



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
CUANTIFICACIÓN DEL METANO UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA EN LODOS PROVENIENTES
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
UCUBAMBA

TESIS DE GRADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES

Egdo. Santiago David Manobanda Manotoa

Egdo. Víctor Alfonso Heras Bermeo

DIRECTOR:

Ing. Fausto Fernando García Ávila

Cuenca – Ecuador

2015



RESUMEN

El proyecto está enfocado en cuantificar la producción de biogás utilizando lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba, mediante la adecuación de 6 reactores pilotos anaerobios de flujo discontinuo, se pretende realizar monitoreo de generación de gas utilizando la técnica AME y evaluar todos los resultados obtenidos del sistema anaerobio.

Los lodos de la planta de Ucubamba poseen un tratamiento de deshidratación previo a su disposición final en el relleno sanitario de Pichacay y lo que este proyecto se enfoca es aprovechar estos lodos y obtener Metano. El método que se va a emplear en la elaboración de este proyecto es un método volumétrico de cuantificación la técnica AME (Actividad Metanogénica Especifica) que consiste en utilizar una sustancia química (sosa cáustica) que secuestre CO_2 y deje pasar gas metano.

Con los resultados obtenidos se ha cuantificado de forma efectiva el biogás, de esta forma hemos comprobado y verificado el cumplimiento de nuestro principal objetivo planteado, se cuantificó de forma efectiva el gas generado en los 6 reactores discontinuos anaerobios teniendo resultados de la técnica AME en el **REACTOR 1= 0.061Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 3= 0.352Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 5= 0.134Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 2= 0.121Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 4= 0.261Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 6= 0.639Kg DQO/Kg SVT**, estos datos se encuentran en los 55 días de estudio, también incluye el tiempo de retención de estabilización del pH, el volumen de metano y la temperatura de cada reactor para su favorable comparación.

Palabras claves: Lodos, técnica AME, biogás, reactor anaerobio.



ABSTRACT

The project focuses on quantifying methane production using the sludge from the Urubamba's treatment plant wastewater. We adapted 6 reactors pilots, we monitored biogas' generation through AME technical and we evaluated of the results obtained within the anaerobic system.

These sludge have dehydration treatment prior to disposal for subsequent disposal in the landfill and the intention of this project is to exploit those sludge getting biogas.

The method used is a volumetric method, it utilizes the technique AME (Specifies methanogen activity). This technique helps us to quantify the biogas generated through microbiological activity. the method to be used in the preparation of this project is a volumetric quantification method AME technique (specific methanogenic activity) is to use a chemical (caustic soda) to sequester CO₂ and methane pass.

From the results obtained we quantified effectively the biogas, in this manner, we have tested and verified compliance with our stated objective, we quantified effectively the gas generated within 6 reactors having results of technical AME in the **REACTOR 1= 0.061Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 3= 0.352Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 5= 0.134Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 2= 0.121Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 4= 0.261Kg DQO/Kg SVT**, **REACTOR 6= 0.639Kg DQO/Kg SVT**, this data is in the 55 day study , also the retention time of stabilization of the pH , the volume of methane and the reactor temperature for each favorable comparison.

Key words: sludge, AME technique, biogas, anaerobic reactor.



INDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
GENERALIDADES	17
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	17
1.1 ANTECEDENTES.....	17
1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	19
1.4 OBJETIVOS.....	19
1.5 HIPÓTESIS.....	20
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PLANTA DE UCUBAMBA	20
3. TRATAMIENTO ACTUAL DE LODOS	26
3.1 EVACUACIÓN Y BOMBEO DE LODOS:.....	26
3.2 ESPESAMIENTO DE LODOS.....	30
3.3 ACONDICIONAMIENTO DE LODOS (POLIELECTROLITO).....	31
3.4 ACONDICIONAMIENTO DE LODOS.....	31
3.5 DESHIDRATACIÓN EN FILTROS BANDA.....	32
3.6 TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL.....	32
CAPITULO II	34
MARCO TEÓRICO:	34
1. TIPO, CARACTERÍSTICAS Y TRATAMIENTO DE LODOS	34
1.1 TIPO Y CARACTERÍSTICAS DE LODOS SEGÚN LA ETAPA DE TRATAMIENTO DONDE SE GENERAN.....	34
2. TRATAMIENTO DE LODOS	35
2.1 A CONTINUACIÓN SE DESCRIBE BREVEMENTE ALGUNOS DE LOS TRATAMIENTOS DE LODOS EXISTENTES:.....	35
2.1.1 DESARENACIÓN.....	35
2.1.2 ESPESAMIENTO.....	35
2.1.3 ESTABILIZACIÓN.....	36
2.1.4 ACONDICIONAMIENTO.....	36
2.1.5 DESHIDRATACIÓN.....	36
2.1.6 SECADO.....	36



