



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN**  
**DEL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**MODALIDAD: TRABAJO INVESTIGATIVO**

**TEMA:**

EVALUACIÓN DEL EFECTO RECALCITRANTE DE INHIBIDORES  
QUÍMICOS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE  
BIOGAS DEL AGUA RESIDUAL DE CAFÉ INSTANTÁNEO

**AUTORES:**

DAVID ALCIVAR DIEGO ANDREE  
ZAMBRANO ARTEAGA OSMAN ALEXANDER

**TUTORA DE TESIS:**

**ING. ALEXANDRA CORDOVA Mg.Sc**

**PORTOVIEJO**

## **Dedicatoria**

A Dios Padre y su hijo Jesucristo por permitirme llegar a este momento, llenando de bendiciones mi vida.

A mis Padres

Darío Zenón David Vélez, por haberme dado el apoyo para el desarrollo de mis estudios, por ser una fuente de consejos cuando necesité de un amigo y también por ser parte importante de mi existencia.

Francisca Atenay Alcívar Rivadeneira, por haberme dado su cariño y amor de madre, quien ahora es mi ángel de la guarda que desde el cielo me guía, me cuida y se esforzó por sacarnos adelante a mi hermano y a mí, su apoyo incondicional y sus buenos consejos fueron mi motivación para seguir adelante y ser quien soy ahora.

Mi Hermano

Emilio José Zambrano Alcívar, Para que mi triunfo le sirva de ejemplo en su vida y también de orgullo para su futuro.

Mi Novia

Yuliana Nathaly De La Cruz Mera, por brindarme su cariño, amor, comprensión y dedicación en todo momento e impulsarme a que termine mis estudios.

A mi abuela

Elena Atenay Rivadeneira quien le agradezco por haberme dado a la maravillosa madre que tuve.

*Diego David Alcívar*

## **Dedicatoria**

A mis Padres

Marianita del Jesús Arteaga Cedeño, porque, a pesar de su partida hace muchos años, siento su fraterno apoyo para salir adelante y enfrentar los obstáculos venideros.

Patricio Alejandro Zambrano Vélez, por darme su apoyo como padre; siendo la guía y la voz de la experiencia que me apoya día a día

A mis Hermanos.

Kathya Marilyn, Katherine Marisol, Karina Maribel y Osman Patricio, para que mi triunfo regocije de alegría la hermandad que existe entre nosotros.

A mi Esposa.

Jenny Gema Loor Zambrano, por brindarme su cariño, amor, comprensión y dedicación en todo momento y ayudarme a superarme día a día.

*Osman Alexander Zambrano Arteaga.*

## **Agradecimiento**

A Dios sobre todas las cosas, por habernos iluminado el camino y en el sendero del bien.

A nuestros Padres y Hermanos por su fidelidad, comprensión, cariño, apoyo y porque nos inculcaron buenos valores para nuestro bienestar en el futuro, cuando ejerzamos la profesión en el campo de trabajo.

A nuestras futuras compañeras de vida por su amor incondicional, apoyo y comprensión en el tiempo que teníamos que dedicar a los estudios.

A nuestra tutora de tesis la Ing. Química Alexandra Córdova Mosquera Mg.Sc, por promover el tema, transmitirnos sus conocimientos y apoyarnos hasta el último momento.

Al Ing. Químico Diego Álvarez Mendoza por su dedicación y apoyo con sus conocimientos en el trabajo de nuestra titulación, brindándonos siempre su ayuda.

A las autoridades, personal docente y compañeros de la Facultad de Ingeniería Química que compartieron su tiempo y su amistad durante nuestros años de estudio.

A nuestra familia en general gracias por todo su apoyo, por su gratitud hacia mí.

***Diego André David Alcívar & Osman Alexander Zambrano Arteaga.***

## Declaración sobre derechos de autor

“La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este trabajo de titulación corresponden exclusivamente a los autores”



---

David Alcívar Diego Andreé  
1309966230



---

Zambrano Arteaga Osman Alexander  
1313630715

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Quien suscribe la presente señora Ing. Alexandra Córdova Mosquera Mg.Sc, Docente de la Universidad Técnica de Manabí, de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Química; en mi calidad de Tutor del trabajo de titulación "EVALUACIÓN DEL EFECTO RECALCITRANTE DE INHIBIDORES QUÍMICOS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS DEL AGUA RESIDUAL DE CAFÉ INSTANTANEO INSTANTÁNE" desarrollada por los profesionistas: Sr. **David Alcívar Diego Andreè** y **Zambrano Arteaga Osman Alexander**; en este contexto, tengo a bien extender la presente certificación en base a lo determinado en el Art. 8 del reglamento de titulación en vigencia, habiendo cumplido con los siguientes procesos:

- Se verificó que el trabajo desarrollado por los profesionistas cumple con el diseño metodológico y rigor científico según la modalidad de titulación aprobada.
- Se asesoró oportunamente a los estudiantes en el desarrollo del trabajo de titulación.
- Presentaron el informe del avance del trabajo de titulación a la Comisión de Titulación Especial de la Facultad.
- Se confirmó la originalidad del trabajo de titulación.
- Se entregó al revisor una certificación de haber concluido el trabajo de titulación.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del trabajo de titulación los profesionistas pusieron mucho interés en el desarrollo de cada una de las actividades de acuerdo al cronograma trazado.

Particular que certifico para los fines pertinentes



**ING. ALEXANDRA CORDOVA Mg.Sc**  
**TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

# INFORME DE REVISOR TRABAJO DE TITULACIÓN

## INFORME DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Luego de haber realizado el trabajo de titulación, en la modalidad investigativa y que lleva por el tema: **EVALUACIÓN DEL EFECTO RECALCITRANTE DE INHIBIDORES QUÍMICOS EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS DEL AGUA RESIDUAL DE CAFÉ INSTANTANEO**. desarrollado por las señores **David Alcívar Diego Andreè y Zambrano Arteaga Osman Alexander** cédulas de ciudadanía N° 1309966230 y N° 1313630715 respectivamente, previo a la obtención del título de Ingenieros Químicos, bajo la tutoría y control de la señora Ing. Alexandra Córdova Mosquera, docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas y cumpliendo con todos los requerimientos del nuevo reglamento de la Unidad de Titulación Especial de la Universidad Técnica de Manabí, aprobado por el H. Consejo Universitario, cumpro con informar que en la ejecución del mencionado trabajo de titulación, el autor:

- Han respetado los derechos de autor correspondiente a tener menos del 10% de similitud con otros documentos existentes en el repositorio.
- He aplicado correctamente el Reglamento General de Titulación de la Universidad Técnica de Manabí del Ecuador.
- Las conclusiones guardan estrecha relación con los objetivos planteados.
- El trabajo posee suficiente argumento técnico científico, evidencia en el contenido bibliográfico consultado.
- Mantiene rigor científico en las diferentes etapas de su desarrollo.
- Sin más que informar suscribo que este documento NO VINCULANTE para los fines legales pertinentes.



**Ing. Carlos Moreira Mendoza**

**REVISOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## Índice de Contenido

### PORTADA

Dedicatoria.....	2
Dedicatoria.....	3
Agradecimiento .....	4
Índice de Contenido.....	8
PORTADA .....	8
Índice de Tabla .....	11
Índice de gráficos.....	12
Resumen .....	13
Summary.....	14
Introducción.....	15
1. Tema:.....	16
2.1. Identificación del problema .....	17
2.2. Formulación del Problema.....	17
3. Desarrollo de la Literatura y Marco Teórico.....	18
3.1. Antecedentes .....	18
3.2. Justificación .....	19
3.3. Marco Teórico.....	20
3.3.1. El Café .....	20

3.3.2.	Aguas residuales procedente de industrias de café instantáneo .....	21
3.3.3.	Producción en el Ecuador de agua residual procedente de plantas de café instantáneo.....	23
3.3.4.	Proceso de digestión anaerobia de aguas residuales procedente de plantas de café instantáneo .....	24
3.3.5.	Demanda biológica de oxígeno (D.B.O.) .....	25
3.3.6.	Demanda química de oxígeno .....	26
3.3.7.	Microorganismos metanogénicos .....	28
3.3.8.	Generación de biogás a partir de aguas residuales procedentes de plantas de café instantáneo. ....	28
3.3.9.	Inhibidores presentes en agua residual de café soluble .....	29
3.3.10.	Subproductos del tratamiento anaerobio.....	30
4.	Visualización del Alcance del Estudio.....	33
	Elaboración de hipótesis y definición de variables .....	33
4.1.	Hipótesis .....	33
4.2.	Variable.....	33
4.2.1.	Variable Dependiente .....	33
4.2.2.	Variable Independiente.....	34
4.3.	Operacionalización de las Variables.....	34
	<b>Variable Dependiente:</b> Digestión anaerobia de las aguas residuales de café soluble. .....	34
5.	Desarrollo del Diseño de Investigación .....	37

5.1.	Objetivo General.....	37
5.3.	Nivel de Investigación .....	37
5.4.	Diseño Metodológico.....	38
5.4.1.	Tipo de Investigación .....	38
5.4.2.	Métodos de Investigación.....	38
5.4.3.	Técnicas e Instrumentos: .....	38
5.4.4.	Determinación de parámetros físicos .....	39
5.4.5.	Determinación de parámetros químicos .....	41
5.4.6.	Reducción de taninos.....	45
5.4.7.	Instrumentos de recolección de datos.....	47
5.4.8.	Recursos .....	47
6.	Definición y selección de la muestra.....	48
6.1.	Selección de muestra .....	48
6.1.1.	Muestreo del efluente .....	48
6.1.2.	Muestreo en reactor .....	48
6.2.	Descripción del equipo .....	48
6.2.1.	Funcionamiento .....	49
6.2.2.	Diagrama de los reactores.....	51
7.	Análisis y Resultados .....	52
7.1.	Datos de la alimentación y muestreos.....	52
7.2.	Evaluación de los volúmenes de gas metano sin remoción de taninos.....	65
8.	Análisis de los datos.....	71

9. Conclusiones .....	72
10. Recomendaciones .....	74
Presupuesto.....	74
Cronograma .....	75
Bibliografía.....	78
Anexos.....	81

## Índice de Tabla

Tabla 1:.....	20
Tabla 2:.....	34
Tabla 3:.....	35
<b>Tabla 4</b> .....	<b>52</b>
<b>Tabla 5</b> .....	<b>53</b>
<b>Tabla 6</b> .....	<b>54</b>
<b>Tabla 7</b> .....	<b>65</b>
<b>Tabla 8</b> .....	<b>66</b>
<b>Tabla 9</b> .....	<b>67</b>
<b>Tabla 10</b> .....	<b>67</b>
<b>Tabla 11</b> .....	<b>67</b>
<b>Tabla 12</b> .....	<b>67</b>
<b>Tabla 13</b> .....	<b>68</b>
<b>Tabla 14</b> .....	<b>68</b>
<b>Tabla 15</b> .....	<b>69</b>

<b>Tabla 16</b> .....	69
<b>Tabla 17</b> .....	71
<b>Tabla 18</b> .....	72

## **Índice de gráficos**

<b>Gráfico 1</b> .....	55
<b>Gráfico 2</b> .....	56
<b>Gráfico 3</b> .....	57
<b>Gráfico 4</b> .....	58
<b>Gráfico 5</b> .....	59
<b>Gráfico 6</b> .....	59
<b>Gráfico 7</b> .....	60
<b>Gráfico 8</b> .....	60
<b>Gráfico 9</b> .....	61
<b>Gráfico 10</b> .....	61
<b>Gráfico 11</b> .....	62
<b>Gráfico 12</b> .....	62
<b>Gráfico 13</b> .....	63
<b>Gráfico 14</b> .....	63
<b>Gráfico 15</b> .....	64
<b>Gráfico 16</b> .....	66
<b>Gráfico 17</b> .....	68
<b>Gráfico 18</b> .....	70
<b>Gráfico 19</b> .....	70

## **Resumen**

En el Ecuador la producción de café soluble instantáneo se da solo en 3 fábricas las cuales debido a su producción generan una gran cantidad de agua residual

Los líquidos residuales de la producción de café instantáneo y sus derivados constituyen unos de los principales contaminantes de los recursos hídricos, ambientales de sus alrededores; por esta razón con el pasar de los años se han diseñado e implementado tratamientos previos a su descarga para la disminución de la carga orgánica.

Uno de los tratamientos más estudiados y el que será puesto en práctica en este trabajo de titulación, es la digestión anaerobia utilizando reactores continuos y semicontinuos a temperaturas termófilas y mesófilicas, para esto se procede a realizar una serie de análisis físicos, químicos y microbiológicos de los residuos líquidos para caracterizar el efluente obtenido y durante el periodo del funcionamiento de los reactores para comprobar la eficiencia de estos al tratar agua residual de café soluble instantáneo.

Se evaluó la incidencia de la presencia de taninos como recalcitrante en la digestión anaerobia, DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) presente en los efluentes de cada uno de los reactores.

En este trabajo de investigación también se determinó los volúmenes de metano generados por los reactores y evaluar cuál es la temperatura optima de funcionamiento en donde se produce un mayor rendimiento de la producción metano.

## Summary

In Ecuador the production of instantaneous soluble coffee occurs only in three factories which due to their production generate a large amount of residual water.

Residual liquids from the production of instant coffee and its derivatives constitute one of the main contaminants of water resources, environmental aspects of its surroundings; With the passage of the years have been designed and implemented treatments prior to discharge for the reduction of organic load.

One of the most studied treatments and the one that will be put into practice in this titration work is the anaerobic digestion using continuous and semicontinuous reactors at thermophilic and mesophytic temperatures, for this a series of physical, chemical and microbiological analyzes of the liquid residues are carried out to characterize the effluent obtained and during the period of operation of the reactors to verify the efficiency of these when treating waste water of instantaneous soluble coffee.

The reduction of tannins, COD (Chemical Oxygen Demand) and BOD (Biological Oxygen Demand) present in the effluents of each of the reactors will be evaluated.

In this research will also determine the volumes of biogas to know the production generated by the reactors and to know to what operating temperature there is a higher yield of the same

## Introducción

Ecuador es uno de los pocos países en el mundo que produce y exporta todas las variedades de café: arábigo lavado, arábigo natural y robusta; Además, Ecuador elabora y exporta todos los tipos de café soluble: atomizado, aglomerado y liofilizado. Su producción de café verde está activa en la mayor parte del año con precios competitivos a nivel mundial. (PROECUADOR). De acuerdo con Delgado, y otros (2002)<sup>1</sup>: “El café se produce en 20 de las 22 provincias del país lo cual denota la gran importancia socioeconómica del sector.

La Asociación Nacional de Exportadores de Café, ANECAFE, estima que en la región costa se siembra 112,000 hectáreas (ha), en la sierra 62,000 ha, en la región amazónica 55.000 ha y en Galápagos 1.000 ha de cafetales”. Actualmente funcionan 3 plantas industriales para procesar el mismo, las cuales aproximadamente generan 220769.8497 m<sup>3</sup> de agua residual de café anualmente.

Para procesar el café, las plantas industriales dedicadas a este procesamiento desechan aguas residuales que contaminan el ecosistema; para darle un tratamiento a estas aguas se ha optado como medida ambiental realizar una digestión anaerobia; misma que es un proceso de fermentación caracterizada por la conversión de la materia orgánica a metano (CH<sub>4</sub>) y CO<sub>2</sub>; para realizar la digestión anaerobia se determinarán las condiciones óptimas (pH, temperatura, presión, caudal) en las cuales se obtenga la mayor cantidad de producción de CH<sub>4</sub>, para este fin se van a realizar pruebas en un reactor metanogénico de régimen discontinuo; en dicho reactor se desarrollaran microorganismos anaeróbios, capaces de realizar el proceso de metanogénesis, que es consumir la materia organica biodegradable presentes en los contaminantes orgánicos del agua y mediante la digestión convertirlos en gases naturales que sirven como combustible.

---

<sup>1</sup> Delgado, Pablo, Alberto Larco, Carlos García, Rubén Alcívar, William Chilán, y Marcelo Patiño. «Informe de Terminación de Proyecto Manejo Integrado de la Broca del Café.» En *Café en Ecuador*, 8. Cali: FERIVA S.A., 2002.

## **1. Tema:**

Evaluación del efecto recalcitrante de inhibidores químicos en la digestión anaerobia para la producción de biogás del agua residual de café instantáneo.

## **2. Planteamiento del problema**

### **2.1. Identificación del problema**

Las plantas procesadoras de café instantáneo que existen en el país, generan aproximadamente 220769.8497 m<sup>3</sup>/año (Manual de proceso de la compañía de elaborados El café, 2013) de aguas residuales, mismas que poseen alrededor del 60% de carga orgánica en ellas; este caudal de generación de aguas residuales es lo que dificulta la utilización de un sistema efectivo para tratar este tipo de agua; lo cual ha hecho necesario el desarrollo de posibles mecanismos para el aprovechamiento de estos residuos; ya sea para generar energía o para ser utilizados como abono.

Uno de esos mecanismos es el tratamiento anaerobio de estas aguas residuales; proceso conocido como metanogénesis; en el cual se obtendrá biogás a partir del material contaminante, para lo cual se hará uso de un sistema anaerobio para el tratamiento de estos residuos, en el cual se evaluará las condiciones óptimas en las cuales se obtenga la mayor cantidad de producción de biogás y reducción de carga orgánica.

### **2.2. Formulación del Problema**

¿Cuáles serán las condiciones óptimas en las que se obtendrá la mayor cantidad de producción de biogás en presencia y ausencia de taninos como recalcitrantes utilizando el tratamiento de digestión anaerobia llevada a cabo en un reactor metanogénico?

### **2.3. Delimitación del Problema**

#### **a) Espacial**

La Investigación de este trabajo comunitario se desarrollará en la Universidad Técnica de Manabí, específicamente en un área lateral a la estructura física de la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas.

#### **b) Temporal**

Para el desarrollo de este proyecto, se considerará información existente desde el 2015 y su desarrollo estará en base al cronograma valorado.

### **3. Desarrollo de la Literatura y Marco Teórico**

#### **3.1. Antecedentes**

En el país existen en la actualidad 3 empresas dedicadas a la producción de café instantáneo; de las cuales dos están ubicadas en la ciudad de Guayaquil y una en la provincia de Manabí, en la vía Montecristi-Manta; esta última, de acuerdo a los datos proporcionados por la misma procesa un promedio de 100 toneladas/día de granos de café. (Manual de proceso de la compañía de elaborados El café, 2013)

El uso del agua para una planta de procesos es indispensable por esta razón, el agua residual industrial que producen estas plantas a nivel nacional es aproximadamente 220769.8497 m<sup>3</sup>/año (Manual de proceso de la compañía de elaborados El café, 2013); mismas que se vierten a cuerpos de agua dulce sin ningún proceso de tratamiento previo a su efluente.

Uno de los principales contaminantes en el agua residual son las materias orgánicas, de allí parten los parámetros importantes para el control de la calidad del agua como son el DBO<sub>5</sub> y el DQO, durante varios años de estudio se ha determinado que una opción destacada para reducir los niveles de contaminación por carga orgánica es la digestión anaerobia, este proceso biológico transforma la materia orgánica en biogás, un tipo de energía alternativa usada actualmente en muchos equipos en todo el mundo, de esta manera al transformarse en gas se reduce la carga de materia orgánica en el agua, pero para llevarse a cabo este proceso es necesario contar con un reactor anaerobio, precisamente un reactor metanogénico discontinuo.

