

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**PUNO, PERÚ**

**2015**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS

“EVALUACIÓN DE BIODIGESTOR DE POLIETILENO ROTOPLAST EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS Y PROPUESTA DE DISEÑO DE BIOFILTRO EN LA COMUNIDAD DE OQUEBAMBA-ESPINAR”

NACIONAL DEL  
PRESENTADA POR:

Br: RUBEN SANTOS NINA MAMANI

APROBADO POR EL JURADO INTEGRADO POR:

PRESIDENTE DE JURADO :

Dr. Eduardo FLORES GONDORI

PRIMER MIEMBRO

Ing Ricardo BARDALES VASSI

SEGUNDO MIEMBRO

Ing. Edgardo VELARDE COAQUIRA

DIRECTOR DE TESIS

M.Sc. Lorenzo CUBZA CORONEL

ASESOR DE TESIS :

Ing. Reyner CASTILLO TACORA

TEMA: ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE

ÁREA: SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES Y REUSO

ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN ESTÁ DEDICADO:

A mis padres Mario Honorio Nina y Gloria Teodora Mamani. Porque sin ustedes esto no hubiera sido posible. Gracias por su amor, cuidados, apoyo y confianza.

No tengo palabras para describir lo importantes que han sido en mi vida, lo mucho que los amo y los admiro.

A Lisbeth.

La hermana que todos quisieran tener, por el amor, confianza y apoyo, por sus consejos y paciencia, porque me has alentado a seguir para adelante y por estar siempre conmigo.

A todos mis amigos de hoy y siempre. Muchas gracias por todo.

## AGRADECIMIENTOS

A la universidad nacional del altiplano y a la facultad de ingeniería agrícola, por haberme formado en sus claustros y permitirme ser miembro de ella.

A los Docentes de la facultad, quienes con su sapiencia implantaron sus conocimientos durante mi formación profesional.

A los jurados del presente trabajo de investigación, quienes con sus valiosos consejos han contribuido en la conclusión del presente trabajo.

Al Ingeniero Lorenzo Cieza Coronel, por su dirección, orientación, asesoramiento, seguimiento y su valioso aporte en la cristalización del presente trabajo.

Al personal administrativo de la facultad de ingeniería agrícola por la excelente administración de las exigencias estudiantiles y contribuyen en la formación de cada una de los estudiantes.

**A todos ellos, muchas gracias.**

Rubén Santos Nina Mamani

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>Abstract</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>CAPITULO I</b> .....	4
1.1. Planteamiento del Problema .....	4
1.1.1 Problema General .....	5
1.1.2 Problemas específicos.....	5
1.2 Justificación.....	5
1.3 Antecedentes.....	7
1.4 Objetivos.....	9
1.4.1 Objetivo General.....	9
1.4.2 Objetivos Específicos .....	9
1.5 Hipótesis de la Investigación.....	10
1.5.1 Hipótesis General .....	10
1.5.2 Hipótesis Específico .....	10
<b>CAPITULO II</b> .....	11
<b>MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL</b> .....	11
2.1 Características de las Aguas Residuales .....	11
2.1.1 Características Físicas .....	12
2.1.2 Características Químicas .....	13
2.1.3 Características Biológicas.....	16
2.2 Tipos de Agua Residual.....	17
2.3 Composición de las Aguas Residuales .....	17
2.4 Principales Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales.....	19
2.4.1 Tratamiento Primario.....	20
2.4.2. Tratamiento Secundario.....	20
2.4.3. Tratamiento Terciario de Aguas Residuales.....	20
2.5 Sistema de Tratamiento con Biodigestores .....	21
2.6 Sistema de Tratamiento con Humedales Artificiales (filtro biológico).....	23
2.6.1 Humedales de Flujo Superficial y Sub Superficial.....	23
2.7 Modelos de Diseño de Humedales de Flujo Libre Superficial (FWS).....	24
2.7.1 Modelo de remoción para la DBO <sub>5</sub> .....	24
2.7.2 Modelo de remoción para Solidos Suspendedos Totales.....	27
2.7.3 Modelo de Remoción para Coliformes Fecales.....	27
2.8 Calidad de las Aguas Residuales .....	28
<b>CAPITULO III</b> .....	31

<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	31
3.1. Caracterización del área de investigación .....	31
3.1.1 Ubicación del área de estudio .....	31
3.1.2. Clima y temperatura .....	32
3.1.3. Vivienda .....	32
3.1.4. Relieve y Topografía: .....	33
3.1.5. Vías de Acceso .....	33
3.2 Definición del diseño de investigación.....	33
3.3. Etapas de la Investigación .....	34
3.3.1. Primera Etapa .....	34
3.3.2. Segunda Etapa .....	35
3.3.3. Tercera Etapa.....	35
3.4. Aplicación de la propuesta metodológica.....	36
3.5. Identificación del Sistema .....	36
3.5.2. Diagnostico .....	36
3.5.3. Toma, Preservación y Traslado de Muestras .....	36
3.6. Procesamiento y Análisis de Parámetros.....	37
3.7. Procesamiento de datos y aplicación de Modelos Estadísticos .....	38
3.8. Evaluación de Resultados.....	39
3.9. Operacionalización de Variables .....	40
3.10 Descripción del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de la Comunidad de Oquebamba Sector Santa Ana.....	40
3.11. Estructura y Funcionamiento del Biodigestor de Polietileno .....	41
3.12. Materiales y Métodos .....	43
<b>CAPITULO IV</b> .....	44
<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	44
4.1 Evaluación de las características físicas, químicas y biológicas de aguas residuales ....	44
4.1.1. Temperatura (T °C).....	44
4.1.2. Potencial de hidrogeno (pH).....	45
4.1.3. Conductividad Eléctrica .....	45
4.1.4. Solidos Totales Suspendidos .....	46
4.1.5. Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	47
4.1.6. Demanda Química de Oxigeno (DQO) .....	47
4.1.7. Coliformes Totales .....	48
4.1.8. Coliformes Fecales .....	49
4.1.9. Coliformes Termo tolerantes .....	50
4.2 Influencia de la Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica y Solidos Suspendido.....	51

4.3. Diseño de biofiltro, para el tratamiento secundario de aguas residuales efluente del Biodigestor de polietileno Rotoplast .....	59
4.3.1. Dimensionamiento de Humedal Artificial FWS (Wetlands).....	59
4.3.2. Remoción de DBO en Humedales FWS .....	59
4.3.3 Diseño Hidráulico.....	61
4.3.4 Dimensionamiento Final del Humedal Artificial (Wetlands) .....	61
4.3.5. Eficiencia de Remoción y Comportamiento Operacional del Biodigestor .....	62
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	64
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	66
<b>VII.BIBLIOGRAFIA</b> .....	67
<b>ANEXOS</b>	



## RELACION DE CUADROS

Cuadro 2.1 Tipos de Agua Residual.....	17
Cuadro 2.2 Constituyentes para reducir en aguas residuales.....	19
Cuadro 2.3 Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales.....	21
Cuadro: 2.4 Características del material de soporte.....	26
Cuadro 3.1 Operacionalización de variables.....	40
Cuadro 4.1. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación... 52	52
Cuadro 4.2. Análisis de variancia de regresión lineal simple.....52	52
Cuadro 4.3. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión simple.....52	52
Cuadro 4.4. Resultados de correlación parcial y estadística de colinealidad..... 53	53
Cuadro 4.5. Estadística descriptiva de variables..... 53	53
Cuadro 4.6. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación... 53	53
Cuadro 4.7. Análisis de variancia de regresión lineal simple.....54	54
Cuadro 4.9. Resultados de correlación parcial y estadística de linealidad..... 54	54
Cuadro 4.10. Estadística descriptiva de variables ..... 54	54
Cuadro 4.11 Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación.. 56	56
Cuadro 4.12 Análisis de variancia de regresión cuadrática .....56	56
Cuadro 4.13 Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión cuadrática.....56	56
Cuadro 4.14 Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación.. 57	57
Cuadro 4.15 Análisis de variancia de regresión cubica .....57	57
Cuadro 4.16. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión cubica.....57	57
Cuadro 4.17. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación.. 57	57
Cuadro 4.18. Análisis de variancia de regresión cuadrática..... 58	58
Cuadro 4.19. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión cuadrática.....58	58
Cuadro 4.20. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación.. 58	58
Cuadro 4.21. Análisis de variancia de regresión cubica.....58	58



Cuadro 4.22. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión cubica.....	59
Cuadro 4.23 Determinación del Área del Humedal Artificial (Wetlands) .....	60
Cuadro 4.24 Determinación del Tiempo de residencia Hidráulica, ajuste de área del Humedal.....	61
Cuadro 4.25 Dimensionamiento Final del Humedal Artificial (Wetlands).....	62
Cuadro 4.26 Eficiencia de Remoción.....	63



**RELACION DE FIGURAS**

Figura 2.1 Composición de las aguas residuales domesticas.....	18
Figura: 3.1 diseño metodológico.....	34
Figura 3.1 Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	41
Figura 3.2 Esquema del sistema de Biodigestor y su funcionamiento.....	42
Figura 4.1 Variación de la temperatura para puntos de muestreo .....	44
Figura 4.2 Variación de pH para puntos de muestreo.....	45
Figura 4.3 Variación de la conductividad eléctrica para puntos de muestreo.....	46
Figura 4.4 Variación de los Solidos Totales Suspendidos, para puntos de muestreo.....	46
Figura 4.5 Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno, para puntos de muestreo ...	47
Figura 4.6 Variación de Demanda Química de Oxígeno, para puntos de muestreo.....	48
Figura 4.7 Variación de Coliformes Totales, para puntos de muestreo.....	49
Figura 4.8 Variación de Coliformes Fecales, para puntos de muestreo.....	50
Figura 4.9 Variación de Coliformes Termo tolerantes, para puntos de muestreo.....	51

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en biodigestores, en su fase primaria, y la influencia de los parámetros físico, químicos y biológicos, y relacionar los parámetros del sistema con la DBO<sub>5</sub>, DQO, y para obtener ecuaciones del modelo de regresión lineal, la cual servirá para realizar pronósticos, y finalmente proponer el biofiltro con las dimensiones técnicas y parámetros que influyen en el tratamiento secundario. La metodológica aplicada para la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante biodigestores se basa en la identificación del sistema, en un diagnóstico, en el registro histórico de datos de campo, en la frecuencia de muestreo, en el procesamiento y análisis de parámetros analizados y en la evaluación de resultados. La cual nos permite determinar el estado actual en cuanto a comportamiento operacional y a eficiencia operacional de remoción. Se determinó que el sistema está trabajando con una eficiencia de remoción alta para la fase primaria. Por otro lado, la eficiencia de tratamiento del sistema mediante los parámetros evaluados son: DBO<sub>5</sub> (71%), DQO (69%), Sólidos totales en suspensión (76%). Se determinó también la eficiencia de remoción de Coliformes totales (64%), Coliformes fecales (87%), y Coliformes termo tolerantes (39%). Al comparar los valores determinados en el efluente con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N° 003 – 2009 – MINAM, se concluye que el nivel de contaminación de la zona en estudio es alto ya que los contaminantes potenciales superan los límites máximos permisibles para la categoría 3: es decir afecta al agua de riego de vegetales y bebidas de animales, y la contaminación el agua subterránea.

Palabras clave. Biodigestor de polietileno rotoplast, tratamiento de aguas residuales domésticas

## Abstract

The present work was conducted to evaluate the treatment system for domestic wastewater digesters, in its primary stage, and the influence of the physical, chemical and biological parameters and system parameters relating to the BOD5, COD, and equations for linear regression model, which will serve to forecast, and finally proposing the biofilter with the technical dimensions and parameters influencing the secondary treatment. The methodology applied for the evaluation of systems wastewater treatment using biodigesters is based on the system identification in diagnosis, in the historical record field data, the frequency of sampling, processing and analysis of parameters analyzed and evaluation of results. Which allows us to determine the current status in terms of operational performance and operational efficiency of removal. It was determined that the system is working with a high removal efficiency for primary phase. Furthermore, the treatment efficiency of the system by the evaluated parameters are: BOD5 (71%), COD (69%), total suspended (76%) Solid. The efficiency of removal of total coliforms (64%), fecal coliforms (87%) and thermo tolerant coliforms (39%) were also determined. When comparing the values determined in the effluent with the limits set in the DS No. 003 - 2009 - MINAM, it is concluded that the level of contamination of the study area is high because potential pollutants exceed the maximum permissible limits for category 3: that is affecting irrigation water and vegetable drinks animals and groundwater pollution.

**Key words:** Rotoplast digester polyethylene, treatment of domestic sewage

## INTRODUCCIÓN

El diseño eficiente y económico de una sistema de tratamiento de aguas residuales requiere de un cuidadoso estudio basado en aspectos, tales como: el caudal de diseño, el uso del producto final de agua tratada, el área disponible para la instalación, la viabilidad económica, los factores meteorológicos, como el clima, precipitación, variación de la temperatura, entre otros.

En tal sentido, teniendo en mente que la solución tecnológica más adecuada es aquella que optimiza la eficiencia técnica en la forma más simple y menos costosa, la tecnología debe hacer uso de los recursos humanos y materiales disponibles en el país. Asimismo, cabe señalar que la selección de los procesos y/o el tipo de planta serán diferentes dependiendo de cada caso específico.

Sin embargo el tratamiento de aguas servidas, constituye un factor importante en la protección de la salud pública y del medio ambiente, puesto que la volcadura de aguas residuales sin tratamiento previo en un cuerpo receptor, es una fuente de contaminación muy peligrosa.

El biodigestor sirve para el tratamiento de aguas residuales domésticas, utilizando para ello un proceso anaeróbico primario para ser utilizado en zonas donde no hay acceso a red pública. En lugares donde no sea factible la habilitación de un sistema de alcantarillado convencional ya sea por su lejanía, topografía del terreno, grado de dispersión de la población en el área.

Se definen como humedales artificiales de flujo libre superficial (FWS, free wáter surface Wetlands) aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera. La mayoría de los humedales naturales son sistemas FWS, entre los que se incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y macrófitas).

## CAPITULO I

### 1.1. Planteamiento del Problema

El problema fundamental en el tratamiento de aguas residuales en la provincia de Espinar Cusco, es debido a la falta de infraestructura de tratamiento, y de los factores y elementos climáticos, ya que la temperatura media diaria es aproximadamente de 13°C, así también la humedad es muy baja, la velocidad del viento fuerte, por lo que los microorganismos que degradan los materiales en suspensión necesitan temperaturas óptimas y un clima cálido, por estas razones el funcionamiento de cualquier sistema de tratamiento a 4000 msnm. Es insuficiente y por lo que es necesario hacer evaluaciones en las diferentes estaciones del año.

Es necesario indicar que el tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tiene como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos, biológicos presentes en el efluente.

Condiciones climatológicas de la sierra peruana, para poder replicar en otros lugares, es de interés evaluar el comportamiento en eficiencia y rendimiento de remoción, de tener éxito será posible replicar la instalación de biodigestores. El presente estudio de evaluación plantea conocer el funcionamiento actual mediante el seguimiento de los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), temperatura (T), pH, y Coliformes fecales (CF), conductividad eléctrica, todo esto se evaluó en 01 biodigestor piloto.

El problema central de la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana, se manifiesta en las inadecuadas condiciones de salubridad de la población ya que no cuentan con sistema de alcantarillado ni otro similar menos de tratamiento, y están propensos a sufrir enfermedades gastrointestinales e infecto infecciosas, los que más propensos a contraer enfermedades son

los niños en gran porcentaje seguido por los adultos, de acuerdo a esto se planteado las siguientes interrogantes.

### **1.1.1 Problema General**

¿De qué manera influye los elementos climáticos, en el funcionamiento del biodigestor de polietileno Rotoplast, en el proceso de tratamiento primario de aguas residuales, en la comunidad de Oquebamba sector de Santa Ana, provincia de Espinar Cusco?

### **1.1.2 Problemas específicos.**

- ¿De qué manera influye la temperatura (T), pH, sólidos suspendidos totales (SST), conductividad eléctrica (CE), en la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO)?
- ¿Qué dimensiones para un biofiltro serían las óptimas para propiciar un tratamiento secundario óptimo, de las aguas residuales efluentes del biodigestor de polietileno Rotoplast?

### **1.2 Justificación**

El presente trabajo de investigación refleja la necesidad de saber las condiciones que descargan las aguas residuales en los puntos de afluente del biodigestor, y efluente del mismo, hay que resaltar que los cuerpos receptores de agua superficial aumentaría el grado de contaminación, porque la cultura de cuidar la calidad de agua en nuestro país es bastante efímera., por ello se busca los métodos de diseño para los sistemas de tratamientos de aguas residuales fundamentalmente en los que se basan a temperatura ambiental variable de acuerdo a la zona y el tipo de sistema y realidad. Podemos afirmar que se realizaron un gran número de investigaciones, pero todavía existen grandes vacíos, que no permiten obtener una adecuada concepción del proyecto para cada caso.

Se estima que a fines del año 2007 el Perú tenía una población total de 28.3 millones de habitantes, de los cuales 21.1 millones vivían en zonas urbanas; y los restantes 7.2 millones, en zonas rurales. Políticamente, el país está dividido en 24 departamentos que a su vez se subdividen en 196 provincias y 1833 distritos. Por otro lado de los 1833 distritos del Perú, 1520 son atendidas por las municipalidades, juntas administradoras de servicios de saneamiento u otras; mientras que 312 se encuentran bajo el ámbito de EPS Supervisadas por la SUNASS.

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales con biodigestor y acompañado de zanjas de infiltración, a nivel de la zona alto andina en la región Cusco, no se tiene experiencia por lo que se debe realizar la evaluación del funcionamiento desde diferentes puntos de vista es decir físico, químico y biológico y como es la influencia de elementos climáticos principalmente.

Sin embargo es necesaria que toda agua servida o residual debe de ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Antes de tratar cualquier agua servida debemos de conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer que parámetros físicos, químicos y biológicos que están presentes, y dar la información adecuada a los profesionales experimentados en tratamientos de aguas residuales, y poder diseñar sistema de tratamientos de aguas residuales acorde a las necesidades y realidades del Perú.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales debe de tener como propósito eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna, de modo que el agua sea devuelta al medio ambiente en condiciones adecuadas. Además el proceso debe de ser optimizado de manera que el sistema



de tratamiento, no produzca olores ofensivos y desagradables a la comunidad en la cual está inserta.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales ya sea una poza séptica, biodigestor y otros, bien operados debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella, sabemos por referencia que el tratamiento primario elimina en un 60% de los sólidos suspendidos y un 35% de la DBO. La etapa secundaria, elimina el 30% de los sólidos suspendidos y un 55% de la DBO.

Este método no convencional de tratamiento de aguas residuales domesticas requiere un promedio de 10 m<sup>2</sup> por vivienda en la cual hay un promedio de 5 personas, por ello corresponde a un sistema de tratamiento adecuado para pequeñas comunidades, colegios, y campamentos de obra, mineros.

En la presente investigación, se evalúa la eficiencia de remoción en el biodigestor como sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, en su fase primaria, generadas en cada una de las viviendas además proponer un biofiltro (humedal artificial) con las dimensiones recomendables y óptimas para realizar un tratamiento secundario de aguas residuales efluentes del biodigestor de polietileno.

### **1.3 Antecedentes**

Sobre el tema no se ha encontrado una investigación sobre tratamiento de aguas residuales domesticas en biodigestores de polietileno, en cuanto a fabricantes de estos sistemas, solo tienen algunos catálogos como (Manual del instalador Rotoplast 2012).

Pero si se tiene trabajos de investigación sobre evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales, por ejemplo a nivel regional: el tesista, ALANOCA F., Néstor. “Evaluación de la eficiencia operacional mediante las características físico-químicas y biológicas de los

afluentes y efluentes de las lagunas de estabilización en llave”. Tesis para optar el título de ingeniero agrícola. Universidad Nacional del altiplano. 2008 Puno-Perú.

Llegando a la conclusiones de que la eficiencia de tratamiento del sistema mediante la caracterización físico-químico y biológico de los parámetros evaluados son: Sólidos Totales 25.68%, Sólidos Sedimentables 42.15%, DBO<sub>5</sub> 54.92%, DQO 21.85%, Coliformes Totales 69.15% y Coliformes Fecales 63.08%. 2) Según el balance hídrico se encontró que las pérdidas del caudal en el sistema es de 3.35 l/se, lo que representa el 27.44%.

A nivel internacional: CORREA, R.G. “evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de santa fe de Antioquia, Colombia” Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ingeniería Sanitaria Universidad De Antioquia Facultad De Ingeniería Departamento De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental Maestría En Ingeniería Medellín, 2008.

El cual tiene como objetivos: 1) Evaluar el sistema de lagunas para el tratamiento de las aguas residuales del municipio de Santa Fe de Antioquia desde su diseño original y operativo teniendo en cuenta: caudal y carga de diseño, factores ambientales, sistemas de entrada y salida y dimensiones físicas. Llegando a las siguientes conclusiones:

La laguna anaerobia presentó altas remociones, con 72% en DBO<sub>5</sub> total y 89% en DBO<sub>5</sub> soluble, además en DQO total y soluble fue de 59 y 81% respectivamente. De igual forma para los sólidos suspendidos totales fue de 60% y para los suspendidos volátiles fue de 52%.

En resumen la laguna anaerobia es responsable del 70% de remoción en DBO<sub>5</sub> total en el sistema. En cuanto a la remoción en la laguna facultativa 1 se obtuvieron remociones en DBO<sub>5</sub> de 59% y en DQO de 79%. Para la laguna facultativa 2 la eficiencia fue de 62% en DBO<sub>5</sub> y 74% en DQO.

Estas remociones se consideran importantes para el sistema pero existe un gran aporte de sólidos en el efluente del mismo, con un valor promedio de 0.30 kg DBO/l, lo que sugiere la necesidad de hacer una remoción de sólidos por medio de un tratamiento adicional al efluente del sistema.

Se pudo notar que en cualquier caso o situación el principal problema es conocer la eficiencia de funcionamiento del sistema de tratamiento de agua residual, así también el grado de tratamiento referido a la calidad del efluente.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Evaluar el funcionamiento del biodigestor de polietileno rotoplast, en el proceso de tratamiento primario de aguas residuales domésticas, y proponer el diseño de biofiltro, para tratamiento secundario de aguas residuales, en la comunidad de Oquebamba -Espinar Cusco.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la influencia de la Temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos suspendidos totales (SST), en la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y demanda química de oxígeno (DQO). En el biodigestor de polietileno rotoplast.
- Proponer el diseño del biofiltro, para el tratamiento secundario de aguas residuales efluente del biodigestor de polietileno rotoplast.