2.1.7	INCINERACIÓN.....	36
3.	TIPOS DE DIGESTION	37
3.1	DIGESTION AEROBIA	37
3.2	DIGESTION ANAEROBIA.....	37
4.	FASES DE LA DIGESTION ANAEROBIA	37
4.1	FASE HIDROLÍTICA	37
4.2	FASE ACIDOGÉNICA.....	38
4.3	FASE ACETOGÉNICA.....	38
4.4	FASE METANOGÉNICA	38
	ETAPA 1: FERMENTACION ÁCIDA.....	39
	ETAPA 2: FERMENTACION DEL METANO	39
5.	PARAMETROS DEL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA	40
5.1	TEMPERATURA	40
5.2	PH	40
5.3	TIEMPO Y TEMPERATURA	40
5.4	ÁCIDOS VOLÁTILES	41
6.	INHIBIDORES DE LA DIGESTION ANAEROBIA	41
6.1	METALES PESADOS	41
6.2	HIDRÓGENO	41
6.3	NITRÓGENO AMONIACAL	41
6.4	SULFATOS Y SULFUROS	42
7.	FACTORES QUE INHIBEN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA SEGÚN (MONTES, 2008) SON:	42
7.1	PH	42
7.2	TEMPERATURA	42
7.3	TIEMPOS DE RETENCIÓN.....	42
8.	MONITOREO DE SISTEMAS ANAEROBIOS.....	43
8.1	MONITOREO DE LA EFICIENCIA	43
8.2	MONITOREO DE LA ESTABILIDAD	43
8.3	MONITOREO DE LA CALIDAD DEL LODO	43
9.	BIODIGESTORES.....	43
9.1	CLASIFICACION DE LOS BIODIGESTORES	44
9.1.1	BIODIGESTORES DE CARGA CONTINÚA	44
9.1.2	BIODIGESTORES DE CARGA DISCONTINUA	44



9.1.3	BIODIGESTORES DE CARGA SEMI-CONTINUA	44
10.	TÉCNICA AME	45
11.	DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD METANOGENICA ESPECÍFICA	45
CAPITULO III.....		49
1.	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....	49
1.1	VOLUMEN DE LODOS.....	51
1.2	DESCRIPCION DE LA TOMA DE MUESTRA.....	53
2	ANALISIS FISICO QUIMICOS.....	55
2.1	pH.....	55
2.2	SOLIDOS TOTALES VOLÁTILES.....	55
2.3	SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	56
2.4	SOLIDOS VOLÁTILES.....	56
2.5	DETERMINACIÓN DE FÓSFORO.....	56
2.6	DETERMINACIÓN NITRÓGENO ORGÁNICO Y TOTAL.....	56
3.	METODOLOGIA DE RECOLECCION DE INFORMACION.....	57
3.1	PRIMERA FASE.....	57
3.2	SEGUNDA FASE	57
3.3	TERCERA FASE.....	57
3.4	CUARTA FASE	57
4	DETERMINAR LA ACTIVIDAD MÁXIMA ESPECIFICA DE LOS LODOS EVALUADOS.....	58
5	MÉTODOS: MÉTODO EXPERIMENTAL, MÉTODO VOLUMÉTRICO (TÉCNICA AME).	58
6	MÉTODOS ESTADISTICOS.....	58
CAPITULO IV		59
DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO UTILIZADO		60
RESULTADOS DE LOS MONITOREOS.....		63
GRÁFICOS DE COMPARACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS.....		75
DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE		93
GRÁFICOS DE GENERACIÓN METANO EN CADA UNO DE LOS REACTORES.....		93
GRÁFICOS COMPARATIVOS ENTRE LOS VOLÚMENES ACUMULADOS DE LOS REACTORES DISCONTINUOS ANAEROBIOS.....		99
RESULTADOS TECNICA AME		103
REACTOR 1.....		103



CAPÍTULO V	106
CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	112

FOTOGRAFÍAS:

Foto 1. Cajón de llegada	21
Foto 2. Pantalla tranquilizadora	22
Foto 3. Cribas mecánicas	22
Foto 4. Malla Interna de la Criba	22
Foto 5. Desarenador #1	23
Foto 6. Desarenador #2	23
Foto 7. Lagunas aereadas	24
Foto 8. Aereador	24
Foto 9. Lagunas Facultativas	25
Foto 10. Lagunas de Maduración	25
Foto 11. Draga Flotante	26
Foto 12. Red Perimetral de Tuberías	27
Foto 13. Estación de Bombeo	27
Foto 14. Caja de Control de las Dragas	28
Foto 15. Draga en operación	28
Foto 16. Red Recolectora de Lodos	29
Foto 17. Bombas de impulsión de lodos	29
Foto 18. Espesador Circular	30
Foto 19. Depósito de regulación	30
Foto 20. Inyectores de la solución con electrolito	31
Foto 21. Bombas de mezcla	31
Foto 22. Filtros Banda	32
Foto 23. Tanque acumulador de lodos	32
Foto 24. Camión transportador de lodos	33
Foto 25. Tanque reactor	50
Foto 26. Difusor de solución	50
Foto 27. Paquete del difusor	50



Foto 28. Solución de NaOH preparada	51
Foto 29. Armado de los reactores.....	54
Foto 30. Juez de lodos	55
Foto 31. Instalación de los digestores.....	59
Foto 32. Burbujeo.....	61
Foto 33. Acumulación biogás en los catéter.....	61
Foto 34. Goteo.....	62
Foto 35. Quema de gas	62

TABLAS.

TABLA 1. VOLUMEN DE LODOS.....	53
TABLA 2. RESULTADOS DE LOS MONITOREOS.....	63
TABLA 3. RESULTADOS DE LOS MONITOREOS EN LOS REACTORES.....	69
TABLA 3.1 RESULTADO MONITOREO REACTOR 1 CON EL VOLUMEN ACUMULADO.....	69
TABLA 3.2 RESULTADOS MONITOREO REACTOR 2 CON EL VOLUMEN ACUMULADO.....	70
TABLA 3.3 RESULTADO MONITOREO REACTOR 3 CON EL VOLUMEN ACUMULADO.....	71
TABLA 3.4 RESULTADO MONITOREO REACTOR 4 CON EL VOLUMEN ACUMULADO.....	71
TABLA 3.5 RESULTADO MONITOREO REACTOR 5 CON EL VOLUMEN ACUMULADO.....	72
TABLA 3.6 RESULTADO MONITOREO REACTOR 6 CON EL VOLUMEN ACUMULADO.....	73
TABLA 4. RESULTADOS CÁLCULOS.....	103
TABLA 5. RESULTADOS FINALES DE LOS REACTORES.....	105



GRÁFICOS.

GRAFICO 1. CURVA DE TENDENCIA DEL BIOGÁS.....	48
GRAFICO 2. DIBUJO DE LOS REACTORES 1 Y 2 EN AUTOCAD.....	49
GRÁFICO 3. VALORES DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 1.	75
GRÁFICO 4. VALORES DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 2.	76
GRÁFICO 5. COMPARACIÓN DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DE LOS REACTORES 1 Y 2.....	77
GRÁFICO 6. VALORES DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 4.	78
GRÁFICO 7. VALORES DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 5.	79
GRÁFICO 8. COMPARACIÓN DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DE LOS REACTORES 4 Y 5.....	80
GRÁFICO 9. VALORES DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 3.	81
GRÁFICO 10. VALORES DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 6.....	82
GRÁFICO 11. COMPARACIÓN DEL PH CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 3 Y 6.....	83
GRÁFICO 12. VALORES DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 1.....	84
GRÁFICO 13. VALORES DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 2.....	85
GRÁFICO 14. COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 1, 2 Y LA DEL AMBIENTE.	86
GRÁFICO 15. VALORES DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 4.....	87
GRÁFICO 16. VALORES DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 5.....	88
GRÁFICO 17. COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 4, 5 Y LA DEL AMBIENTE.	89
GRÁFICO 18. VALORES DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 3.....	90
GRÁFICO 19. VALORES DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 6.....	91
GRÁFICO 20. COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA CON RESPECTO AL TIEMPO DEL REACTOR 3, 6 Y LA DEL AMBIENTE.....	92
GRAFICO 21. GENERACIÓN DE METANO REACTOR 1	93
GRÁFICO 21.1 PENDIENTE REACTOR 1	93
GRÁFICO 22. GENERACIÓN DE METANO DEL REACTOR 2	94