Es importante destacar que alrededor de todo el país se han hecho varios estudios en los últimos años sobre digestión anaerobia pero la literatura registrada en referencia al tratamiento anaeróbico de las aguas residuales de plantas de café instantáneo es insuficiente para establecer las condiciones óptimas de operación, por ello el motivo de la realización del presente trabajo investigativo.

Varios autores reportan los problemas presentados durante la digestión anaerobia de estas aguas residuales por inhibición cLane (1983), Kida et al. (1992), Kostenberg y Marchain (1993), Neves et al. 2006 y Dinsdale et al. 1996.

### **3.2. Justificación**

El presente trabajo investigativo es parte del proyecto Doctoral titulado “Alternativas tecnológicas para la digestión anaerobia de las aguas residuales de café instantáneo” con el fin de poner en práctica los conocimientos adquiridos en todos los años de estudios en la Universidad Técnica de Manabí Facultad de Ciencia Matemáticas Físicas y Químicas de la escuela de Ingeniería Química, el cual se elaborará como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Químico.

De acuerdo a los datos proporcionados por la planta industrial El Café ubicada en Montecristi- Manabí, Ecuador, “La planta procesa un promedio de 100 toneladas/día de granos de café, de los cuales 80 toneladas corresponden al grano de café tipo robusta y 20 toneladas al grano de café arábigo, a partir de este se obtiene una producción de café instantáneo de 40 toneladas/día, 18 t/d de café soluble atomizado 12 t/d de café soluble aglomerado, y 20 t/d de café liofilizado” (Manual de proceso de la compañía de elaborados El café, 2013).

Analizando estos datos referenciales de la planta procesadora de café instantáneo, se puede observar que, “ De las 100 toneladas de granos de café procesados solo se obtienen 40 toneladas al día de café instantáneo y se produce un 60 % de residuos correspondiente a bagazo de café y agua residual, la cantidad estimada de agua residual obtenida al procesar las toneladas de café es de 110 metros cúbicos al día aproximadamente” (Manual de proceso de la compañía de elaborados El café, 2013).

La digestión anaerobia de las aguas residuales de café instantáneo presenta inestabilidad debido a la presencia de recalcitrantes en las mismas Lane (1983), Kida et al. (1992), Kostenberg y Marchain (1993), Neves et al. 2006 y Dinsdale et al. 1996. Por lo que se torna interesante el estudio de la digestión anaerobia de plantas procesadoras de café instantáneo, para establecer métodos adecuados en la eliminación de taninos y límites en la producción del metano en el biogás formado

Para el logro de los objetivos trazados en el proyecto, se contará con un biodigestor mismo que ya se encuentra diseñado y apto para su manejo, con el cual se buscará las óptimas condiciones para la mayor producción de biogás.

### 3.3. Marco Teórico

#### 3.3.1. El Café

##### 3.3.1.1.Generalidades

El café es un fruto que proviene del árbol llamado cafeto que se desarrolla principalmente en zonas tropicales. Pertenece a la familia de las rubiáceas y existen alrededor de 100 clases de café conocidas en donde se destacan el *Coffea Arábica* y la *Coffea Canephora* más conocida como Robusta.

El café es mundialmente conocido por ser una bebida obtenido por infusión entre agua caliente y los granos o semillas tostadas, con el avance de la tecnología aplicada a los procesos industriales se han desarrollado nuevos modos de consumo entre los que destaca el café soluble o instantáneo.

##### 3.3.1.2.Composición química del café

El café al igual que todos los frutos posee una composición química que le da las características conocidas, una de las sustancias presentes en este fruto y que la diferencia de los demás es la cafeína, un estimulante que consumida en exceso puede causar arritmia cardiaca o insomnio.

Tabla 1:

#### Composición química del café

Variedad	Arábica	Robusta
Componente	Porcentaje	Porcentaje
Cafeína	1.3	2.4
Proteínas	10	10
Lípidos	17	11
Minerales	4.5	4.7
Trigonelinas	1	10
Ácido Alifático	2.4	2.5

Ácido Clorogen	2.7	3.1
Carbohidratos	38	41.5
Aromas Volátiles	0.1	0.1
Melanoidinas	23	23
<b>Fuente:</b>		
<b>Elaborado por:</b> David Diego & Zambrano Osman.		

### 3.3.1.3. Café Instantáneo o Soluble

#### Generalidades del café soluble

El café instantáneo o soluble es el café seco en polvo o en forma granular que tiene la capacidad de disolverse inmediatamente cuando entra en contacto con el agua caliente, esta forma de bebida fue desarrollada con el propósito de facilitar y simplificar la tarea de elaborar el café para consumirlo.

Gracias a los principios solubles que contiene el fruto se puede obtener un producto final listo para ser diluido en agua, en el proceso de transformación se debe considerar importante mantener su aroma y sabor característico.

La obtención del café instantáneo a través de dos procesos de secado, el Spray – Dry y la liofilización, en ambos casos, el tostado del café se realiza a temperaturas menores (190 °C y 210 °C) en referencia al tostado convencional. Luego del Tueste del grano se realiza un molido y es solubilizado en agua caliente, para su posterior secado.

- El proceso Spray Dry es realizado por aire caliente.
- El proceso de Liofilización se realiza por congelación brusca a temperaturas muy bajas

### 3.3.2. Aguas residuales procedente de industrias de café instantáneo

La industria del café al igual que cualquier otra planta de procesamiento de alimentos deja desechos contaminantes que en ocasiones si no son sometidas a un pretratamiento ocasionan problemas ambientales severos. “En la mayoría de las industrias de procesamiento de café, se utiliza el agua para la de-formación de pasta y la gran mayoría de los molinos de utilizar el agua para canalizar la pulpa directamente a los ríos. El oxígeno requerido para la descomposición de la pulpa es tan alta que los ríos

con alta cantidades de pulpa se pueden agotar de oxígeno debido a la descomposición procesos”. (Rattan, Parande y Nagaraju 2014)<sup>2</sup>.

El procesamiento del café es vilipendiado para la producción de subproductos tales como cáscaras de pergamino, pulpa de café y café cáscaras todos los cuales contribuyen a la contaminación del medio ambiente menos que se trate o reciclado (Mburu y Mwaura 1996 citado por Beyene, Yemane y Addis 2013)<sup>3</sup>.

Así mismo el agua que se utiliza para los procesos que intervienen en la industrialización del café en muchas ocasiones es vertido a un cuerpo de agua dulce sin un tratamiento previo, las etapas en donde se observan mayores producciones de aguas residuales son la etapa del lavado y despulpado. Las aguas residuales industriales con elevada carga orgánica son susceptibles de ser utilizadas como sustrato para la digestión anaeróbica.

Sin embargo, la composición de los efluentes industriales es tan variable como su caudal y depende de las particularidades de cada industria. Durante todo el proceso de elaboración de café soluble se generará agua residual, entre 8,49 L/Kg a 10,62 L/Kg aproximadamente. (Salazar 2012)<sup>4</sup>.

Salazar 2012<sup>5</sup>, también menciona que “Las aguas residuales del proceso ocasionan una contaminación unitaria equivalente a 115 g de DQO por kg de café cereza, de los cuales el 73.7% se origina durante las operaciones de despulpado y transporte de pulpa y 26.3% durante las operaciones de lavado y clasificación”

---

<sup>2</sup> Rattan, Supriya, Parande, y Nagaraju. «A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing.» Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2014: 6464.

<sup>3</sup> Beyene, Yemane, y Addis. «Experimental evaluation of anaerobic digestion for coffee wastewater treatment and its biomethane recovery potential.» Islamic Azad University (IAU), Mayo 2013: 1881.

<sup>4</sup> Salazar, Jesús. «Estimación del volumen de las aguas residuales vertidos a la cuenca del Río Entaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011.» Universidad Agraria de la Selva del Perú. 9 de Abril de 2012. [http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/ESTIMACION%20DEL%20VOLUMEN%20DE%20LAS%20AGUAS%20RESIDUALES%20VERTIDOS%20A%20LA%20CUENCA%20DEL%20RIO%20ENTAZ.pdf](http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/ESTIMACION%20DEL%20VOLUMEN%20DE%20LAS%20AGUAS%20RESIDUALES%20VERTIDOS%20A%20LA%20CUENCA%20DEL%20RIO%20ENTAZ.pdf) (último acceso: 27 de Enero de 2016).

<sup>5</sup> *Ibíd.*

### **3.3.3. Producción en el Ecuador de agua residual proveniente de plantas de café instantáneo**

A nivel nacional el café es uno de los productos que más se exporta como materia prima, pero así mismo se procesa, el problema es que no se cuentan con muchas plantas en todo el país que ayuden a solventar la demanda actual, por esta razón es complicado que el estado exporte un producto procesado. De la producción total del país aproximadamente el 10 % tiene su destino en el consumo doméstico e importado, el 90 % es exportado a países europeos y norteamericanos, siendo los Estados Unidos el principal comprador del grano de café y Japón y Alemania el industrializado. (Lopez, Domínguez y Zurita 2000).

De acuerdo con Vera 2012, desde el año 2008 al 2011 Ecuador produjo alrededor de 650000 sacos de 60 Kg de café al año, en el 2012 y 2013 la cantidad ascendió a 850000 sacos. Según Anecafé, la producción nacional de café abastece menos del 40% de la demanda de la industria. En el 2014, Ecuador exportó 1,1 millones de sacos de café. Más del 98% de esos envíos correspondieron al producto procesado; es decir, soluble, liofilizado, o extracto. (Paspuel 2015).

En el 2015 Ecuador produjo aproximadamente 600000 sacos (de 60 kilos) de café al año, pero el mercado interno y el sector exportador demandan más de 1,5 millones de sacos, según datos divulgados por la Asociación Nacional del Café (Anecafé). (Paspuel 2015)<sup>6</sup>.

Estos datos establecen que en el país, entre el 90 y 98 % del café es industrializado, sea para consumo interno o para exportaciones. Para determinar la cantidad aproximada de aguas residuales producidas por plantas de café elaborado se estimará el 98 % de la producción total del café por año y se hará una relación con la cantidad generada de desechos líquidos por kg de café procesado.

---

<sup>6</sup> Paspuel, Washington. La industria pide más café local. 17 de Mayo de 2015. <http://www.revistalideres.ec/lideres/industria-pide-cafe-local-ecuador.html> (último acceso: 27 de Enero de 2016).

### **3.3.4. Proceso de digestión anaerobia de aguas residuales procedente de plantas de café instantáneo**

La digestión anaerobia es el proceso de origen biológico en donde los microorganismos desarrollados en un ambiente libre de oxígeno consumen la materia orgánica alojada en un medio determinado y la transforman en gases, estos gases son denominados biogás y están compuestos en su gran mayoría por metano y dióxido de carbono. El producto obtenido tiene muchas utilidades, tales como, la generación de energía en equipos adaptados para funcionar con este compuesto.

“El mecanismo más importante para la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual, es el metabolismo bacteriano. El metabolismo consiste en la utilización por parte de las bacterias, de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa. Cuando la materia orgánica es metabolizada, parte de ella es transformada químicamente a productos finales, en un proceso que es acompañado por la liberación de energía llamado “Catabolismo”. Otro proceso denominado “Anabolismo ó Síntesis” ocurre simultáneamente, donde parte de la materia orgánica se transforma en nuevo material celular”. (A. Rodríguez 2015)<sup>7</sup>.

El proceso de digestión anaerobia comprende varias etapas, indispensables para cumplir su propósito, estas son 4 etapas y cumplen las siguientes funciones:

- En la primera etapa, conocida como hidrólisis, se deben hidrolizar los compuestos que tengan un peso molecular mayor, mediante enzimas como las amilasas y proteasas. Los polímeros como los lípidos y proteínas se hidrolizan formando oligómeros y monómeros (alcohol, azúcar).
- En la segunda etapa, los microorganismos metanogénicos transforman los monómeros y oligómeros en ácidos grasos volátiles como el ácido propiónico, acético, entre otros.
- La etapa tercera está constituida por acción de las bacterias acetogénicas que transforman los ácidos grasos volátiles en ácido acético.

---

<sup>7</sup> Rodríguez, Alexandra. «Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales.» ingenieroambiental.com. 11 de Marzo de 2015. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf> (último acceso: 5 de Diciembre de 2015).

- En la última etapa, los microorganismos se encargan de transformar el ácido acético en metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Las bacterias producen metano a partir de H<sub>2</sub> y de acetato, las primeras crecen más rápido por lo que las bacterias metanogénicas acetoclásticas generalmente limitan la tasa de transformación de material orgánico complejo presente en el agua residual a biogás (van Haandel y Lettinga, 1994 citado por Pérez 2010)<sup>8</sup>.

### 3.3.5. Demanda biológica de oxígeno (D.B.O.)

Se define como D.B.O. de un líquido a la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter*, *Bacillus*), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg / l.

Es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes.

Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla).

Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20 °C; esto se indica como D.B.O<sub>5</sub>.

Según las reglamentaciones, se fijan valores de D.B.O. máximo que pueden tener las aguas residuales, para poder verterlas a los ríos y otros cursos de agua. De acuerdo a estos valores se establece, si es posible arrojarlas directamente o si deben sufrir un tratamiento previo. (Centro Científico Tecnológico Mendoza)

No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato.

El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de

---

<sup>8</sup> Pérez, Andrea. «Actividad Metanogénica Específica: Una herramienta de control y optimización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales.» Universidad del Valle. 3 de Septiembre de 2010. <http://uniciencia.ambientalex.info/revistas/Eidenar.uvalle.12010.pdf> (último acceso: 8 de Enero de 2016).

producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos. La curva de consumo de oxígeno suele ser al principio débil y después se eleva rápidamente hasta un máximo sostenido, bajo la acción de la fase logarítmica de crecimiento de los microorganismos.

También se producen variaciones significativas según las especies de gérmenes, concentración de estos y su edad, presencia de bacterias nitrificantes y de protozoos consumidores propios de oxígeno que se nutren de las bacterias, entre otras causas. Es por todo esto que este test ha sido constantemente objeto de discusión: sus dificultades de aplicación, interpretación de los resultados y reproductibilidad se deben al carácter biológico del método.

Según McKinney (1962), «El test de la DBO fue propuesto por el hecho de que en Inglaterra ningún curso de agua demora más de cinco días en desaguar (desde nacimiento a desembocadura). Así la DBO es la demanda máxima de oxígeno que podrá ser necesario para un curso de agua inglés».

El método pretende medir, en principio, exclusivamente la concentración de contaminantes orgánicos. Sin embargo, la oxidación de la materia orgánica no es la única causa del fenómeno, sino que también intervienen la oxidación de nitritos y de las sales amoniacales, susceptibles de ser también oxidadas por las bacterias en disolución. Para evitar este hecho se añade N-aliltiourea como inhibidor. Además, influyen las necesidades de oxígeno originadas por los fenómenos de asimilación y de formación de nuevas células.

### **3.3.6. Demanda química de oxígeno**

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante un oxidante fuerte. La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en mg/l O<sub>2</sub>.

Debido a sus propiedades químicas únicas, el ión dicromato (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>) es el oxidante especificado en la mayoría de los casos. En estos tests el Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup> se reduce a ión crómico (Cr<sup>3+</sup>).

Como se ha comentado, tanto los constituyentes orgánicos como inorgánicos de la muestra están sujetos a oxidación. Sin embargo, el componente orgánico predomina y es de mayor interés. El DQO es un test definido, tanto el tiempo de digestión como la

fuerza del reactivo y la concentración DQO de la muestra afecta al grado de oxidación de la misma.

El método DQO se usa a menudo para medir los contaminantes en las aguas naturales y residuales y para evaluar la fuerza de desechos tales como aguas residuales municipales e industriales. El método DQO se usa también en aplicaciones en centrales eléctricas, industria química, industria papelera, lavanderías, estudios medioambientales y educación general. En las plantas potabilizadoras de agua, los valores DQO deberán ser inferiores a 10 mg/l O<sub>2</sub> al final del ciclo de tratamiento.

### 3.3.6.1. Métodos

La DQO puede medirse mediante el método titramétrico de reflujo cerrado y el método colorimétrico de reflujo cerrado (Métodos Estándar 5520 C. y 5520 D. respectivamente).

**Titrición:** Una muestra es retenida en una solución fuertemente ácida con un exceso conocido de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). Tras la digestión el K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> sin reducir restante es titrado con sulfato de amonio ferroso para determinar la cantidad de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> consumida y la materia oxidable se calcula en términos de equivalente en oxígeno. Este procedimiento es aplicable a los valores DQO entre 40 y 400 mg/l. Se pueden obtener valores DQO más altos mediante una cuidadosa dilución o utilizando concentraciones más altas de Solución de digestión de dicromato (Método Estándar 5520 C.).

**Colorimétrico:** Cuando una muestra es digerida, el material DQO en esa muestra se oxida por el ión dicromato. Como resultado, el Cromo pasa de estado hexavalente (VI) a trivalente (III). Ambas especies de Cromo exhiben un color y absorben luz en la región visible del espectro. En la región 400 nm el ión dicromato (Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup>) absorbe mucha luz mientras que el ión crómico (Cr<sup>3+</sup>) absorbe mucho menos. En la región 600 nm es el ión crómico el que absorbe mucho y el ión dicromato tiene una absorción prácticamente nula. (Método Estándar 5220 D.)

Este método cubre los rangos de 0 a 15000 mg/l O<sub>2</sub>:

- 0-150 mg/l aprox. 420 nm

- 0-1000 (1500) mg/l aprox. 600 nm
- 0-15000 mg/l aprox. 600 nm

### **3.3.7. Microorganismos metanogénicos**

Dentro del variado grupo de microorganismos anaerobios, los del tipo metanogénico son considerados como los más importantes porque son los responsables de la generación de metano y la degradación de materia orgánica considerada uno de los principales contaminantes ambientales. La actividad de estos microorganismos es conocido como biometanización, es decir, la producción biológica de metano. A partir de sustratos monocarbonados (acetato, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) las bacterias metanogénicas son las responsables de la formación de metano. La clasificación de estos organismos están dentro del dominio Archea, su morfología es categorizada dentro del grupo de los bacilos cortos y largos y cocos. De acuerdo con Acuña, y otros 2008<sup>9</sup>.

“Las bacterias metanogénicas obtienen su energía mediante la producción metabólica de gas metano, utilizando sustratos como dióxido de carbono, acetato y sustratos de metilo a través de procesos de hidrólisis y acetogenesis y son esenciales en la degradación anaerobia de la materia orgánica en la naturaleza”.

### **3.3.8. Generación de biogás a partir de aguas residuales procedentes de plantas de café instantáneo.**

El biogás es una mezcla gaseosa formada, principalmente, por metano y dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases, como H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, etc. La composición o riqueza del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. La producción de Biogás se ha incrementado en los últimos años, debido a los enormes beneficios que presenta y a las utilidades que se le puede dar como generador de energía y alternativa de combustible.

