AREQUIPA - PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA11C03.001148**

Nombre del Cliente	: EDWIN DIONY HUANCA CCAZA
Dirección del cliente	: JIRON E JIMENEZ 161 AZANGARO
RUC	: NO CORRESPONDE
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: AGUA RESIDUAL - LAGUNA DE OXIDACION
Tamaño de Muestra	: BOTELLA PLASTICA
Fecha de Recepción	: 03/05/2016
Fecha de Inicio del Ensayo	: 03/05/2016
Fecha de Emisión de Informe	: 13/05/2016
Página	: 1 de 1

I. ANALISIS FISICO - QUIMICO

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES (ppm) Método Instrumental Directo	1180.00
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO (ppm) Método Instrumental Directo	5.76
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD (µS cm <sup>-1</sup> ) Método Instrumental Directo, Conductímetro ORION 162	1982.00
DETERMINACION DE pH ( unidades de pH a 20°C) Método instrumental directo	8.45
DETERMINACION DE TURBIEDAD (NTU) Método Instrumental Directo	106.90
DETERMINACION DE TEMPERATURA (°C) Método Instrumental Directo	16.20

OBSERVACIONES

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez  
 CQFDA 00624  
 JEFE DE LABORATORIO LECC



**Anexo J: Certificado de análisis de laboratorio**

Informe de ensayo N° ANA11C03.001293



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ +51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe (http://www.ucsm.edu.pe) 📍 Aptdo. 1350 AREQUIPA - PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA11C03.001293**

**Nombre del Cliente** : EDWIN DIONY HUANCA CCAZA  
**Dirección del cliente** : JIRON E JIMENEZ 161 AZANGARO  
**RUC** : NO CORRESPONDE  
**Condición del Muestreado** : POR EL CLIENTE  
**Descripción** : AGUA RESIDUAL - LAGUNA DE OXIDACION  
**Tamaño de Muestra** : BOTELLA PLASTICA  
**Fecha de Recepción** : 06/10/2016  
**Fecha de Inicio del Ensayo** : 10/10/2016  
**Fecha de Emisión de Informe** : 25/10/2016  
**Página** : 1 de 1

**I. ANALISIS FISICO - QUIMICO**

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES (ppm) Método Instrumental Directo	1190.00
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO (ppm) Método Instrumental Directo	9.34
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD (µS cm-1) Método Instrumental Directo, Conductímetro ORION 162	2345.00
DETERMINACION DE pH ( unidades de pH a 20°C) Método instrumental directo	7.81
DETERMINACION DE TURBIEDAD (NTU) Método Instrumental Directo	92.00
DETERMINACION DE TEMPERATURA (°C) Método Instrumental Directo	15.60

**OBSERVACIONES**

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

**Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez**  
 CQFPA 00624  
 JEFE DE LABORATORIO LECC



**Anexo K: Certificado de análisis de laboratorio**

Informe de ensayo N° ANA11C03.001201



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350  
 AREQUIPA - PERU



**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA11C03.001201**

Nombre del Cliente	: EDWIN DIONY HUANCA CCAZA
Dirección del cliente	: JIRON E JIMENEZ 161 AZANGARO
RUC	: NO CORRESPONDE
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: AGUA RESIDUAL - LAGUNA DE OXIDACION
Tamaño de Muestra	: BOTELLA PLASTICA
Fecha de Recepción	: 03/08/2016
Fecha de Inicio del Ensayo	: 04/08/2016
Fecha de Emisión de Informe	: 18/08/2016
Página	: 1 de 1

**I. ANALISIS FISICO - QUIMICO**

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE SOLIDOS TOTALES (ppm) Método Instrumental Directo	1211.00
DETERMINACION DE OXIGENO DISUELTO (ppm) Método Instrumental Directo	3.85
DETERMINACION DE CONDUCTIVIDAD (µS cm-1) Método Instrumental Directo, Conductímetro ORION 162	2136.00
DETERMINACION DE pH ( unidades de pH a 20°C) Método instrumental directo	8.44
DETERMINACION DE TURBIEDAD (NTU) Método Instrumental Directo	145.00
DETERMINACION DE TEMPERATURA (°C) Método Instrumental Directo	13.70

**OBSERVACIONES**

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez  
 CQFDA 00624  
 JEFE DE LABORATORIO LECC



**Anexo L: Certificado de análisis de laboratorio**

Informe de ensayo N° ANA11C03.001104



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ +51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe (http://www.ucsm.edu.pe) Apto. 1350  
 AREQUIPA - PERU



---

**INFORME DE ENSAYO**  
**N° DE INFORME: ANA11C03.001104**

---

Nombre del Cliente	: EDWIN DIONY HUANCA CCAZA
Dirección del cliente	: JIRON E JIMENEZ 161 AZANGARO
RUC	: NO CORRESPONDE
Condición del Muestreado	: POR EL CLIENTE
Descripción	: AGUAS RESIDUALES - LAGUNA DE OXIDACION
Tamaño de Muestra	: BOTELLA PLASTICA
Fecha de Recepción	: 02/03/2016
Fecha de Inicio del Ensayo	: 02/03/2016
Fecha de Emisión de Informe	: 10/03/2016
Página	: 1 de 1

---

**I. ANALISIS FISICO - QUIMICO**

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACION DE DBO <sub>5</sub> (ppm)	292.80
DETERMINACION DE NO <sub>3</sub> -N (ppm)	62.30
DETERMINACION DE NO <sub>2</sub> -N (ppm)	0.063
DETERMINACION DE PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> (ppm)	1.902
DETERMINACION DE SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ppm)	152.10

**OBSERVACIONES**

- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con norma de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



**Q.E. Ricardo A. Abril Ramirez**  
 COFDA 00624  
 JEFE DE LABORATORIO LECC