GRÁFICO 22.1 PENDIENTE REACTOR 2	94
GRÁFICO 23. GENERACIÓN DE METANO DEL REACTOR 3	95
GRÁFICO 23.1 PENDIENTE REACTOR 3	95
GRÁFICO 24. GENERACIÓN DE METANO DEL REACTOR 4	96
GRÁFICO 24.1 PENDIENTE REACTOR 4	96
GRÁFICO 25. GENERACIÓN DE METANO DEL REACTOR 5	97
GRÁFICO 25.1 PENDIENTE REACTOR 5	97
GRÁFICO 26. GENERACIÓN DE METANO DEL REACTOR 6	98
GRÁFICO 26.1 PENDIENTE REACTOR 6	98
GRÁFICO 27. COMPARACIÓN VOLÚMENES ACUMULADOS DE METANO ENTRE REACTORES 1 Y 2.....	99
GRÁFICO 28. COMPARACIÓN VOLÚMENES ACUMULADOS DE METANO ENTRE REACTORES 3 Y 6.....	100
GRÁFICO 29. COMPARACIÓN VOLÚMENES ACUMULADOS DE METANO ENTRE REACTOR 4 Y 5.....	101
GRAFICO 30. COMPARATIVO ENTRE TODOS LOS REACTORES	102

CLÁUSULAS DE DERCHOS DE AUTOR



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Santiago David Manobanda Manotoa, autor de la tesis "CUANTIFICACIÓN DEL METANO UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA EN LODOS PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi Título de INGENIERO AMBIENTAL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 03 de junio de 2015



Santiago David Manobanda Manotoa

C.I: 1718534330



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Victor Alfonso Heras Bermeo, autor de la tesis "CUANTIFICACIÓN DEL METANO UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA EN LODOS PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi Título de INGENIERO AMBIENTAL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 03 de junio de 2015



Victor Alfonso Heras Bermeo

C.I: 0104683206

CLÁUSULA DE PROPIEDAD INTELECTUAL



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Santiago David Manobanda Manotoa, autor de la tesis "CUANTIFICACIÓN DEL METANO UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA EN LODOS PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 03 de junio de 2015



Santiago David Manobanda Manotoa

C.I: 1718534330



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Victor Alfonso Heras Bermeo, autor de la tesis "CUANTIFICACIÓN DEL METANO UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA EN LODOS PROVENIENTES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 03 de junio de 2015

Victor Alfonso Heras Bermeo

C.I: 0104683206



VÍCTOR HERAS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo a mis padres por sus grandes enseñanzas de nunca darnos por vencido y de luchar siempre por alcanzar nuestros sueños, también por haberme brindado el estudio y de verme convertido en todo un profesional. Dedico este trabajo a mis profesores universitarios por sus sabios conocimientos impartidos en los años de estudio y a mis compañeros de clases por brindarme su apoyo y haber formado una gran amistad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por ser la fortaleza y pilar fundamental para acabar con éxito este trabajo investigativo. Agradezco a mis padres y hermanos por el apoyo incondicional en mi preparación profesional y por ayudarme a superar todo obstáculo que hemos atravesado en el transcurso de nuestras vidas. Al Ing. Fernando García por ser nuestro director de tesis y por habernos guiado para acabar con éxito este trabajo. A mi compañero de Tesis Sr. Santiago Manobanda por el apoyo en la realización de este proyecto y por sus excelentes y buenos consejos, más que un gran amigo ha sido un gran hermano.



SANTIAGO MANOBANDA

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mis padres por su gran apoyo incondicional para no decaer y darnos la fuerza para realizar nuestros proyectos, sueños y metas, también por haberme dado el mejor de las herencias que es el estudio y ahora verme formado como profesional. A Srta. Isabel Domínguez y su familia la cual me apoyaron durante todo este tiempo. Este trabajo es dedicado a la Universidad de Cuenca por haberme abierto las puertas para estudiar y culminar mi carrera profesional, a mis profesores que impartieron sus conocimientos durante todos los años de estudio y a mis compañeros de aula por su apoyo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme fuerza y sabiduría de culminar exitosamente este trabajo investigativo. A mis padres, mi familia que se encuentra en Ambato especialmente a mi abuelita María Pilatuña que la quiero con todo mi corazón y en Quito que me apoyaron en mi preparación profesional como también en los obstáculos que la vida, a Isabel Domínguez por su amor y toda su familia por el apoyo. A la empresa ETAPA SA por abrirnos las puertas para realizar nuestra investigación, al Ing. Fernando García por ser nuestro director de tesis el cual nos guio para culminar esta investigación. A mi compañero de tesis Sr. Víctor Heras por el apoyo durante toda la realización de la tesis por sus consejos, ha sido un gran y el mejor de los amigos.