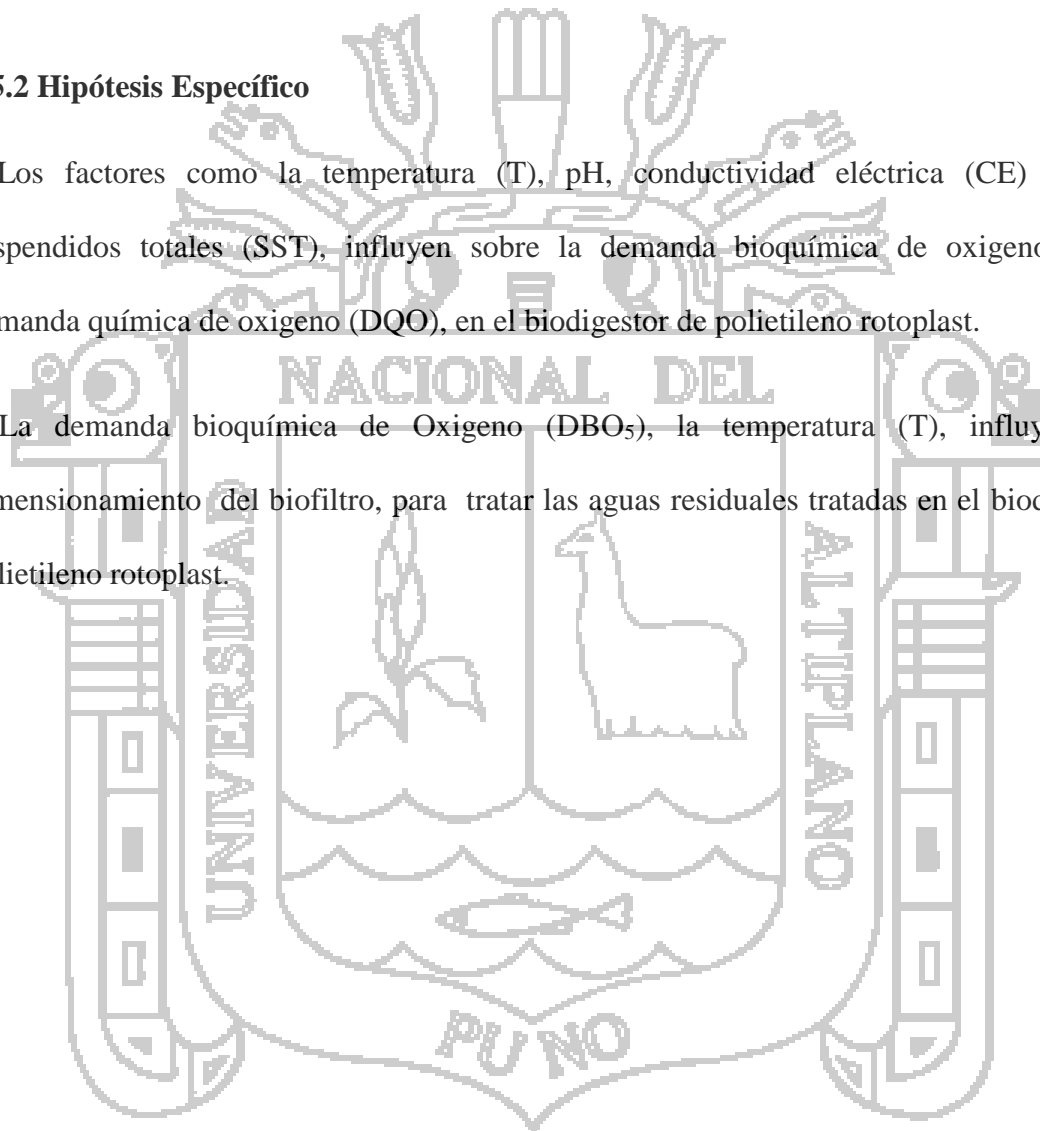
## 1.5 Hipótesis de la Investigación

### 1.5.1 Hipótesis General

Los elementos climáticos influyen directamente en el funcionamiento del biodigestor de polietileno rotoplast, y el diseño de biofiltro para tratamiento secundario de aguas residuales, en la comunidad de Oquebamba-Espinar Cusco

### 1.5.2 Hipótesis Específico

- Los factores como la temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (CE) y solidos suspendidos totales (SST), influyen sobre la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), demanda química de oxígeno (DQO), en el biodigestor de polietileno rotoplast.
- La demanda bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), la temperatura (T), influyen en el dimensionamiento del biofiltro, para tratar las aguas residuales tratadas en el biodigestor de polietileno rotoplast.



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 2.1 Características de las Aguas Residuales

El conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales es esencial para el proyecto y funcionamiento de las instalaciones de tratamiento. Se define como agua residual al líquido de composición variada proveniente de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios o de cualquier otra índole, ya sea pública o privada y que por tal motivo haya sufrido degradación en su calidad original.

Se entiende por aguas residuales aquellas que han sido utilizadas con un fin consuntivo, incorporando a ellas sustancias que deterioran su calidad original (contaminación), disminuyendo su potencialidad de uso.

Aguas residuales son aquellas aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina) y otros usos similares que en general son recolectadas por sistemas de alcantarillado en conjunto con otras actividades (comercial, servicios, industria). Esta agua tiene un contenido de sólidos inferior al 1%. Si bien su caudal y composición es variable, pueden tipificarse ciertos rangos para los parámetros más característicos.

(PALACIOS, 1991). Establece que “las aguas residuales domesticas son aguas procedentes de las viviendas, oficinas y edificios comerciales que se conducen en forma combinada en alcantarillas subterráneas a una laguna de estabilización que generalmente están alejadas de la ciudad”. Se denomina aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas residuales o aguas negras. Son residuales pues habiendo sido usadas constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo: son negras por el color que habitualmente tienen.

Algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras provendrían del uso doméstico y las segundas corresponderían a la mezcla de aguas domésticas e industriales.

(CRITES. R, TCHOBANOGLOUS, 2000). Indica que son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial, aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado

(ROLIM, 2000). Manifiesta que las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificada por diversos usos en actividades domésticas, industriales comunitarias, siendo recogidas por la red de alcantarillado que las conducirá hacia un destino apropiados.

### **2.1.1 Características Físicas**

#### **Sólidos Suspendedos Totales**

Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables. Sólidos suspendidos: son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos sencillos.

Dentro de los sólidos suspendidos se pueden distinguir los sólidos sedimentables, que se depositarán por gravedad en el fondo de los receptores. Estos sólidos sedimentables, son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación.

Sólidos filtrables: esta fracción se compone de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre  $10^{-3}$  y 1 micra

Esta fracción no puede eliminarse por sedimentación. Los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas e iones que se encuentran disueltos en el agua. Por lo general, se requiere una coagulación seguida de sedimentación para eliminar estas partículas de la suspensión.

(EPA (U.S, 1998). Menciona que la remoción de sólidos suspendidos. Es muy efectiva en los dos tipos de humedales. La gran parte de la remoción ocurre en los primeros metros a la entrada, debido a las condiciones tranquilas y a la poca profundidad del agua en el sistema. La dispersión del flujo en la entrada puede controlarse con un difusor para mantener bajas velocidades incluso para evitar condiciones anoxicas.

Si el agua en el humedal no se protege de la luz solar con la vegetación, las algas causan grandes fluctuaciones en los niveles de oxígeno en la columna de agua.

### **Temperatura**

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes son otra causa de este aumento de temperatura.

(MORALES, 1982). indica que la temperatura óptima para el crecimiento de las bacterias nitrificantes es de 30-35 °C, a esta temperatura las bacterias se acondicionan rápidamente.

### **2.1.2 Características Químicas**

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

(MANGA, 2007). Indica que los procesos biológicos que tiene lugar durante la biodegradación de las sustancias orgánicas contenidas en las aguas residuales son en extremo complejo. En cada uno de ellos, y para cada sustancia en particular, actúan sustancias

específicas bajo condiciones fijas, esto convierte la descripción detallada de todos los mecanismos en una tarea demasiado ardua. Por otra parte, no solo interviene reacciones químicas en los procesos de biodegradación, también, de manera simultánea, se acabó otras, tales como la absorción, hidrolisis, osmosis, intercambio iónico. Entre otros. Sin embargo, la materia orgánica presente en las aguas residuales, en la mayoría de los casos, no está compuesto de solo tipo de compuestos, por el contrario, comprende entrampados de macromoléculas poliméricas, así como algunos carbohidratos, lípidos y proteínas en suspensión. Antes de ser asimilados completamente, por tanto se requiere que sufra algunas transformaciones que permitan su transporte al interior de la célula para acabar la labor metabólica.

#### **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

(ROMERO R, 2000). Indica que la demanda química de oxígeno (DQO) se usa para medir oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general bicromato de potasio, en un ácido y a alta temperatura.

#### **Potencial de Hidrogeno (pH)**

El pH óptimo para la nitrificación de filtros está en el rango de 6-9, aunque para un filtro. También pueden operar desde pH tan bajos como 5.0 a pH altos como 10.0 si ellas se adaptan lentamente fuera de los límites del rango.

(SAEKY.A, 1958). Considero el mejor rango del pH para el cultivo en agua dulce de 7.1-7.8 y para agua salada un rango de 7.0-8.2

(ROMERO R, 2000). Indica que la medida de la concentración de ion hidrogeno en el agua expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrogeno.



### **Materia Orgánica.**

La materia orgánica está compuesta en un 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas.

La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico del agua residual. En razón de la rapidez con que se descompone, la urea es raramente hallada en un agua residual que no sea muy reciente. El agua residual contiene también pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas como agente tenso activos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura

### **Nitrógeno**

(ROMERO R, 2000). Nutriente esencial para el crecimiento de proteínas y plantas. Las formas de interés en aguas residuales son la de nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos y nitratos. Todos son formas interconvertibles bioquímicamente y componentes del ciclo del nitrógeno. Se denomina NTK nitrógeno total kjeldhal, al nitrógeno orgánico amoniacal.

### **Fosforo.**

(ROMERO R, 2000). Menciona que el nitrógeno, esencial para el crecimiento de protistas y plantas. Debido a los crecimientos indeseables de algas que ocurre en aguas superficiales, existe marcado interés en removerlo de las aguas residuales. En aguas residuales domesticas

el contenido de fósforo oscila entre 6 y 20 mg/l, las formas usuales son los ortofosfatos, polifosfatos, y fosfato orgánico.

### **Oxígeno Disuelto**

(MORALES, 1982). El consumo de oxígeno por los microorganismos en sistema de agua es medido en términos de DBO (demanda biológica de oxígeno) y varía según la especie acuática. Se debe asegurar una buena oxigenación del agua antes y después que pase por filtro, para evitar toda fermentación anaeróbica, ya que se liberan en el agua productos altamente tóxicos.

(WHEATON, 1994). Tanto las bacterias aeróbicas como anaeróbicas son encontradas en el lecho del filtro, pero son las formas aeróbicas que predominan en las paredes aireadas de los acuarios. El crecimiento y la actividad de las bacterias anaeróbicas son inhibidas en la presencia de oxígeno y la adecuada circulación a través de la capa del filtro la mantienen detenidas y es así que cuando el oxígeno decrece las bacterias anaeróbicas se proliferan.

### **2.1.3 Características Biológicas**

#### **Coliformes Fecales**

(ROMERO R, 2000). Menciona que los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son, generalmente, pocos y difíciles de aislar e identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los Coliformes como organismo indicador de contaminación o, en otras palabras, como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedades.

(CRITES. R, TCHOBANOGLOUS, 2000). Menciona que los Coliformes son bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos cada persona evacua alrededor de 100,000 a 400,000 millones de Coliformes por gramo de heces.

## 2.2 Tipos de Agua Residual

Existen diferentes formas de denominar a las aguas residuales, las cuales se detalla en la siguiente tabla:

Cuadro 2.1 Tipos de Agua Residual

Tipo de agua	Definición	Característica
Agua residual domestica	Producida en las diferentes actividades al interior de las viviendas, colegios, etc.	Los contaminantes están presentes en moderadas concentraciones
Agua residual municipal	Son las transportadas por el alcantarillado de una ciudad o población	Contiene materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
Agua residual industrial	Las resultantes de las descargas de industrias	Su contenido depende del tipo de industria y/o procesos industriales
Agua negra	Contiene orina y heces	Alto contenidos de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos farmacéuticos
Agua amarilla	Es la orina transportada con o sin agua	Alto contenido de nutrientes, productos farmacéuticos, hormonas y alta concentración de sales
Agua café	Agua con pequeña cantidad de heces y de orina	Alto contenido de nutrientes, patógenos, hormonas y residuos
Agua gris	Provenientes de lavamanos, duchas, lavadoras	Tiene pocos nutrientes y agentes patógenos y por el contrario presentan máxima de carga de productos para el cuidado personal y detergentes

Fuente: (ROMERO R, 2000)

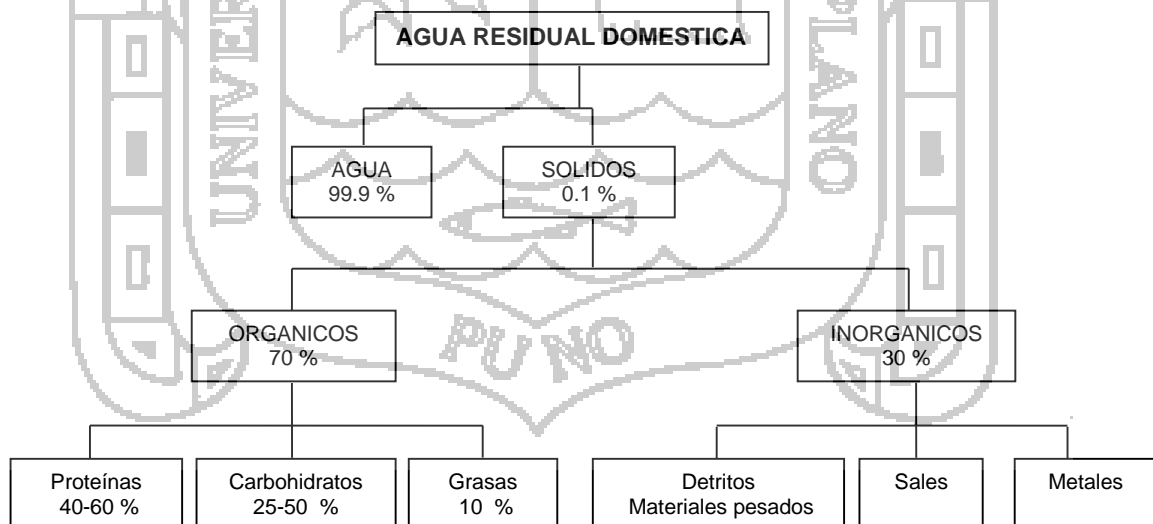
## 2.3 Composición de las Aguas Residuales

(PALACIOS, 1991). Indica que es importante recordar que siempre ocurrirán variaciones significativas en las plantas de tratamiento u otros sistemas de tratamientos de aguas residuales, dependiendo de la dimensión del sistema, del tipo de aguas residuales y del diámetro e inclinación de los interceptores y tipos de contribuyentes de aguas residuales.

Las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca del 99.9 % y un 0.1 % de sólidos suspendidos, de los cuales el 70% son orgánicos y el 30% son inorgánicos como arenas, sales y metales; siendo éste 0.1% el que debe ser sometido a tratamiento. La composición del agua residual está en función del uso, ésta depende tanto de las características sociales y económicas de la población así como del clima, la cultura y del uso del suelo entre otras.

La composición y la concentración de estos constituyentes dependerán hasta cierto punto de las costumbres socio-económicas de la población contribuyente. La composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente. Las aguas residuales consisten básicamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (representan menos del 0.1 % en peso), pero representa el mayor problema a nivel del tratamiento. El agua provee sólo el volumen y el transporte de los sólidos.

Figura N° 2.1 Composición de las aguas residuales domesticas



Fuente: METCALF & EDDY (1996)

Aproximadamente el 65% de los sólidos orgánicos son proteínas como albúminas, globulinas y enzimas provenientes de las industrias o de la actividad microbiológica en el agua residual.

La proporción de los carbohidratos está en función de las costumbres en la región (éstos se encuentran en sus formas más comunes como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa). Las grasas y aceites animales o vegetales son el tercer componente de los alimentos. En el Cuadro 2.2 presenta los constituyentes que deben ser reducidos de las aguas residuales.

Cuadro 2.2 Constituyentes para reducir en aguas residuales

CONTAMINANTES	IMPORTANCIA
Sólidos Suspendidos	Forman depósitos de lodo y favorecen las condiciones anaerobias cuando son descargados a los ecosistemas
Materia orgánica	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas; por lo general, se miden en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento a un cuerpo de agua, reduce en este el oxígeno disuelto y desarrolla condiciones anaerobias.
Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto al carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son descargados en los cuerpos de agua generan crecimiento excesivo de algas y condiciones anaerobias
Contaminantes importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos que causan alteraciones genéticas, mutaciones, además son cancerígenos
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de las aguas residuales, Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Se encuentran en las aguas residuales provenientes de industrias, pueden ser removidos y reutilizados
Compuestos orgánicos disueltos	El calcio, sodio y sulfato, son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Temperatura	Ligeramente alta comparada con el agua de beber Variaciones acorde al año (estaciones) Influye en la actividad microbiana Influye en la solubilidad de los gases Influye en la viscosidad
Color	Aguas frescas: ligeramente gris Aguas sépticas: gris oscuro o negro

Fuente: Recopilado del texto Ingeniería de Aguas Residuales de METCALF & EDDY (2003)

## 2.4 Principales Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales

(R.N.E.O.S.090. 2012) menciona sobre Tratamientos de Aguas Residuales los siguientes

### 2.4.1 Tratamiento Primario

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentales, para disminuir la carga en el tratamiento biológico, los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados de su disposición final. Y pueden ser Imhoff, tanques de sedimentación y tanque de flotación.

### 2.4.2. Tratamiento Secundario

Considera como tratamiento secundario los procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor al 80%, pudiendo ser de biomasa en suspensión o biomasa adheridas, e incluye los siguientes sistemas: lagunas de estabilización, lodos activados (incluidas zanjas de oxidación y otras variantes), filtro biológicos y módulos rotatorios de contacto.

### 2.4.3. Tratamiento Terciario de Aguas Residuales

Cuando el grado del tratamiento fijado de acuerdo con las condiciones del cuerpo receptor o de aprovechamiento sea mayor que el que se pueda obtener mediante el tratamiento secundario, se deberá utilizar métodos de tratamiento terciario o avanzado.

### Otros Tipos de Tratamiento. Considera los siguientes:

Aplicación sobre el terreno agrícola.

Cuadro 2.3 Niveles y procesos de tratamiento de aguas residuales

Nivel	Descripción	Tipo de unidad
Preliminar	Remueve material causante de problemas operacionales como trapos, ramas, arenisca, material	Rejas, tamices, desarenador, tanques de homogenización, trampas de grasa, medidor y repartidos de caudal
Primario	Remueve de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga orgánica	Sedimentado, unidades con inyección de aire, tanque séptico, Imhoff y tanques de flotación
Secundario	Procesos biológicos con una eficiencia de remoción de DBO soluble mayor a 80%.	Lodos activados, biodiscos, filtros percoladores, humedales, lagunas de estabilización, reactor UASB
Terciario	Remueve sólidos suspendidos a través de micro filtración, además en este nivel se remueven	Micro filtración, la coagulación y precipitación, la absorción por carbón activado, cloración, destilación, oxidación química, extracción por solvente, remoción por espuma, nitrificación – de nitrificación.

Fuente: (RNE - NORMA OS. 090 plantas de tratamiento de aguas residuales)

## 2.5 Sistema de Tratamiento con Biodigestores

(EDDY, & METCALF, 1996). El proceso de eliminación de sólidos sedimentales y de digestión anaeróbica de los mismos en un tanque Imhoff es igual al proceso que produce un tanque de dos cámaras en el que la sedimentación se produce en el compartimiento superior y la digestión de los sólidos sedimentales en el inferior. Los sólidos pasan a través de una apertura situada en la parte inferior de la cámara de sedimentación al

compartimiento inferior para su digestión sin calentamiento. La acumulación de espumas se produce en la cámara de sedimentación. Los gases producidos durante la digestión en el compartimiento inferior escapan a través del sistema de venteo. La propia configuración de la abertura que comunica ambas cámaras, en la parte inferior de la cámara de sedimentación impide el paso a la misma de los gases generados en la digestión y de las partículas de fango que ascienden por boyancia desde la capa de fangos depositada en el fondo debido a la presencia de gases.

(NORIEGA, P, 1999). es una estructura de dos compartimentos que permiten que se efectúe en forma simultánea la sedimentación de los sólidos suspendidos (SS), en el compartimiento superior y la digestión anaerobia de dichos sólidos en el compartimiento inferior. Los tanques Imhoff son de aplicación a pequeñas comunidades (hasta 15.000 hab). El empleo de estos tanques ha decaído desde el desarrollo de la digestión separada de lodos, esto se debe en parte al hecho de no poderse controlar la temperatura de los lodos en el compartimiento de digestión.

(ROTOPLAST, 2013). Un biodigestor es un tanque anaeróbico (libre de oxígeno) que digiere materia orgánica biológicamente. Sirve para tratar aguas negras (desechos humanos), eliminando patógenos y bacteria maligna para poder reutilizar el agua para riego.

Adicionalmente, cuando la materia orgánica se descompone sin oxígeno, produce metano, un potente gas de efecto invernadero. Los biodigestores contienen el metano, asegurando que no se liberen a la atmósfera, y a su vez permiten utilizarlo como gas para cocinar, iluminar y calentar.

Sin embargo, para que un biodigestor produzca suficiente gas para cocinar, requeriría todos los desechos humanos del hogar, más abono adicional de animales grandes de granja. Puesto



que los biodigestores que nosotros ofrecemos son para uso urbano y semi-rural, no incluyen la válvula para el metano y solamente se usan para el tratamiento de aguas negras.

## **2.6 Sistema de Tratamiento con Humedales Artificiales (filtro biológico)**

The interstate technology and Regulatory Council Wetland Team (2003). Las aplicaciones para humedales artificiales son variadas e incluyen tratamiento de aguas residuales municipales e industriales y agrícolas, el tratamiento con humedales también ha sido usado en aguas subterráneas contaminadas y el departamento de defensa de los estados unidos para tratar aguas efluentes del lavado del equipo militar.

### **2.6.1 Humedales de Flujo Superficial y Sub Superficial**

(EDDY, & METCALF, 1996). Los humedales artificiales son áreas que se encuentran llenas de agua con plantas emergentes como espadañas, carrizos, juncos y enneas, que aprovechan las interacciones con los microorganismos y la atmosfera para remover la materia orgánica. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas y permite la transferencia de oxígeno. Existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residuales.

(BORRERO.L, 1999). Sistemas de flujo sub superficial (SFS). Esta construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado, la vegetación es emergente es la misma del (FWS).el nivel de agua está por debajo de la superficie del soporte, el lecho fluye únicamente a través del lecho de grava que sirve para el crecimiento dela película microbiana, que es la responsable en gran parte del tratamiento que ocurre, las raíces penetran hasta el fondo del lecho.

## 2.7 Modelos de Diseño de Humedales de Flujo Libre Superficial (FWS)

### 2.7.1 Modelo de remoción para la DBOs

(EPA (U.S, 1998).Remoción de DBO. Los humedales pueden reducir significativamente la demanda biológica de oxígeno (DBO5), los sólidos suspendidos (SS), el nitrógeno, los metales y patógenos. Los mecanismos básicos del tratamiento son la sedimentación, la precipitación química, la absorción, las interacciones microbianas y la ayuda de la vegetación.

En este tipo de humedal, la remoción de la DBO soluble se debe al crecimiento de microbiano adherido a las raíces de las plantas, tallos y hojas pequeñas que han caído al agua. Las fuentes de oxígeno para esta reacción están en la aireación de la superficie del agua y la transferencia de oxígeno a través de las plantas desde la atmósfera.

$$K_T = K_{20} * 1.06^{(T-20)}$$

$$A_s = \frac{Q * (Inco - Ince)}{K_T * y * n}$$

$$t = \frac{n * L * W * y}{Q}$$

Dónde:

$C_e$ : DBO5 efluente, mg/L

$C_o$ : DBO5 afluente, mg/L

$K_T$ : constante de velocidad de reacción de primer orden,  $d^{-1}$

$t$ : tiempo de residencia hidráulico, d

$T$ : temperatura del líquido en el sistema, °C

$n$ : porosidad efectiva del medio, fracción decimal

$y$ : profundidad promedio del líquido en el lecho, m

$L$ : longitud del lecho, m

$W$ : ancho del lecho, m

$Q$ : caudal promedio a través del lecho,  $m^3/d$

$A_s$ : área superficial del lecho,  $m^2$

EPA (1993) Remoción de DBO.

$$\frac{C_e}{C_0} = \text{Exp}(-KT * t)$$

$$KT = 1.04 * 1.06(T - 20)$$

Dónde:

$C_e$ : DBO5 efluente,  $mg/L$

$C_0$ : DBO5 afluente,  $mg/L$

$K_T$ : constante de velocidad de reacción de primer orden,  $d^{-1}$

$t$ : tiempo de residencia hidráulico,  $d$

$T$ : temperatura del líquido en el sistema,  $^{\circ}C$

$$t = \frac{n * L * W * y}{Q}$$

$n$ : porosidad efectiva del medio, fracción decimal

$y$ : profundidad promedio del líquido en el lecho,  $m$

$L$ : longitud del lecho,  $m$

$W$ : ancho del lecho,  $m$

$Q$ : caudal promedio a través del lecho,  $m^3/d$

$$A_s = L * W = \frac{Q * (\ln C_0 - \ln C_e)}{KT * y * n}$$

$A_s$ : área superficial del lecho,  $m^2$

Cuadro: 2.4 Características del material de soporte

Tipo medio	Max10% tamaño del grano. mm	Porosidad N	Conductividad Hidraulicam <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> -d)	K20
Arena Media	1	0.42	420	1.84
Arena Gruesa	2	0.39	480	1.35
Arena Gravosa	8	0.35	500	0.86

Fuente: EPA septiembre 1988

(BORRERO.L, 1999). Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos, y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón para la remoción de DBO y nitrógeno.