En un estudio realizado por Narasimha et al. 2004, desarrollaron un bioreactor con generación de biogás en el tratamiento de efluentes que ofrece no sólo una solución para la eliminación de residuos, sino también una alternativa de combustible para la

---

<sup>9</sup> Acuña, Paula, Sofía Ángel, Elizabeth Borray, Lucía Corrales, y Ligia Sánchez. «Aislamiento e identificación de microorganismos del género Methanococcus y Methanobacterium de cuatro fuentes de Bogotá D.C.» Revista de Investigación Nova, 2008: 156.

generación de electricidad. Consideraron en los residuos una ruta de conversión de energía para el tratamiento de efluentes de café que incluye la neutralización del pH de los efluentes seguido por la digestión anaerobio y la recolección del biogás de modo que se generen en bolsas de gas que pueden usarse más como una fuente de combustible dual de motores para la generación de electricidad. (Rattan, Parande y Nagaraju 2014)<sup>10</sup>

Las aguas residuales procedentes de fábricas de café instantáneo poseen altas cantidades de materia orgánica, por lo tanto es oportuno su aprovechamiento para la generación de biogás a partir de la digestión anaerobia con microorganismo metanogénicos en reactores capaces de llevar a cabo esta actividad. Como mencionan Orozco, Cantarero y Rodríguez (2001) en las aguas residuales de café instantáneo por cada kg de DQO removido se producen 0,3 m<sup>3</sup> de Biogás.

### **3.3.9. Inhibidores presentes en agua residual de café soluble**

La digestión anaeróbica tiene un fuerte potencial como alternativa de tratamiento para los residuos biodegradables. El proceso de producción de café implica la torrefacción y extracción de la fracción soluble con agua caliente, dando lugar a la generación de grandes cantidades de un oscuro residuos líquidos de color que contiene aproximadamente 20 % de sólidos insolubles.

Los residuos se componen principalmente de hidrato de carbono, fibras tales como celulosa, hemicelulosa y lignina también (Dinsdale, 1996)

La celobiosa y glucosa son los productos de hidrólisis de la celulosa, mientras que la hemicelulosa hidroliza a pentosas, hexosas y ácido urónico. La lignina es muy recalcitrante y su degradación se considera el paso limitante en la descomposición de sustratos lignocelulósicos (Pavlostathis, 1991)

Los residuos de café se producen a altas temperaturas (70 °C), el pH es alrededor de 4 y, por el proceso de tostado, un número de compuestos de fenol heterocíclico puede aparecer. La digestión anaeróbica de los residuos del café ha sido estudiada a temperaturas mesófilas y también a temperaturas termófilas. (Boopathy, 1991)

Al estudiar la digestión de los residuos de café en un reactor continuo en temperaturas mesófilas, encontraron una disminución en la producción de gas después de 80 días, debido a algún inhibidor compuesto. Del mismo modo, trabajando en

---

<sup>10</sup> Rattan, Supriya, Parande, y Nagaraju. «A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. » Springer Verlag Berlín Heidelberg, 2014: 6462- 6471.

temperaturas termofílicas en los estudios de lotes, también indica problemas en el logro de la producción de gas estable, ya sea debido a problemas de pH o inhibición. (Boopathy, Anaerobic digestion of high strength molasses wastewater using hybrid anaerobic baffled reactor., 1991)

Según Los estudios presentados en (GARCIA S., 1995) demuestran que a concentraciones de potasio en el residuo de cerca de 400 mg/L, tenía un impacto significativo en el proceso de digestión anaerobia a temperaturas mesofílicas y termófilas. El efecto fue apreciablemente mayor a altas temperaturas. Los estudios de flujo continuo demostraron que el calcio puede actuar efectivamente como un elemento antagónico en la inhibición. Sin embargo, la eficiencia del filtro termofílico no fue tan buena como la del filtro mesofílico.

Este tipo de efluente es tratado anaeróbicamente, de lo cual varios autores han reportado los problemas que se presentan cuando este residuo es tratado en condiciones de ausencia de oxígeno. Por otro lado, trabajos previos en el tratamiento de un residuo sintético de café han señalado que aunque un residuo basado en café instantáneo puede ser tratado con el uso de la digestión termófila casi tan bien como para un reactor mesofílico, esto ha exhibido algún grado de inhibición en el proceso de digestión anaeróbica.

En el caso del café, los granos verdes que no se han madurado contienen un alto grado de taninos, esto nos daña posteriormente la bebida con sabores astringentes o agarrosos. (NAYARIT, 2013)

Según el (AMERICA)Manual de Defectos del Café hecho por la SCAA (Speciality Coffee Association of América) el Grano Inmaduro o “Quaker” es un defecto secundario y 5 granos inmaduros cuentan como un defecto y aportan sabores a hierba, paja o verdoso y causa principal de la astringencia. También afecta en apariencia al café tostado, ya que los granos inmaduros no logran el color café oscuro característico del café tostado, sino que su apariencia es mucho más clara color canela (NAYARIT, 2013).

### **3.3.10. Subproductos del tratamiento anaerobio**

#### **3.3.10.1. Producción de metano en digestión anaerobia**

El metano es un gas que en la atmósfera terrestre contribuye al efecto invernadero. El contenido de metano en la atmósfera se ha duplicado desde la última era de hielo a 1,7 ml/m<sup>3</sup> en la actualidad. Este valor se ha mantenido constante en los últimos años.

El metano contribuye un 20% al efecto invernadero antropogénico. (MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011).

Si se considera un biogás formado exclusivamente por CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, y teniendo en cuenta que la DQO del CO<sub>2</sub> es nula, la DQO eliminada en el residuo se corresponde con la DQO obtenida en forma de metano, lo cual significa 2,857 kg DQO por m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, ó 0,35 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> por kg de DQO eliminada, a P=1 at y T=0°C, ó 0,38 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> a P=1 at y 25 °C.

Atendiendo a la potencia calorífica del metano, estos valores corresponden aproximadamente a 3,5 kW·h/kg DQO eliminada, en unidades de energía primaria. Esto confiere a los sistemas anaerobios una clara ventaja frente a los sistemas aerobios de tratamiento de residuos orgánicos y aguas residuales, para los cuales el consumo de energía para transferir oxígeno se encuentra alrededor de 1 kW·h/kg O<sub>2</sub> consumido. (BARRIOS, 2016)

### **3.3.10.2. Características del biogás**

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. El biogás tiene propiedades específicas que se indican en la siguiente tabla: (MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011).

Figura 1:

<b>Composición</b>	55 - 70% metano 30-45% dióxido de carbono Trazas de otros gases
<b>Contenido energético</b>	6.0-65 kw/h m <sup>3</sup>
<b>Equivalente de combustible</b>	060-0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
<b>Límite de explosión</b>	6-12% biogás en el aire
<b>Temperatura de ignición</b>	650-750
<b>Presión crítica</b>	74-88atm
<b>Temperatura crítica</b>	-82.5°C
<b>Densidad normal</b>	1.2 kgm <sup>3</sup>
<b>Olor</b>	Huevo podrido
<b>Masa molar</b>	16.043 kg/kg mol

### **Característica general del biogás**

**Fuente:** Deublein y steinhauser. 2008

**Elaborado por:** Diego David & Osman Zambrano.

Las aguas residuales procedentes de fábricas de café instantáneo poseen altas cantidades de materia orgánica, por lo tanto es oportuno su aprovechamiento para la generación de biogás a partir de la digestión anaerobia con microorganismo metanogénicos en reactores capaces de llevar a cabo esta actividad. Como mencionan (Orozco, 2001) en las aguas residuales de café instantáneo por cada kg de DQO removido se producen 0,3 de Biogás.

### **3.3.10.3. Reactores anaerobios UASB**

El proceso consume grandes cantidades de agua que a veces se vierten sin ningún tipo de tratamiento adecuado a las aguas superficiales. Esta situación provoca un impacto ambiental significativo ya que estas aguas residuales tienen alta contaminación orgánica que van 2.400-21.900 mg COD L<sup>-1</sup>, gran cantidad de suspendidos sólidos, y sus resultados de turbidez en los olores desagradables y en una pérdida de calidad visual.

El tratamiento anaeróbico tiene algunas ventajas sobre los convencionales tratamiento aeróbico , tales como: una mayor eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno ( DQO ) , la reducción la producción de lodos , bajo consumo de energía , reducción del espacio, una construcción relativamente simple, de bajo de nutrientes y la generación de un gas con un alto poder calorífico alimentación ( metano).

Según investigación (Puebla, 2014) Las aguas residuales de café fueron tratados con éxito en una sola etapa reactor UASB. Tanto DQO total y soluble eficiencias de eliminación observados fueron superiores a 75 % y 80 % , respectivamente , a una OLR de 3,6 kg DQO m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup> , mientras la concentración de metano estaba en un rango de 56 a 61 % , con aptitudes de los que se utilizan como fuente de energía por la conversión en energía eléctrica.

#### **4. Visualización del Alcance del Estudio**

El presente trabajo de titulación se ejecutó con la finalidad de profundizar conocimientos con respecto al tratamiento de aguas residuales del proceso de café instantáneo y su aprovechamiento en la generación de biogás, para su aprovechamiento, utilizando reactores metanogénicos con el fin de evaluar la producción de biogás en función de la reducción de la carga orgánica presente en este tipo de agua residual.

Así mismo, se estima que el presente trabajo sirva como antecedente y fuente de información para futuras investigaciones referentes al tratamiento de aguas residuales del procesamiento de café instantáneo; para que de esta forma incursionen efectivamente en el ámbito académico de la Carrera de Ingeniería Química.

#### **Elaboración de hipótesis y definición de variables**

##### **4.1. Hipótesis**

La recalcitrancia de inhibidores químicos influye en la digestión anaerobia de las aguas residuales de café soluble disminuyendo la producción de biogás.

##### **4.2. Variable**

###### **4.2.1. Variable Dependiente**

Digestión anaerobia de las aguas residuales de café soluble

#### 4.2.2. Variable Independiente

Recalcitrancia de inhibidores químicos

#### 4.3. Operacionalización de las Variables

**Variable Dependiente:** Digestión anaerobia de las aguas residuales de café soluble.

Tabla 2:

#### Variable Dependiente

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnica
<p><u>Parámetros de calidad de aguas residuales (DQO, DBO).</u></p> <p>Las aguas residuales por lo general tienen grandes cantidades de contaminantes orgánicos, para determinar la carga de estos organismos se realiza la determinación de dos parámetros fundamentales, estos son DBO5 (Demanda biológica de oxígeno) y DQO (Demanda Química de oxígeno).</p> <p>La medida de la D. B. O. da como resultado la cantidad de materia</p>	<p>Conocer qué tipo de reactor se utilizará para la producción de biogás</p>	<p>Utilización de un reactor metanogénico para la producción de biogás</p>	<p>¿Cuál es el tipo de reactor metanogénico a utilizar para la producción de biogás?</p>	<p>Reactor batch semi-continuo</p>
	<p>Determinación de parámetro DQO en aguas residuales de café instantáneo</p>	<p>Determinar los niveles de DQO en aguas residuales de café instantáneo</p>	<p>¿Qué técnica utilizar para determinar los niveles de DQO en aguas residuales de café instantáneo?</p>	<p>Fotometría</p>
	<p>Determinación de parámetro DBO5 en aguas residuales</p>	<p>Determinar los niveles de DBO en aguas residuales</p>	<p>¿Qué técnica utilizar para determinar los niveles de DBO5 en aguas residuales de café instantáneo?</p>	<p>Digestión</p>

<p>orgánica biodegradable que contiene el agua a estudio.</p> <p>La medida de la D. Q. O. muestra la cantidad de materia orgánica no biodegradable que presenta el agua a estudio.</p>	<p>Solidos Totales presentes en efluentes de plantas de café instantáneo</p>	<p>Conocer el porcentaje de Solidos Totales presentes en efluentes de plantas de café instantáneo</p>	<p>¿Qué técnica utilizar para determinar el porcentaje de Solidos Totales en el efluente de plantas de café instantáneo?</p>	<p>Gravimetría</p>
	<p>pH presente en las plantas de café instantáneo</p>	<p>Conocer el pH presente en el efluente de plantas de café instantáneo</p>	<p>¿Qué técnica utilizar para determinar el pH en el efluente de plantas de café instantáneo?</p>	<p>Electrodos</p>
	<p>Salinidad presente en efluentes de plantas de café instantáneo</p>	<p>Conocer el porcentaje de salinidad presente en el efluente de plantas de café instantáneo</p>	<p>¿Qué técnica utilizar para determinar el porcentaje de salinidad en el efluente de plantas de café instantáneo?</p>	<p>Electrodos</p>

**Elaborado por:** Diego David & Osman Zambrano.

**Variable Independiente:** Recalcitrancia de inhibidores químicos

Tabla 3:

**Variable Independiente**

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnica
-------------------	-----------	-------------	------	---------

<p><b><u>Producción de biogás</u></b></p> <p>Es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado).</p>	<p>Taninos</p> <p>Presentes en agua residual de café instantáneo.</p>	<p>Determinación de Taninos</p> <p>Presentes en agua residual de café instantáneo.</p>	<p>¿Qué técnica se debe aplicar para poder determinar los niveles de taninos presentes en el agua residual de café instantáneo?</p>	<p>Fotometría.</p>
<p><b><u>Digestión Anaerobia</u></b></p> <p>Es un proceso biológico en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos y en digestato, que es una mezcla de productos minerales y compuestos de difícil degradación.</p> <p>El proceso de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los</p>	<p>Eficiencia de producción de Biogás.</p>	<p>Determinar el nivel de eficiencia en la producción de Biogás, ejecutada en el Biodigestor.</p>	<p>¿Cómo se determina el nivel de producción de Biogás ejecutado en el Biodigestor?</p>	<p>Diferencia Volumétrica.</p>

residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados.				
--	--	--	--	--

Elaborado por: Diego David & Osman Zambrano.

## 5. Desarrollo del Diseño de Investigación

### 5.1. Objetivo General

Evaluar la recalcitrancia de la inhibición química en el proceso de digestión anaerobia de las aguas residuales de café instantáneo para la producción de biogás.

### 5.2. Objetivos Específicos

- Implementar un proceso de digestión anaerobia en condiciones mesofílicas y termofílicas en régimen continuo y semicontinuo de las aguas residuales de café instantáneo para la producción de biogás (metano) en una planta piloto.
- Determinar la recalcitrancia de potenciales inhibidores químicos en la digestión anaerobia de las aguas residuales de café instantáneo mediante análisis físicos y químicos.
- Determinar la influencia de un tratamiento físico-químico para la remoción de inhibidores químicos en la producción de biogás.

### 5.3. Nivel de Investigación

El desarrollo de la investigación se la realizara desde diversos enfoques, tipo investigativo ya que uno de los principales propósitos de la investigación de la digestión anaerobia de aguas residuales de café instantáneo en un filtro UASB, este reactor consta de cuatro puestos donde se van a trabajar la digestión anaerobia de estas aguas en dos

régimen, termofílico a una temperatura de 55°C y mesofílico a una temperatura de 35°C, esto se da en dos sistemas que son continuos y semicontinuos.

La digestión anaerobia realizada en estos tipos de sistemas también tendrá pruebas sobre la recalcitrancia de los inhibidores presentes en las aguas residuales de café instantáneo como por ejemplo, taninos, y otros factores que son importantes que pueden afectar la digestión anaerobia como es el incremento de PH, la salinidad y la turbidez que pueda tener el agua.

Lo que se desea obtener con este estudio es la mayor cantidad de biogás producido indicando la injerencia que tienen los recalcitrantes en la producción de biogás, para esto se va a realizar un tratamiento para eliminar la presencia de taninos que es uno de los mayores recalcitrantes y así realizar una nueva digestión anaerobia de tal manera que se pueda obtener un mayor porcentaje de producción de volumen de biogás.

#### **5.4. Diseño Metodológico**

##### **5.4.1. Tipo de Investigación**

##### **5.4.2. Métodos de Investigación**

Con esta investigación es imprescindible la aplicación correcta del MÉTODO CIENTÍFICO para poder comprobar la hipótesis que se plantea, en este proyecto se trabajara con las ciencias formales es por eso que se utilizaran varios métodos, además la investigación implica un amplio conocimiento de las ciencias de la química, este caso se hará uso del método inductivo y de verificación.

##### **5.4.3. Técnicas e Instrumentos:**

- Se tomaran muestras compuestas directamente del efluente de aguas residuales de las plantas procesadoras de café instantáneo, serán llevadas al reactor con filtro UASB de flujo ascendente y posteriormente se realizarán los respectivos análisis.
- Se utilizará un reactor metanogénico para la digestión anaerobia en aguas residuales, además de materiales de laboratorio de aguas residuales para determinar parámetros físicos químicos en dichas aguas.

- La técnica consiste en suministrar una muestra de agua residual proveniente de una planta de café instantáneo en el reactor metanogénico de régimen discontinuo para demostrar la biotransformación de materia orgánica en biogás y su incidencia en el tratamiento de aguas.

#### **5.4.4. Determinación de parámetros físicos**

##### **5.4.4.1. PH, Temperatura, Salinidad, Sólidos Disueltos Totales y Conductividad**

#### **Materiales y Equipos:**

- Multiparámetro Hach HQ40d y sondas
- Vasos de precipitación

#### **Procedimiento:**

1. El equipo multiparámetro Hach HQ40d está conformado por tres sondas; La primera determina el oxígeno disuelto, la segunda el pH y la tercera conductividad, salinidad, Sólidos suspendidos totales, todas hacen medición de la temperatura.
2. La muestra se la colocó en un vaso de precipitación al igual que el agua destilada
3. Para utilizar el equipo se toma la sonda del parámetro a determinar y se enjuagó en agua destilada y se procede a tomar lectura, se espera a que el multiparámetro estabilice los valores
4. Anotar los resultados.

#### **Expresión de los resultados:**

- pH: el rango de pH para aguas residuales de café es de 4 a 9
- Temperatura: °C
- Sólidos Disueltos Totales: mg/L
- Salinidad: % de sales presentes en la muestra.
- Conductividad: En unidades de mS/cm<sup>2</sup>

Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 25 ed, New York, 2005.

##### **5.4.4.2. Oxígeno disuelto**

### **Materiales y Equipos:**

- Multiparámetro Hach HQ40d y sonda LDO
- Vasos de precipitación

### **Procedimiento 1, En el laboratorio:**

Para determinar el Oxígeno Disuelto se utilizó el multiparámetro. Se colocaron dos vasos de precipitación; uno con agua destilada y otro con la muestra. Se enjuagó la sonda LDO en agua destilada y luego se introdujo en la muestra para tomar la lectura, se esperó a que el lector del multiparámetro se estabilice y se anotaron los resultados.

### **Procedimiento 2, In Situ:**

Este segundo procedimiento es similar el primero, la única diferencia es que se realiza en el lugar, es decir, se toma lectura directamente desde el efluente de las aguas residuales de café instantáneo. Este procedimiento es más recomendable que el primero debido a que el Oxígeno Disuelto es un parámetro que puede variar con facilidad y con el transporte de la muestra al laboratorio el margen de error en el resultado se incrementa.

### **Expresión de los resultados:**

Los resultados de Oxígeno Disuelto están expresados en mg/L y van de un rango de entre 0 y 18 mg/L aunque es recomendable que vayan de 4 a 6 mg/L.

Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 25 ed, New York, 2005.