GENERALIDADES

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 ANTECEDENTES

Como parte del proceso de planificación emprendido por E.T.A.P.A. (Empresa Pública de Telecomunicaciones Agua Potable y Alcantarillado) para mantener adecuados niveles de cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento de la Ciudad de Cuenca, implementó un sistema de tratamiento de aguas residuales, compuesta de una fase de pre-tratamiento y de lagunas de estabilización que están en serie y en paralelo (2 aereadas, 2 facultativas y 2 de maduración) y que se encuentran funcionando desde el mes de noviembre de 1999.

Para que los sistemas de lagunas sean sostenibles, es necesario planificar la remoción de lodos desde el principio del diseño del sistema y posteriormente durante su operación. Como objetivos principales la remoción de lodos debe minimizar costos, proteger la salud pública y sobretodo el medio ambiente, permitir el funcionamiento adecuado del sistema durante el periodo de limpieza y dar una solución adecuada para la disposición final de los lodos.

En la actualidad en la Planta de tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba, se han realizado trabajos de mejoramiento de la planta, lo que permite realizar lo siguiente:

Extraer los lodos acumulados en las lagunas de estabilización aereadas y facultativas sin interferir en los procesos, de tal forma que se recupere la capacidad de tratamiento y el volumen útil perdido por la acumulación de los lodos.

Conducir los lodos a través de un sistema de dragas succionadoras a la planta de deshidratación de lodos, reducir su volumen, y facilitar su transporte y disposición final.

1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El incremento de la población y por ende la elevada contaminación de fuentes hídricas ha provocado que se pierda la capacidad auto depuradora de muchos ríos, es por ello que los procesos de depuración de aguas residuales tanto urbanas como industriales han propiciado en la población la necesidad de recuperar la calidad de los mismos. Los lodos que se obtienen en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba son esterilizados y enviados al relleno sanitario de Pichacay para su disposición final, esto repercute en la vida útil del relleno sanitario al acumular estos lodos y no darle un tratamiento previo para explotar su potencial. Por las características tanto físicas, químicas y biológicas que poseen estos lodos los mejores tratamientos para tratar estos lodos son la digestión aerobia y la anaerobia siendo la anaerobia la más empleada por obtener productos útiles como son el biogás que es un producto propenso a ser utilizado en la misma planta de tratamiento.

A continuación se presentan los resultados de los análisis de laboratorio

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	ESPESADOR 599/01/14	TANQUE ESPESADOR DE LODOS 599/02/14
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2014/12/10 2014/12/15	mg/l	24	32
DQO	PEE/LS/FQ/06	2014/12/12	mg/l	673	264
FÓSFORO TOTAL	PEE/LS/FQ/03	2014/12/12	mg/l	2.69	2.06
NKT *	SM 4500 Norg B	2014/12/12	mg/l	65.22	47.43
pH *	SM 4500 H B	2014/12/10		7.42	8.13
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LS/FQ/04	2014/12/10	mg/l	82	35
SÓLID. SUSP. VOLATILES*	SM 2540 E	2014/12/12	mg/l	46	21
SÓLIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/05	2014/12/15	mg/l	552	996
SÓLIDOS TOTALES VOLATILES *	SM 2540 E	2014/12/17	mg/l	178	378

SM: STANDARD METHODS, Edición 22

PARÁMETRO	DBO5	DQO (>100)	DQO (<100)	FOSFORO TOTAL	SÓLIDOS SUSPEND.	SÓLIDOS TOTALES
INCERTIDUMBRE	18.12 % (95 %, k=1.96)	12.7% (95 %, k=1.96)	13.05% (95 %, k=1.99)	9.04% (95 %, k=1.96)	10.76% (95 %, k=1.96)	17.21 % (95 %, k=1.96)



1.3 JUSTIFICACIÓN

Existe una problemática debido al manejo de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales por los elevados costos que genera tratarlos, es por ello que muchas veces estas plantas solo deshidratan el lodo para después llevarlo a un relleno sanitario para su disposición final.

Por las características que el lodo residual posee como son la gran cantidad de nitratos, fosfatos y debido a la humedad que estos retienen, la mejor alternativa para tratar estos lodos son la digestión aerobia y la anaerobia, siendo la digestión anaerobia la más conveniente, ya que se obtienen productos como es el biogás, además si estos lodos son procesados adecuadamente se podrá expandir su estudio para utilizarlos en la generación de energía eléctrica y así evitar que estos sean depositados en rellenos sanitarios.