Es crítico para el éxito del rendimiento del humedal. Todos los modelos de diseño que se usan actualmente asumen condiciones uniformes de flujo a pistón y que además no

Existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento.

$$K_T = K_{20} * 1.06^{(T - 20)}$$

$$A_S = \frac{Q * (Inco - Ince)}{K_T * y * n} \qquad t = \frac{n * L * W * y}{Q}$$

Dónde:

C<sub>e</sub>: DBO5 efluente, mg/L

C<sub>o</sub>: DBO5 afluente, mg/L

K<sub>T</sub>: constante de velocidad de reacción de primer orden, d<sup>-1</sup>

K<sub>20</sub>: constante de velocidad de reacción de primer orden, (0.678) d<sup>-1</sup>

t: tiempo de residencia hidráulico, d

T: temperatura del líquido en el sistema, °C

- $n$ : porosidad efectiva del medio, fracción decimal
- $y$ : profundidad promedio del líquido en el lecho, m
- $L$ : longitud del lecho, m
- $W$ : ancho del lecho, m
- $Q$ : caudal promedio a través del lecho, m<sup>3</sup>/d
- $A_s$ : área superficial del lecho, m<sup>2</sup>

### 2.7.2 Modelo de remoción para Sólidos Suspendidos Totales

(BARRERA, 1999). En este sistema la remoción de sólidos se debe a procesos físicos. Debido a que la remoción de SST es rápida en comparación con la de DBO, no se le considera como un parámetro de diseño.

$$C_e = C_o * (0.1058 + 0.0014 * CH)$$

$$CH = \frac{Q}{A_s}$$

Donde:

$C_e$ : SST efluente, mg/L

$C_o$ : SST afluente, mg/L

$CH$ : carga hidráulica, cm/d

$Q$ : caudal promedio a través del lecho, m<sup>3</sup>/d

### 2.7.3 Modelo de Remoción para Coliformes Fecales

(EPA (U.S, 1998). Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de agua residual compuesto de una o más celdas diseñadas y construidas para mejorar la calidad del agua antes de que se efectúe la descarga a un cuerpo de agua. Los humedales han sido usados para tratar

muchos tipos de agua residual a diferentes niveles de tratamiento, pero en este manual se enfoca en mejorar el tratamiento secundario para agua residual domestico

$$KT = K20 * 1.06(T - 20)$$

$$\frac{C_e}{C_o} = Exp(-KT * t)$$

Dónde:

$C_e$ : concentración de Coliformes fecales en efluente NMP/100ml

$C_o$ : concentración de Coliformes fecales en afluente NMP/100ml

$N$ : número de zonas de agua abiertas

$t$ : tiempo de retención hidráulica (d)

$Kp$ : constante de la velocidad de remoción de Coliformes fecales

$T$ : Temperatura °C

## 2.8 Calidad de las Aguas Residuales

(ROMERO R, 2000). Manifiesta que la descarga de aguas residuales a las fuentes receptoras ha sobrepasado, en muchos casos, la capacidad auto purificadora de dichas aguas y, por ello, muchos ríos son convertidos en verdaderas alcantarillas. La solución es proporcionar el tratamiento adecuado a las aguas residuales, dependiendo de la carga que es capaz de aceptar el río, lago o cuerpo de agua receptor.

El ingeniero de tratamiento de aguas diseña el sistema de tratamiento para efectuar la remoción de los agentes contaminadores, según los requerimientos de calidad del efluente.

La tesis fundamental para el control de la contaminación por aguas residuales, ha sido tratar las aguas residuales en plantas de tratamiento que hagan parte del proceso de remoción y dejar

que la naturaleza lo complete en el cuerpo receptor. Por ello, el nivel de tratamiento es función de la capacidad de auto purificación natural de la fuente receptora

(ROLIM, 2000). Sostiene que “cuando el efluente final del sistema de tratamiento se usa para la irrigación o descargas en cuerpos receptores, deberán observarse los criterios locales o nacionales para la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), sólidos suspendidos (SS) y Coliformes fecales (CF)

(EDDY, & METCALF, 1996). Indica que “los parámetros de calidad de aguas residuales que tienen importancia en los vertidos de aguas residuales son el oxígeno disuelto (OD), sólidos suspendidos (SS) y otros entre los que se encuentran los compuestos orgánicos”.

(LEON, 1997). Manifiesta que los efluentes de las lagunas de estabilización, por su calidad bacteriológica, pueden usarse en cualquier actividad agropecuaria, desde la horticultura, los cultivos agroindustriales y acuicultura hasta la forestación. El dimensionamiento de estos sistemas estará ligado a la calidad de los efluentes requerida para cada tipo de uso.

El uso de las aguas residuales también permite obtener otros beneficios, como el uso eficiente del agua, provisión de abonos naturales y generación de alimentos, empleo e ingresos económicos, además de incrementar la frontera agrícola en zonas desérticas.

Las lagunas de estabilización se comenzaron a usar en América Latina y el Caribe en 1958 para el tratamiento de aguas residuales, teniéndose mucho más éxito que con las plantas convencionales. Sin embargo, el uso de biodigestores obligó a romper con algunas tradiciones del tratamiento, entre ellas la guía “30/30” muy usada en los países desarrollados, que establece que los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben tener una  $DBO_5$  y una concentración de sólidos suspendidos menor de 30 mg/l.

(SAENZ, 1992). En muchas plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales se puede alcanzar los requerimientos de calidad del efluente a través de una operación eficiente y una buena desinfección del efluente. En las lagunas de estabilización, la operación eficiente es importante, pero la calidad del efluente está determinada por las condiciones climáticas y, principalmente, por la temperatura y la luz solar.

Para el riego indiscriminado con aguas residuales tratadas, se requiere que la calidad bacteriológica sea buena. Esto significa que la concentración de coliformes fecales sea menor de 1000/100 ml (NMP CF < 1000/100 ml) según las directivas sanitarias de la OMS.





## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Caracterización del área de investigación

##### 3.1.1 Ubicación del área de estudio

La comunidad de Oquebamba- sector Santa Ana, se encuentra ubicado en el distrito de Espinar, provincia de Espinar, región Cusco.

El poblado del sector Santa Ana de la comunidad de Oquebamba y sus respectivos caseríos colindantes, tiene una población actual de 370 habitantes, siendo su densidad poblacional promedio de 5 hab/vi, apreciándose que el crecimiento poblacional es ínfimo debido a la migración de los jóvenes que culminan su periodo escolar para seguir estudios superiores, en las capitales de provincia o de la región.

##### Ubicación Geográfica y Política

Está localizada entre las coordenadas geográficas:

Latitud Sur : 14°39'13"

Longitud Oeste : 71°37'315"

Altitud : 4060msnm.

##### Ubicación política

Región : Cusco

Departamento : Cusco

Provincia : Espinar

Distrito : Espinar

## Características Generales Del Ámbito De Estudio

Este conocimiento se logra a través de un diagnóstico integral cuya precisión depende del conocimiento de las características del ámbito de estudio.

### 3.1.2. Clima y temperatura

Temperatura máxima media : 20°C.

Temperatura mínima media : -15 °C.

Temperatura promedio anual : 14°C.

Clima : Frío y Seco

Precipitación promedio : 860mm (diciembre a Marzo)

Es característico de la Sierra, completamente variado, frío desde los 3 800 msnm tibio en la quebrada. Los vientos dominantes son los alisios, lluvias torrenciales acompañadas de granizo, nieve y descargas eléctricas. Se distinguen dos estaciones perfectamente marcadas, una lluviosa y templada, de octubre a marzo y la otra seca e invernal de abril a setiembre, caracterizadas por un sol radiante durante las primeras horas del día y por heladas penetrantes por la noche.

### 3.1.3. Vivienda

En la Comunidad y sus respectivos caseríos colindantes sus viviendas son predominantemente de material rustico (adobe), en algunos de mampostería (piedra con barro), en todos los casos son de un solo nivel, con techo liviano, con estructura de madera y como cobertura liviana de calamina o paja. .

### 3.1.4. Relieve y Topografía:

Toda la zona de influencia del presente proyecto, desde la captación, línea de conducción tiene una topografía ligeramente accidentada, que va de niveles de pendiente relativamente baja hasta niveles con pendiente muy elevada, lo que en total alcanza desniveles de hasta 311 m, medidos desde la captación hasta el punto de servicio del local comunal e institución educativa de menores de la comunidad de Oquebamba.

### 3.1.5. Vías de Acceso

La principal vía de acceso a la comunidad de Oquebamba es por la carretera Espinar – Coporaque – Velille, en todo el trayecto la carretera es asfaltada, el acceso hasta la captación de agua potable es mediante camino de herradura, en algunos tramos es muy accidentada.

## 3.2 Definición del diseño de investigación

También denominado material y métodos o procedimientos.

El diseño metodológico es la descripción de cómo se va a realizar la investigación.

- La estrategia utilizada para comprobar una hipótesis o un grupo de hipótesis.
- La determinación de las estrategias y procedimientos que servirán para dar respuesta al problema y comprobar hipótesis.
- El plan de acción del investigador para alcanzar los objetivos del mismo.

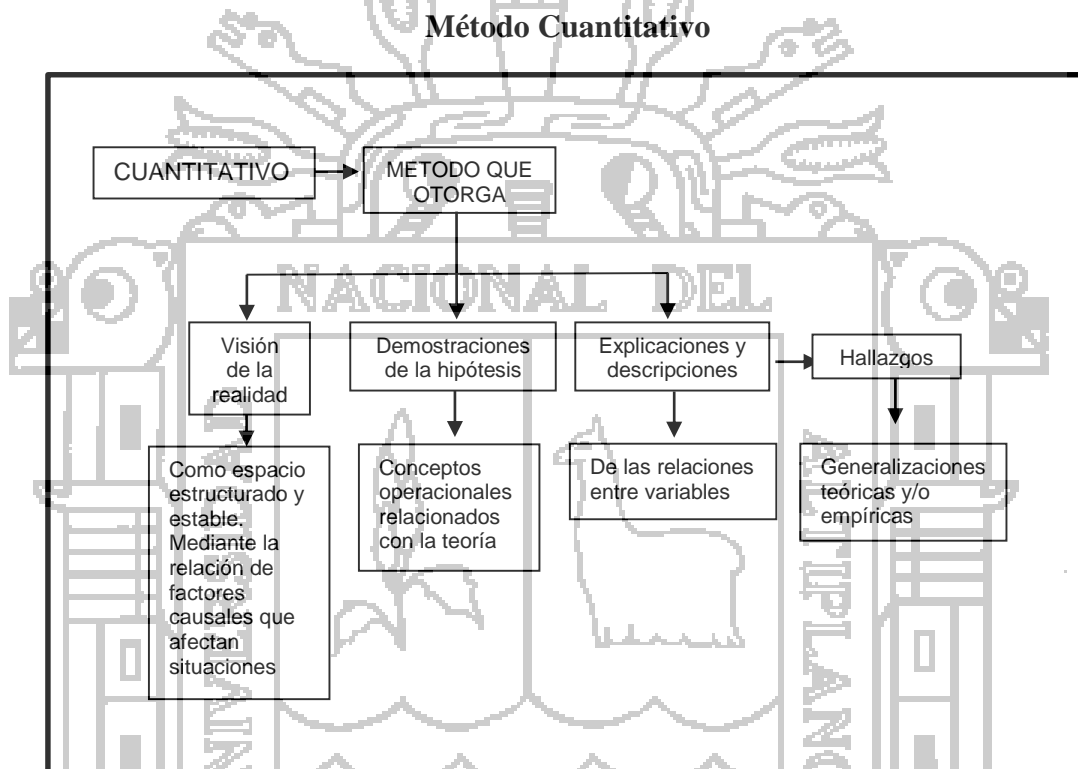
**Elementos de diseño metodológico** el tipo de estudio, área de estudio, universo y muestra, métodos e instrumentos de recolección de datos, tabulación y análisis de los datos y procedimientos.

Existen dos tipos de métodos, el método cualitativo y el método cuantitativo

**Método Cualitativo** es el conjunto de operaciones, estrategias y tácticas que el investigador realiza ante y con el fenómeno, es la interacción con el conjunto social

**Método Cuantitativo** propicia la medición de lo observado, mediante estadísticas, relación entre variables y predicciones de las conclusiones establecidas.

Figura: 3.1 diseño metodológico



Elaboración: Propia

### 3.3. Etapas de la Investigación

#### 3.3.1. Primera Etapa

Esta etapa de la investigación consistió en la recopilación de información teórica y conceptual de trabajos y prácticas realizadas en la región, país y el extranjero. Respecto a la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Así mismo se recopiló información sobre Diseño Metodológico, estrategias y procedimientos de evaluación.

### 3.3.2. Segunda Etapa

Con este banco de información se planteó una metodología para la evaluación de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante biodigestor, y proponer el dimensionamiento de un humedal artificial de flujo libre superficial, utilizando un diseño metodológico y la estrategia de validez metodológica llamada triangulación.

### 3.3.3. Tercera Etapa

Se determinó el tipo de método de acuerdo al tipo de estudio que es el esquema o marco estratégico que le da coherencia, secuencia y sentido práctico a todas las actividades que se emprenden para buscar respuesta al problema y objetivos planteados. Así también se clasifico nuestra investigación teniendo como resultado una investigación cuantitativa (prospectivo longitudinal analítico)

#### **Prospectivo**

Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registros de la información (la información se registra según van ocurriendo los fenómenos)

#### **Longitudinal**

Según periodo y secuencia de estudio (estudia una o más variables a lo largo de un periodo, que varía según el problema investigado y las características de las variables que se estudia.

El tiempo si es importante puesto que las variables serán medidas en un periodo dado o porque el tiempo es determinante en la relación causa efecto.

#### **Analítico**

La determinación de las estrategias y procedimientos que servirán para dar respuesta al problema y comprobar hipótesis. El plan de acción del investigador para alcanzar los objetivos del mismo.

### **3.4. Aplicación de la propuesta metodológica**

La metodología utilizada para realizar la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas de la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana, se basa en la metodología planteada en la etapa inicial, cuantitativa (prospectivo, longitudinal, analítico) siguiendo los siguientes pasos:

### **3.5. Identificación del Sistema**

#### **3.5.1. Ubicación y Descripción del Sistema**

Esta fase consistió en la recopilación de información acerca de la ubicación del sistema, condiciones físicas y climáticas del ámbito donde se encuentra operando la unidad de tratamiento de aguas residuales

#### **3.5.2. Diagnostico**

Esta fase consistió en realizar el reconocimiento de campo de trabajo, también se procedió a realizar la evaluación sobre la situación actual del sistema teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Características del agua residual.
- Número de habitantes por viviendas.
- Puntos de muestreo: se tuvieron dos puntos de muestreo en todo el sistema
- Punto de muestreo uno, ubicado en el ingreso al sistema (afluente).
- Punto de muestreo dos, ubicado en la salida del sistema (efluente).
- Frecuencia de muestreo: el muestreo se ha realizado mensual, un día por cada mes así

mismo tres veces al día, en diferentes horas del día.

#### **3.5.3. Toma, Preservación y Traslado de Muestras**

Estas actividades se realizaron de la siguiente manera.

- Toma de muestras, esta se realizó en los puntos y frecuencias de muestreo establecidas anteriormente, en envases de plástico de variada capacidad. Recipientes de 1L, 5 L, 0.25L.
- Preservación y traslado de muestras, Las muestras que se recogieron se llevaron posteriormente al laboratorio con sus respectivas etiquetas, en un intervalo de tiempo menor a 24 horas de acuerdo a las normas que establecen para el análisis físico, químico y bacteriológico, en las que se consideran como parámetros representativos para la determinación de la calidad del efluente.

### 3.6. Procesamiento y Análisis de Parámetros

En esta fase se procedió a realizar el análisis y procesamiento de los datos obtenidos tanto de las mediciones como también de los parámetros obtenidos in-situ y de laboratorio. También se realizó la interpretación de resultados, determinando:

- **Parámetros operacionales**

Entre estos (caudal, pH, temperatura, sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica), la frecuencia de muestreo para estos parámetros fue de un nivel de control medio (mensual), por un tiempo de 05 meses de enero a mayo del año 2014, iniciando con la toma de muestras de 7:00 am. Y finalizando a las 4:00 pm. (ver anexos 2-8).

- **Parámetros de monitoreo**

Entre estos (DBO5, DQO), la frecuencia de muestreo para estos parámetros se realizó a un nivel de control medio (mensual), por un periodo de 05 meses, y tres veces al día consecutivas. Siguiendo la metodología del laboratorio virgen de chapi- OUSAPAL, de propiedad de la municipalidad provincial de Espinar (ver anexo 8).

### Calidad física-química y bacteriológica del agua residual

En el laboratorio se realizó los ensayos químicos necesarios para la caracterización del agua residual. Los análisis fueron realizados siguiendo los criterios de muestreo de acuerdo con los protocolos establecidos. Y para el análisis biológico en el laboratorio del área de microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, para el caso de análisis físico químico se realizó según la guía del laboratorio de aguas Virgen de Chapí- UOSAPAL de la municipalidad de Espinar Cusco.

(ver anexos 7-8).

### 3.7. Procesamiento de datos y aplicación de Modelos Estadísticos

Para la evaluación de pronósticos entre fechas de muestreo y puntos de muestreo del sistema se ha evaluado a través del diseño de bloque completo al azar. Para la evaluación de la relación entre la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y demanda química de oxígeno (DQO), versus pH, conductividad eléctrica (CE), sólidos suspendidos totales (SST), se ha planteado varias formas de modelos de regresión lineal múltiple, sin embargo se ha evaluado a través del siguiente modelo matemático de regresión lineal simple, regresión cuadrática (ver anexo 4).

#### Modelo de Regresión lineal simple

$$DBO_{ij} = \alpha + \beta_i(SST_i)$$

$$DQO_{ij} = \alpha + \beta_i(SST_i)$$

Dónde:

$DBO_{ij}$  = Variable dependiente (parámetro)

$DQO_{ij}$  = Variable dependiente (parámetro)

$\alpha$  = Término independiente o intercepto de la regresión

$SST_i$  = i-ésima variable independiente



B1 = Coeficiente del termino independiente

### Modelo de Regresión cuadrática simple

$$DBO_{ij} = \alpha + \beta_1(SST_i) + \beta_2(SST)(SST)$$

$$DQO_{ij} = \alpha + \beta_1(SST_i) + \beta_2(SST)(SST)$$

Dónde:

$DBO_{ij}$  = Variable dependiente (parámetro)

$DQO_{ij}$  = Variable dependiente (parámetro)

$\alpha$  = Termino independiente o intercepto de la regresión

$SST_i$  = i-ésima variable independiente

B1, B2 = Coeficientes del termino independiente

### Modelo de Regresión cubica simple

$$DBO_{ij} = \alpha + \beta_1(SST_i) + \beta_2(SST)(SST) + \beta_3(SST)(SST)(SST)$$

$$DQO_{ij} = \alpha + \beta_1(SST_i) + \beta_2(SST)(SST) + \beta_3(SST)(SST)(SST)$$

Dónde:

$DBO_{ij}$  = Variable dependiente (parámetro)

$DQO_{ij}$  = Variable dependiente (parámetro)

$\alpha$  = Termino independiente o intercepto de la regresión

$SST_i$  = i-ésima variable independiente

B1, B2, B3 = Coeficientes del termino independiente

Estos modelos han sido multiplicados por la probabilidad ( $P \leq 0.05$ )

### 3.8. Evaluación de Resultados

En esta fase se realizó la evaluación de resultados, dirigida a la medición de la calidad del efluente y un análisis de los parámetros de control de acuerdo a las normas vigentes.

Eficiencia del sistema de tratamiento, se determinó en base a los valores de entrada y salida del sistema en base a los resultados obtenidos del análisis de parámetros de monitoreo en laboratorio

Se realizó la comparación de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM, en el decreto supremo N° 003 – 2009, los cuales deben cumplir para ser descargados a cuerpos receptores sin generar contaminación (ver anexo 9)

Se identificaron las causas del problema y se definieron alternativas de solución. Que ayuden a mejorar el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana, y con ello mejorar la calidad del efluente

### 3.9. Operacionalizacion de Variables

Cuadro 3.1 Operacionalizacion de variables

Nombre de la variable	Símbolo	Tipo de Variable	Unidad
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	Dependiente continua	mg/l
Demanda Química de Oxígeno	DQO	Dependiente continua	mg/l
Temperatura	T°C	Independiente discreta	°C
Potencial de Hidrogeno	pH	Independiente discreta	numero
Solidos Suspendedos Totales	SST	Independiente discreta	mg/l
Conductividad eléctrica	COND	Independiente discreta	uS/cm

### 3.10 Descripción del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas de la Comunidad de Oquebamba Sector Santa Ana

El sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas producidas en las viviendas del sector Santa Ana de la comunidad de Oquebamba, consta de dos componentes, uno que viene a ser el biodigestor de polietileno con capacidad de 600lts, que estará a cargo del tratamiento

primario, y el segundo componente que viene a ser la zanja de infiltración donde se verterán las aguas tratadas en biodigestor, que viene funcionando desde noviembre del 2013. (ver anexo 12)

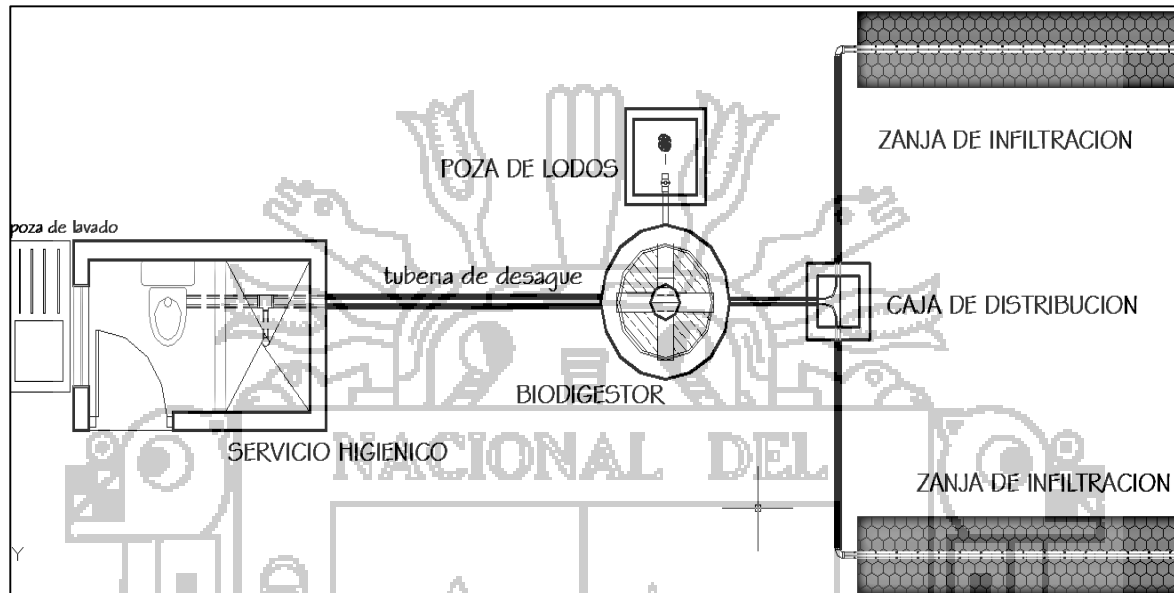


Figura 3.1 Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales

### 3.11. Estructura y Funcionamiento del Biodigestor de Polietileno

#### Ingreso de Desechos

Este ingreso se conecta a la tubería de desagüe que viene proveniente del servicio higiénico, duchas, cocina, estas aguas negras ingresarán al biodigestor en una entrada de PVC de 4" y serán conducidas hacia el fondo donde la materia orgánica sedimentará, y será degradada por los microorganismos.

#### Registro para descarga de lodos

Es un pequeño sistema de tubería que arranca desde la parte inferior cónica del biodigestor donde el material sólido ya ha sido degradado, sube en forma inclinada hasta los 2/3 del cuerpo, para dar salida mediante la apertura de la válvula de PVC, cada intervalo de tiempo.

estos lodos finalmente se depositan en una caja de paredes de concreto y piso de suelo natural, aquí es donde este lodo se seca, y podrá ser utilizado en la agricultura como mejorador de suelos.

### Filtro biológico

En la cámara interior del biodigestor en la parte superior se encuentra añadida un filtro constituido de material de plástico, generalmente son botellas recortadas, así mismo este filtro viene apoyado de un material de áridos gruesos en cual ejerce un peso que detiene a los cuerpos de plástico y materia orgánica, evitando la salida de este material hacia la zona de percolación e infiltración.