#### **5.4.4.3. Sólidos suspendidos totales**

### **Materiales y Equipos:**

- Espectrofotómetro.
- Beaker de 600 mL.
- Cubetas de vidrio.

**Procedimiento:**

1. Se tomaron 500 mL de la muestra batiéndolos para que los sólidos que se han asentado en el fondo del recipiente se suspendan en todo el volumen de la muestra. Esta actividad se realizó por dos minutos aproximadamente.
2. Luego la muestra fue agregada en un beaker de 600 mL y se tomaron 25 mL de ese volumen en una cubeta de vidrio
3. En otra cubeta de vidrio se colocó 25 mL de agua destilada que sirvió como blanco.
4. Para dar lectura se configuró el equipo espectrofotómetro para que determine la cantidad de sólidos suspendidos con el código 690.
5. Primero se limpian las cubetas con las muestras con una gasa estéril.
6. Hay se procede a la lectura del blanco y se encendió el equipo, luego se leyó la muestra y se anotaron los resultados.

**Expresión de los resultados:**

Los resultados de sólidos suspendidos están expresados en unidades de mg/L. El rango mínimo es de 0 mg/L y el máximo de 750 mg/L.

Manual de Análisis de Agua HACH, Procedimientos fotométricos, de titulación y microbiológicos.- Segunda Edición en español – HACH COMPANY, Loveland, Colorado, E.E.U.U. 2000

**5.4.5. Determinación de parámetros químicos****5.4.5.1. DBO****Materiales y Equipos:**

- Incubadora
- Multiparámetro y sonda LDO
- Botellas Ámbar para DBO
- Agitadores magnéticos

**Sustancias y Reactivos:**

- Solución tampón de nutriente de DBO
- Agua destilada
- Inhibidor de nitrificación

**Procedimientos:**

1. Se calienta o enfríe la muestra entre 19 y 21 °C
2. Homogenice la muestra en una licuadora si es que la muestra contiene gran cantidad de sólidos suspendidos o sedimentables.
3. Se midió 90 ml en una probeta graduada.
4. Agregue el contenido de 1 sobre con solución tampón de nutrientes a la probeta graduada.
5. Transfiera el contenido de la probeta graduada a la botella del
6. Ponga una barra agitadora para BODTrack II dentro de la botella.
7. Ponga un tapón hermético en el cuello de la botella.
8. Utilice un embudo para agregar un sobre de hidróxido de potasio en el tapón hermético.
9. Se colocan las botellas en el chasis del BODTrack II. conecte el tubo correspondiente a cada botella con l muestra y apriete el tapón.
10. Ponga el instrumento en la incubadora.
11. La temperatura de la incubadora debe ser de  $20 \pm 1$  ° por 5 días.
12. Conecte y encienda el instrumento.
13. Asegúrese de que las barras agitadoras estén rotando. Si no levante la botella y colóquela de nuevo en la posición.
14. Trascurridos los cinco días se determinó el contenido de oxígeno disuelto en cada botella mediante el multiparámetro y se anotaron los resultados.
15. Expresión de los resultados:
16. Los resultados para este parámetro están expresados en unidades de mg/L de Oxígeno disuelto.

Manual de Análisis de Agua HACH, Procedimientos fotométricos, de titulación y microbiológicos.- Segunda Edición en español – HACH COMPANY, Loveland, Colorado, E.E.U.U. 2000

#### **5.4.5.2. DQO**

##### **Materiales y Equipos:**

- Termorreactor
- Espectrofotómetro
- viales de reactivo para digestión de DQO HR.

##### **Procedimientos:**

1. Se tomaron 100 ml de la muestra y se la homogenizo mediante agitación por 30 segundos
2. Luego se encendió el Termorreactor y llevado a una temperatura de 150 °C
3. Se tomó un vial de reactivo para digestión de DQO. Luego sosteniendo el vial en un ángulo de 45 ° se agregó la muestra, aproximadamente 2 mL.
4. Se tapó el tubo y se enjuago la parte exterior con agua destilada, se secó con una toalla de papel.
5. El tubo se colocó en una tina pero antes se mezcló bien la muestra agitando el tubo invirtiéndolo varias veces
6. Para la preparación del blanco se utilizó agua destilada siguiendo los pasos 3, 4 y 5.
7. Los dos tubos se colocaron en el reactor y fueron calentados a 150 °C por dos horas.
8. El reactor fue apagado y desconectado, si remover los tubos de su interior para dejarlos enfriar a 120 °C para agitarlos como en el paso 5.
9. Posteriormente los tubos fueron colocados en una gradilla para que se enfríen a temperatura ambiente.
10. Luego se configuró el espectrofotómetro con el cód 435 para que tome lectura de la DQO. Se limpiaron los viales con la gasa estéril se leyó el blanco y se enceró, luego la muestra y se anotaron los resultados

##### **Expresión de los resultados:**

Los resultados están expresados en unidades de mg/L de DQO (0.7 a 40.0, 3 a 150, 20 a 1500, y 200 a 15000)

Manual de Análisis de Agua HACH, Procedimientos fotométricos, de titulación y microbiológicos.- Segunda Edición en español – HACH COMPANY, Loveland, Colorado, E.E.U.U. 2000

### 5.4.5.3. Taninos

#### **Materiales y Equipos:**

- Espectrofotómetro
- Cubeta de vidrio
- Pipeta

#### **Sustancias y Reactivos:**

Agua desionizada

Tanniver® 3

Carbonato de Sodio

#### **Procedimiento:**

1. Se configuró el espectrofotómetro para que tome lectura de taninos en la muestra con el código 720.
2. Se añadieron 25 mL de la muestra en una cubeta de vidrio.
3. Se añadieron 25 ml de agua desionizada para el blanco.

Luego se vertió en la cubeta de vidrio con la muestra y el blanco respectivamente 0.5 ml de reactivo Tanniver® 3 y se agitan un poco.

4. Luego se vertió en la cubeta de vidrio con la muestra y el blanco respectivamente 5 ml de reactivo carbonato de sodio, se tapó y se agitó por unos segundos esto tomara una coloración azul por los taninos presentes en la muestra.
5. Luego de que inicie la reacción se esperó por un periodo de 25 minutos.
6. Para empezar la lectura se procedió a limpiar las cubetas con gasa estéril y se tomó el blanco y se colocó en el espectrofotómetro para encerrar. Luego se tomó la muestra colocándola en el equipo y se determinó el resultado.
7. Se anotaron los resultados.
8. Nota.- Para muestras coloreadas o muy turbias se recomienda filtrarlas previo a este procedimiento.

Manual de Análisis de Agua HACH, Procedimientos fotométricos, de titulación y microbiológicos.- Segunda Edición en español – HACH COMPANY, Loveland, Colorado, E.E.U.U. 2000

#### **5.4.6. Reducción de taninos**

Los taninos son compuestos fenólicos solubles en agua, con pesos moleculares entre 500-3000, que además de dar las reacciones fenólicas usuales, poseen la habilidad de reaccionar y precipitar con alcaloides, gelatinas y otras proteínas. (Bate-Smith and Swain, 1962).

Los taninos a su vez se dividen en: hidrolizables y condensados o no hidrolizables; siendo estos últimos los más abundantes en los sorgos de café. Estos compuestos se unen a las proteínas precipitándolas mediante enlaces de hidrógeno, interacción hidrofóbica y enlace covalente, reduciendo de esta manera la proteína total presente. (Butler et al., 1984)

Se emplearon tres métodos para la reducción de taninos; tomando en consideración el pH y la concentración inicial de taninos en la muestra para su posterior comparación y análisis:

##### **5.4.6.1. Método de precipitación con proteína (Hagerman and Butter 1978)**

Este método está directamente relacionado con los efectos biológicos de los taninos. Permiten determinar la cantidad de taninos que precipitan en conjunto con una proteína estándar, determinando la actividad biológica a través de la proteína precipitada por los taninos mediante el complejo formando proteína-taninos (un alto contenido de taninos, > 800 p.p.m. inhibe el crecimiento bacteriano). Diferentes factores influyen la formación de estos complejos, tales como: peso molecular, condiciones de la reacción (pH, temperatura y concentración de los compuestos reaccionantes) y otros.

Para este método se empleó gelatina animal por su alto contenido proteico (90%), en relación al que se encuentra en la gelatina vegetal (<40%).

El ensayo se realizó en tres muestras de 200 ml de agua residual de café soluble instantáneo contenido en probetas de 250 ml, se obtuvo mediante el uso de una balanza analítica las proporciones correspondientes para cada una de las muestras (3,75 g; 7,50 g; 11,25 g); mismas que se adicionaron generando una agitación circular leve para facilitar su dilución y homogenización.

Se tomó una alícuota de la muestra reaccionada a la que se le determinó el pH y la concentración final de taninos. Posteriormente se colocaron volúmenes de 100 ml de la muestra reaccionada en dos fiolas; a las cuales se les adaptó de manera hermética jeringas de 5 ml para medir la producción de biogás en 24 horas sometidas a una temperatura constante de 35 °C y 55 °C respectivamente.

#### **5.4.6.2. Método de reducción con álcalis**

El ensayo se realizó en tres muestras de 200 ml de agua residual de café soluble instantáneo contenido en probetas de 250 ml, en las cuales se adiciono un volumen de 1 ml, 3 ml y 5 ml respectivamente de una solución de Na(OH) al 50%; mismo que se adicionó generando una agitación circular leve para facilitar su dilución y homogenización.

Se tomó una alícuota de la muestra reaccionada a la que se le determinó el pH (en caso de que el pH no sea neutro ajustarlo a 7) y la concentración final de taninos. Posteriormente se colocaron volúmenes de 100 ml de la muestra reaccionada en dos fiolas; a las cuales se les adaptó de manera hermética jeringas de 5 ml para medir la producción de biogás en 24 horas sometidas a una temperatura constante de 35 °C y 55 °C respectivamente.

#### **5.4.6.3. Método por catálisis Ácida, HCl (específico para taninos condensados)**

El ensayo se realizó en tres muestras de 200 ml de agua residual de café soluble instantáneo contenido en probetas de 250 ml, en las cuales se adiciono un volumen de 0,2 ml, 1 ml y 3 ml respectivamente de una solución de HCl 12 N; mismo que se adicionó generando una agitación circular leve para facilitar su dilución y homogenización.

Se tomó una alícuota de la muestra reaccionada a la que se le determinó el pH (en caso de que el pH no sea neutro ajustarlo a 7) y la concentración final de taninos. Posteriormente se colocaron volúmenes de 100 ml de la muestra reaccionada en dos fiolas; a las cuales se les adaptó de manera hermética jeringas de 5 ml para medir la producción de biogás en 24 horas sometidas a una temperatura constante de 35 °C y 55 °C respectivamente.

#### **5.4.7. Instrumentos de recolección de datos**

#### **5.4.8. Recursos**

##### **5.4.8.1. Humanos**

- Ingenieros Químicos
- Docentes
- Autoridades
- Autores del trabajo

##### **5.4.8.2. Materiales**

- Materiales de oficina
- Sustancias y Reactivos de laboratorio
- Materiales de Laboratorio
- Recipientes para muestreo

##### **5.4.8.3. Tecnológicos**

- Computadoras con acceso a internet
- Proyectores
- Cámaras de fotos
- Flash Memory

##### **5.4.8.4. Equipos**

- Reactores Metanogénicos
- Espectrofotómetro DR/2500
- Termorreactor
- Multiparámetro HQ40d

#### **5.4.8.5. Económicos**

Para la ejecución del trabajo de investigación se contó con un presupuesto de US. 1300.00 financiado en su totalidad por los autores del mismo.

### **6. Definición y selección de la muestra**

Uno de los objetivos específicos del presente trabajo de titulación era el de tomar muestras del efluente de una planta de café instantáneo, y se realizó de la siguiente manera:

#### **6.1. Selección de muestra**

##### **6.1.1. Muestreo del efluente**

Una vez dentro de la planta de la planta nos dirigimos a la parte de tratamiento de aguas, localizamos el tubo de la descarga y como consiguiente tomaremos la muestra, esta misma será almacenada en dos canecas de 20 Lts. cada una para así poder movilizarla para alimentar a los reactores.

##### **6.1.2. Muestreo en reactor**

Para proceder a la toma de muestras de cada reactor, cerrar las válvulas de salida del gas, se los vierte en embaces de color ámbar con un distintivo el cual diferencie e identifique cada una de las muestras para proceder a medir DBO y de la misma manera en frascos normales para las muestras a las que se les realizarán mediciones de DQO y Taninos.

Colocar cada recipiente de bajo de las llaves toma muestras localizadas en la parte frontal, abrir las llaves y llenar hasta obtener el volumen deseado de agua residual en tratamiento.

#### **6.2. Descripción del equipo**

Son Biorreactores Anaerobios de tipo UASB, es decir que el flujo de alimentación es ascendente, trabajan con dos temperaturas (35 y 55 °C), las cuales son controladas en 2 piscinas que están separada en el medio para poder controlar ambas temperaturas, llenándolas con agua como donador de calor hacia el interior de los

reactores, gracias a la presencia de una resistencia independiente y esta a su vez está controlada, automatizada por su respectivo termostato.

Consta de cuatro puertos; dos son continuos y dos son semicontinuos o Bach con una capacidad de 2.8Lt C/U, los cuales están ubicados y distribuidos en las piscinas de la siguiente manera: Un continuo y un semicontinuos en la piscina de 55 °C, de la misma forma un continuo y un semicontinuo en la piscina de 35 °C.

Su alimentación se da a cabo mediante conductos que provienen desde la parte inferior de los reactores que son controladas y reguladas por válvulas, estos conductos provienen del tanque elevado que está a un costado del mismo. En la parte posterior están instaladas cuatro bombas, una para cada reactor las cuales cumplen la función de recirculación, esto para lograr una mejor degradación orgánica logrando remover los lodos sedimentados que contienen mayor concentración de biomasa.

En la parte superior de cada reactor se encuentra una válvula para regular el paso del Biogás producido, este pasará por conductos que en su interior contienen fibra metálica cumpliendo la función de un filtro, al final el gas llegara a la parte superior donde se colocaron las botellas de Mariotte que contiene NaOH al 15 %, para reaccionar con el Co<sub>2</sub> con el fin de obtener Metano puro, a su vez esta estará conectada en la parte inferior de cada Botella de Mariotte a cilindros graduados, los cuales servirán para medir el volumen exacto de Metano producido. Cabe recargar que tanto la recirculación como el calentamiento funcionan mediante un sistema eléctrico accionado por interruptores.

### **6.2.1. Funcionamiento**

Colocar los Pellets de PVC en el interior de cada reactor, sellar los mismos asegurándose que no tenga fugas.

Llenar con agua cada piscina hasta el nivel óptimo.

Llenar las Botellas de Mariotte con la solución de NaOH al 15 % dejando un espacio del 25 % de la capacidad de la botella posterior a esto cerrar válvula de llenado.

Desconectar los conductos de medición de gas y de alimentación, asegurarse que las válvulas tanto de alimentación como las de medición de gas estén abiertas para la aplicación de CO<sub>2</sub>.

Se procede con la aplicación del CO<sub>2</sub> conectando el tanque a los conductos de alimentación ubicados en la parte inferior por un lapso de 5 min por reactor, una vez llenado inmediatamente cerrar válvulas.

Llenar el tanque de alimentación con el agua residual del café soluble instantáneo previo a este paso separar una muestra de 1000 ml para determinar los parámetros iniciales con la que ingresa el agua residual.

Conectar los conductos de alimentación al tanque, abrir las válvulas de alimentación para los cuatro reactores y llenar hasta el volumen deseado, para luego cerrar las válvulas de alimentación y de salida de los semicontínuos, sin embargo para los continuos regular las válvulas de alimentación y salida hasta que estos queden por micro goteo, una vez culminado este paso colocar el recipiente de almacenamiento del agua tratada, este paso se hará cada día pues la alimentación es cada 24 horas.

Por cada válvula superior de regulación de gas se procede a inocular las bacterias metanogénicas anaerobias provenientes de cada microcosmos con un volumen de 50ml por cada reactor, utilizando para ello una jeringa y una manguera fina de silicón sumergida hasta el fondo con el fin de que nuestras bacterias anaerobias no tengan contacto alguno con el oxígeno asegurando con esto que se mantengan vivas, inmediatamente retirar la manguera y cerrar las válvulas luego volver a conectar los conductos de medición de gas.

Una vez dado todos estos pasos proceder al funcionamiento del sistema eléctrico, accionando los interruptores de seguridad y el interruptor doble para el accionar de cada resistencia de calentamiento pero antes se debe regular los termostatos para obtener la temperatura deseada.

Una vez ya en marcha se controla la temperatura del agua con un termómetro extra para estar seguros de que los termostatos funcionan correctamente.

La recirculación se hace tres veces por día cada una por un lapso de 30 min, para ello previamente se cierran las válvulas de gas, de entrada y salida, una vez terminado este paso abrir las válvulas con normalidad.

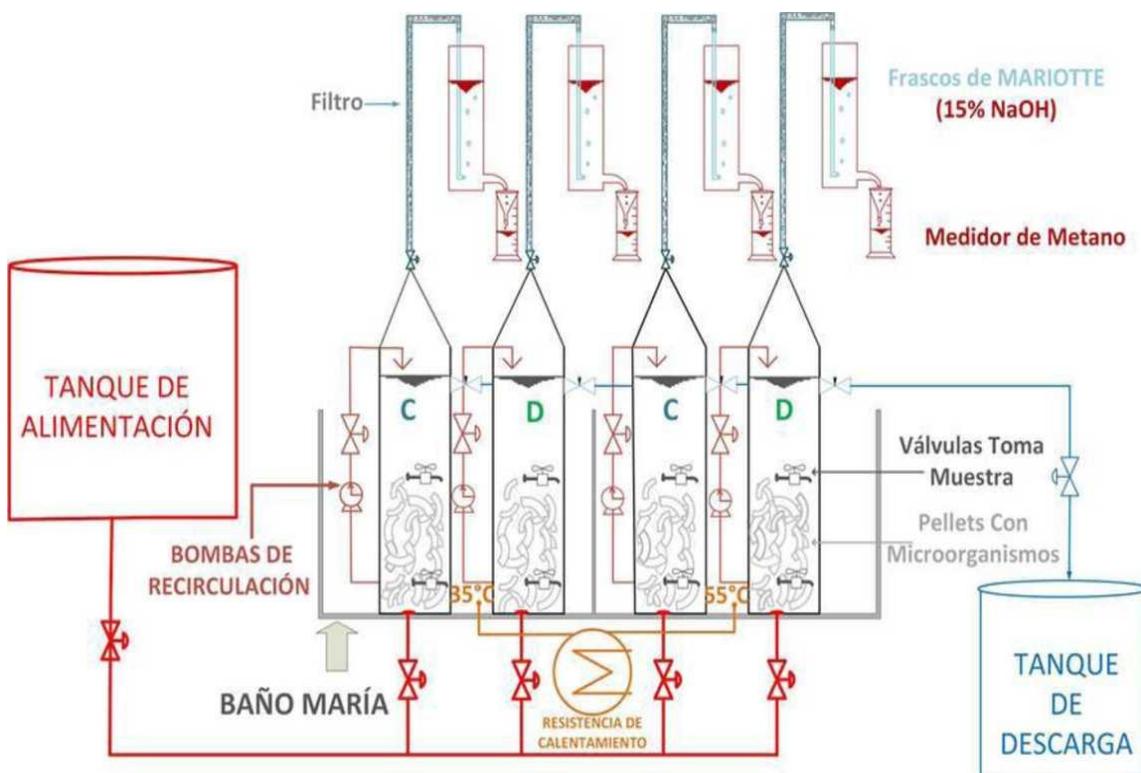
La medición de Gas se controla cada 48 horas, abriendo las válvulas de gas y las de control de flujo de la botella de Mariotte, observando el burbujeo en el interior de las

botellas, para así leer el volumen del NaOH desplazado y medido en los cilindros graduados el mismo que será el volumen real de metano producido por cada reactor.