Los lodos que se obtiene de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba poseen un sistema el cual consiste en la extracción de lodos mediante bombas succionadoras enviando este material a tanques de deshidratación para posteriormente almacenarlos y llevarlos al relleno sanitario de Pichacay, por ello el planteamiento de este tema es de interés local, ya que ayudará tanto a la planta como a la empresa a manejar de forma adecuada estos desechos, además reduce la carga de depositarlos en rellenos sanitarios y lo más importante si este estudio es factible se minimizará las cargas contaminantes de los lodos y se utilizará para diversos usos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Cuantificar mediante la técnica AME (Actividad Metanogénica Especifica) el biogás generado en un reactor piloto anaerobio, utilizando los lodos provenientes del PTAR de Ucubamba.



1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Escoger los contenedores adecuados para convertirlos en reactores piloto discontinuo anaerobio.

Aplicar la técnica AME (Actividad Metanogénica Especifica) dentro del proceso de digestión anaerobia.

Determinar la Actividad máxima especifica de los lodos evaluados en el sistema anaerobio.

Cuantificación del volumen de metano producido en los reactores piloto anaerobio.

1.5 HIPÓTESIS

La utilización de la técnica AME (Actividad Metanogénica Específica) en reactores pilotos anaerobios, nos indicará la cuantificación del volumen de biogás generado en el proceso utilizando lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba.

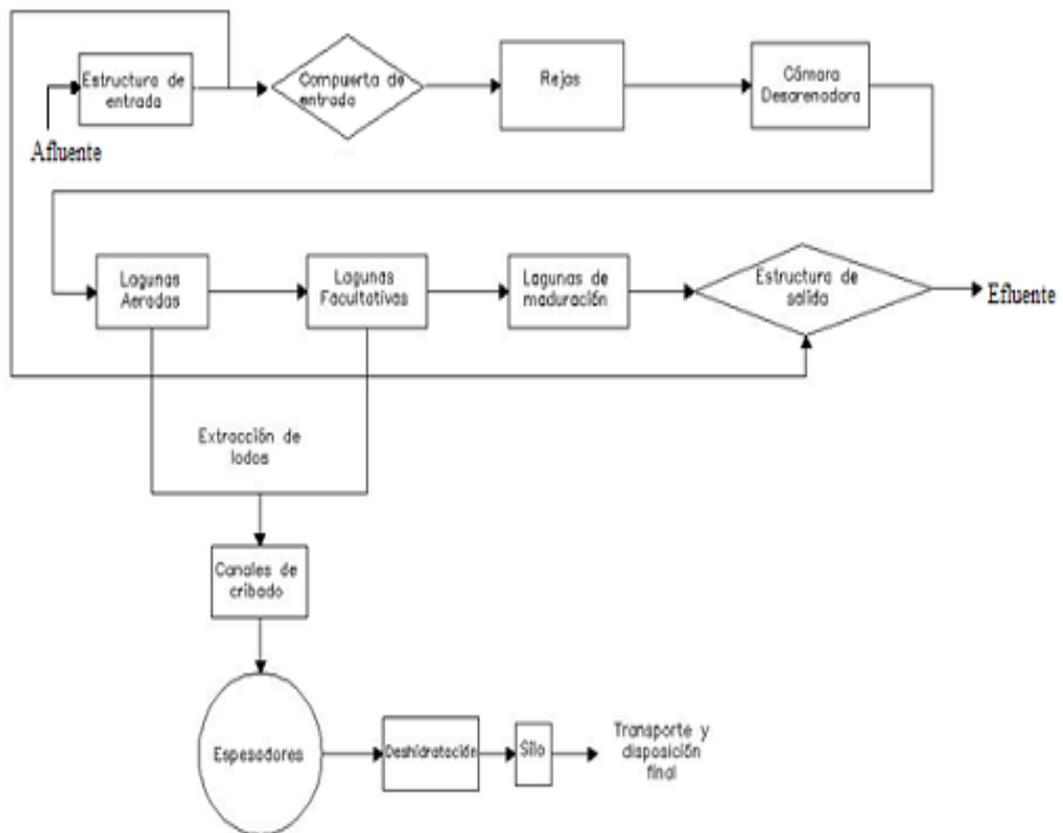
2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA PLANTA DE UCUBAMBA

La planta de tratamiento de aguas residuales se localiza al noreste de la Ciudad en el sector de Ucubamba, aquella planta de tratamiento recepta las aguas residuales que antes se descargaban a los ríos y se las trata de manera eficiente con el propósito de devolver al medio ambiente aguas libres de contaminación.