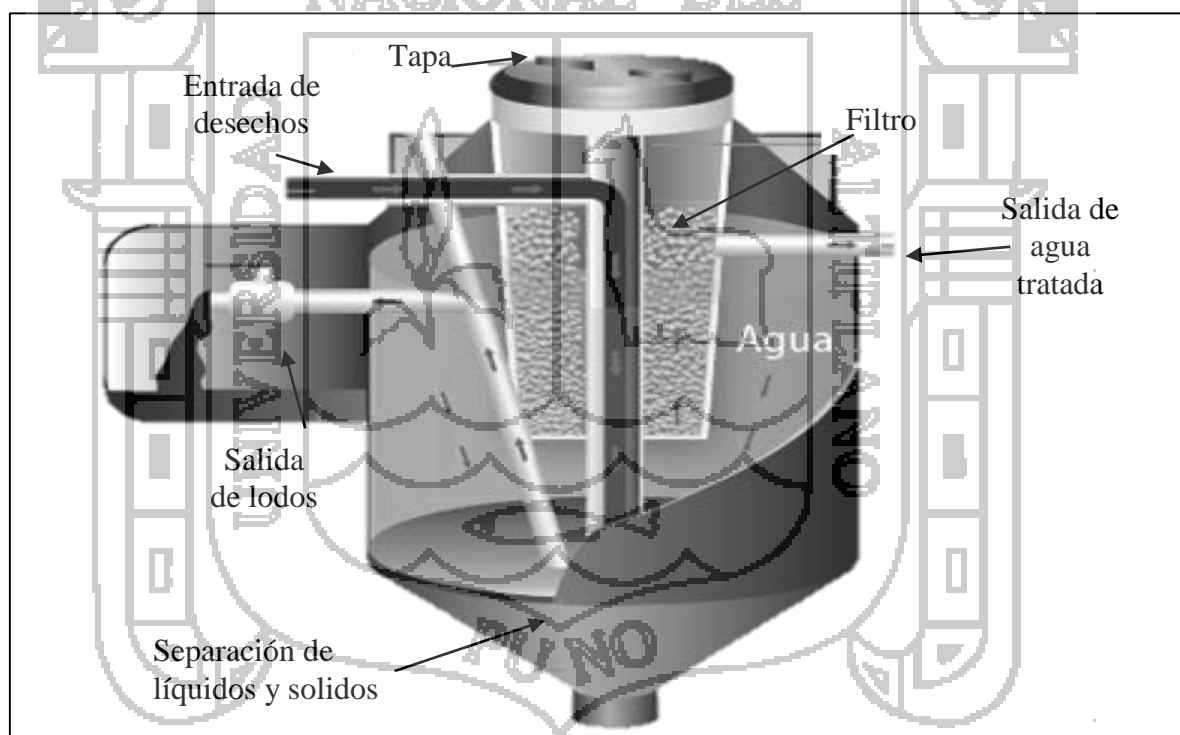


Figura 3.2 Esquema del sistema de biodigestor y su funcionamiento

### Salida de efluente tratado

De igual manera costa de una tubería de PVC de 3" de diámetro la cual facilitara la salida del agua tratada en biodigestor de polietileno.

### 3.12. Materiales y Métodos

Para realizar la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas en biodigestores, ubicado en la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana, se consideran las siguientes actividades:

Recolección de información, medición de la calidad del agua a través de monitoreo, análisis de laboratorio, de los datos obtenidos y estimación de la eficiencia de remoción de contaminantes en el sistema de tratamiento.

#### **Materiales utilizados en campo:**

- Medidor multiparametrico HANNA HI 98312: de pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad Eléctrica y Sólidos Totales Disueltos.
- Flexo metro
- Recipientes para muestreo de 1 Litro, 5 L, 0.25L.
- Cronometro.
- GPS. garmin map
- Caja culer estabilizador de temperatura

#### **Materiales y equipo utilizados en gabinete:**

- Laptop core I7. Toshiba
- Memoria USB hp 8GB
- Impresora hp,
- Software (Word, excel. AutoCAD 2013 ,IBM SPSS STATICS)
- Materiales de escritorio (papel, boligrafos, otros)

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 4.1 Evaluación de las características físicas, químicas y biológicas de aguas residuales

El sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, efectuada por medio de biodigestores de polietileno, el mismo que se puso en funcionamiento en noviembre del año 2013. Trabaja con un caudal intermitente de 0.180 lt/d, para el presente trabajo se procedió a utilizar los datos que se ha recopilado en campo y laboratorio estos proveniente de los puntos de monitoreo, a) afluente al sistema b) efluente del sistema, para realizar los análisis de los parámetros: de DBO<sub>5</sub> y DQO, para poder determinar y conocer la eficiencia de remoción del sistema.

##### 4.1.1. Temperatura (T °C)

La variación de la temperatura en los puntos de muestreo en función del tiempo, se muestra que existe poca variación. Sin embargo cabe mencionar la temperatura del aporte del agua residual en el afluente al sistema varía desde 12.63°C - 13.87°C, al pasar por el biodigestor varia disminuyendo mínimamente desde un 12.60 °C – 13.67 °C.

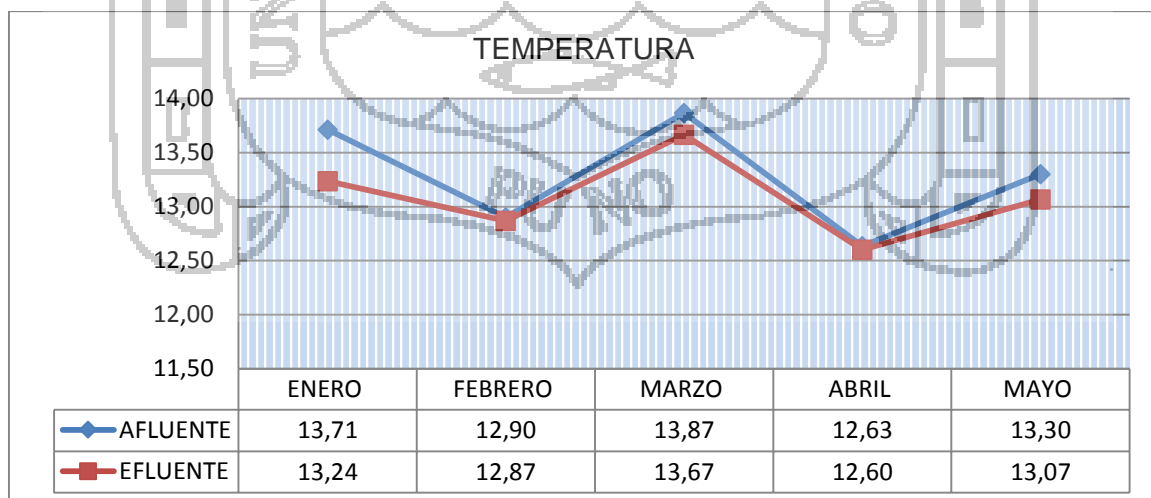


Figura 4.1 Variación de la temperatura para diferentes puntos de muestreo.

#### 4.1.2. Potencial de hidrogeno (pH)

Los valores reportados de pH para el Afluente se encontró entre 8.14 – 8.87, y al pasar por el biodigestor se mostró variaciones este a su tiende a aumentar relativamente 8.64 – 9.06 esto en el efluente, debido a procesos biogeoquímicos que lo llevaron a valores cercanos a la neutralidad.

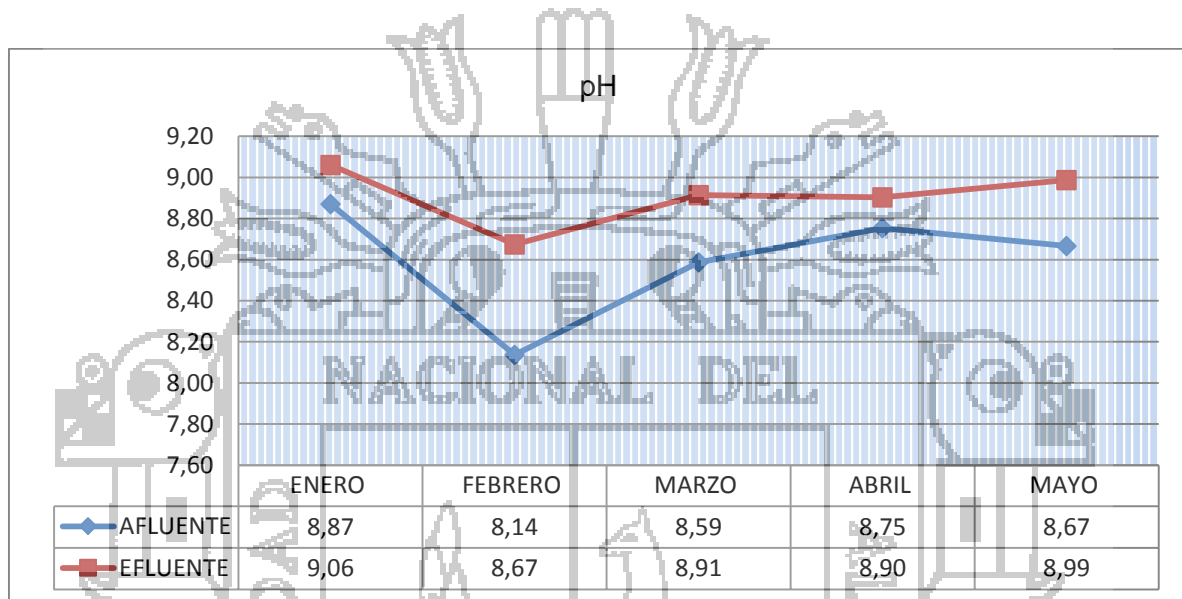


Figura 4.2 Variación de pH para puntos de muestreo

#### 4.1.3. Conductividad Eléctrica

La conductividad de eléctrica que tiene el agua residual al entrar al biodigestor varía desde 730 uS/cm hasta 1310 uS/cm, este en el afluente al biodigestor, y en el efluente desde 1177 uS/cm hasta 1717 uS/cm, el aporte de agua residual varía en función del tiempo y el número de usuarios o elementos de una familia, se pudo apreciar el mes de abril reporta una conductividad baja y el mes de enero reporta una mayor conductividad eléctrica, y comparando los valores reportados en el afluente y efluente del biodigestor, se evidencia una baja eficiencia del proceso de remoción de sales solubles, las cuales están ligados a la conductividad eléctrica.

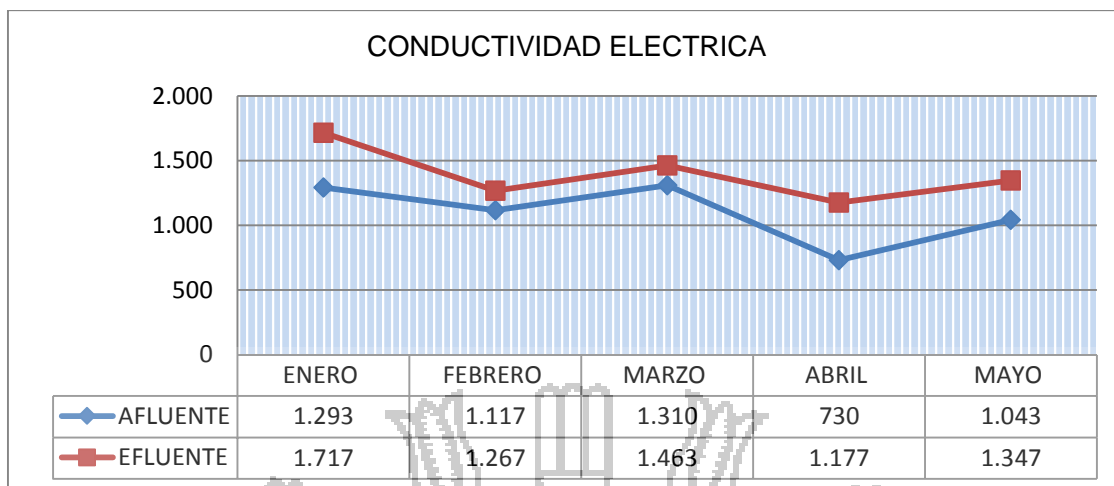


Figura 4.3 Variación de la conductividad eléctrica para puntos de muestreo

#### 4.1.4. Sólidos Totales Suspendedos

La variación de los sólidos totales suspendidos en el sistema. Es como sigue, desde 279.33 mg/l hasta 379.67 mg/l esto en el afluente, y un mínimo de 60.33 mg/l hasta un máximo de 100mg/l en efluente como se puede apreciar hay una considerable cifra de remoción de sólidos totales suspendidos, evaluados y monitoreado durante los cinco meses de cronograma. La menor cifra que reporta para el efluente, es en el mes de mayo con 279.33 mg/l, también 60.33 mg/l para el efluente en el mismo mes de mayo, entonces se dice que la remoción de este parámetro es directamente proporcional

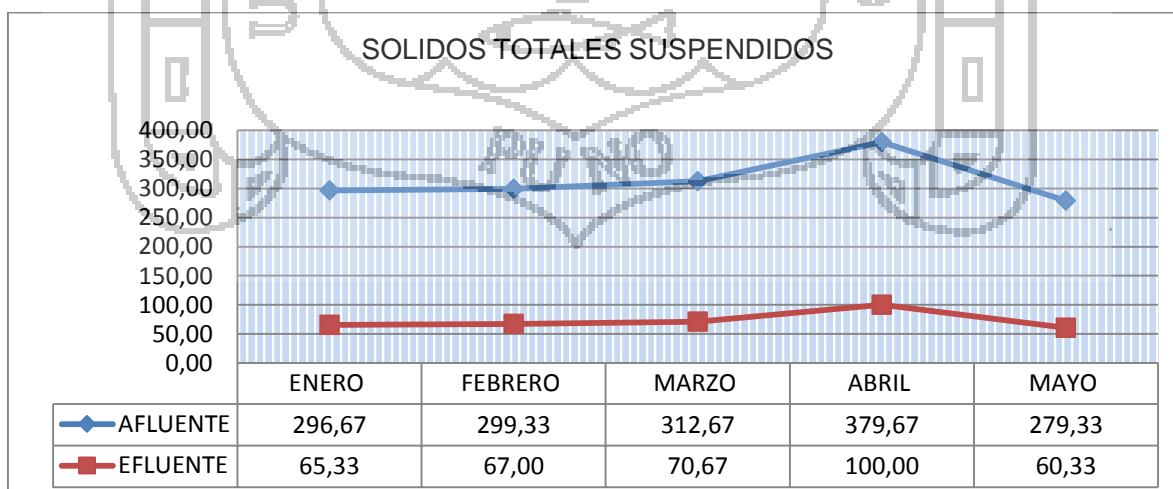


Figura 4.4 Variación de los Sólidos Totales Suspendedos, para puntos de muestreo



#### 4.1.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

La demanda bioquímica de oxígeno, es una medida de la cantidad de oxígeno disuelto es consumido por los microorganismos, en los procesos de estabilización de la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones anaeróbicas, en un periodo de incubación de cinco días y a 20 °C, en la figura 4.5, se representa el comportamiento del sistema de tratamiento, los registros y muestreos realizados presentaron variaciones considerables, en cuanto a valores reportados para efluente con respecto al afluente, esto se da posible al pasar por el biodigestor, la biodegradación de las materia orgánica por parte de los microorganismo.

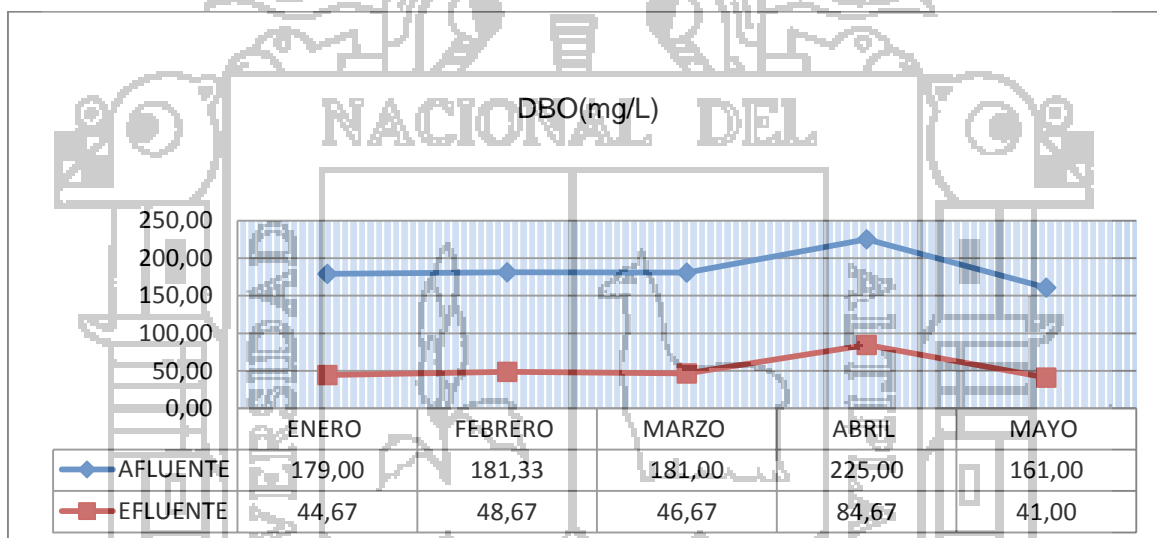


Figura 4.5 Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno, para puntos de muestreo

#### 4.1.6. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La DQO es una medida aproximada que mide la cantidad de oxígeno requerida para la oxidación química de la materia orgánica biodegradable y no biodegradable de una muestra de agua. Tal como se ilustra en la Fig. 4.6 para el efluente del biodigestor se evidencia una disminución en la concentración de la DQO, probablemente debido al metabolismo de los microorganismos y a las reacciones químicas.

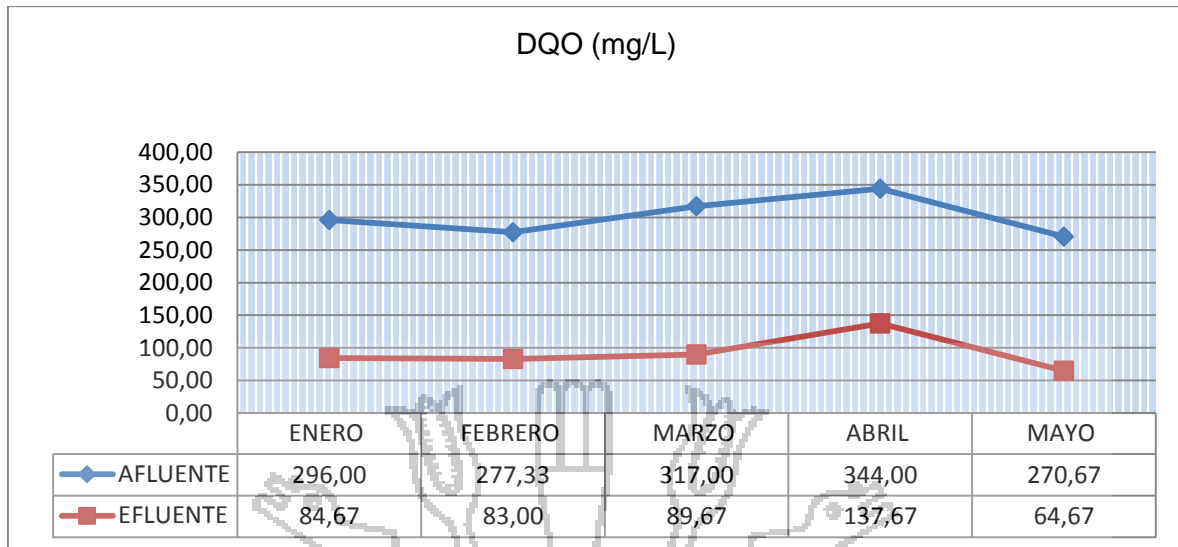


Figura 4.6 Variación de Demanda Química de Oxígeno, para puntos de muestreo

#### 4.1.7. Coliformes Totales

Los Coliformes totales son capaces de fermentar la lactosa a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$ . Estas características se relacionan con los organismos y microorganismos, en particular, bacterias y virus entre otros causantes de enfermedades. La gran mayoría de los países determina los valores permitidos con base en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) adaptándolo a sus circunstancias. En el gráfico que se muestra se aprecia el comportamiento de Coliformes totales en el afluente 11000 NMP/100ml, y a la salida del biodigestor (efluente) los valores varían desde un máximo 5300 NMP/100ml en el mes de Marzo y un mínimo de 2400 NMP/100ml, para el mes de Abril, estas variaciones se darían a que el biodigestor empezaba a operar desde hace una mes con antigüedad, pero de todas maneras la calidad del efluente estaría acorde y no excediendo los LMP que exige la norma peruana, para una agua de categoría 3: uso de riego y bebidas de animales (ver anexo 9).

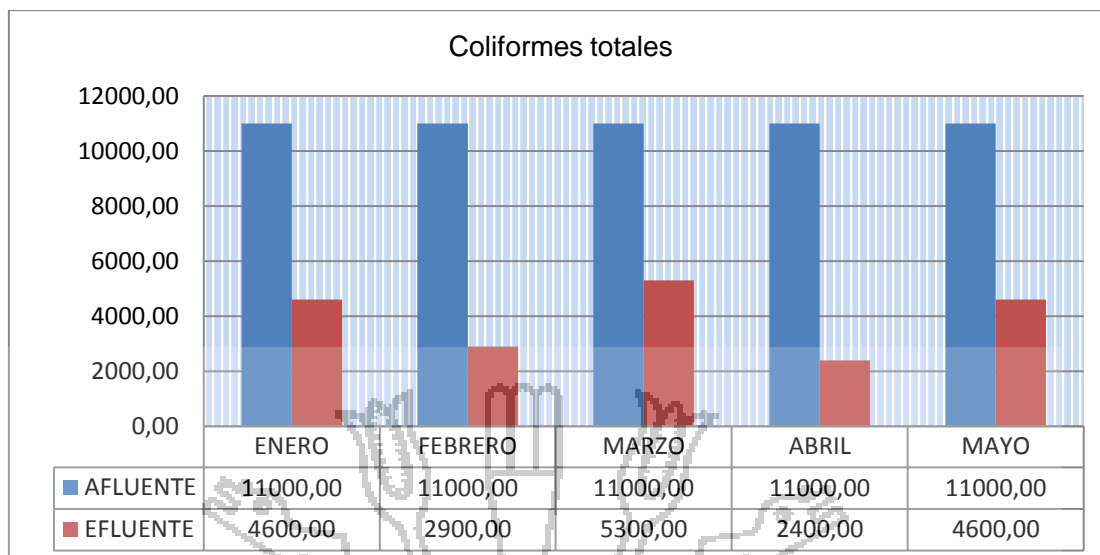


Figura 4.7 Variación de Coliformes Totales, para puntos de muestreo

#### 4.1.8. Coliformes Fecales

Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales son capaces de fermentar la lactosa a  $44,5 \pm 0,2$  °C. Estas características se relacionan con los organismos y microorganismos, en particular, bacterias y virus entre otros causantes de enfermedades. La gran mayoría de los países determina los valores permitidos con base en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) adaptándolo a sus circunstancias. En el grafico que se muestra se aprecia el comportamiento de coliformes fecales en el afluente 5300 NMP/100ml hasta 3900 NMP/100ml, a la salida del biodigestor (efluente) los valores varían desde un máximo 900 NMP/100ml en el mes de Enero y un mínimo de 420 NMP/100ml, para el mes de Abril, estas variación se darían a que el biodigestor empezaba a operar desde hace un mes con antigüedad, pero de toda maneras la calidad del efluente estaría acorde y no excediendo los LMP que exige la norma peruana D.S. N° 003 – 2009– MINAM, para una agua de categoría 3:uso de riego y bebidas de animales (ver anexo 9)

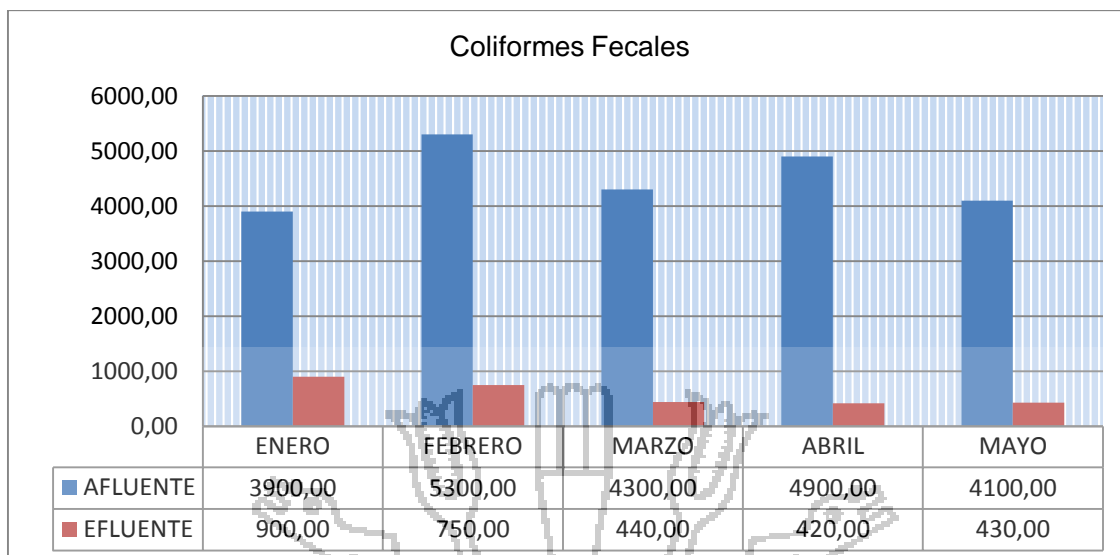


Figura 4.8 Variación de Coliformes Fecales, para puntos de muestreo

#### 4.1.9. Coliformes Termo tolerantes

Los coliformes termo tolerantes son capaces de fermentar la lactosa a  $44.5 \pm 0.2$  °C. Estas características se relacionan con los organismos y microorganismos, en particular, bacterias y virus entre otros causantes de enfermedades. La gran mayoría de los países determina los valores permitidos con base en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) adaptándolo a sus circunstancias. En el grafico que se muestra se aprecia el comportamiento de coliformes totales en el afluyente 950 NMP/100ml hasta 640 NMP/100ml a la salida del biodigestor (efluente) los valores varían desde un máximo 640 NMP/100ml en el mes de Abril y un mínimo de 350 NMP/100ml, para el mes de febrero, estas variación se darían a que el biodigestor empezaba a operar desde hace una mes con antigüedad, exactamente en el mes de noviembre del 2013.