En recipientes de vidrio color ámbar previamente esterilizados se procede a recoger las muestras provenientes de las válvulas toma muestras de cada reactor, tomando de la válvula superior y de la inferior para asegurar su Homogeneidad, las mismas que serán evaluadas en los distintos parámetros Físicos y Químicos del agua residual en especial su DBO, DQO y taninos; este paso se hará cada seis días.

### 6.2.2. Diagrama de los reactores

“Biodigestor anaerobio”



## 7. Análisis y Resultados

### 7.1. Datos de la alimentación y muestreos

**Tabla 4**

**Caracterización del agua residual de café instantáneo alimentada a los reactores.**

PARÁMETROS	FECHAS EN LAS QUE SE REALIZÓ LA ALIMENTACIÓN									X
	15/10/2016	17/10/2016	19/10/2016	21/10/2016	23/10/2016	25/10/2016	27/10/2016	29/10/2016	31/10/2016	
Temperatura, °C	33.6	35	36.1	34.9	35.63	34.51	36.3	37	35.2	35.35
pH	6.87	6.47	7.02	6.5	6.87	6.1	6.54	6.68	6.9	6.66
Conductividad, µs/cm	7930	8162	6947	7422	7703	7112	6510	8469	8053	7565.25
Mineralización, mg/L	6015.25	6191.24	5269.61	5629.91	5843.06	5394.76	4938.12	6424.11	6108.55	5738.58
Salinidad, ‰	3.96	4.09	3.46	3.72	3.85	3.56	3.24	4.24	4.02	3.79
Sólidos Totales, mg/L	4819.0	4978.0	4404.5	4517.0	4678.5	4381.0	4150.0	5117.5	4846.5	4647.1
Sólidos Totales Disueltos, mg/L	3959	4085	3463	3719	3846	3560	3244	4243	4021	3787
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	860	893	942	798	833	821	906	875	826	860.45
LDO, mg/L	0.3	0.62	0.43	0.57	0.35	0.49	0.36	0.33	0.37	0.42
NaCl, mg/L	2077.2	2145.7	1898.5	1947.0	2016.6	1888.4	1788.8	2205.8	2089.0	2002.21
DQO, mg/L	12933	12011	10697	11204	11803	10466	11605	12848	11728	11672
DBO <sub>5</sub> , mg/L	6460	6009	5338	5610	5895	5237	5791	6432	5858	5840
Índice de Biodegradabilidad	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Taninos y Lignina, mg/L	792	817	693	744	769	712	649	849	804	757

**Tabla 5**

**Muestreo de reactores a temperatura termófila (55°).**

PARÁMETROS	ANÁLISIS MUESTRA CONTENIDA EN REACTORES A 55 °C							
	24/10/2016	1/11/2016	X	% REMOCIÓN	24/10/2016	1/11/2016	X	% REMOCIÓN
	RC 55 °C	RC 55 °C			RDC 55 °C	RDC 55 °C		
Temperatura, °C	54.1	54.3	54.20		53.3	53.8	53.55	
pH	6.65	6.52	6.58		7.58	7.3	7.44	
Conductividad, µs/cm	7209	7676	7439	1.67	4267	4316	4291	43.27
Mineralización, mg/L	5468.34	5822.58	5643	1.67	3236.71	3273.88	3255	43.27
Salinidad, ‰	3.59	3.82	3.70	2.20	2.12	2.14	2.13	43.76
Sólidos Totales, mg/L	3967	4240	4101.39	11.74	2616	2633	2624.24	43.53
Sólidos Totales Disueltos, mg/L	3589	3822	3703.41	2.20	2118	2142	2129.71	43.76
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	378.7	418.11	397.92	53.75	498	491	494.49	42.53
LDO, mg/L	0.28	0.31	0.29		0.23	0.2	0.21	
NaCl, mg/L	711.6	697.6	704.56	64.81	1341	1052	1187.74	40.68
DQO, mg/L	5310.98	5809.44	5555	52.41	6472	6185	6327	45.80
DBO <sub>5</sub> , mg/L	2643.49	2928.72	2782	52.36	3224	3116.5	3170	45.72
Índice de Biodegradabilidad (DBO <sub>5</sub> /DQO)	2.01	1.98	2.00		2.01	1.98	2.00	
Taninos y Lignina, mg/L	311	328	319		453	416	434	

**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Tabla 6**

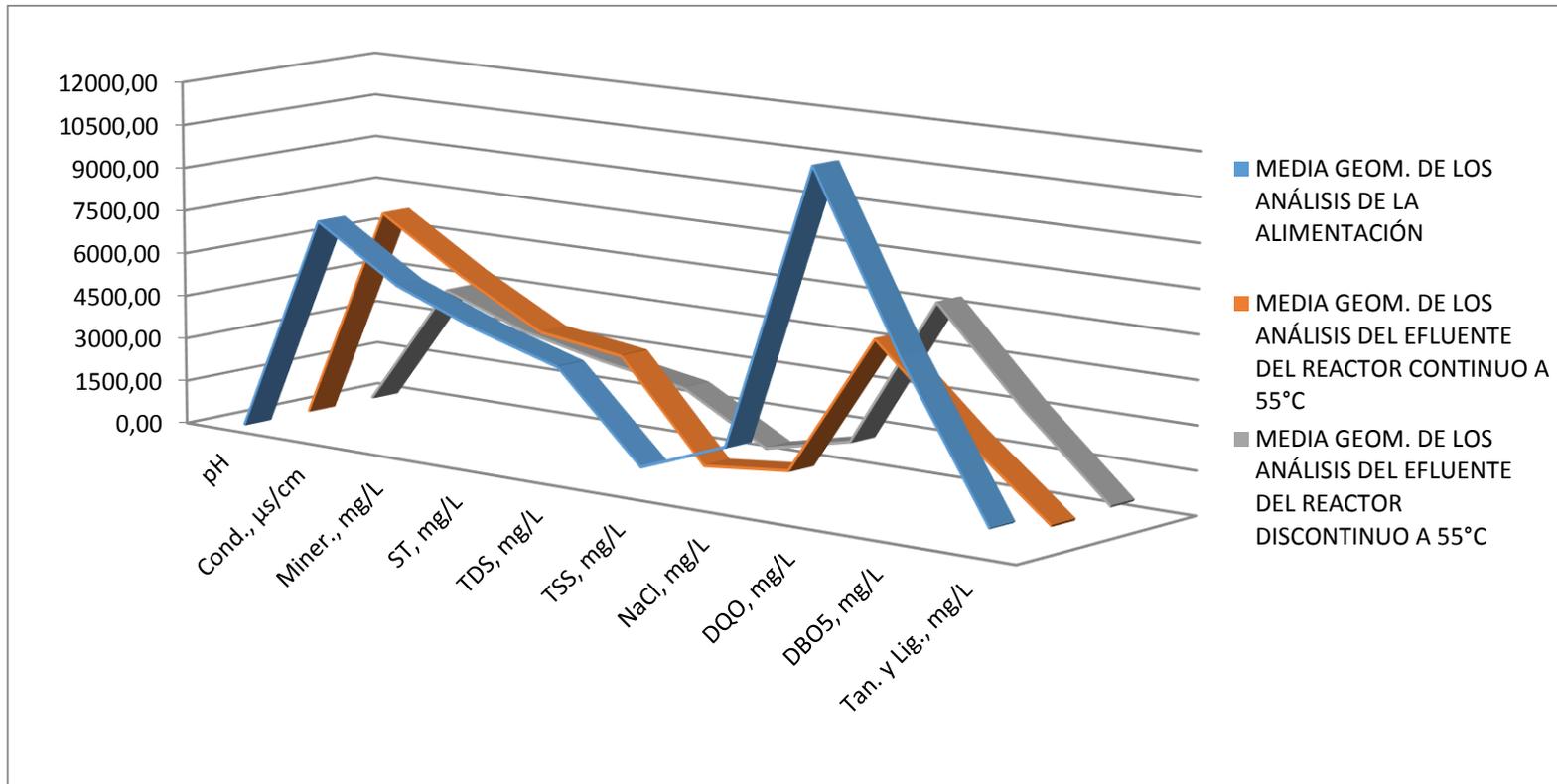
**Muestreo de reactores a temperatura mesófila (35°).**

PARÁMETROS	ANÁLISIS MUESTRA CONTENIDA EN REACTORES A 35 °C							
	24/10/2016	1/11/2016	X	% REMOCIÓN	24/10/2016	1/11/2016	X	% REMOCIÓN
	RC 35 °C	RC 35 °C			RDC 35 °C	RDC 35 °C		
Temperatura, °C	34.5	34.2	34.35		34.6	34.8	34.70	
pH	6.7	6.53	6.61		6.62	6.38	6.50	
Conductividad, µs/cm	7583	7510	7546	0.25	4152	4454.4	4301	43.15
Mineralización, mg/L	5752.04	5696.67	5724	0.25	3149.47	3378.86	3262	43.15
Salinidad, ‰	3.78	3.74	3.76	0.78	2.06	2.21	2.13	43.64
Sólidos Totales, mg/L	4457	4408	4432.18	4.62	2472	2653	2561.11	44.89
Sólidos Totales Disueltos, mg/L	3776	3739	3757.21	0.78	2060	2211	2134.26	43.64
Sólidos Suspendidos Totales, mg/L	681	669	674.97	21.56	412	442.2	426.85	50.39
LDO, mg/L	0.47	0.35	0.41		0.37	0.4	0.38	
NaCl, mg/L	1438.01	1424.17	1431.07	28.53	787.37	844.71	815.54	59.27
DQO, mg/L	5914.74	5857.8	5886	49.57	7119	7022	7070	39.43
DBO <sub>5</sub> , mg/L	2945.37	2952.9	2949	49.50	3547.5	3535	3541	39.36
Índice de Biodegradabilidad	2.01	1.98	2.00		2.01	1.99	2.00	
Taninos y Lignina, mg/L	356	315	335		487	472	479	

**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 1**

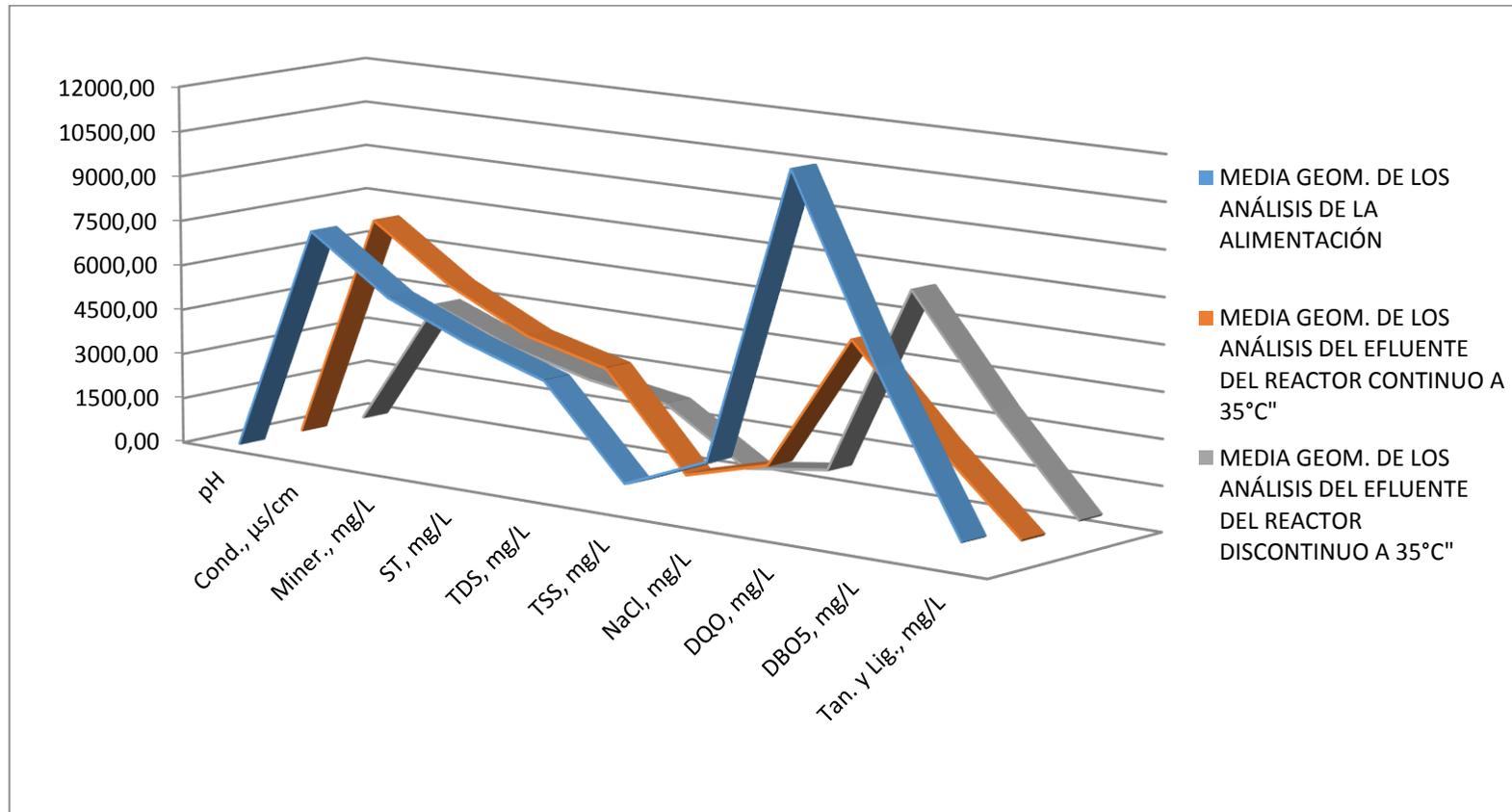
Parámetros de estudio de la digestión anaerobia de agua residual de café instantáneo soluble en reactores continuo y discontinuo a 55°C.



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 2**

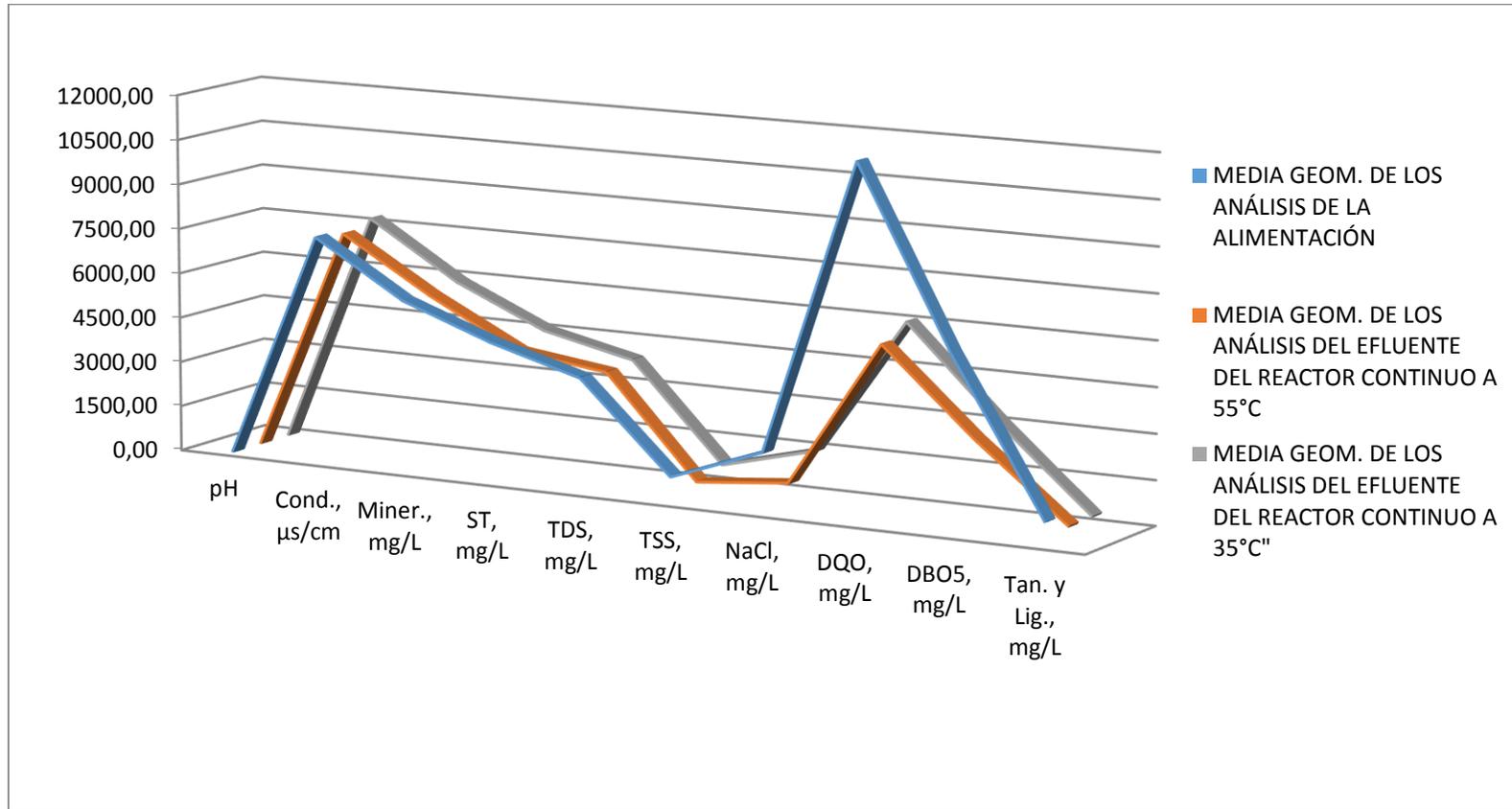
Parámetros de estudio de la digestión anaerobia de agua residual de café instantáneo soluble en reactores continuo y discontinuo a 35°C.