La planta de tratamiento está constituida por estructuras de pre-tratamiento antes de empezar con el proceso biológico en las lagunas de estabilización, dichas estructuras son: Cajón de Llegada, BAY-PASS, compuerta de admisión, cribas mecánicas auto-limpiantes y desarenadores de flujo horizontal (ETAPA, 2008).

El cajón de llegada posee una pantalla tranquilizadora, dicha estructura disipa la energía con la que llegan las aguas residuales, está diseñada para recibir un caudal de 3640 lt/s.

Diagrama de Flujo de la PTAR de Ucubamba



Fuente: (ETAPA, 2008)

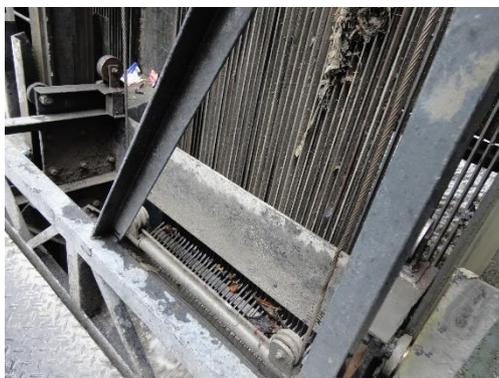
Foto 1. Cajón de Llegada



Foto: Propia

Foto 2. Pantalla tranquilizadora**Foto: Propia**

La planta de tratamiento de Ucubamba posee 3 cribas mecánicas cuyo volumen de remoción es de 680 l/s cada una, las aguas residuales pasan primero por un canal de transición antes de ingresar a las cribas mecánicas, tal canal tiene la función de retener desechos sólidos cuyo tamaño no interfiera los procesos biológicos en las lagunas de estabilización.

Foto 3. Cribas mecánicas**Foto: Propia****Foto 4. Malla Interna de la Criba****Foto: Propia**

Después de haber pasado por las cribas mecánicas, las aguas residuales pasan a los desarenadores, estos retienen y evacúan partículas de arena cuyo diámetro es igual o mayor a 0,2 mm (milímetros) la cual cuentan con una densidad de 2.65 g/cm^3 y las velocidades de sedimentación son superiores a los sólidos orgánicos contenidos en las aguas residuales, esto protege a los aireadores del desgaste, reduce la formación de material inerte en las lagunas y por ende la frecuencia de limpieza (ETAPA, 2008).

Foto 5. Desarenador #1



Foto: Propia

Foto 6. Desarenador #2



Foto: Propia

Del tratamiento preliminar las aguas residuales pasan a las lagunas aeradas, éstas son las dos primeras lagunas de estabilización que se encuentran de forma paralela, poseen un área de 6 Ha en total (3Ha cada una) con una profundidad de 4,5 m, y cuenta con un volumen de retención de 135000 m^3 .

Foto 7. Lagunas aereadas**Foto: Propia**

El propósito de tales lagunas es separar los sólidos, reducir la carga orgánica, disminuir las bacterias de acuerdo a su capacidad, la compactación del fondo de las lagunas se la realizó con arcilla, también estas lagunas tienen dos cables de alimentación por cada aerador, los aeradores son dispositivos flotantes de eje inclinado que tienen la capacidad de transmitir aire-agua, la entrada de las aguas residuales a las lagunas aereadas es mediante una tubería de 1 m de diámetro que se encuentra situada en el fondo y la salida está conformada por un vertedero rectangular de 10 m de longitud que está constituida por una compuerta giratoria, cuenta con una galería colectora y un cajón de descarga hacia la siguiente laguna.

Foto 8. Aereador**Foto: Propia**

Inmediatamente de haber pasado por las lagunas de aireación, el agua tratada pasa a las lagunas facultativas, estas son dos y están construidas con un área de 13 Ha cada una, posee una profundidad de 2m y abarca un volumen de 260000 m³ por cada laguna facultativa.

Foto 9. Lagunas Facultativas**Foto: Propia**

Estas lagunas están diseñadas con el fin de asimilar y almacenar sólidos biológicos generados por las lagunas aeradas, el de crear condiciones aptas de carga orgánica, así como lograr un equilibrio de oxígeno que contenga una biomasa conveniente de algas unicelulares en la parte superior de la laguna (ETAPA, 2008).