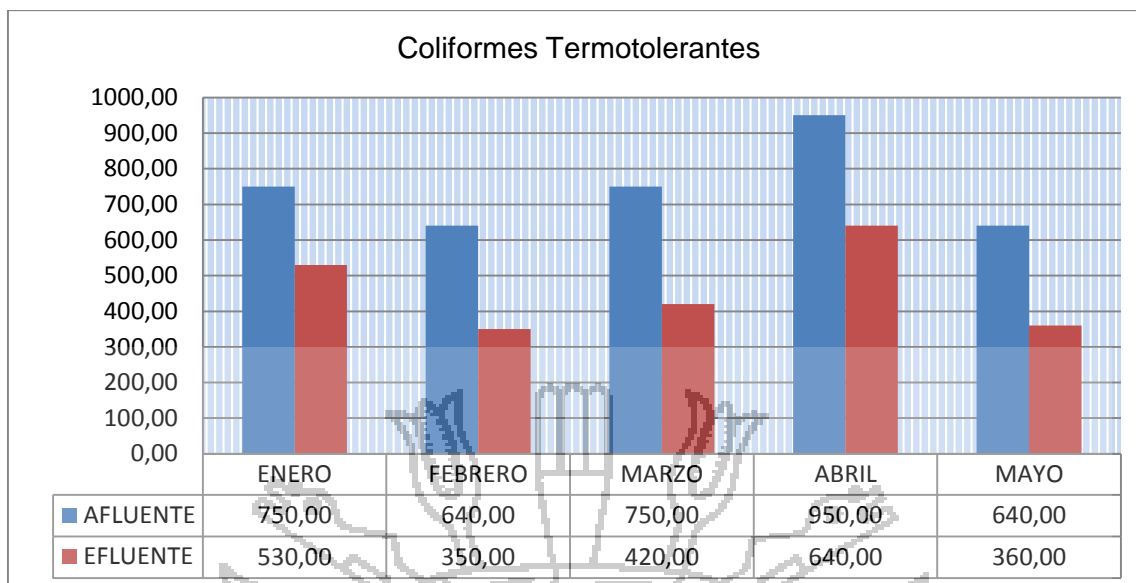


Figura 4.9 Variación de Coliformes Termo tolerantes, para puntos de muestreo

#### 4.2 Influencia de la Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica y Solidos Suspendido Totales, Sobre la DBO5 y DQO

Para explicar cuál es la influencia de la variación de la temperatura, PH, conductividad eléctrica y Solidos suspendidos totales, del efluente, en el proceso de tratamiento de aguas residuales en biodigestor de polietileno, se procedió al modelamiento más adecuado de la influencia de algunos parámetros en el proceso de funcionamiento del biodigestor como sistema de tratamiento de aguas residuales en su fase primaria, de la comunidad de Oquebamba, sector Santa Ana.

En Cuadro 4.1- 4.5 Modelo de regresión lineal, de la influencia de los parámetros de Temperatura, pH, conductividad eléctrica y solidos suspendidos totales en el proceso de demanda bioquímica de Oxígeno.

Nos referimos en cuanto a la evaluación de los coeficientes, se verifica que el intercepto es positivo, superior a la unidad (16.278) , con referencia a la temperatura, pH, conductividad eléctrica, sus respectivas significancias tiene un valor positivo mayor a 0.05, por consiguiente no tienen influencia en el sistema, tanto para diferentes fechas y diferentes puntos de

muestreo, caso contrario muestra los sólidos suspendidos totales, el cual si tiene influencia directa también, con un valor significativo de 0.000 el cual es menor que 0.05. Por lo tanto se dice que al aumentar 1.00 unidad de SST, la DBO aumentara en 0.534 unidades. Todos estos valores son ratificados con las probabilidades de cada uno de estos parámetros.

En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un valor medio de 119.30, y una desviación estándar de 77.607. El modelo presenta un coeficiente de determinación de 95.3% y un coeficiente de determinación ajustado de 95.1%. Y la probabilidad estadística que tiende a cero. Entonces finalmente se determinó la ecuación de regresión lineal simple, procesada a través de los mínimos cuadrados ordinarios.

Cuadro 4.1. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
	,976 <sup>a</sup>	<b>0.953</b>	<b>0.951</b>	17.155

Cuadro 4.2. Análisis de variancia de regresión lineal simple

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión		166424.319	1	166424.319	565.521	,000
Residuo		8239.981	28	294.285		
Total		174664.3	29			

Cuadro 4.3. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión simple

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.	
	B	Error estándar	Beta			
	<b>(Constante)</b>	16.278	5.346		3.045	<b>0.005</b>
	<b>SST</b>	0.534	0.022	0.976	23.781	<b>0</b>

Cuadro 4.4. Resultados de correlación parcial y estadística de colinealidad

Modelo	En beta	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticas de colinealidad
					Tolerancia
<b>T</b>	,000	0.003	<b>0.998</b>	0.001	0.999
<b>pH</b>	,083	1.993	<b>0.056</b>	0.358	0.874
<b>COND</b>	,032	0.75	<b>0.46</b>	0.143	0.916

Cuadro 4.5. Estadística descriptiva de variables

	Media	Desviación estándar	N
<b>DBO</b>	119.3	77.607	30
<b>T</b>	13.185	1.747	30
<b>pH</b>	8.791	0.421	30
<b>COND</b>	1246	507.017	30
<b>SST</b>	193.1	141.991	30

$$DBO = 16.278 + 0.534(SST)$$

Esta ecuación nos permitirá determinar la tendencia de la demanda bioquímica de oxígeno para condiciones similares de la provincia de espinar Cusco, o finalmente servirá para realizar tendencias para otros pisos y condiciones similares del país.

En Cuadro 4.6-4.10 Modelo de regresión lineal simple, de la influencia de los parámetros de Temperatura, pH, conductividad eléctrica y solidos suspendidos totales en el proceso de demanda química de oxígeno.

Cuadro 4.6. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
	,974	0.949	0.947	27.336

Cuadro 4.7. Análisis de variancia de regresión lineal simple

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Regresión	387119.52	1	387119.52	518.035	,000
	Residuo	20923.949	28	747.284		
	Total	408043.47	29			

Cuadro 4.8. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión simple

Modelo	Coeficientes no estandarizados			Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta			
	(Constante)	39.341	8.519		4.618	0
	SST	0.814	0.036	0.974	22.76	0

Cuadro 4.9. Resultados de correlación parcial y estadística de linealidad

Modelo	En beta	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticas de colinealidad
					Tolerancia
T	,034	0.778	0.443	0.148	0.999
pH	,033	0.723	0.476	0.138	0.874
COND	,035	0.78	0.442	0.148	0.916

Cuadro 4.10. Estadística descriptiva de variables

	Media	Desviación estándar	N
DQO	196.47	118.619	30
T	13.185	1.74698	30
pH	8.791	0.42068	30
COND	1246	507.017	30
SST	193.1	141.991	30

El intercepto de este modelo de regresión lineal es 39.341, y el coeficiente de la variable es directamente proporcional a la ecuación de regresión simple, como se muestra en el cuadro



4.8. La ecuación obtenida permitirá realizar proyecciones de tendencia, esto para condiciones similares de la ubicación del sistema de tratamiento en biodigestores en la localidad de la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana Espinar Cusco.

El coeficiente de determinación es 94.9%, y el coeficiente de determinación ajustado es 94.7%, los mismos que indican estos valores que estadísticamente son muy aceptables.

$$DQO = 39.341 + 0.814(SST)$$

Para explicar cuál es la influencia de la variación de la temperatura, pH, conductividad eléctrica, del efluente en el proceso de tratamiento de aguas residuales en la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana, se procedió al modelamiento más adecuado de la influencia de algunos parámetros operacionales en el proceso de funcionamiento del sistema de tratamiento.

En cuanto a la evaluación de los coeficientes, se tiene que el intercepto es un valor positivo mayor a la unidad (39.341), con referencia a la temperatura, pH, conductividad eléctrica, sus respectivas significancias tiene un valor positivo mayor a 0.05, por consiguiente no tienen influencia en el sistema, tanto para diferentes fechas y diferentes puntos de muestreo. El coeficiente de SST es 0.814, y cuando la demanda química de oxígeno se incrementa en 0.814 unidades, entonces habrá un incremento de 1.00 unidad de sólidos suspendidos totales. La demanda química de oxígeno media es 196.470, y una desviación estándar de 118.619, Y un coeficiente de determinación de 94.9%, y un coeficiente de determinación ajustado de 94.7%.y todos estos valores son ratificados con las probabilidades de cada uno de estos parámetros.

De la misma manera se ha realizado dos modelamientos adicionales de regresión, llegando a determinar dos ecuaciones de regresión, para realizar los pronósticos para condiciones

climáticas similares a la provincia de Espinar Cusco, ya que esta se encuentra por encima de los 3880 msnm, son ecuación de regresión cuadrática, y regresión cubica, tanto para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y demanda química de oxígeno (DQO), como parámetros dependientes de los sólidos suspendidos totales (SST), esta última como variable independiente (ver anexo 4-5).

**Ecuación de regresión cuadrática para DBO**

Cuadro 4.11. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,976	,953	,949	17,470

Cuadro 4.12. Análisis de variancia de regresión cuadrática

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	166424,320	2	83212,160	272,662	,000
Residuo	8239,980	27	305,184		
Total	174664,300	29			

Cuadro 4.13. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión cuadrática

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
SST	,534	,073	,976	7,270	,000
SST ** 2	-2,457E-7	,000	,000	-,002	,999
(Constante)	16,268	7,717		2,108	,044

$$DBO = 16,267 + 0,533 * (SST) + -2,4569e-007 *(SST)^2$$

**Ecuación de regresión cubica para DBO**

Cuadro 4.14. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,979	,959	,954	16,593

Cuadro 4.15. Análisis de variancia de regresión cubica

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	167505,546	3	55835,182	202,789	,000
Residuo	7158,754	26	275,337		
Total	174664,300	29			

Cuadro 4.16. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión cubica

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
SST	1,026	,258	1,878	3,975	,000
SST ** 2	-,002	,001	-1,938	-1,965	,060
SST ** 3	2,210E-6	,000	1,120	1,982	,058
(Constante)	-8,968	14,693		-,610	,547

$$DBO = -8,967 + 1,0263 * (SST) + -0,00203 * (SST)^2 + 2,21e-006 * (SST)^3$$

**Ecuación de regresión cuadrática para DQO**

Cuadro 4.17. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,978	,957	,953	25,591

Cuadro 4.18. Análisis de variancia de regresión cuadrática

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	390361,006	2	195180,503	298,028	,000
Residuo	17682,461	27	654,906		
Total	408043,467	29			

Cuadro 4.19. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión cuadrática

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
SST	1,041	,108	1,246	9,681	,000
SST ** 2	,000	,000	-,286	-2,225	,035
(Constante)	21,518	11,304		1,904	,068

$$DQO = 21,517 + 1,0410 * SST + -0,0004593 * (SST)^2$$

**Ecuación de regresión cubica para DQO**

Cuadro 4.20. Resultado de coeficiente de correlación y coeficiente de determinación

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,978	,957	,952	25,880

Cuadro 4.21. Análisis de variancia de regresión cubica

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	390629,486	3	130209,829	194,410	,000
Residuo	17413,981	26	669,768		
Total	408043,467	29			

Cuadro 4.22. Coeficientes no estandarizados del modelo de regresión cubica

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
SST	1,287	,403	1,540	3,195	,004
SST ** 2	-,001	,002	-,918	-,912	,370
SST ** 3	1,101E-6	,000	,365	,633	,532
(Constante)	8,943	22,917		,390	,700

$$DQO = 8,942 + 1,286 * SST - 0,00147 (SST)^2 + 1,1014e-006 (SST)^3$$

### 4.3. Diseño de biofiltro, para el tratamiento secundario de aguas residuales efluente del Biodigestor de polietileno Rotoplast

#### 4.3.1. Dimensionamiento de Humedal Artificial FWS (Wetlands)

Las dimensiones que se detallan a continuación, son las que se obtuvo para el dimensionamiento del humedal artificial, en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), y la temperatura (T °C), del efluente del biodigestor de polietileno.

#### 4.3.2. Remoción de DBO en Humedales FWS

Para determinar el área superficial se calcula por medio de la ecuación que propone (BORRERO.L, 1999). Presentada con anterioridad, primero calculamos el valor  $K_T$ , por medio de las ecuaciones, con un valor de  $K_{20}=0.67d^{-1}$

$$K_T = K_{20} * 1.06^{(T - 20)}$$

$$A_s = \frac{Q * (Inco - Ince)}{K_T * y * n}$$

La temperatura que se trabajará será de 13.19°C. El valor y una aproximación del caudal de agua residual por persona fue extraído del Expediente Técnico de Saneamiento Básico en la

comunidad de Oquebamba sector Santa Ana, donde especifica la dotación familiar, asciende a 0.180 m<sup>3</sup>/día, El valor de la DBO<sub>5</sub>, se tomó el promedio mensual para cada mes. La porosidad del humedal es 0.70 ya que el rango debe ser entre 0.65 y 0.75, según el autor. Las dimensiones del humedal están sujetas a las dimensiones estándar de una estructura civil típica de recolección de agua lluvias, el alto del humedal debe ser de 0.5m

Cuadro 4.23 Determinación del Área del Humedal Artificial (Wetlands)

Caudal m <sup>3</sup> /d	DBO-Aflu (mg/L)	DBO-Eflu (mg/)	% de remoción	KT ( d-1)	Porosidad (n)	Profundidad (m)	As (m <sup>2</sup> )
0.18	44.67	15	33.58	0.45	0.70	0.50	1.25
0.18	48.67	15	30.82	0.45	0.70	0.50	1.34
0.18	46.67	15	32.14	0.45	0.70	0.50	1.30
0.18	84.67	15	17.72	0.45	0.70	0.50	1.98
0.18	41.00	15	36.59	0.45	0.70	0.50	1.15
Promedio							1.40

Elaboración: Propia

La profundidad viene establecida por el largo de las raíces de la especie vegetal que este caso será la TOTORA (*Scirpus spp*), es una planta que crece de manera silvestre como cultivada, en lagunas, zonas pantanosas, huachiques de la costa, sierra del Perú, desde el nivel del mar hasta 4100 msnm, además se tiene que mencionar que esta planta se ha utilizado en el humedal de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de José Domingo Choquehuanca – Azángaro.

### 4.3.3 Diseño Hidráulico

Por medio de la siguiente ecuación se puede encontrar el valor del tiempo de residencia hidráulica del flujo en el humedal artificial.

$$TH = \frac{n * L * W * y}{Q}$$

Cuadro 4.24 Determinación del Tiempo de residencia Hidráulica, ajuste de área del Humedal.

% de remoción	Nº Canales	As por canal (m <sup>2</sup> )	Caudal por canal m <sup>3</sup> /d	Tiempo RH(d)	L: (m)	W: (m)	As por canal (m <sup>2</sup> )
34	1.00	1.25	0.180	2.43	1.25	1.00	1.25
31	1.00	1.34	0.180	2.65	1.30	1.05	1.37
32	1.00	1.30	0.180	2.53	1.30	1.00	1.30
18	1.00	1.98	0.180	3.73	1.60	1.20	1.92
37	1.00	1.15	0.180	2.24	1.15	1.00	1.15
Promedio				2.72	1.32	1.05	1.40
Ajustado				3.00	1.40	1.00	1.40

Elaboración: Propia

### 4.3.4 Dimensionamiento Final del Humedal Artificial (Wetlands)

Las dimensiones que se proponen al diseño del humedal artificial (Wetlands), para realizar el tratamiento de aguas residuales efluente del biodigestor de polietileno, para la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana, este estuvo en función de algunos parámetros, que se ha tomado en cuenta, que se detallan a continuación en cuadro 4.25

Cuadro 4.25 Dimensionamiento Final del Humedal Artificial (Wetlands)

DATOS	
C <sub>e</sub> : DBO5 efluente, mg/L	15.00
C <sub>o</sub> : DBO5 afluente, mg/L	
K <sub>20</sub> : constante de velocidad de reacción de primer orden, d <sup>-1</sup>	0.67
TR: tiempo de residencia hidráulico, días	3.00
T: temperatura del líquido en el sistema, °C	13.19
n: porosidad efectiva del medio, fracción decimal	0.70
y: profundidad promedio del líquido en el lecho, m	0.50
L: longitud del lecho, m	1.40
W: ancho del lecho, m	1.00
Q: caudal promedio a través del lecho, m <sup>3</sup> /d	0.18
A <sub>s</sub> : área superficial del lecho, m <sup>2</sup>	1.40

Elaboración: propia

#### 4.3.5. Eficiencia de Remoción y Comportamiento Operacional del Biodigestor

Con el fin de establecer el comportamiento de los determinantes de la calidad de agua analizados en la salida del proceso de tratamiento, con respecto a las concentraciones de ellos en la entrada y salida del mismo, se estima la eficiencia de remoción en el biodigestor de polietileno.

$$R = 1 - \frac{EFLU}{AFLU}$$

**Dónde:**

R: Eficiencia de Remoción.

Aflu, Eflu: son las concentraciones del Afluente y Efluente del parámetro analizado.



Para la reducción de Coliformes.

$$E_f = \frac{E_1 - E_2}{E_2} * 100 \text{ (NMP/100ml)}$$

E<sub>1</sub> = Numero de conteos en el afluente (NMP/100ml).

E<sub>2</sub> = Numero de conteos en el efluente (NMP/100ml).

Cuadro 4.26 Eficiencia de Remoción

Eficiencia de Remoción de los Parámetros								
T	pH	COND	S.S.T.	DBO5	DQO	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Coliformes Termo tolerantes (NMP/100ml)
1%	-5%	-38%	76%	71%	69%	64%	87%	39%

Elaboración: propia

Se determinó que el sistema está trabajando con una eficiencia de remoción buena. La eficiencia de tratamiento del sistema mediante Los parámetros evaluados son: DBO<sub>5</sub> 71%, DQO 69%, Sólidos totales en suspensión 76%. También se determinó la eficiencia de remoción de Coliformes Totales 64% y Coliformes Fecales 87%, Coliformes termo tolerantes 39%

## V. CONCLUSIONES

1. La evaluación de los parámetros como la temperatura (T), pH, conductividad eléctrica (CE), según el modelo de regresión lineal, no tienen influencia en el proceso de demanda bioquímica de oxígeno, a un nivel de significancia menor de 0.05, según las pruebas individuales, la única variable independiente que explica de manera significativa al proceso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), a nivel de significación del 5% es los sólidos suspendidos totales (SST), la razón por la cual las demás variables demuestran no significancia es ( $P > 0.05$ ), entonces la ecuación de regresión que mejor se ajusta es,  $DBO = 16.278 + 0.534(SST)$ , con un coeficiente de determinación  $R^2=0.951$ , donde el 95.1% de la variación total de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), es explicada por el modelo de regresión lineal, y un error típico de 17.155, la variabilidad del proceso de demanda bioquímica de oxígeno observado con respecto al proceso de demanda bioquímica de oxígeno estimado por el modelo de regresión lineal es de 17.155mg/l, de la cual se interpreta, que a medida que aumenta en 1.00 unidad de Sólidos Suspendidos Totales, la demanda bioquímica de oxígeno aumentara en 0.534 unidades. De igual forma según las pruebas individuales, la única variable independiente que explica de manera significativa al proceso de la demanda química de oxígeno (DQO), a nivel de significación del 5% es los sólidos suspendidos totales (SST), la razón por la cual las demás variables demuestran no significancia por ( $P > 0.05$ ), entonces la ecuación de regresión que mejor se ajusta es,  $DQO = 39.341 + 0.814(SST)$ , y un coeficiente de determinación  $R^2=0.949$ , donde 94.9% de la variación total de la demanda química de oxígeno (DQO), es explicada por el modelo de regresión lineal, y un error típico de 27.336, la variabilidad del proceso de demanda química de oxígeno observado con respecto al proceso de demanda química de oxígeno estimado por el modelo de regresión lineal es de 27.336mg/l, interpretando, medida que aumenta en 1.00 unidad de sólidos suspendidos totales, la demanda química de oxígeno aumentara en 0.814

unidades. Las ecuaciones obtenidas permitirá realizar proyecciones de tendencia, esto para condiciones similares de la ubicación del sistema de tratamiento en biodigestores en la localidad de la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana Espinar Cusco.

2. La eficiencia de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales en biodigestores, es alta, para la fase primaria, con un 71% de remoción para (DBO), 69% (DQO), 76% (SST), 64% Coliformes totales, 87% Coliformes Fecales, encontrándose por encima de los límites máximos permisibles según D.S. N° 003 – 2009 – MINAM (ver anexo 9).

3. El dimensionamiento del biofiltro (Humedal Artificial-Wetlands), se realizó en función de algunos parámetros intervinientes como , la temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ), DBO afluente proveniente del biodigestor, y DBO efluente deseado, según D.S. N°003-2009 MINAM., aquí también se consideró factores externos tales como la profundidad de raíz de la planta que estará presente, en este caso se escogió a la totora como filtro biológico (0.50 m), porosidad efectiva del medio fracción decimal (0.70), caudal promedio de 0.18 m<sup>3</sup>/día, para el biodigestor piloto de evaluación. Las dimensiones finales que se le otorga al biofiltro es como sigue, un área hidráulica de 1.40 m<sup>2</sup>, longitud aconsejable de 1.40 m, y un ancho de 1.00 m, altura conservadora de 0.50 m, realizando los cálculos utilizado las formulas anteriormente mencionadas se obtuvo el Tiempo de Residencia Hidráulica de 3 días, tratándose de un tratamiento de aguas residuales en su fase secundaria y definitiva (ver anexo 5).

## VI. RECOMENDACIONES

- 1 Se recomienda a las autoridades a tomar en cuenta primeramente la salubridad de su población en todos los aspectos, no basta llevarles agua, hacerles un sistema de tratamiento tal, vez que no cumplan con los objetivos, más por el contrario informarse si este es el ideal para la zona, entonces de esta manera se habrá mejorado la calidad de vida del poblador rural.
- 2 Reutilizar el agua tratada ya sea para riego de plantas de tallo alto y tallo bajo o bebidas para animales, siempre que estén aptos y cumplan los límites máximos permisibles, ya que el agua en un tiempo no muy lejano escaseara.
- 3 Realizar estudios más detallados y con más elementos climáticos, y evaluar en una cantidad más numerosa de biodigestores, para disminuir los errores en el momento de realizar diseños de saneamiento y tratamiento, para determinadas zonas geográficas del país
- 4 Se recomienda utilizar el biofiltro o humedal artificial que se ha propuesto, para hacer el tratamiento secundario, ya que está diseñado en función de parámetros interventores en el tratamiento de aguas residuales, las cuales no superen los límites máximos permisibles, y así disminuir la contaminación de los suelos y niveles freáticos.