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osma

**Gráfico 3**

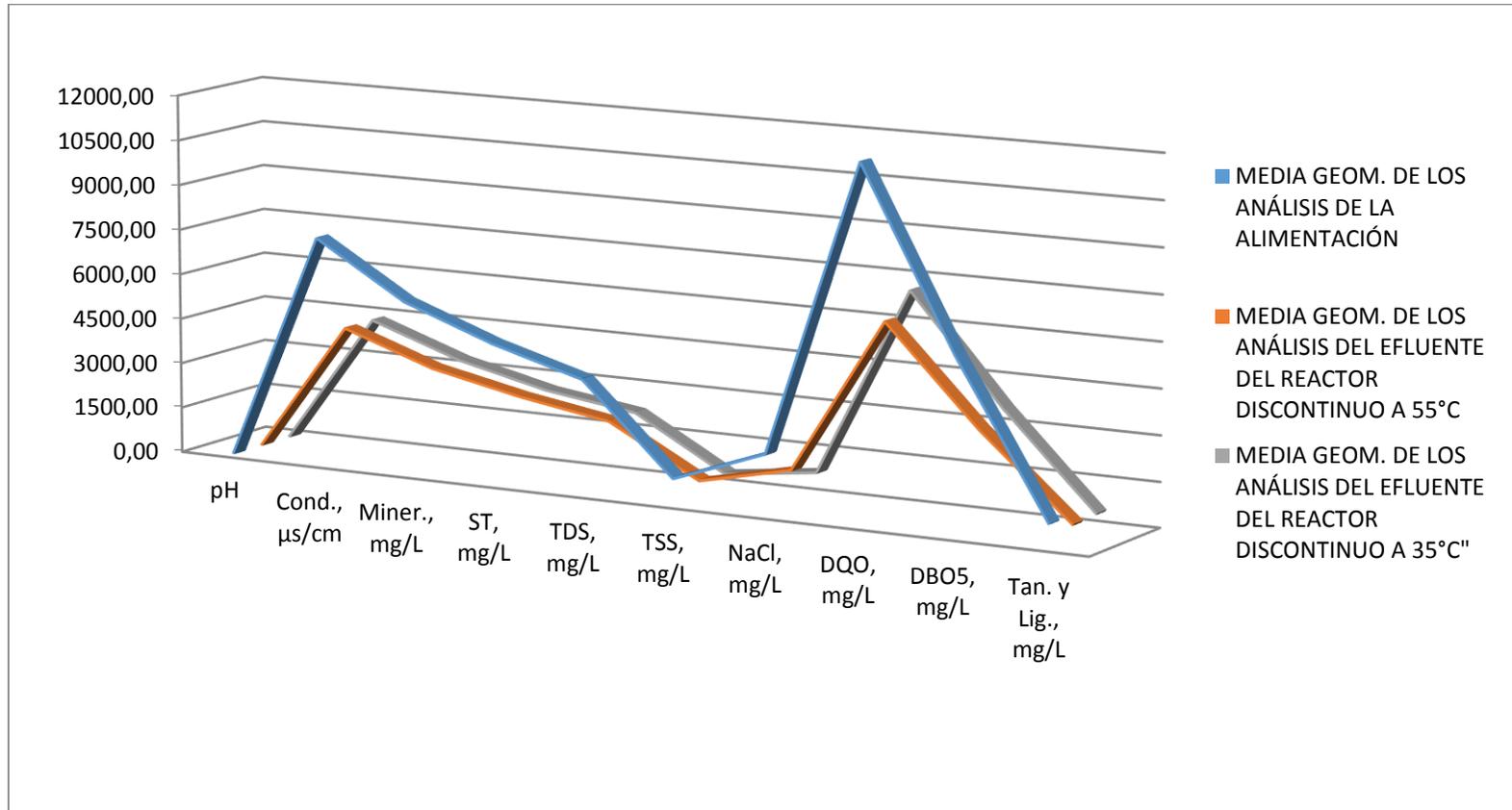
Parámetros de estudio de la digestión anaerobia de agua residual de café instantáneo soluble en un reactor continuo a 55°C y 35°C.



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman.

**Gráfico 4**

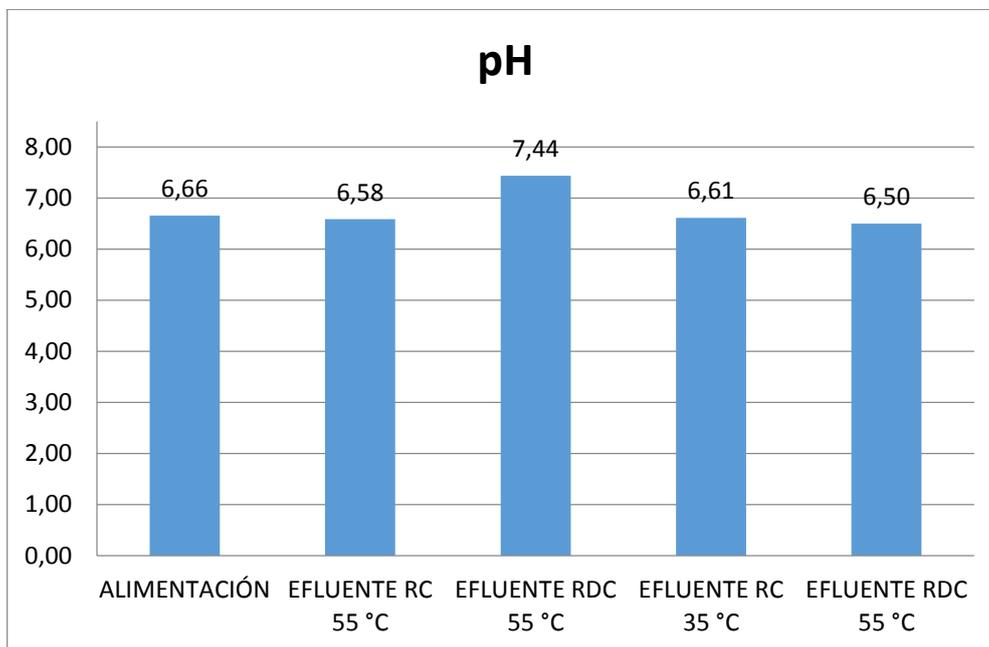
Parámetros de estudio de la digestión anaerobia de agua residual de café instantáneo soluble en un reactor discontinuo a 55°C y 35°C.



Elaborado: David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 5**

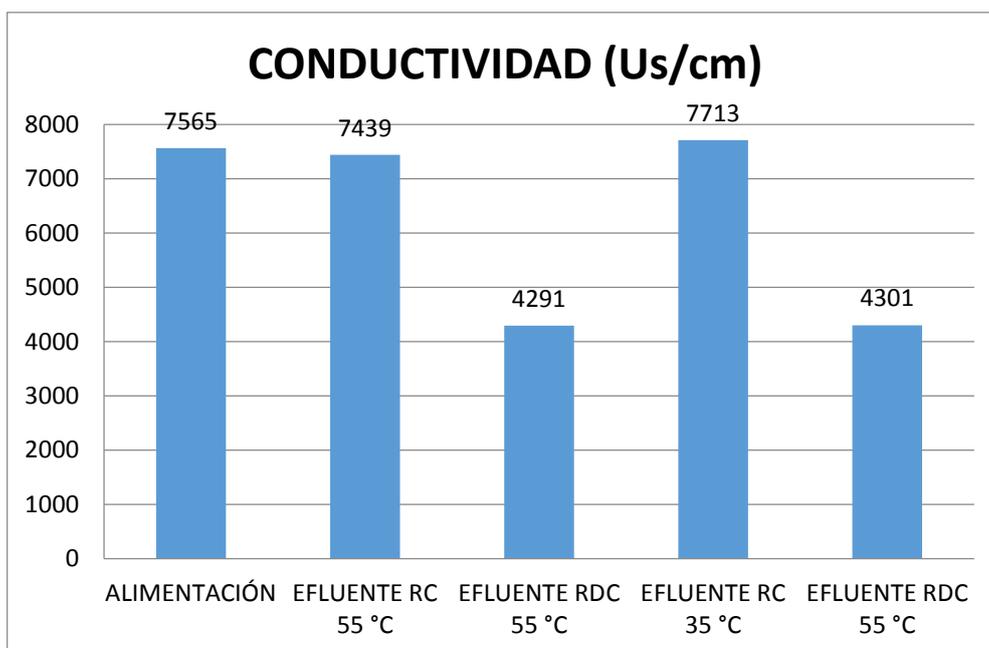
ph ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 6**

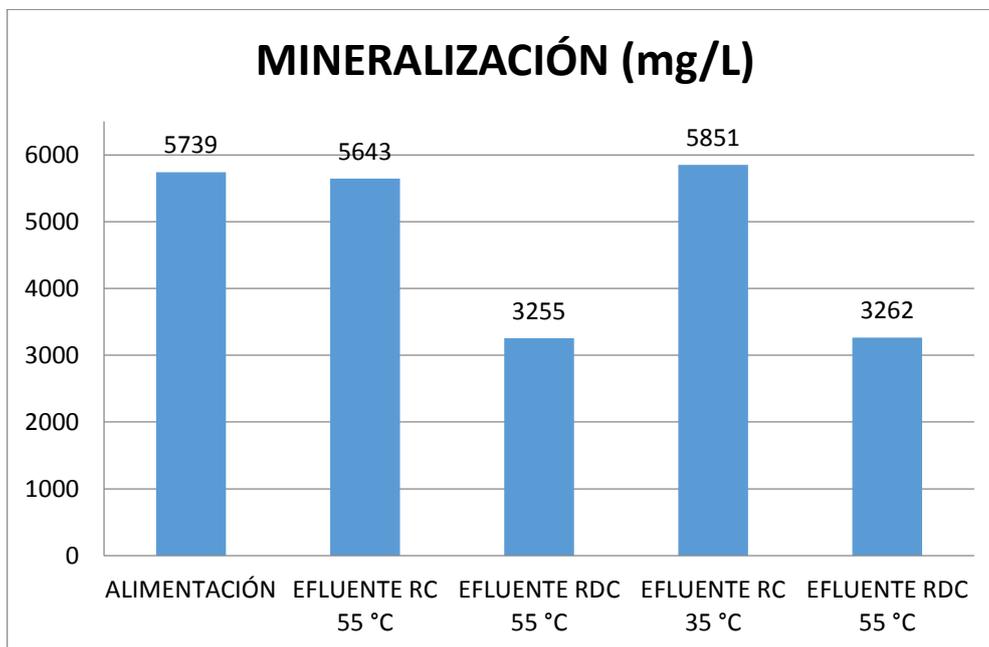
Conductividad ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 7**

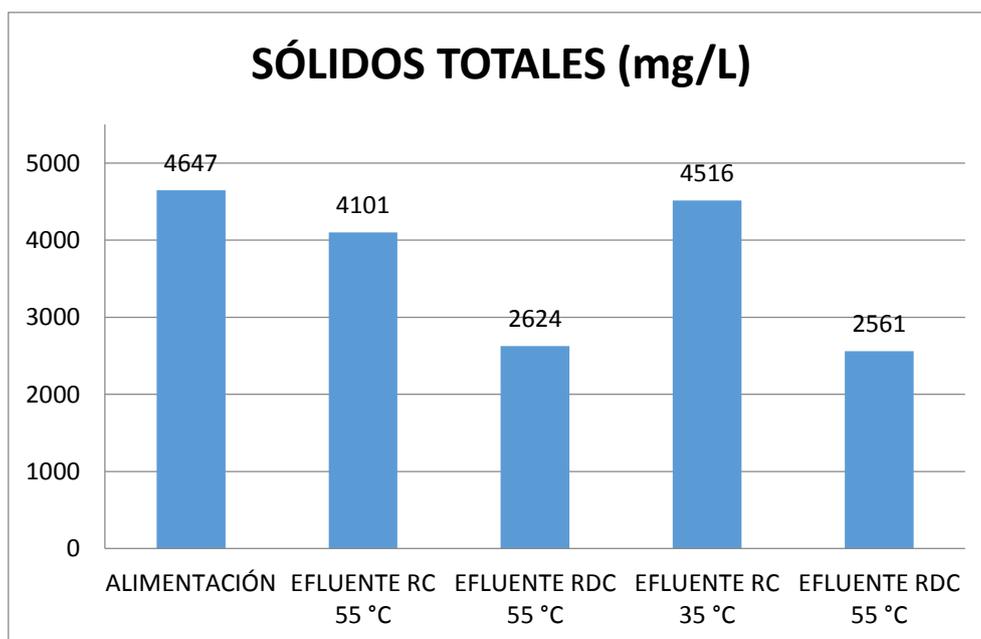
Mineralización ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 8**

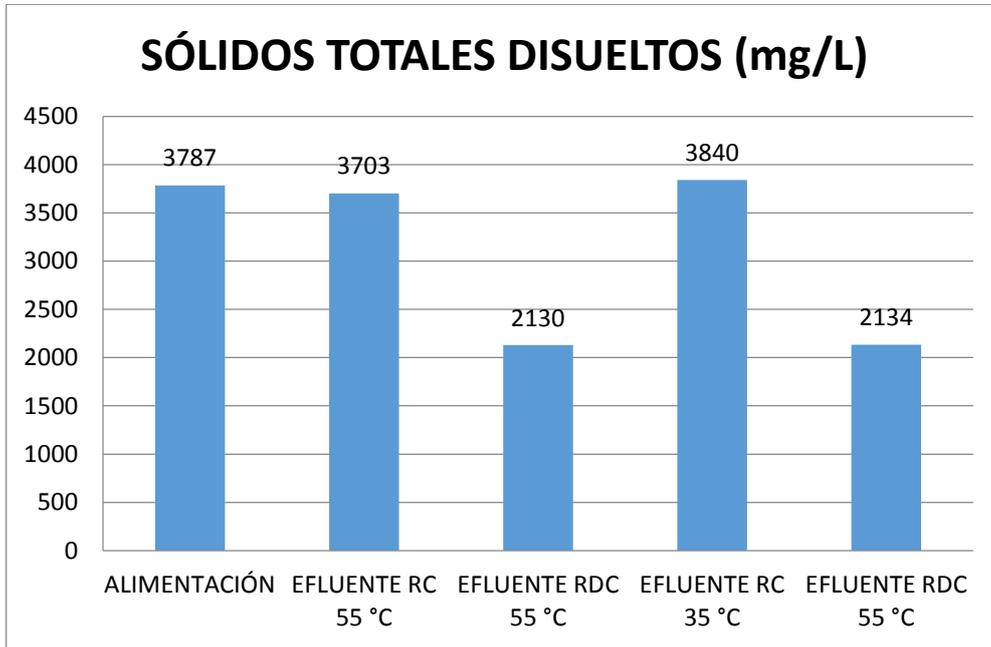
Sólidos totales ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 9**

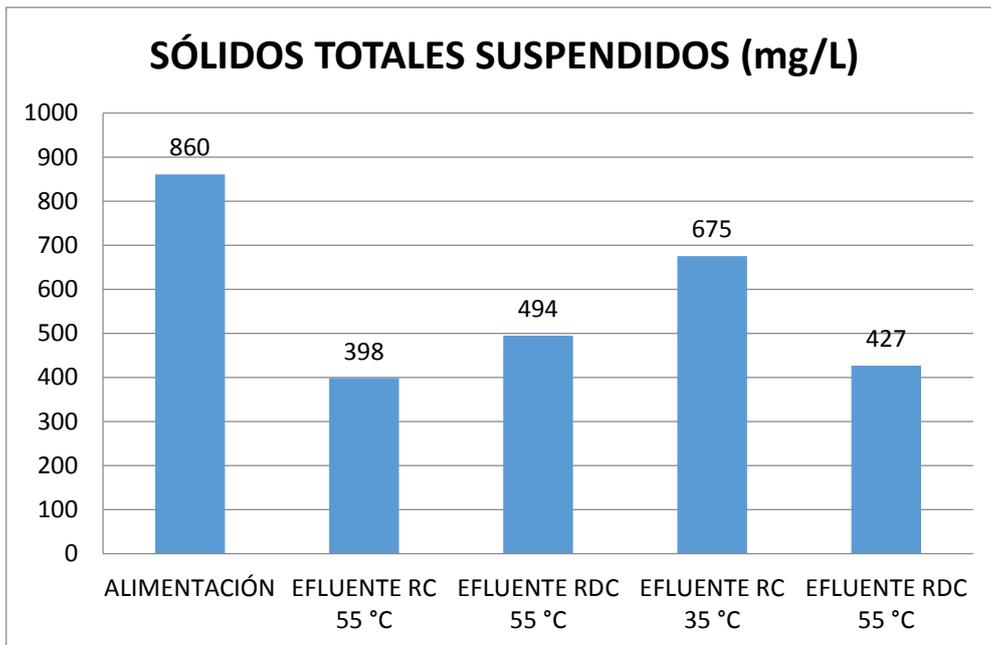
Sólidos totales disueltos ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 10**

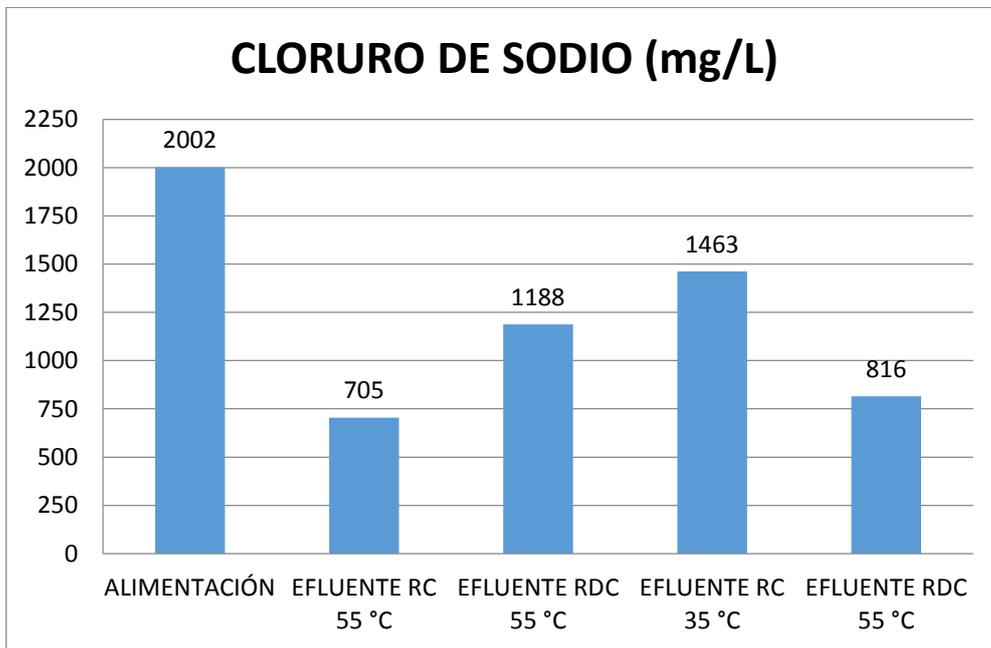
Sólidos totales suspendidos ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 11**