## VII.BIBLIOGRAFIA

- BORRERO, L. J. A. (1999). *"Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales"*. Trabajo final (Master en ingeniería y Gestión Ambiental). Instituto Catalan de tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona-España.
- C.F, YAÑES. (Noviembre, 1990). *"Manual de Metodos Experimentales, Evaluación de Lagunas de Estabilización en serie"*. Lima, Peru.
- CRITES. R, TCHOBANOGLOUS. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Bogota-Colombia: Mc Graw-Hill.
- EDDY, & METCALF. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento Vertido y Reutilización*. Mexico: Mc Graw-Hill.
- EPA (U.S, E. P. (1998). *"Manual, constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment"*. USA.
- GUEVARA, V. (1996). *Propuesta Metodológica Evaluación de Lagunas de Estabilización Primera Aproximación*. OPS/C.E.P.I.S. Lima-Peru.
- JARQUIN, G. (2003). *"Evaluación Operacional de las Lagunas de Estabilización"*. Leon-Nicaragua: casa.
- LEON, S. (1997). *"Objetivos de Selección de tecnología para el Tratamiento de aguas Residuales en América Latina y el Caribe"*. Cali- Colombia.
- MANGA, C. (2007). *"Tratamiento de Aguas Residuales Mediante sistemas de Lenguaje"*. Santa Fe Bogota- Colombia: Mc GRAW-HILL.
- MORALES, C. (1982). *"Aquicultura Marina Animal"*. Massachusetts-USA.
- NORIEGA. P, R. (1999). *Manual de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima-Peru.
- NOYOLA, A. (2003). *Tendencias en el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Latinoamérica*. Cartagena-Colombia.

PALACIOS, F. (1991). *Proyecto Ecologico e hidraulico de Tratamiento de Aguas Rsiduales* .

Lima-Peru.

ROLIM, M. (2000). *"Sistemas de Lagunas de Estabilizacion"*. Santa Fe Bogota-Colombia:

Mc GRAW-HILL INTERAMERICANA.

ROMERO R, A. J. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoria y Principio de Diseño*.

Bogota-Colombia: Escuela Colombiana de Ingenieria.

SAEKY.A. (1958). *"Fundamental theory and system desing standars"*. Canada.

SAENZ, F. O. (1992). *Prediccion de la Calidad del Efluente en lagunas de Estabilizacion*.

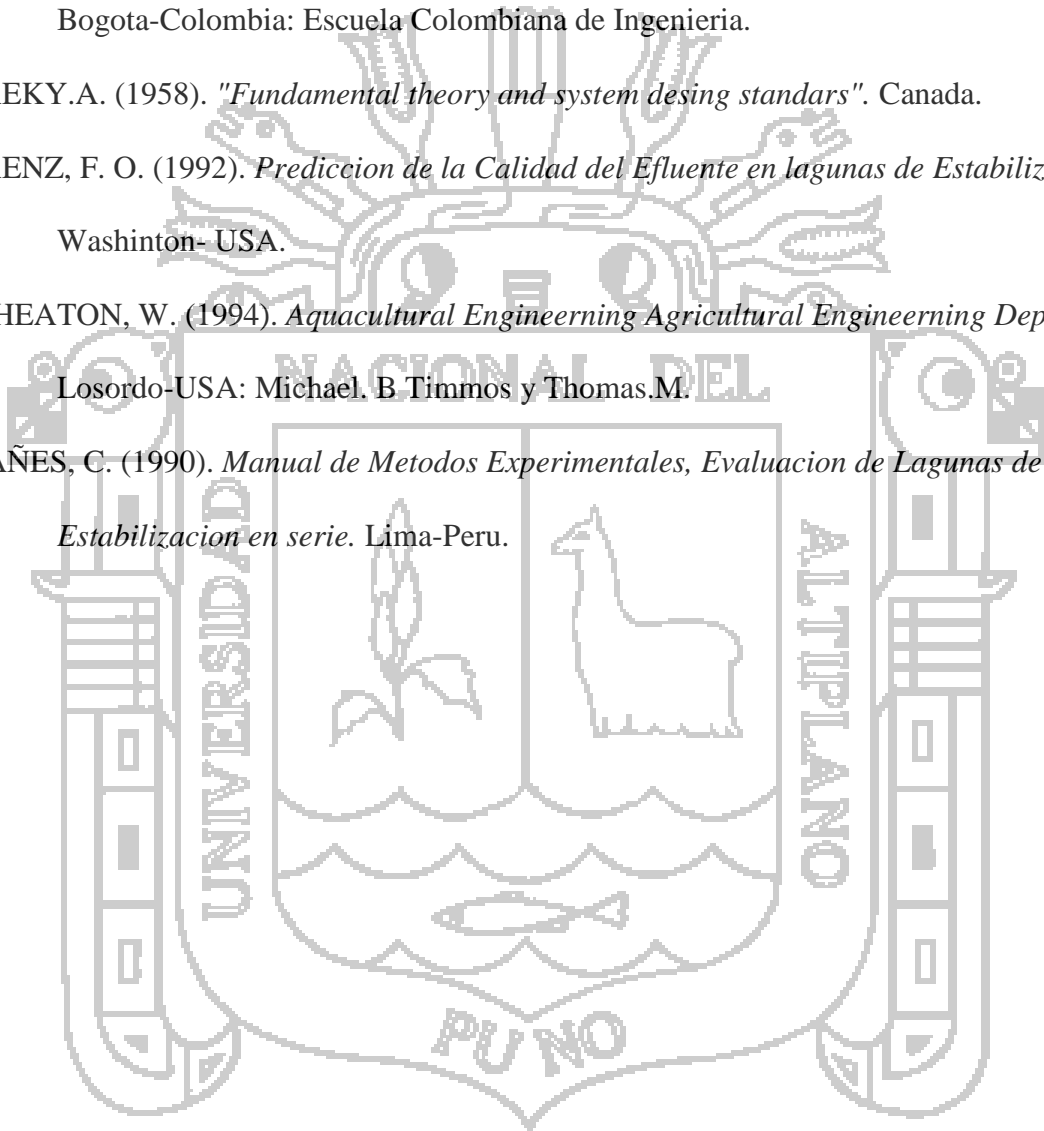
Washinton- USA.

WHEATON, W. (1994). *Aquacultural Engineerning Agricultural Engineerning Departament*.

Losordo-USA: Michael. B Timmos y Thomas.M.

YAÑES, C. (1990). *Manual de Metodos Experimentales, Evaluacion de Lagunas de*

*Estabilizacion en serie*. Lima-Peru.



# ANEXOS





**ANEXO -1 DATOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO**

BASE DE DATOS PARA EVALUACION DEL SISTEMA -BIODIGESTOR								
Nº	T	pH	COND	STD	S.S.T.	A y G	DBO5	DQO
1	11.01	8.86	580.00	0.38	290.00	8.00	165.00	278.00
2	10.60	8.99	750.00	0.35	390.00	17.00	230.00	350.00
3	13.00	8.88	1950.00	0.95	210.00	15.00	142.00	260.00
4	10.50	8.49	510.00	0.25	360.00	28.00	209.00	310.00
5	10.40	8.59	480.00	0.22	220.00	14.00	165.00	230.00
6	15.13	8.87	1350.00	0.68	318.00	33.00	170.00	292.00
7	13.50	8.59	720.00	0.36	290.00	10.00	144.00	243.00
8	13.30	8.64	680.00	0.33	270.00	22.00	170.00	320.00
9	12.90	8.89	760.00	0.37	378.00	22.00	229.00	388.00
10	13.90	8.77	1270.00	0.63	589.00	34.00	340.00	480.00
11	15.00	8.88	1950.00	0.95	220.00	30.00	178.00	264.00
12	14.60	6.83	1880.00	0.68	330.00	24.00	157.00	288.00
13	15.30	8.24	1300.00	0.67	208.00	19.00	130.00	210.00
14	14.50	8.88	920.00	0.45	370.00	28.00	193.00	344.00
15	15.60	8.64	1380.00	0.69	260.00	19.00	160.00	258.00
16	10.80	9.04	1100.00	0.54	53.00	7.00	44.00	77.00
17	10.70	9.02	1220.00	0.57	77.00	13.00	51.00	93.00
18	13.00	8.88	1950.00	0.95	66.00	9.00	39.00	84.00
19	10.50	8.75	860.00	0.41	53.00	14.00	35.00	56.00
20	10.30	8.79	800.00	0.41	66.00	10.00	48.00	83.00
21	13.81	9.10	1920.00	0.97	82.00	16.00	63.00	110.00
22	13.30	9.00	1000.00	0.53	73.00	7.00	45.00	74.00
23	13.40	9.00	800.00	0.40	69.00	10.00	55.00	115.00
24	13.00	8.95	1060.00	0.52	70.00	6.00	40.00	80.00
25	14.10	9.07	1940.00	1.01	177.00	15.00	110.00	170.00
26	15.10	9.04	2130.00	1.06	53.00	8.00	77.00	133.00
27	14.60	9.00	1580.00	0.75	70.00	11.00	67.00	110.00
28	14.60	8.94	1640.00	0.82	63.00	4.00	38.00	52.00
29	14.30	9.01	1600.00	0.80	53.00	11.00	41.00	70.00
30	14.80	9.10	1300.00	0.67	65.00	8.00	44.00	72.00



**ANEXO - 2**  
**FICHA MENSUAL DE MUESTREO**  
**BIODIGESTOR**

**UBICACIÓN:**

**FECHA:** ene-14

**RESPONSABLE:** Br. NINA MAMANI Ruben

AFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	11.01	12.17	8.86	0.38	580
12:00 p.m.	0.0021	15.13	15.30	8.87	0.68	1350
04:00 p.m.	0.0021	15.00	12.30	8.88	0.95	1950
PROMEDIO	0.0021	13.71	13.26	8.87	0.67	1293.33
MAX		15.13	15.30	8.88	0.95	1950.00
MIN		11.01	12.17	8.86	0.38	580.00
DES ESTANDAR		2.34	1.77	0.01	0.29	686.76

EFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	10.80	12.17	9.04	0.54	1100
12:00 p.m.	0.0021	13.81	15.30	9.10	0.97	1920
04:00 p.m.	0.0021	15.10	12.30	9.04	1.06	2130
PROMEDIO	0.00	13.24	13.26	9.06	0.86	1716.67
MAX		15.10	15.30	9.10	1.06	2130.00
MIN		10.80	12.17	9.04	0.54	1100.00
DES ESTANDAR		2.21	1.77	0.03	0.28	544.27

FUENTE:Elaboracion propia

**FICHA MENSUAL DE MUESTREO**  
**BIODIGESTOR**

**UBICACIÓN:**

**FECHA:** feb-14

**RESPONSABLE:** Br. NINA MAMANI Ruben

AFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	10.60	10.83	8.99	0.35	750.00
12:00 p.m.	0.0021	13.50	14.83	8.59	0.36	720.00
04:00 p.m.	0.0021	14.60	13.86	6.83	0.68	1880.00
PROMEDIO	0.0021	12.90	13.17	8.14	0.46	1116.67
MAX		14.60	14.83	8.99	0.68	1880.00
MIN		10.60	10.83	6.83	0.35	720.00
DES ESTANDAR		2.07	2.09	1.15	0.19	661.24

EFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	10.70	10.83	9.02	0.57	1220.00
12:00 p.m.	0.0021	13.30	14.83	9.00	0.53	1000.00
04:00 p.m.	0.0021	14.60	13.86	9.00	0.75	1580.00
PROMEDIO	0.0021	12.87	13.17	9.01	0.62	1266.67
MAX		14.60	14.83	9.02	0.75	1580.00
MIN		10.70	10.83	9.00	0.53	1000.00
DES ESTANDAR		1.99	2.09	0.01	0.12	292.80

FUENTE:Elaboracion propia



**FICHA MENSUAL DE MUESTREO  
BIODIGESTOR**

**UBICACIÓN:**

**FECHA:** mar-14

**RESPONSABLE:** Br. NINA MAMANI Ruben

AFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	13.00	13.63	8.88	0.95	1950.00
12:00 p.m.	0.0021	13.30	14.19	8.64	0.33	680.00
04:00 p.m.	0.0021	15.30	12.98	8.24	0.67	1300.00
PROMEDIO		13.87	13.60	8.59	0.65	1310.00
MAX		15.30	14.19	8.88	0.95	1950.00
MIN		13.00	12.98	8.24	0.33	680.00
DES ESTANDAR		1.25	0.61	0.32	0.31	635.06
EFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	13.00	13.63	8.88	0.95	1950.00
12:00 p.m.	0.0021	13.40	14.19	9.00	0.40	800.00
04:00 p.m.	0.0021	14.60	12.98	8.94	0.82	1640.00
PROMEDIO		13.67	13.60	8.94	0.72	1463.33
MAX		14.60	14.19	9.00	0.95	1950.00
MIN		13.00	12.98	8.88	0.40	800.00
DES ESTANDAR		0.83	0.61	0.06	0.29	595.01

FUENTE:Elaboracion propia

**FICHA MENSUAL DE MUESTREO  
BIODIGESTOR**

**UBICACIÓN:**

**FECHA:** abr-14

**RESPONSABLE:** Br. NINA MAMANI Ruben

AFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	10.50	12.15	8.49	0.25	510.00
12:00 p.m.	0.0021	12.90	15.08	8.89	0.37	760.00
04:00 p.m.	0.0021	14.50	13.72	8.88	0.45	920.00
PROMEDIO		12.63	13.65	8.75	0.36	730.00
MAX		14.50	15.08	8.89	0.45	920.00
MIN		10.50	12.15	8.49	0.25	510.00
DES ESTANDAR		2.01	1.47	0.23	0.10	206.64
EFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	10.50	12.15	8.75	0.41	870.00
12:00 p.m.	0.0021	13.00	15.08	8.95	0.52	1060.00
04:00 p.m.	0.0021	14.30	13.72	9.01	0.80	1600.00
PROMEDIO		12.60	13.65	8.90	0.58	1176.67
MAX		14.30	15.08	9.01	0.80	1600.00
MIN		10.50	12.15	8.75	0.41	870.00
DES ESTANDAR		1.93	1.47	0.14	0.20	378.73

FUENTE:Elaboracion propia

**FICHA MENSUAL DE MUESTREO  
BIODIGESTOR**

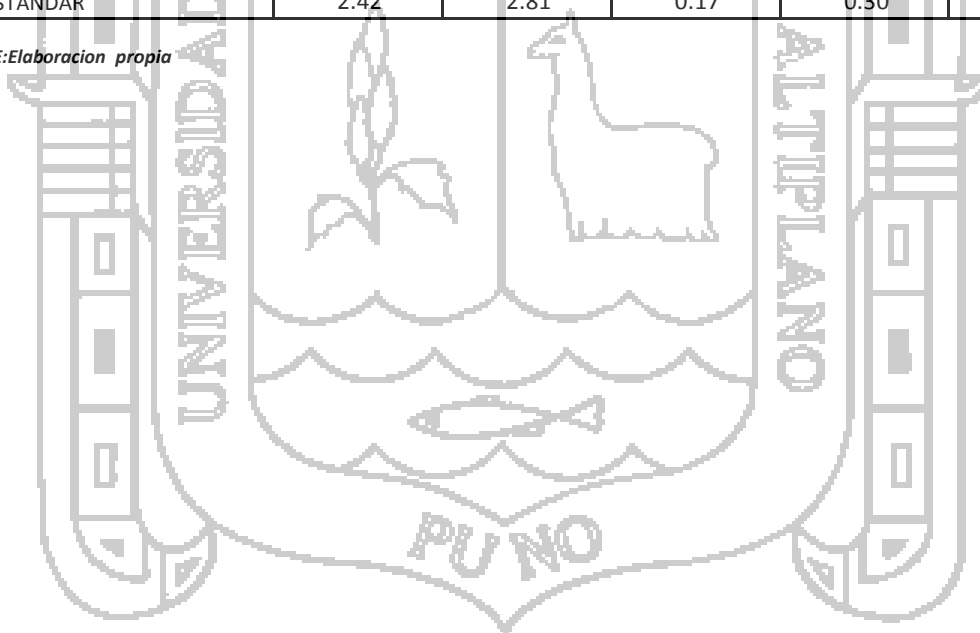
**UBICACIÓN:**

**FECHA:** may-14

**RESPONSABLE:** Br. NINA MAMANI Ruben

AFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	10.40	10.01	8.59	0.22	480.00
12:00 p.m.	0.0021	13.90	15.60	8.77	0.63	1270.00
04:00 p.m.	0.0021	15.60	13.25	8.64	0.69	1380.00
PROMEDIO		13.30	12.95	8.67	0.51	1043.33
MAX		15.60	15.60	8.77	0.69	1380.00
MIN		10.40	10.01	8.59	0.22	480.00
DES ESTANDAR		2.65	2.81	0.09	0.26	490.95
EFLUENTE						
HORA	Caudal	T° Agua	T° Amb.	pH	TDS	C.E
	L/Seg.	C°	C°		ppm	us/cm
07:00 a.m.	0.0021	10.30	10.01	8.79	0.41	800.00
12:00 p.m.	0.0021	14.10	15.60	9.07	1.01	1940.00
04:00 p.m.	0.0021	14.80	13.25	9.10	0.67	1300.00
PROMEDIO	0.0021	13.07	12.95	8.99	0.70	1346.67
MAX		14.80	15.60	9.10	1.01	1940.00
MIN		10.30	10.01	8.79	0.41	800.00
DES ESTANDAR		2.42	2.81	0.17	0.30	571.43

FUENTE:Elaboracion propia



**ANEXO - 3**

**MODELAMIENTO ESTADISTICO CON (IBM SPSS STATISTICS 22) DE LOS  
PARAMETROS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
EN BIODIGESTOR DE POLIETILENO**

**REGRESION LINEAL FINAL PARA DBO**

**Estadísticos descriptivos**

	Media	Desviación estándar	N
BDO	119,30	77,607	30
T	13,1850	1,74698	30
pH	8,7910	,42068	30
COND	1246,00	507,017	30
SST	193,10	141,991	30

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,976 <sup>a</sup>	,953	,951	17,155

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	166424,319	1	166424,319	565,521	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	8239,981	28	294,285		
	Total	174664,300	29			

**Coefficientes**

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		t	Sig.
		B	Error estándar	Beta			
1	(Constante)	16,278	5,346			3,045	,005
	SST	,534	,022	,976		23,781	,000

**Variables excluidas**

Modelo		En beta	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticas de colinealidad
						Tolerancia
1	T	,000 <sup>b</sup>	,003	,998	,001	,999
	pH	,083 <sup>b</sup>	1,993	,056	,358	,874
	COND	,032 <sup>b</sup>	,750	,460	,143	,916

**MODELO DE REGRESION FINAL PARA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO  
(DBO)**

**REGRESIÓN CUADRÁTICA**

**Resumen del modelo**

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,976	,953	,949	17,470

La variable independiente es SST.

**ANOVA**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	166424,320	2	83212,160	272,662	,000
Residuo	8239,980	27	305,184		
Total	174664,300	29			

La variable independiente es SST.

**Coefficientes**

	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		t	Sig.
	B	Error estándar	Beta			
	SST	,534	,073	,976		
SST ** 2	-2,457E-7	,000	,000	-,002	,999	
(Constante)	16,268	7,717		2,108	,044	

**MODELO DE REGRESION FINAL PARA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO  
(DBO)**

**REGRESIÓN CUBICA**

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,979	,959	,954	16,593

La variable independiente es SST.

ANOVA

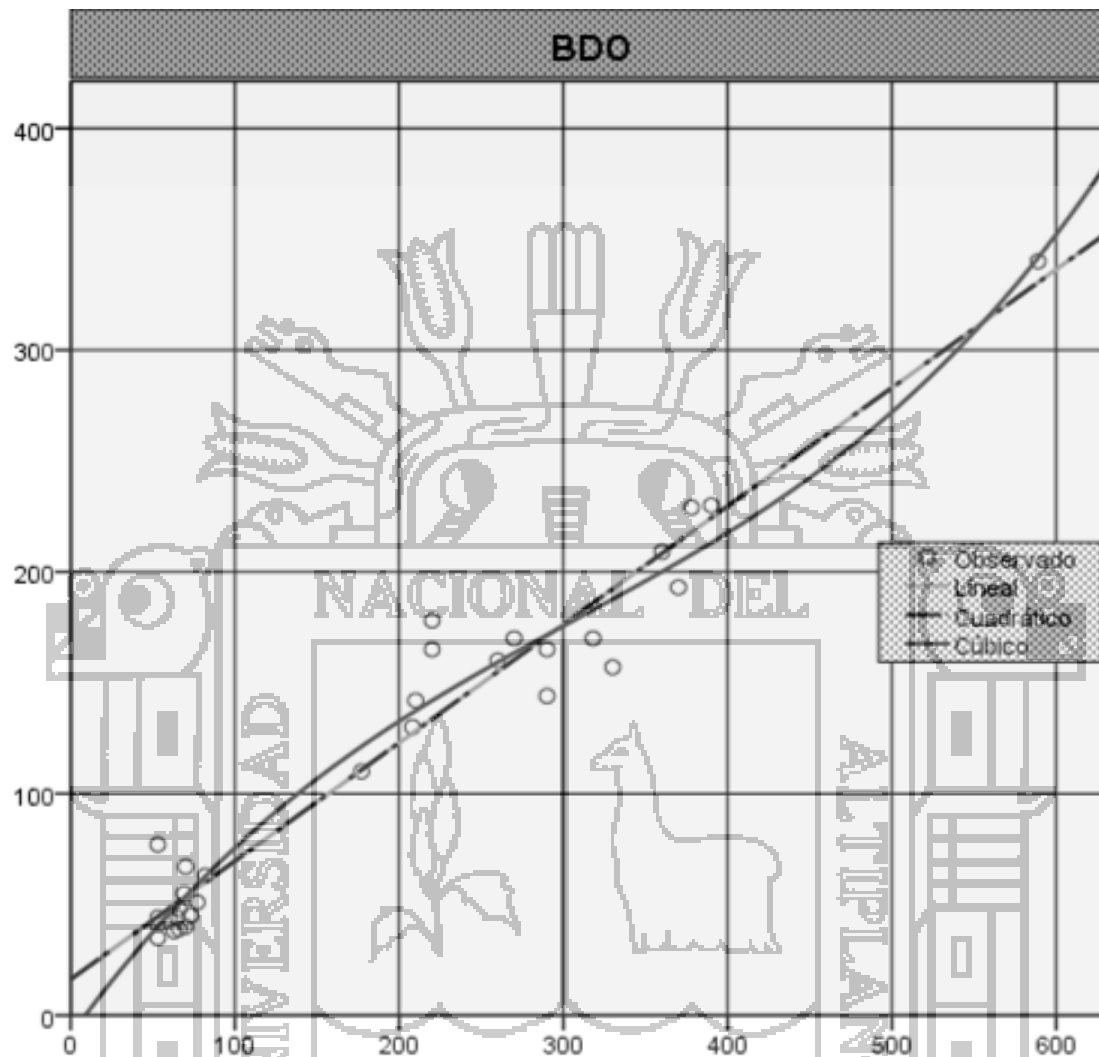
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	167505,546	3	55835,182	202,789	,000
Residuo	7158,754	26	275,337		
Total	174664,300	29			

La variable independiente es SST.

Coefficientes

	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		t	Sig.
	B	Error estándar	Beta			
SST	1,026	,258	1,878		3,975	,000
SST ** 2	-,002	,001	-1,938		-1,965	,060
SST ** 3	2,210E-6	,000	1,120		1,982	,058
(Constante)	-8,968	14,693			-,610	,547

Gráfico de líneas de ajuste por ecuaciones de regresión para demanda bioquímica de oxígeno (DBO)



$$DBO = 16.278 + 0.534 * SST$$

$$DBO = 16.267 + 0.533 * SST + -2.4569e-007 * (SST)^2$$

$$DBO = -8.967 + 1.0263 * SST + -0.00203 * (SST)^2 + 2.21035e-006 * (SST)^3$$

**ANEXO - 4**

**MODELAMIENTO ESTADISTICO CON (IBM SPSS STATISTICS 22) DE LOS  
PARAMETROS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
EN BIODIGESTOR DE POLIETILENO**

**REGRESION MODELADO FINAL PARA DQO**

**Estadísticos descriptivos**

	Media	Desviación estándar	N
DQO	196,47	118,619	30
T	13,1850	1,74698	30
pH	8,7910	,42068	30
COND	1246,00	507,017	30
SST	193,10	141,991	30

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,974 <sup>a</sup>	,949	,947	27,336

**ANOVA**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	387119,518	1	387119,518	518,035	,000 <sup>b</sup>
	Residuo	20923,949	28	747,284		
	Total	408043,467	29			

**Coefficientes**

Modelo		Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados		Sig.
		B	Error estándar	Beta	t	
1	(Constante)	39,341	8,519		4,618	,000
	SST	,814	,036	,974	22,760	,000

**Variables excluidas**

Modelo		En beta	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticas de colinealidad
						Tolerancia
1	T	,034 <sup>b</sup>	,778	,443	,148	,999
	pH	,033 <sup>b</sup>	,723	,476	,138	,874
	COND	,035 <sup>b</sup>	,780	,442	,148	,916



## MODELO DE REGRESION FINAL PARA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

## REGRESIÓN CUADRÁTICA

## Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,978	,957	,953	25,591

La variable independiente es SST.

## ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	390361,006	2	195180,503	298,028	,000
Residuo	17682,461	27	654,906		
Total	408043,467	29			

La variable independiente es SST.

## Coeficientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		Sig.
	B	Error estándar	Beta	t	
SST	1,041	,108	1,246	9,681	,000
SST ** 2	,000	,000	-,286	-2,225	,035
(Constante)	21,518	11,304		1,904	,068



**MODELO DE REGRESION FINAL PARA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)**

**REGRESIÓN CÚBICA**

**Resumen del modelo**

R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
,978	,957	,952	25,880

La variable independiente es SST.

**ANOVA**

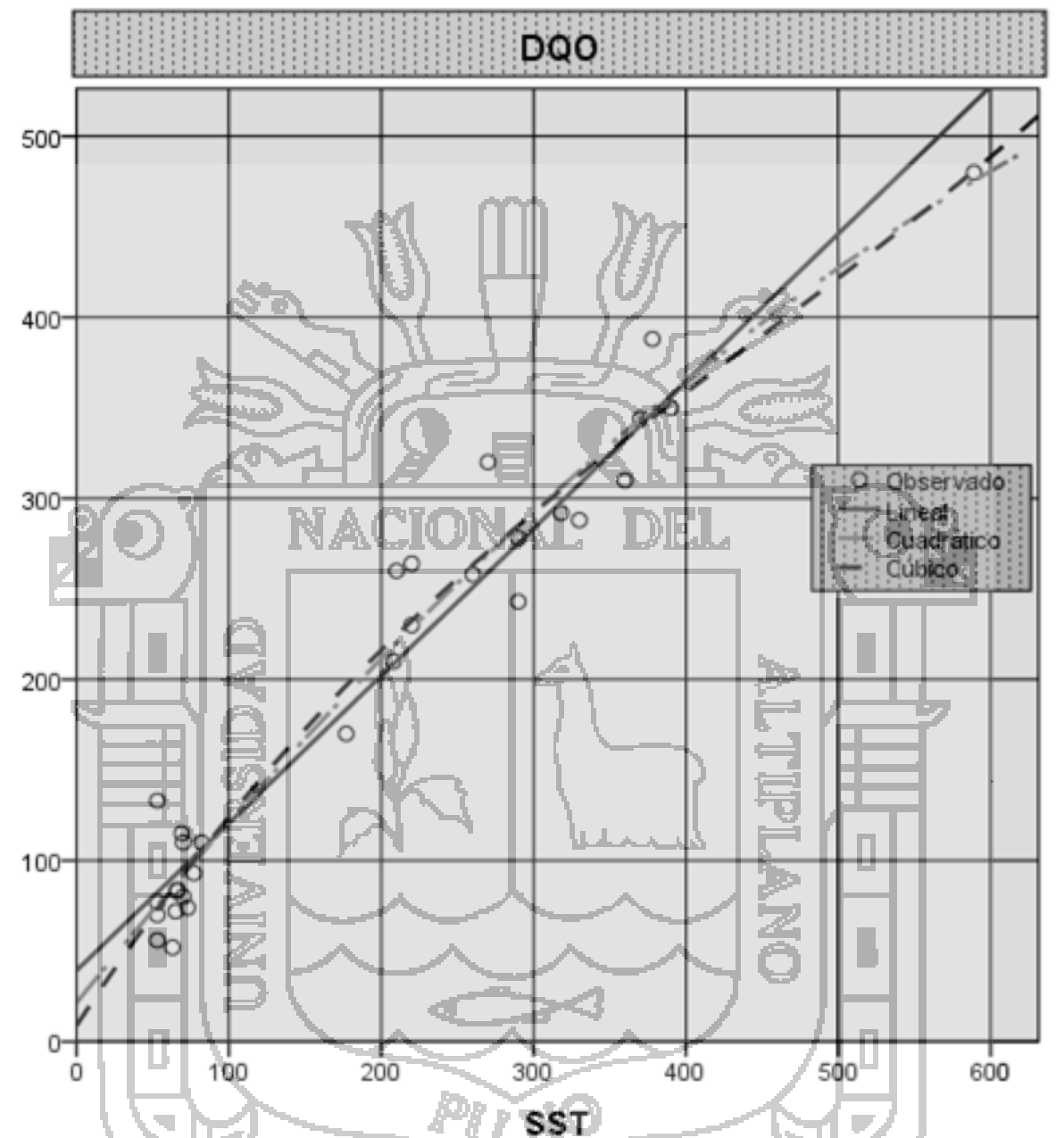
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	390629,486	3	130209,829	194,410	,000
Residuo	17413,981	26	669,768		
Total	408043,467	29			

La variable independiente es SST.

**Coefficientes**

	Coefficientes no estandarizados		Coefficientes estandarizados		t	Sig.
	B	Error estándar	Beta			
SST	1,287	,403	1,540		3,195	,004
SST ** 2	-,001	,002	-,918		-,912	,370
SST ** 3	1,101E-6	,000	,365		,633	,532
(Constante)	8,943	22,917			,390	,700

Gráfico de líneas de ajuste por ecuaciones de regresión para demanda química de oxígeno (DQO)



$$DQO = 39.341 + 0.814 * SST$$

$$DQO = 21.517 + 1.0410 * SST + -0.0004593 * (SST)^2$$

$$DQO = 8.942 + 1.286 * SST + -0.00147 * (SST)^2 + 1.1014e-006 * (SST)^3$$



**ANEXO - 5**

**DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL (WETLANDS)**

**DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES CON HUMEDALES ARTIFICIALES- BORRERO JAIME (1999)**

D	
C <sub>e</sub> : DBO5 efluente, mg/L	1
C <sub>o</sub> : DBO5 afluente, mg/L	
K : constante de velocidad de reacción de primer orden, d <sup>-1</sup>	0.67
T: temperatura del liquido en el sistema, °C	13.19
n: porosidad efectiva del medio, fracción decimal	0.
y: profundidad promedio del liquido en el lecho, m	0.
Q: caudal promedio a traves del lecho, m <sup>3</sup> /d	0.18

$$KT = K20 * 1.06^{(T - 20)}$$

$$As = \frac{Q * (Inco - Ince)}{KT * y * n}$$

Hallando el coeficiente

**KT= 0.45054882**

Caudal m <sup>3</sup> /d	DBO-Aflu (mg/L)	DBO-Eflu (mg/L)	% de remocion	KT ( d <sup>-1</sup> )	Porosidad (n)	Profundidad (m)	As (m <sup>2</sup> )
0.18	44.67	15.00	33.58	0.45	0.70	0.50	1.25
0.18	48.67	15.00	30.82	0.45	0.70	0.50	1.34
0.18	46.67	15.00	32.14	0.45	0.70	0.50	1.30
0.18	84.67	15.00	17.72	0.45	0.70	0.50	1.98
0.18	41.00	15.00	36.59	0.45	0.70	0.50	1.15
Promedio							1.40

$$t = \frac{n * L * W * y}{Q}$$

Hallando el tiempo de residencia en el humedal

% de remocion	N° Canales	As por canal (m <sup>2</sup> )	Caudal por canal m <sup>3</sup> /d	Tiempo RH(d)	L: (m)	W: (m)	As por canal (m <sup>2</sup> )
33.582	1.00	1.25	0.18	2.43	1.25	1.00	1.25
30.822	1.00	1.34	0.18	2.65	1.30	1.05	1.37
32.143	1.00	1.30	0.18	2.53	1.30	1.00	1.30
17.717	1.00	1.98	0.18	3.73	1.60	1.20	1.92
36.585	1.00	1.15	0.18	2.24	1.15	1.00	1.15
Promedio				2.72	1.32	1.05	1.40
Ajustado				<b>2.72</b>	<b>1.40</b>	<b>1.00</b>	<b>1.40</b>

**DIMENSIONES OPTIMAS PARA BIOFILTRO (HUMEDAL ARTIFICIAL-WETLANDS)**

y: profundidad promedio del liquido en el lecho, m	0.5
L: longitud del lecho, m	1.40
W: ancho del lecho, m	1.00
A <sub>s</sub> : área superficial del lecho, m <sup>2</sup>	1.40
Q: caudal promedio a traves del lecho, m <sup>3</sup> /d	0.18



**ANEXO - 6**

EFICIENCIA DEL SISTEMA - BIODIGESTOR DE POLIETILENO								
T (afluente)	T (efluente)	Efc %	pH (afluente)	Ph (efluente)	Efc %	COND (afluente)	COND (efluente)	Efc %
11.01	10.80	2%	8.86	9.04	-2%	0.58	1.10	-90%
10.60	10.70	-1%	8.99	9.02	0%	0.75	1.22	-63%
13.00	13.00	0%	8.88	8.88	0%	1.95	1.95	0%
10.50	10.50	0%	8.49	8.75	-3%	0.51	0.86	-69%
10.40	10.30	1%	8.59	8.79	-2%	0.48	0.80	-67%
15.13	13.81	9%	8.87	9.10	-3%	1.35	1.92	-42%
13.50	13.30	1%	8.59	9.00	-5%	0.72	1.00	-39%
13.30	13.40	-1%	8.64	9.00	-4%	0.68	0.80	-18%
12.90	13.00	-1%	8.89	8.95	-1%	0.76	1.06	-39%
13.90	14.10	-1%	8.77	9.07	-3%	1.27	1.94	-53%
15.00	15.10	-1%	8.88	9.04	-2%	1.95	2.13	-9%
14.60	14.60	0%	6.83	9.00	-32%	1.88	1.58	16%
15.30	14.60	5%	8.24	8.94	-8%	1.30	1.64	-26%
14.50	14.30	1%	8.88	9.01	-1%	0.92	1.60	-74%
15.60	14.80	5%	8.64	9.10	-5%	1.38	1.30	6%
		1%			-5%			-38%

S.S.T (afluente)	S.S.T (efluente)	Efc %	DBO5 (afluente)	DBO5 (efluente)	Efc %	DQO (afluente)	DQO (efluente)	Efc %
290.00	53.00	82%	165.00	44.00	73%	278.00	77.00	72%
390.00	77.00	80%	230.00	51.00	78%	350.00	93.00	73%
210.00	66.00	69%	142.00	39.00	73%	260.00	84.00	68%
360.00	53.00	85%	209.00	35.00	83%	310.00	56.00	82%
220.00	66.00	70%	165.00	48.00	71%	230.00	83.00	64%
318.00	82.00	74%	170.00	63.00	63%	292.00	110.00	62%
290.00	73.00	75%	144.00	45.00	69%	243.00	74.00	70%
270.00	69.00	74%	170.00	55.00	68%	320.00	115.00	64%
378.00	70.00	81%	229.00	40.00	83%	388.00	80.00	79%
589.00	177.00	70%	340.00	110.00	68%	480.00	170.00	65%
220.00	53.00	76%	178.00	77.00	57%	264.00	133.00	50%
330.00	70.00	79%	157.00	67.00	57%	288.00	110.00	62%
208.00	63.00	70%	130.00	38.00	71%	210.00	52.00	75%
370.00	53.00	86%	193.00	41.00	79%	344.00	70.00	80%
260.00	65.00	75%	160.00	44.00	73%	258.00	72.00	72%
		76%			71%			69%

EFICIENCIA DE PARAMETROS BACTERIOLOGICOS								
Coliformes Totales (NMP/100ml)		Efic %	Coliformes Fecales (NMP/100ml)		Efic %	Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)		Efic %
11000.00	4600.00	58%	3900.00	900.00	77%	750.00	530.00	29%
11000.00	2900.00	74%	5300.00	750.00	86%	640.00	350.00	45%
11000.00	5300.00	52%	4300.00	440.00	90%	750.00	420.00	44%
11000.00	2400.00	78%	4900.00	420.00	91%	950.00	640.00	33%
11000.00	4600.00	58%	4100.00	430.00	90%	640.00	360.00	44%
		<b>64%</b>			<b>87%</b>			<b>39%</b>

EFICIENCIA DE REMOCION DE LOS PARAMETROS								
T	pH	COND	S.S.T.	DBO5	DQO	Coliformes Totales (NMP/100ml)	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	Coliformes Totales (NMP/100ml)
1%	-5%	-38%	76%	71%	69%	64%	87%	39%



**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ESPINAR**  
**REGION -CUSCO-PERU**  
**LABORATORIO DE AGUAS VIRGEN DE CHAPI**  
**UOSAPAL**

**CONSTANCIA**

La Municipalidad Provincial de Espinar -Cusco, a través del Área de Gerencia de Servicios Públicos y Gerencia de Medio Ambiente, da constancia a los resultados de Análisis de de Muestras de aguas residuales Tratadas en Biodigestores de Polietileno Cap 600lt, en la comunidad de Oquebamba sector Santa Ana, que se realizaron en nuestro laboratorio de aguas Virgen de Chapi, las cuales fueron extraídas del banco de datos existente en esta entidad y se muestran en la parte inferior a solicitud del Sr. Ruben Santos Nina Mamani.

Fecha: DE MUESTREOS ENERO A MAYO DEL 2014

		MESES DE MUESTREO				
		ENERO	FERBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
		60/01/14	03/02/14	04/03/14	10/04/14	19/05/14
Hora 7 a.m.						
Parámetros	Unidad	Punto 1				
Temperatura	°c	11.01	10.60	13.00	10.50	10.40
PH	PH	8.86	8.99	8.88	8.49	8.59
Conductividad	ms	0.58	0.75	1.95	0.51	0.48
Solidos toles disueltos	ppt	0.38	0.35	0.95	0.25	0.22
Hora 12 a.m.						
Parámetros	Unidad	Punto 1				
Temperatura	°c	15.13	13.50	13.30	12.90	13.90
PH	PH	8.87	8.59	8.64	8.89	8.77
Conductividad	ms	1.35	0.72	0.68	0.76	1.27
Solidos toles disueltos	ppt	0.68	0.36	0.33	0.37	0.63

Mauricio Ramos Ponce De León  
 ING. CIVIL  
 CIP. 8300

Ing. CIP YOLI CÁCERES CÁCERES  
 Registro 138753 - QUIMICA





MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ESPINAR

**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ESPINAR**

**REGION -CUSCO-PERU**

**LABORATORIO DE AGUAS VIRGEN DE CHAPI**

**UOSAPAL**

Hora 16 p.m.		Punto 1				
Parámetros	Unidad	MESES DE MUESTREO				
		ENERO 60/01/14	FERBRERO 03/02/14	MARZO 04/03/14	ABRIL 10/04/14	MAYO 19/05/14
Temperatura	°c	15	14.6	15.3	14.5	15.6
PH	PH	8.88	6.83	8.24	8.88	8.64
Conductividad	ms	1.95	1.88	1.3	0.92	1.38
Solidos toles disueltos	ppt	0.95	0.68	0.67	0.45	0.69

Hora 7 a.m.		Punto 2				
Parámetros	Unidad	MESES DE MUESTREO				
		ENERO 60/01/14	FERBRERO 03/02/14	MARZO 04/03/14	ABRIL 10/04/14	MAYO 19/05/14
Temperatura	°c	10.8	10.7	13	10.5	10.3
PH	PH	9.04	9.02	8.88	8.75	8.79
Conductividad	ms	1.1	1.22	1.95	0.86	0.8
Solidos toles disueltos	ppt	0.54	0.57	0.95	0.41	0.41

Hora 12 a.m.		Punto 2				
Parámetros	Unidad	MESES DE MUESTREO				
		ENERO 60/01/14	FERBRERO 03/02/14	MARZO 04/03/14	ABRIL 10/04/14	MAYO 19/05/14
Temperatura	°c	13.81	13.3	13.4	13	14.1
PH	PH	9.1	9	9	8.95	9.07
Conductividad	ms	1.92	1.1	0.8	1.06	1.94
Solidos toles disueltos	ppt	0.97	0.52	0.4	0.52	1.01

Hora 16 p.m.		Punto 2				
Parámetros	Unidad	MESES DE MUESTREO				
		ENERO 60/01/14	FERBRERO 03/02/14	MARZO 04/03/14	ABRIL 10/04/14	MAYO 19/05/14
Temperatura	°c	15.1	14.6	14.6	14.3	14.8
PH	PH	9.04	9	8.94	9.01	9.1
Conductividad	ms	2.13	1.58	1.64	1.6	1.3
Solidos toles disueltos	ppt	1.06	0.75	0.82	0.8	0.67



Maurilio Ramos Ponce De León  
ING. CIVIL  
CIP. 8090

Ing. CIP YOLI CÁCERES CÁCERES  
Registro 138753 - QUIMICA



**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ESPINAR**  
**REGION -CUSCO-PERU**  
**LABORATORIO DE AGUAS VIRGEN DE CHAPI**  
**UOSAPAL**

**DATOS AFLUENTE**

Estación de muestreo	Hora de muestreo	Turno	Fecha de muestreo	Código de muestra	SST	A y G	DHOS	DOO
AFLUENTE	06.55	A	01/07/2014	1	290	8	165	278
	13.30	B		2	390	17	230	350
	17.50	C		3	210	15	142	280
	06.50	A		4	360	28	209	310
	13.30	B	02/07/2014	5	280	14	165	230
	17.50	C		6	310	30	190	292
	06.50	A		7	230	10	144	243
	13.35	B	03/07/2014	8	270	17	170	320
	17.50	C		9	370	22	195	388
	06.50	A		10	280	24	160	480
	13.30	B	04/07/2014	11	220	20	178	264
	17.40	C		12	330	24	190	288
	07.00	A		13	208	19	130	190
	13.55	B	14	370	28	193	350	
	18.02	C	15	280	24	160	280	

**DATOS EFLUENTE**

Estación de muestreo	Hora de muestreo	Turno	Fecha de muestreo	Código de muestra	SST	A y G	DHOS	DOO
EFLUENTE	07.15	A	01/07/2014	1	53	7	44	77
	13.57	B		2	77	13	51	95
	17.55	C		3	66	9	38	64
	06.50	A	02/07/2014	4	53	14	35	66
	13.50	B		5	66	10	48	63
	17.55	C		6	82	16	63	110
	06.50	A	04/03/2014	7	75	7	45	74
	13.50	B		8	69	10	55	115
	17.50	C		9	65	6	40	60
	07.15	A	10/04/2014	10	177	15	110	170
	13.55	B		11	53	8	77	133
	17.45	C		12	70	11	67	110
	07.05	A	19/05/2014	13	63	4	38	52
	14.00	B		14	55	11	41	70
	18.06	C		15	65	8	44	72

Se expide la presente CONSTANCIA a pedido del interesado para los fines que estime por conveniente.

Espinar 01 de Julio del 2014



Maurilio Ramos Ponce De León  
 ING. CIVIL  
 CIP. 8530

Jig. CIPYOLI CÁCERES CÁCERES  
 Registro 138753 - OUIMICA





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
Facultad de Ciencias Biológicas



Laboratorio de Microbiología

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

**I. DATOS GENERALES:**

1. SOLICITANTE : Br. Ing. Agrícola RUBEN SANTOS NINA MAMANI
2. MUESTRA : Agua residual (tratada en biodigestor de polietileno)
3. TIPO DE ANALISIS : Bacteriológico
4. PROCEDENCIA : Comunidad de Oquebamba, Sector Santa Ana, Espinar Cusco
5. Nº DE MUESTRAS : 05 muestras de 1000 ml c/u
6. METODO DE ANALISIS: Numero mas probable (NMP) de indicadores de contaminación.

**II. RESULTADOS:**

**MUESTRA 01: AGUA RESIDUAL (06-01-2014)**

BACTERIAS INDICADORAS	ENTRADA	SALIDA
Coliformes totales NMP/100 ml	11000	4600
Coliformes fecales NMP/100 ml	3900	900
Coliformes termo tolerantes NMP/ 100 ml	750	530

**MUESTRA 02: AGUA RESIDUAL (03-02-2014)**

BACTERIAS INDICADORAS	ENTRADA	SALIDA
Coliformes totales NMP/100 ml	11000	2900
Coliformes fecales NMP/100 ml	5300	750
Coliformes termo tolerantes NMP/100 ml	640	350

**MUESTRA 03: AGUA RESIDUAL (04-03-2014)**

BACTERIAS INDICADORAS	ENTRADA	SALIDA
Coliformes totales NMP/100 ml	11000	5300
Coliformes fecales NMP/100 ml	4300	440
Coliformes termo tolerantes NMP/100 ml	750	420

**MUESTRA 04: AGUA RESIDUAL (10-04-2014)**

BACTERIAS INDICADORAS	ENTRADA	SALIDA
Coliformes totales NMP/100 ml	11000	2400
Coliformes fecales NMP/100 ml	4900	420
Coliformes termo tolerantes NMP/100 ml	950	640

**MUESTRA 05: AGUA RESIDUAL (19-05-2014)**

BACTERIAS INDICADORAS	ENTRADA	SALIDA
Coliformes totales NMP/100 ml	11000	4600
Coliformes fecales NMP/100 ml	4100	430
Coliformes termo tolerantes NMP/100 ml	640	360

Los análisis bacteriológicos se realizaron siguiendo las metodologías establecidas por El CEPIS (Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias de ambiente, Lima-Perú, 1998) y APHA (American public health association 19<sup>th</sup>) y Standares Nacionales de Calidad ambiental para aguas Res. Ministerial 246-2010, MINAM 2012-Lima

Puno, 30 de Mayo del 2014



## ANEXO - 8

### Métodos analíticos para determinación de parámetros fisicoquímico básicos en aguas residuales

#### 1. pH

Este en fase acuosa se define como el logaritmo negativo de la actividad del ion hidronio (protón hidratado, H<sup>+</sup>):  $-\log a_{H^+}$ , es importante conocer este valor en las aguas residuales y de ello podemos determinar su basicidad o acidez de la misma

##### 1.1 Método analítico.

Este parámetro se determina usando un equipo multiparametrico de marca HACH, el ensayo se realiza en el laboratorio, introduciendo el electrodo en el recipiente de muestreo., para obtener el resultado de dicho parámetro.muestreo., para obtener el resultado de dicho parámetro.

#### 2. Conductividad

La conductividad eléctrica es una medida de la corriente conducida por los iones presentes en el agua.

##### 2.1 Método analítico

Este parámetro se determina usando un equipo multiparametrico de marca HACH, el ensayo se realiza en el laboratorio, introduciendo el electrodo en el recipiente de muestreo., para obtener el resultado de dicho parámetro.

Es recomendable utilizar equipos que tengan compensación de temperatura, en el caso contrario habría que efectuar dicha compensación manualmente.

### **3. Temperatura**

El principio se basa en las propiedades de la materia de dilatarse o contraerse con los cambios de temperatura o a propiedades eléctricas y físicas de los materiales con los que se realizara la medición; estas propiedades siempre son las mismas para una temperatura dada lo que permite graduar los instrumentos de medición, es por ello que este parámetro cumple un papel importante en la determinaciones analíticas de las aguas residuales.

#### **3.1 Método analítico**

Este parámetro se determina usando un equipo multiparametrico de marca HACH, el ensayo se realiza en el laboratorio, introduciendo el electrodo en el recipiente de muestreo., para obtener el resultado de dicho parámetro.

### **4. Sólidos Totales en Suspensión**

#### **4.1. Principio del proceso**

Se filtra una muestra previamente homogeneizada, mediante un filtro estándar de fibra de vidrio (Whatman 934-AH; tamaño de retención de partículas de 1.5  $\mu\text{m}$ ), previamente tarado en seco. El residuo retenido en el mismo se seca a peso constante a 103 - 105° C. El aumento de peso de filtro representa los sólidos totales en suspensión.