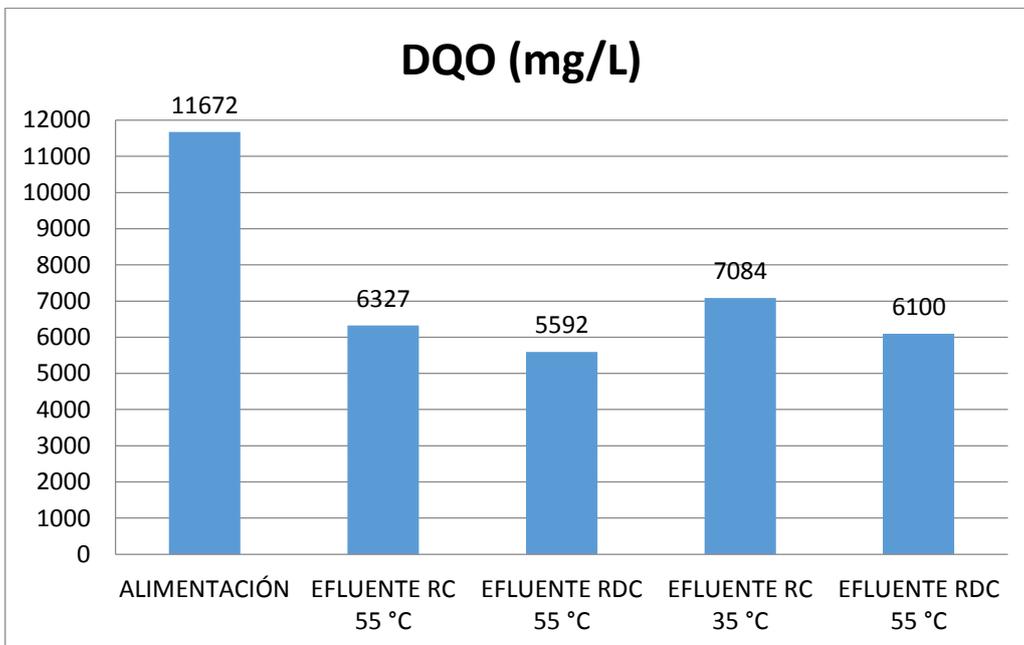
NaCl ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 12**

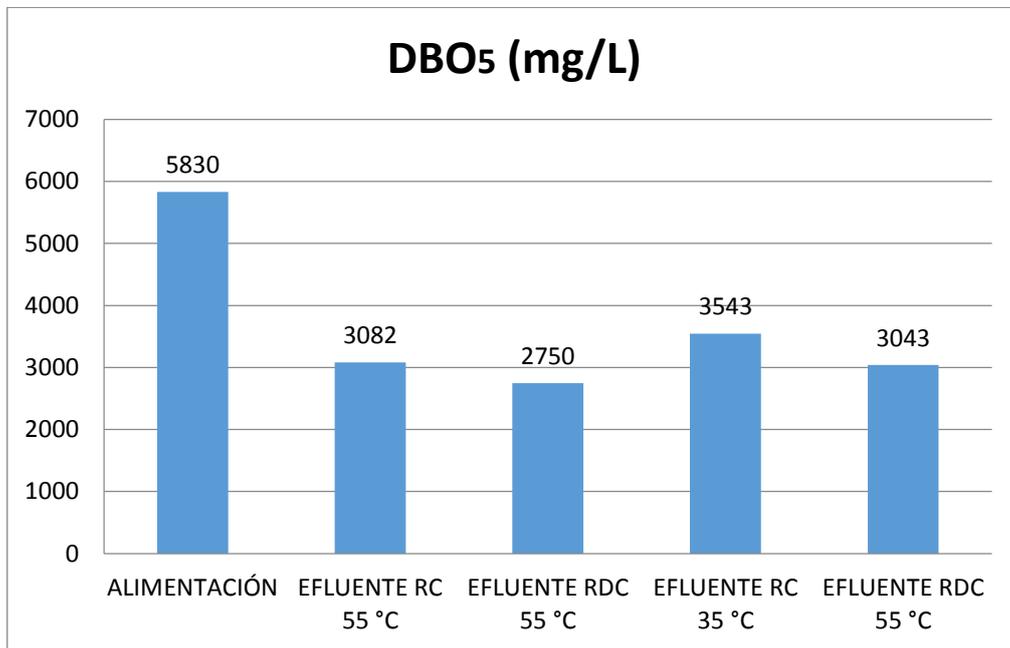
Demanda química de oxígeno ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 13**

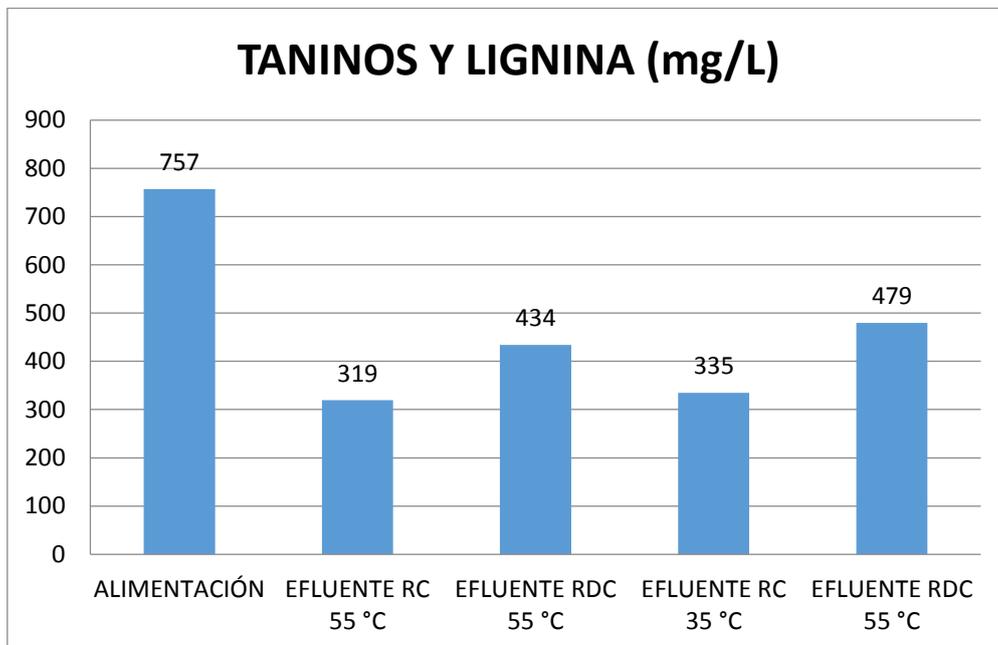
Demanda bioquímica de oxígeno ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 14**

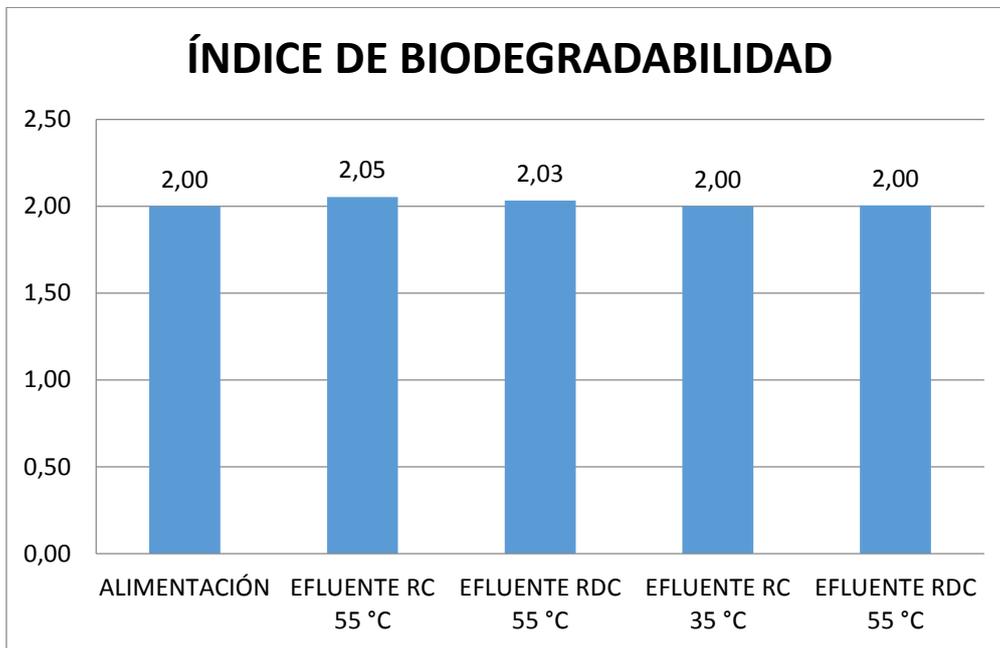
Taninos y lignina ( $\bar{x}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 15**

Índice de biodegradabilidad ( $\bar{X}$ ) de la alimentación y efluente de los reactores



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

## 7.2. Evaluación de los volúmenes de gas metano sin remoción de taninos

**Tabla 7**

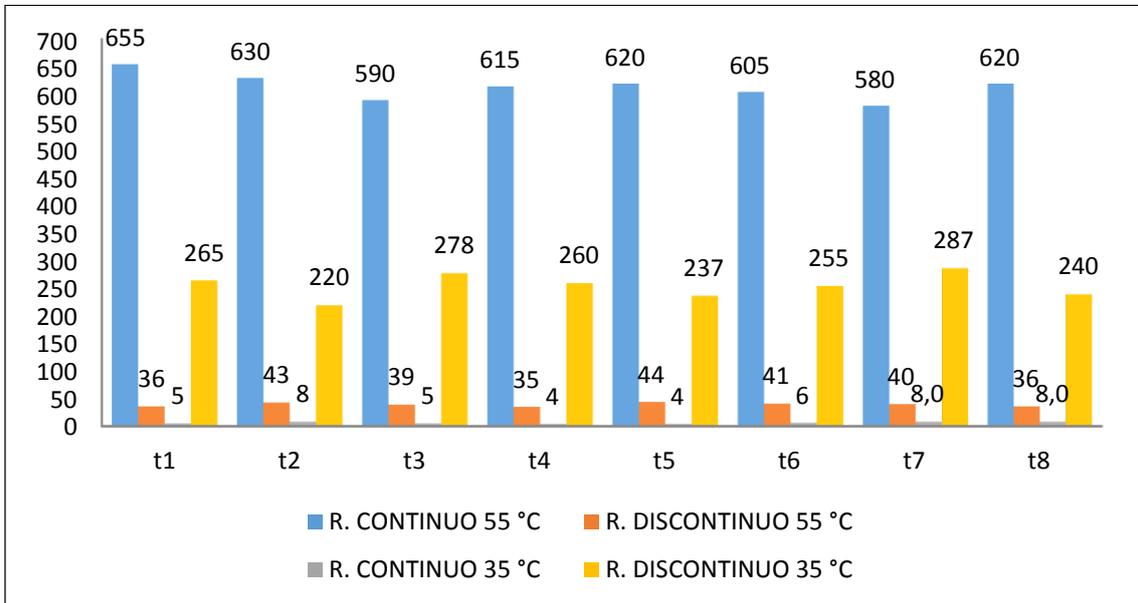
PARÁMETROS	VOLÚMENES GAS METANO MEDIDOS (PRODUCCIÓN DE METANO EN REACTORES ), cm3								
	19/10/2016	21/10/2016	23/10/2016	25/10/2016	27/10/2016	29/10/2016	31/10/2016	2/11/2016	X
R. CONTINUO 55 °C	655	630	590	615	620	605	580	620	608
R. DISCONTINUO 55 °C	36	43	39	35	44	41	40	36	40
R. CONTINUO 35 °C	5	8	5	4	4	6	8,0	8,0	6
R. DISCONTINUO 35 °C	265	220	278	260	237	255	287	240	253

**Elaborado por:** Diego David & Osman Zambrano.

**Nota:** Considerar que en las fechas 23, 25 y 26 de Septiembre en los reactores discontinuos a 55 y 35 °C respectivamente se observa un incremento inusual en la producción del gas, presumiblemente se deba a la saturación de la solución de hidróxido de sodio y tal resultado corresponda a la presencia de metano y CO<sub>2</sub>.

**Gráfico 16**

**Volúmenes gas metano medidos (producción de metano en reactores), cm<sup>3</sup>**



**Elaborado por:** Diego David & Osman

**Tabla 8**

MUESTRA INICIAL	
PARÁMETROS	RESULTADOS
pH	7,68
Taninos (mg/l)	1236

**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Tabla 9****Precipitación tanino-proteínas.**

<b>PRECIPITACION TANINO-PROTEINAS</b>			
<b>PARÁMETROS DOSIS</b>	<b>PROPORCIÓN GELATINA ANIMAL (g)</b>		
	<b>3.75</b>	<b>7.5</b>	<b>11.25</b>
<b>pH</b>	7.68	7.68	7.68
<b>Taninos (mg/l)</b>	1068	877	<b>720</b>

Elaborado: David Diego &amp; Zambrano Osman

**Tabla 10****Reducción con álcalis**

<b>REDUCCIÓN CON ALCALIS</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>VOLUMEN NA(OH) (ml)</b>		
	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
<b>pH</b>	10.3	10.7	10.9
<b>Taninos (mg/l)</b>	<b>1014</b>	1072	1145

Elaborado: David Diego &amp; Zambrano Osman

**Tabla 11****Reducción con catálisis ácida**

<b>REDUCCIÓN CON CATÁLISIS ÁCIDA</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>VOLUMEN HCl (ml)</b>		
	<b>0.2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>pH</b>	4.3	1.6	1.1
<b>Taninos (mg/l)</b>	800	721	<b>650</b>

Elaborado: David Diego &amp; Zambrano Osman

**Tabla 12****Digestión de la muestra con 720 mg/l de taninos con Proteínas en régimen discontinuo**

<b>DIGESTION DE LA MUESTRA CON 720 mg/l DE TANINOS</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>35 °C</b>	<b>55 °C</b>
<b>VOL. BIOGAS EN 24 HORAS (ml)</b>	3,25	< 1

Elaborado: David Diego &amp; Zambrano Osman

**Tabla 13**

**Digestión de la muestra con 1014 mg/l de taninos con álcalis régimen Discontinuo**

<b>DIGESTION DE LA MUESTRA CON 1014 mg/l DE TANINOS</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>35 °C</b>	<b>55 °C</b>
<b>VOL. BIOGAS EN 24 HORAS (ml)</b>	<b>&lt; 0,1</b>	<b>&lt; 0,1</b>

**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

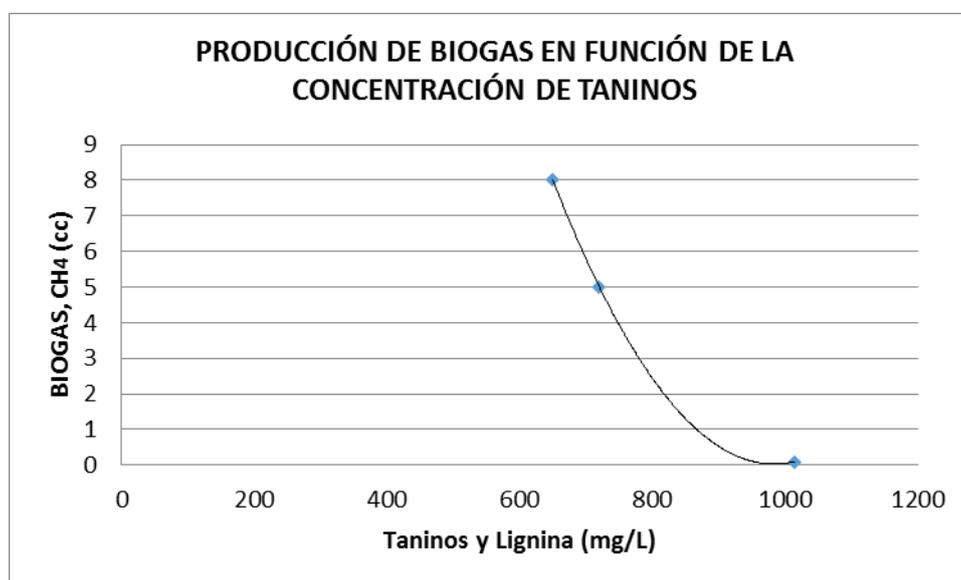
**Tabla 14**

**Digestión de la muestra con 650 mg/l de taninos con catálisis ácida régimen Discontinuo**

<b>DIGESTION DE LA MUESTRA CON 650 mg/l DE TANINOS</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>35 °C</b>	<b>55 °C</b>
<b>VOL. GAS METANO EN 24 HORAS (ml)</b>	<b>5,2</b>	<b>&lt; 1</b>

**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 17**



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Tabla 15**

**Comparación de la producción de Gas Metano sin precipitación de taninos y con precipitación de taninos a 35 °C**

<b>PRODUCCION DE BIOGAS (METANO) A 35 °C</b>				
	<b>REACTOR DISCONTINUO SIN PRECIPITACION DE TANINOS</b>	<b>MUESTRA CON PROTEINA 720 mg/l DE TANINOS</b>	<b>MUESTRA CON ALCALIS 1014 mg/l DE TANINOS</b>	<b>MUESTRA CON CATÁLISIS ÁCIDA 650 mg/l DE TANINOS</b>
<b>VOL. BIOGAS EN 24 HORAS (ml)</b>	2	3,25	< 0,1	5,2

**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

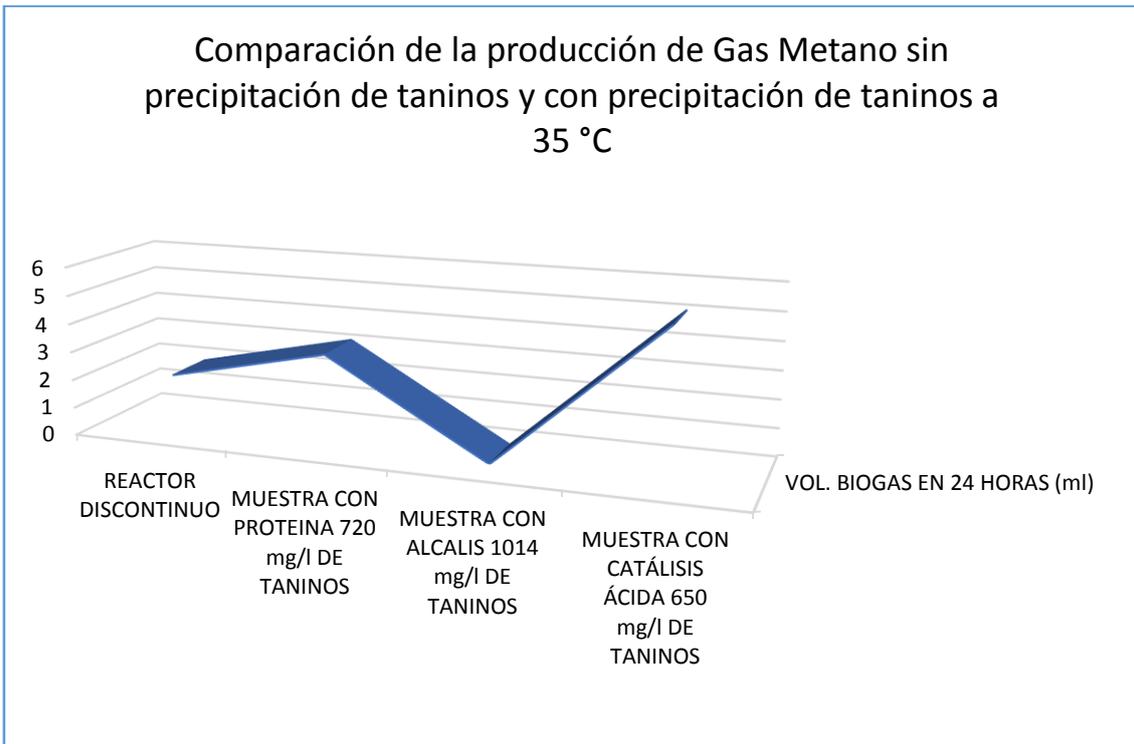
**Tabla 16**

**Comparación de la producción de Gas Metano sin precipitación de taninos y con precipitación de taninos a 55 °C**

<b>PRODUCCION DE BIOGAS (METANO) A 55 °C</b>				
	<b>REACTOR DISCONTINUO SIN PRECIPITACION DE TANINOS</b>	<b>MUESTRA CON PROTEINA 720 mg/l DE TANINOS</b>	<b>MUESTRA CON ALCALIS 1014 mg/l DE TANINOS</b>	<b>MUESTRA CON CATÁLISIS ÁCIDA 650 mg/l DE TANINOS</b>
<b>VOL. BIOGAS EN 24 HORAS (ml)</b>	1,6	< 1	< 0,1	< 1

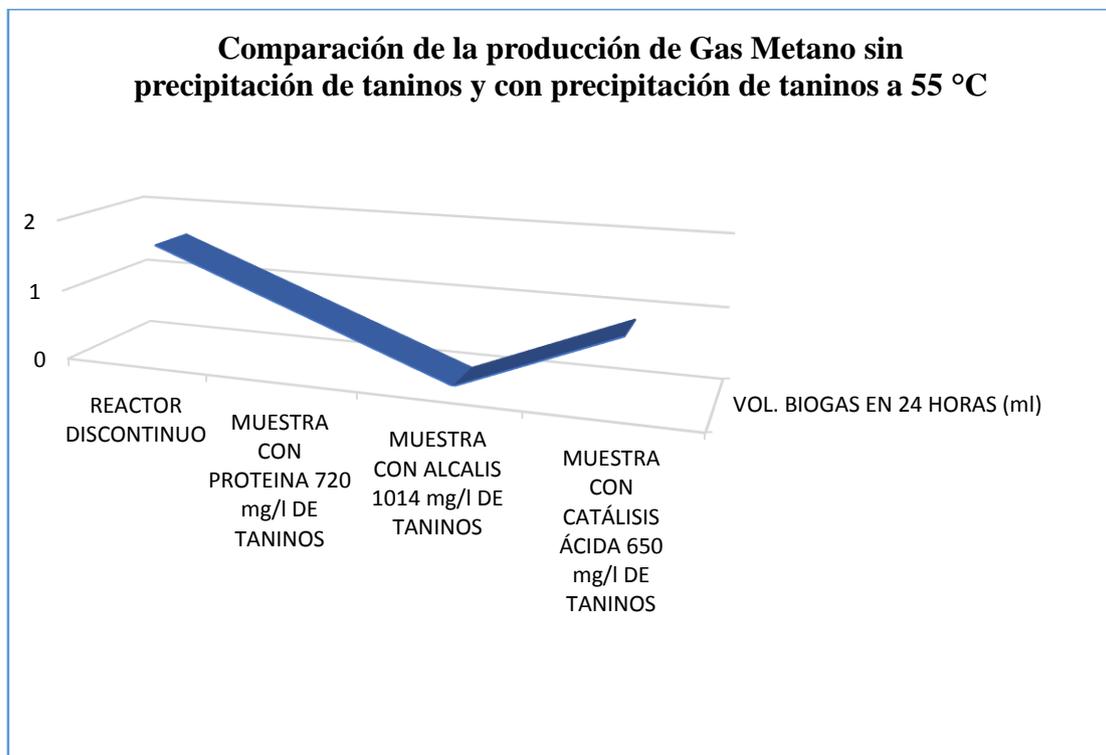
**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 18**



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

**Gráfico 19**



**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

## 8. Análisis de los datos

El proceso de digestión anaerobia del agua residual de café instantáneo se desarrolló en reactores metanogénicos (2 mesofílicos y 2 termofílicos); mismos en los cuales, durante el tiempo del proceso (16 días), reportaron una variabilidad considerable tanto en parámetros físicos como químicos.

El pH de la alimentación osciló en un valor promedio de 6,61; ya que la misma se tomó en un horario regular en la planta procesadora de café (entre 5:00 y 6:00 am); por lo cual no hubo una mayor variabilidad en los parámetros físicos de la alimentación.

La cantidad de carga orgánica es directamente determinada por la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) cuyos valores promedios fueron 5840 mg/l y 11672 mg/l respectivamente; lo cual representa una alta carga orgánica contaminante en este tipo de agua; pero el factor determinante es la concentración de taninos en el agua residual de café, el cual osciló en un valor promedio de 757 mg/l; por lo cual se considera lo mencionado por Witkowski y Jerys (1983) quienes indican que la concentración de taninos que inhibe el 50% de la metanogénesis se encuentra en el intervalo de 600-800 mg/l.

**Tabla 17**

<b>PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE TANINOS</b>			
<b>Método</b>	<b>Proteína</b>	<b>Catálisis Ácida</b>	<b>Álcalis</b>
<b>Muestra adicionada</b>	11,25 g	3 ml HCl (12N)	5 ml Na(OH) (50%)
<b>% Reducción</b>	71	90	15

**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

En base a estos resultados expresados en la tabla 17 para disminuir los niveles de taninos se realizó un ensayo para lo cual se empleó 3 compuestos diferentes encontrados en la literatura que son: proteína animal, hidróxido de sodio y ácido clorhídrico. Los porcentajes de reducción de taninos fueron los siguientes: Proteína Animal 71 %, Na(OH) 15 % y HCl 90 %; de acuerdo a estos valores obtenidos podríamos pensar que el método más adecuado para eliminar taninos es mediante el ácido clorhídrico por tener un porcentaje de reducción mucho mayor, sin embargo debido a la drástica caída de pH en la muestra de agua residual de 7,65 a 1,1 pensar en la posibilidad de aplicar esta

técnica sería contraproducente en el proceso, no solo por la mortandad de los microorganismos presentes en la muestra, sino también por los costos de operación que esta generaría en la producción del biogás, por lo tanto la opción más económica y eficiente sería la de aplicar proteína animal como pre-tratamiento en la reducción de taninos.

**Tabla 18**

<b>RESULTADOS DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LAS AGUAS RESIDUALES SIN REMOCION DE TANINOS</b>					
<b>RÉGIMEN</b>	<b>pH FINAL</b>	<b>TANINOS (mg/l)</b>	<b><math>\eta</math>DQO (%)</b>	<b><math>\eta</math>DBO<sub>5</sub> (%)</b>	<b>CH<sub>4</sub> (ml)</b>
Continuo mesofílico	6.61	335	61	61	6
Continuo termófilo	6.58	319	53	53	608
Discontinuo Mesofílico	6.50	479	52	52	253
Discontinuo termófilo	7.44	434	48	47	40

$\eta$ =eficiencia.

**Elaborado:** David Diego & Zambrano Osman

Como se puede observar en la tabla 18 los valores de DQO y DBO presentan un reducción considerable que oscila entre el 61% al 47 %; mas no en la producción de CH<sub>4</sub> la cual en reactor continuo mesofílico y discontinuo termófilo presenta valores bajos en comparación al reactor continuo termófilo y discontinuo mesofílico, en los cuales la producción de CH<sub>4</sub> es considerablemente alta por lo cual se considera que la producción en los reactores continuo mesófilo y discontinuo termófilo presentaron una producción alta de CO<sub>2</sub>; mismo que saturó la solución de Na(OH), lo que afectó la correcta lectura de producción de gas CH<sub>4</sub>.

## **9. Conclusiones**

1. El proceso de digestión anaerobia en el reactor metanogénico se realizó en régimen continuo y semicontinuo a temperatura termofílica (55°) y mesofílica (35°); para lo cual se utilizó un inóculo proveniente de la misma agua residual de café soluble. La digestión fue exitosa en el régimen continuo termófilo en donde se obtuvo 608 ml de metano y una reducción de DQO y DBO<sub>5</sub> del 53%. Con relación al sistema

discontinuo el reactor mesófilo generó 253 ml de CH<sub>4</sub> y alcanzó una reducción de DQO y DBO<sup>5</sup> de 52% estos fueron los mejores resultados obtenidos durante la digestión anaerobia realizado durante 16 días sin remoción de taninos.

2. Al realizar la reducción de taninos por precipitación con proteínas, catálisis ácida y/o básica, sometiendo a las muestras obtenidas a los condiciones previstas en los reactores mesófilos y termófilos, la producción de biogás (CH<sub>4</sub>) fue notoria en las muestras cuya concentración de taninos se encontraba en el rango comprendido entre 650 a 720 mg/L; al comparar los ml de producción de CH<sub>4</sub> con y sin presencia de recalcitrante se produjo un incremento de los ml del mismo de 2 ml en presencia de taninos a 3,25 ml de metano con remoción de taninos, aplicando la técnica de proteína animal; el resultado más alto se obtuvo con el HCl con una producción de 5,2 ml de metano en comparación con los 2 ml de metano obtenido en presencia de recalcitrante, este ensayo se lo realizo durante 24 horas solo para estimar si efectivamente al obtener un mayor porcentaje de reducción de taninos se elevaba la producción de biogás; en este caso más específicamente de CH<sub>4</sub> comprobando lo expresado en la literatura.
3. Para el desarrollo de nuestro proyecto, se empleó el proceso de digestión anaerobia en condiciones mesofílicas y termofílicas en régimen continuo y semicontinuo utilizado en investigaciones previas a este estudio (ambos regímenes sometidos a temperaturas de 35 y 55 °C), sin embargo fue necesario realizar varias modificaciones en cuanto los dispositivos de salida del efluente digerido en los reactores, así como en los de medición de biogás; lo cual permitió obtener datos confiables al momento de cada lectura.
4. La evaluación de la calidad física y química del efluente proveniente de los reactores a diferentes regímenes, demostró que bajo las condiciones de estudio se obtuvo una remoción de los elementos presentes en el agua residual de carga inicial, reflejado para nuestro caso en el régimen discontinuo tanto mesofílico como termofílico con un 44 % en cada uno, además considerando la relación existente DQO/DBO<sub>5</sub> se obtuvo que el índice de biodegradabilidad de estas aguas es 2, lo cual indica que son moderadamente biodegradables, considerando el hecho de que los taninos condensados presentes en el agua residual de café soluble instantáneo, son recalcitrantes a la degradación de la materia orgánica en general.

## 10.Recomendaciones

En toda investigación, es necesario partir de una hipótesis que será respondida mediante el desarrollo del estudio, siendo culminada en las conclusiones; sin embargo, es necesario que se gesten nuevos trabajos que den continuidad a la problemática expuesta. A continuación se exponen las siguientes recomendaciones, mismas que finalizan el presente estudio:

1. Es necesario que se verifique la medición del biogás producido, realizando para ello un balance de masa de la carga del reactor tanto de la alimentación como de su efluente luego de la digestión, esto permitirá definir acertadamente la eficiencia de este sistema.
2. Es necesario que se continúen gestando estudios o investigaciones respecto al tratamiento de la aguas residuales de café soluble instantáneo con el fin de establecer un mecanismo de tratamiento técnico, económico, rentable para este tipo de agua, el mismo que permita disminuir la carga contaminante presente a fin de que estas mismas una vez tratadas puedan ser reutilizadas o nuevamente tratadas por una planta de tratamiento.
3. Para la recolección del agua residual de café soluble instantáneo de alimentación de los reactores es recomendable tomarla en horas de la mañana ya que en horas de la tarde se realizan mantenimientos en el proceso las cuales alteran las características de la misma.

## Presupuesto

Detalle	Valor
Rediseño de los Reactores Metanogénicos	US \$ 75.00
Reactivos y análisis de laboratorio	US \$ 800.00
Internet y materiales de oficina	US \$ 25.00

Transporte	US \$ 200.00
Alimentación	US \$ 50.00
Sustentación	US \$ 50.00
Subtotal	US \$ 1200.00
Imprevistos (10 %)	US \$ 120.00
<b>TOTAL</b>	<b>US \$ 1,320.00</b>

### Cronograma

ACTIVIDADES	MESES												
	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre			
Elección del tema													
Identificación del problema													
Elaboración de objetivos													

Elaboración de marco teórico																		
Elaboración de hipótesis																		
Definición de la estrategia metodológica																		
Primer avance																		
Diagnóstico y muestreo																		
Análisis dco y dco5																		
Procesamiento de información																		
Segundo avance																		
Elaboración de conclusiones																		
Elaboración de propuesta																		
Elaboración de recomendaciones																		
Elaboración de borrador																		
Avance final																		
Presentación y sustentación																		

<b>TIEMPOS</b>	<b>SEMANAS</b>																	
<b>ACTIVIDADES</b>																		
Presentación del anteproyecto ante la Comisión especial de Titulación y aprobación del mismo	<b>x</b>																	
Elaboración de las técnicas de investigación y levantamiento bibliográfico	<b>x</b>																	

Recolección y selección de la muestra			<b>x</b>							
Análisis de la información				<b>x</b>						
Desarrollo del marco teórico					<b>x</b>					
Visualización del alcance de estudio						<b>x</b>				
Comprobación de la hipótesis en base a las variables							<b>x</b>			
Desarrollo y diseño de la investigación								<b>x</b>		
Definición y selección de la muestra y recolección y análisis de datos									<b>x</b>	
Reporte de los resultados ( conclusiones y recomendaciones )										<b>x</b>

## Bibliografía

Agencia Andaluza de la Energía. (Septiembre de 2011). *Estudio Básica del Biogás*.

Recuperado el 6 de Diciembre de 2015, de Agencia Andaluza de la Energía:

[https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/estudio\\_basico\\_de\\_l\\_biogas\\_0.pdf](https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/estudio_basico_de_l_biogas_0.pdf)

Anacafé. (2012). *Las implicaciones del reglamento de aguas residuales para el sector cafetalero*. Recuperado el 8 de Enero de 2016, de

[https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Reglamento\\_de\\_AguasResiduales](https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Reglamento_de_AguasResiduales)

Centro Científico Tecnológico Mendoza. (s.f.). Obtenido de

<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/DBO.htm>

Kleerebezem, R., Joosse, B., Rozendal, R., & Loosdrecht, M. V. (2015). Anaerobic digestion without biogas? *Springerlink* , 788.

Lopez, Domínguez, & Zurita. (2000). *Análisis estadístico de la producción de café en el Ecuador*. Recuperado el 30 de Enero de 2016, de Repositorio de ESPOL:

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/2140/1/4220.pdf>

(2013). *Manual de proceso de la compañía de elaborados El café*. Montecristi.

Paspuel, W. (17 de Mayo de 2015). *La industria pide más café local*. Recuperado el 27 de Enero de 2016, de Revista Líderes:

<http://www.revistalideres.ec/lideres/industria-pide-cafe-local-ecuador.html>

PROECUADOR. (s.f.). *PROECUADOR*. Obtenido de

<http://www.proecuador.gob.ec/sectores/cafe/>

- Ramírez, N., Serrano, J., & Sandoval, H. (2006). Microorganismos extremófilos. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 57. Recuperado el 5 de Diciembre de 2015, de Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal: <http://www.redalyc.org/pdf/579/57937307.pdf>
- Rattan, S., Parande, & Nagaraju. (2014). A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. *Springer Verlag Berlin Heidelberg*, 6462-6471. Recuperado el 14 de Diciembre de 2015
- Rodríguez, A. (11 de Marzo de 2015). *Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2015, de ingenieroambiental.com: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento545.pdf>
- Rodríguez, N. (12 de Noviembre de 1999). *Manejo de residuos en la industria cafetera*. Recuperado el 3 de Diciembre de 2015, de Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/acodal/xxx.pdf>
- Rodríguez, S., Guardia, Y., & Jiménez, J. (21 de Junio de 2015). *SISTEMA ANAEROBIO BIFÁSICO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS DEL BENEFICIO HUMEDO DEL CAFÉ*. Recuperado el 8 de Diciembre de 2015, de Repositorio de la Universidad de Sancti Spíritus de Cuba: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ortGjROyq-QJ:www.imbe.fr/docrestreint.api/1625/580b04908ebe9e1b4ff6c493d37cc56f5198c68b/pdf/2015-06-22\\_abstract\\_2\\_suyen\\_smbb.pdf+&cd=17&hl=es&ct=clnk](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ortGjROyq-QJ:www.imbe.fr/docrestreint.api/1625/580b04908ebe9e1b4ff6c493d37cc56f5198c68b/pdf/2015-06-22_abstract_2_suyen_smbb.pdf+&cd=17&hl=es&ct=clnk)
- Salazar, J. (9 de Abril de 2012). *Estimación del volumen de las aguas residuales vertidos a la cuenca del Rio Entaz por Principales Plantas de Beneficio Húmedo de Café de los distritos de Villa Rica y San Luis de Shuaro en el año 2011*.

Recuperado el 27 de Enero de 2016, de Universidad Agraria de la Selva del

Perú:

[http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/ESTIMACION%20DEL%20VOLUMEN%20DE%20LAS%20AGUAS%20RESIDUALES%20VERTIDOS%20A%20LA%20CUENCA%20DEL%20RIO%20ENTAZ.pdf](http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/ESTIMACION%20DEL%20VOLUMEN%20DE%20LAS%20AGUAS%20RESIDUALES%20VERTIDOS%20A%20LA%20CUENCA%20DEL%20RIO%20ENTAZ.pdf)

Savigne, D. (s.f.). *IMPACTO DE LOS RESIDUALES DEL BENEFICIO HUMEDO DEL CAFÉ EN LA PROVINCIA GUANTANAMO*. Recuperado el 31 de Enero de 2016, de Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental.

Varnero, M. T. (2011). *Manual del Biogás*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2015, de Olade.org:

[http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/FAO/manual\\_biogas.pdf](http://www.olade.org/sites/default/files/CIDA/Biocomustibles/FAO/manual_biogas.pdf)

## Anexos



ANEXO 1: SELLADO DE LOS REACTORES



ANEXO 2: MEDIDORES DE GAS METANO POR DESPLAZAMIENTO



ANEXO 3: REACTORES METANOGENICOS UTILIZADOS.



ANEXO 3: REACTORES METANOGENICOS UTILIZADOS.



ANEXO 4: MEDICIÓN DEL VOLUMEN EFECTIVO DE LOS REACTORES



ANEXO 5: DISEÑO INTERNO DE LOS REACTORES



ANEXO 6: PRUEBAS DE REDUCCIÓN DE TANINOS



ANEXO 7: PRUEBAS DE REDUCCIÓN DE TANINOS



ANEXO 8: PRUEBAS DE REDUCCIÓN DE TANINOS SOMETIDAS A 35°C



ANEXO 9: PRUEBAS DE REDUCCIÓN DE TANINOS SOMETIDAS A 55°C



ANEXO 10: EVALUACIÓN DE LAS PRUEBAS DE REDUCCIÓN DE TANINOS



ANEXO 11: ESPECTROFOTÓMETRO



ANEXO 12: DETERMINACIÓN DE TANINOS



ANEXO 13: FILTRACIÓN DE LA MUESTRA



ANEXO 14: REACCIÓN DE TANINOS ANTE PROTEINAS, Y CATÁLISIS ACIDA  
Y/O BÁSICA



ANEXO 15: MEDICIÓN DE TANINOS



ANEXO 16: MULTIPARÁMETRO HACH



ANEXO 17: MODIFICACIÓN MEDIDORES DE CH<sub>4</sub>



ANEXO 18: MUESTRAS DE LOS REACTORES PARA ANÁLISIS DE DBO<sub>5</sub>



ANEXO 19: REACTIVOS DQO.