#### **4.2. Procedimiento**

Se taran individualmente en placas de vidrio los filtros estándar necesarios y se anota el peso inicial seco, determinado a 103-105°C. Se filtra un volumen

determinado de muestra homogeneizada a través de un filtro tarado, con una bomba de vacío. Se seca en estufa a 103- 105° C hasta peso constante.

• **Cálculos:**

Sólidos totales (mg/litro) =  $[(A-B)*1000]/\text{Volumen de muestra (ml)}$

A: peso de residuo seco + filtro (mg)

B: tara del filtro (mg)

## 5. Demanda Química de Oxígeno en Aguas Residuales (DQO)

### 5.1. Fundamento

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico.

La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural. En caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta pH = 2- 3. Sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruros.

### 5.2. Principio del método del bicromato potásico

En condiciones definidas, ciertas materias contenidas en el agua se oxidan con un exceso de bicromato potásico, en medio ácido y en presencia de sulfato de plata y de sulfato de mercurio. El exceso de bicromato potásico se valora con sulfato de hierro y amonio.

### 5.3. Reactivos

- Sulfato de mercurio ( $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ ), para evitar interferencias de los haluros.

- Bicromato potásico ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,25 N: Disolver 12,2588 g de  $K_2Cr_2O_7$  previamente secado 24h en estufa a  $105^\circ C$ , en 1 litro de agua destilada.
- Solución de sulfato de plata en ácido sulfúrico: Disolver 5 g de  $Ag_2SO_4$  en 540 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado (densidad 1.84).
- Solución de sulfato de hierro y amonio 0,25 N  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \times 6H_2O$  o SAL DE MOHR: Disolver 98,04 g de  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \times 6H_2O$  en agua destilada. Añadir 20 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, enfriar y envasar a 1 litro con agua destilada. La solución debe estandarizarse diariamente, para determinar exactamente su normalidad, frente a la solución de  $K_2Cr_2O_7$  0.25N.
- Indicador de DQO o solución de ferroína: Disolver 1,485 g de 1,10 fenantrolina ( $C_{12}H_8N_2 \times H_2O$ ) y 0,695 g de sulfato de hierro heptahidrato en agua destilada, y llevar a volumen de 100 ml.
- Valoración de la sal de MOHR: Diluir en un matraz Erlenmeyer de 100 ml de capacidad, 10 ml de  $K_2Cr_2O_7$  0,25 N con agua destilada, hasta aproximadamente 100 ml. Añadir 30 ml de ácido sulfúrico concentrado y enfriar. Añadir unas 5 gotas del indicador ferroína y valorar hasta viraje a rojo violáceo con sal de MOHR.
- Cálculos:  
$$f = \frac{[\text{Volumen de } Cr_2O_7K_2 \text{ 0,25 N utilizado} \times 0,25]}{\text{Volumen de sal de MOHR consumido en la valoración.}}$$

#### 5.4. Procedimiento

- Se enciende la placa calefactora.
- Se pesan 0,44 g de  $HgSO_4$  en matraz para reflujo de 100 ml. La cantidad propuesta de  $HgSO_4$  es suficiente en la mayoría de los casos, para eliminar las posibles interferencias por Cl en la muestra.

- Se colocan unas bolitas de vidrio en el matraz para favorecer la ebullición.
- Se añaden 20 ml de muestra.
- Se añaden lentamente 30 ml de la solución de sulfato de plata en ácido sulfúrico, con una pipeta de vertido, mezclando bien para disolver el  $\text{HgSO}_4$ , y enfriar.
- Se añaden 12,5 ml de solución de bicromato potásico 0,25 N y se mezclan bien todos los productos añadidos.
- Sobre el matraz se dispone el elemento refrigerante (condensador del reflujo), y se somete a reflujo durante 2 horas.
- El conjunto se deja enfriar; el condensador del reflujo se lava con agua destilada, y después se separa el matraz del refrigerante.
- La muestra oxidada se diluye hasta 75 ml con agua destilada y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.
- Se añaden unas 5 gotas del indicador ferroína.
- Se procede a valorar el exceso de bicromato con la sal de Mohr.

El punto final de análisis se toma cuando el color varía bruscamente de azul verdoso a pardo rojizo.

Este método resulta eficaz para muestras que tengan una DQO entre 50 y 800 mg/l. Para niveles superiores diluir el agua problema y para contenidos menores aplicar otro método.

• **Cálculos:**

$\text{DQO (mg de oxígeno/litro)} = [(A-B) \times N \times 8000] / \text{Volumen (ml) de muestra.}$

A= Volumen (ml) de sal de Mohr gastado en el blanco.

B= Volumen (ml) de sal de Mohr gastado en la muestra.

N= Normalidad de la sal de Mohr.

## 6. Análisis Microbiológico

El análisis microbiológico de las aguas residuales comprende, como determinaciones básicas, los microorganismos totales, coliformes totales y coliformes fecales. Existen en el mercado medios de cultivo específicos para cada una de estas determinaciones, como los suministrados por la casa Millipore. A continuación se describe un método rutinario basado en estos medios de cultivo comerciales

### 6.1. Principios de proceso

Se trata de separar los microorganismos del agua por filtración a través de membranas filtrantes específicas y depositar las membranas con el residuo en cajas de Petri, que contienen un medio de cultivo específico para el crecimiento de los microorganismos que se desea determinar, en un soporte de papel de filtro. Todo el material que se utiliza debe estar esterilizado con el objeto de que no exista contaminación externa. La esterilización del material se realiza en autoclave a 121°C durante 20 minutos.

Los medios de cultivo propuestos son líquidos ya que estos medios tienen más facilidad para penetrar en los poros de las membranas y bañar la superficie de las mismas.

### 6.2. Medios de cultivo

Se indican los nombres comerciales de los medios de cultivo comercializados por Millipore:

- Medio de cultivo para el recuento de microorganismos totales: TGE (Tryptone Glucose Extract Broth).



- Medio de cultivo para el recuento de coliformes totales: m-Endo Total Coliform Broth.

- Medio de cultivo para el recuento de coliformes fecales: m-FC Broth.

### **6.3. Procedimiento**

Se sigue la metodología de filtración sobre membranas, utilizando el medio de cultivo apropiado para el recuento de los distintos tipos de microorganismos. Para ello se toman inicialmente 10 ml de agua residual, se introducen en un matraz de 100 ml, y se enrasa con agua estéril.

La dilución a realizar de la muestra depende del grado de contaminación esperado. Las etapas necesarias para los análisis microbiológicos son las siguientes:

#### **6.3.1. Preparación de las placas Petri**

- Se abre la placa Petri, que contiene un soporte absorbente estéril.
- Se abre una ampolla de 2 ml del medio adecuado y se vierte sobre el soporte absorbente, distribuyéndolo por toda la superficie.

#### **6.3.2. Filtración de la muestra**

Se realiza en matraz kitsatos de vidrio sobre el que se sitúa un porta filtros de plástico dotado de disco filtrante de ésteres de celulosa con 0,45  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro.

- Se coloca la membrana en el filtro con la ayuda de unas pinzas esterilizadas.
- Se toman 10 ml de la muestra convenientemente diluida y se lleva al porta filtro.
- Se conecta la bomba de vacío, para filtrar la muestra. Los posibles microorganismos quedarán retenidos en el filtro.

- Se desconecta la bomba de vacío. Con las pinzas flameadas se toma el filtro y se coloca en la placa Petri preparada para la determinación microbiológica.

### 6.3.3. Incubación y recuento de colonias

- La placa Petri conteniendo el disco filtrante con el residuo se lleva a estufa termostaticada a 37 °C para la determinación de microorganismos totales y coliformes totales, o a 44,5 °C para la de coliformes fecales, durante un período de 24 horas.

- Tras la incubación, se procede al recuento de las colonias formadas en cada disco filtrante, expresando los resultados en millones de microorganismos por litro de agua. El color de las colonias desarrolladas en los medios indicados varía según el microorganismo que se trate:

- Microorganismos totales: colonias de color amarillento.
- Coliformes totales: colonias rojizas con brillo verde metálico.
- Coliformes fecales: colonias de color azulado.

## 7. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)- Método Winkler

### 7.1.Introducción

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general aguas residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO<sub>5</sub> se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO<sub>5</sub> representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables.

### 7.2. Objetivos

- Determinar la DBO<sub>5</sub> a muestras de aguas residuales domésticas
- Interpretar los resultados obtenidos de DBO<sub>5</sub> respecto al tratamiento empleado y a la normatividad.

### 7.3. Materiales y reactivos

- Bomba
- Pipetas graduadas de 10 ml
- Botellas Winkler
- Oxímetro
- Incubadora

#### 7.4. Procedimiento

Preparación del agua de dilución.

Agregar por cada litro de agua de dilución 1 mL de cada una de las siguientes soluciones:

- Regulador de fosfatos pH 7.2
- MgSO<sub>4</sub>
- CaCl<sub>2</sub>
- FeCl<sub>3</sub>

El agua de dilución se debe airear durante media hora con bombas ó 1 hora con agitador magnético.

#### 7.5. Determinación de la DBO<sub>5</sub>

- a. Técnica de dilución: Preparar 2 frascos para la muestra y 1 para el blanco. Utilizando una pipeta volumétrica, añádanse cantidades adecuadas de muestra a los frascos Winkler de acuerdo a la DBO<sub>5</sub> esperada según la siguiente tabla:

Volumen de la alícuota	Intervalos de DBO esperados
0.05	12000 - 42000
0.1	600 - 21000
0.2	3000 - 10500
0.5	1200 - 4200
1	600 - 2100
2	300 - 1050
5	120 - 420
10	60 - 210
20	30 - 105
50	12 - 42
100	6 - 21
300	0 - 7

Llene los frascos con agua de dilución hasta la mitad y determine la concentración de oxígeno disuelto con el Oxímetro, luego llene los frascos con agua de dilución hasta el tope y tápelos.

b. **Incubación:** Incube a  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  las botellas de DBO5 que contengan las muestras con las diluciones deseadas, y los controles.

c. **Cálculos:**

Cuando el agua de dilución ha sido inoculada aplique la siguiente fórmula:

Formula

D1 = OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación, mg/l.

D2 = OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a  $20^{\circ}\text{C}$ , mg/l.

P = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

B1 = OD del control de simiente antes de la incubación, mg/l.

B2 = OD del control de simiente después de la incubación, mg/l.

f = proporción de la simiente en la muestra diluida con respecto a la del control de simiente = (% de simiente en la muestra diluida) / (% de simiente en el control de simiente).

**ANEXO - 9**

Cuadro de comparación de parámetros en efluente del sistema de tratamiento con Biodigestor, Límites Máximos Permisibles Para aguas de la categoría 3 según D.S. N°002-2008 MINAM

<b>PARAMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES</b>					
PARAMETROS	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE		ACTUAL	NIVEL DE CONTAMINACION
		TALLO BAJO	TALLO ALTO		
Coliformes termo tolerantes	NMP/100ml	1000	2000	460	-----
Coliformes fecales	NMP/100ml	100	100	588	Fuerte
Coliformes totales	NMP/100ml	5000	5000	3960	-----
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	<=15	<=15	53.13	Fuerte
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	40	40	91.30	Fuerte
Ph	Unidad	6.5----8.5		8.98	básica
<b>PARAMETROS PARA BEBIDA DE ANIMALES</b>					
Coliformes totales	NMP/100ml	5000		3960	-----
Coliformes termo tolerantes	NMP/100ml	1000		460	-----
Coliformes fecales	NMP/100ml	100		588	Fuerte
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	<=15		53.13	Fuerte
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	40		91.30	Fuerte
pH	Unidad	6.5----8.5		8.98	básica
Conductividad eléctrica	uS/cm	<=5000		1393.33	-----

ANEXO – 10 PANEL FOTOGRAFICO



TOMA DE MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL EN BIODIGESTOR



LABORATORIO UOSAPAL VIRGEN DE CHAPI DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE ESPINAR



USO DE INSTRUMENTO MULTIPARAMETRICO HACH



PREPARANDO LAS MUESTRAS EN LABORATORIO PARA ANALISIS FISICO-QUIMICO

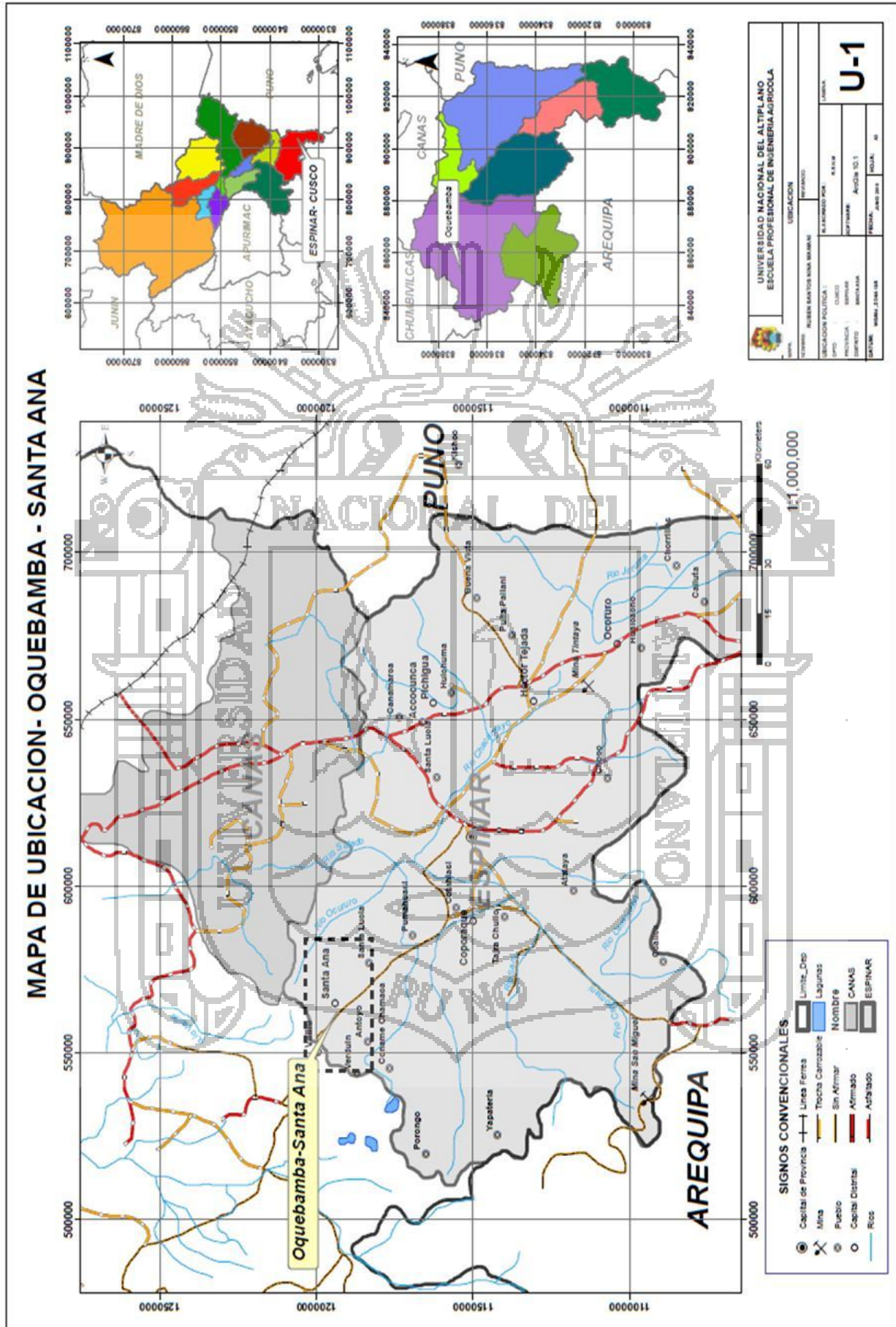


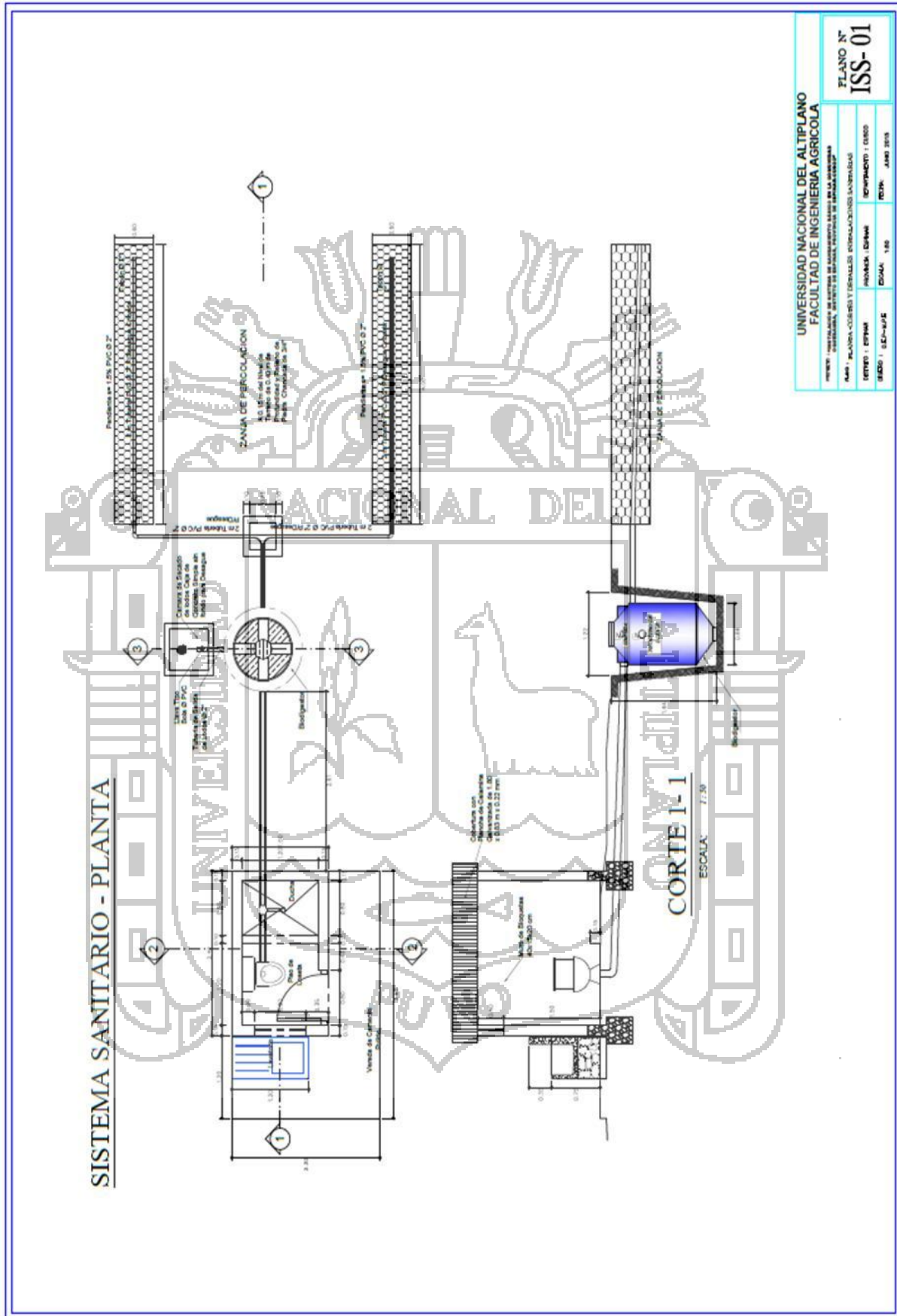


COLOCANDO LAS MUESTRAS PARA DETERMINAR LA DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

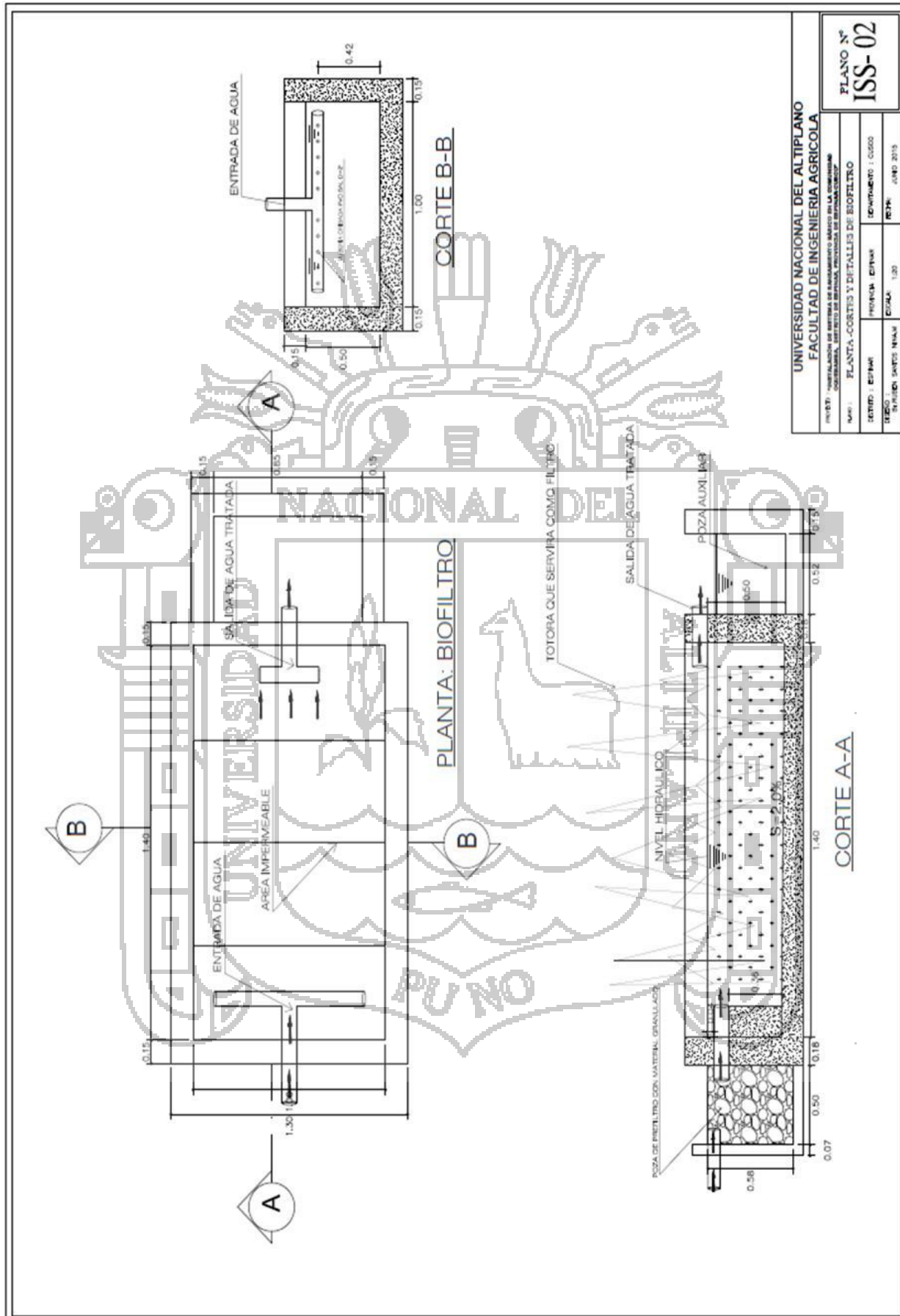


EN LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA DE UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		PLANO N° <b>ISS-01</b>
TÍTULO : INSTALACION DE SISTEMA DE ABASTECIMIENTO AGUO EN LA ESCUELA		
AUTOR : PLAZA-COSES Y BERNALLES ESTERACIONES SANFARAS		
PROFESOR : ENFERMERA	PROFESOR : ENFERMERA	PROFESOR : ENFERMERA
SECCION : 121-1/15	ESCALA : 1:50	FECHA : JUNIO 2015



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

PLANO N°  
ISS-02

PROYECTO: INSTALACION DE SIEMBRA DE MANEJO O MANEJO DE LA COMERCIALIZACION, PRODUCTOS DE BIENESTAR Y DETALLES DE BIOPOLVO	PROFESOR: EPYMAI	ESTUDIANTE: CESGO
NOMBRE: PLANTA -CORRITOS Y DETALLES DE BIOPOLVO	ESCUELA: 1.00	FECHA: JUNIO 2015