Las próximas lagunas son las de maduración estas son la última etapa de todo el proceso de tratamiento biológico, tiene una superficie de 7,5 Ha cada una, cuentan con una profundidad de 2 m y contienen un volumen de 148000 m³. La función primordial de tales lagunas es muy parecida a las lagunas facultativas con la característica de que en ellas no llegan lodos solo algas unicelulares, en dichas lagunas se puede apreciar organismos de ecosistemas limpios, lo que refleja el grado de depuración y de eficiencia del agua tratada.

Foto 10. Lagunas de Maduración**Foto: Propia**

Todo el proceso de tratamiento depurador de las aguas residuales de la Ciudad de Cuenca está en serie, solo las lagunas sean estas aeradas, facultativas y de maduración están de manera paralela.

El agua tratada libre de contaminación es liberada por un sistema de desfogue que descarga estas aguas al Rio Cuenca, está en condiciones óptimas de ser utilizada sea en actividades agrícolas, eléctricas además de fomentar actividades de recreación (ETAPA, 2008).

3. TRATAMIENTO ACTUAL DE LODOS

En el 2002 ETAPA EP realizó los primeros estudios para determinar los volúmenes de lodos generados en las lagunas de estabilización y así empezar un plan de extracción de lodos, se efectuó los respectivos análisis físico-químicos, biológicos y parasitarios para extraer y deshidratar los lodos de manera efectiva para no repercutir la eficiencia de las lagunas.

La planta de deshidratación tiene el objetivo de extraer los lodos acumulados de las dos primeras lagunas estas son las aeradas y facultativas ya que dichas lagunas acumulan gran cantidad de sólidos, esta estructura está constituida por fases.

Fases de funcionamiento de la planta deshidratadora de lodos:

- 1) Evacuación y Bombeo de Lodos
- 2) Espesamiento de Lodos
- 3) Acondicionamiento de Lodos
- 4) Deshidratación en Filtros Banda
- 5) Bombeo y Almacenamiento
- 6) Transporte y Disposición Final

La planta de deshidratación de lodos evacua cada día un volumen de 52 m³ de lodos acumulados en las primeras lagunas con un contenido de sólidos de 25%

3.1 EVACUACIÓN Y BOMBEO DE LODOS:

La evacuación y bombeo de lodos está constituido por:

1. Dos dragas flotantes que recogen, aspiran y envían los lodos hasta las periferias de las lagunas.

Foto 11. Draga Flotante

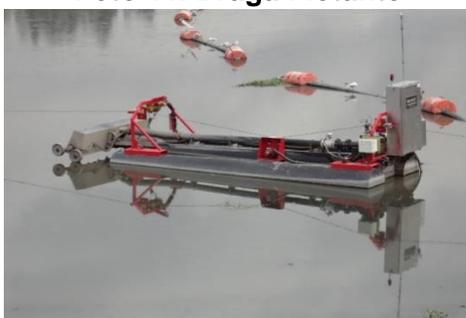


Foto: Propia

2. Posee una red perimetral de tuberías que llevan los lodos hacia las estaciones de bombeo.

Foto 12. Red Perimetral de Tuberías



Foto: Propia

3. Cuenta con una estación de bombeo intermedio y un bombeo principal para impulsar los lodos dragados hasta los espesadores a gravedad.

Foto 13. Estación de Bombeo



Foto: Propia

Las dos dragas están conformadas por un sistema de barrido de fondo compuesto por una cabeza barrenadora y un doble tornillo sin fin que está en la boca de aspiración con una bomba sumergible situada en el extremo de un brazo de accionamiento hidráulico, cada draga posee un sensor automático de fondo que protege el revestimiento de las lagunas y un sistema de control de concentración de sólidos del lodo extraído.

El desplazamiento de cada una de las dragas lo conforma tambores de accionamiento hidráulico con cables de anclaje y tensión con 4 puntos de apoyo ubicados en la orilla para proporcionar el barrido en cada una de las áreas (ETAPA, 2008).

Las dragas funcionan de manera automática o manualmente, se opera el funcionamiento de las dragas y se realiza paradas de emergencia cuando el caso

lo amerite desde el panel de control, los lodos dragados son impulsados por una manguera flotante de 180 mm (milímetros) de diámetro y 180 m de longitud.

Foto 14. Caja de Control de las Dragas



Foto: Propia

Desde el panel de control se inspecciona el funcionamiento de las dragas, estas operan mediante 4 barras, la primera barra indica la profundidad de las dragas que esta aproximadamente a 5 pies de profundidad, la segunda barra nos indica la cantidad de lodo que se está extrayendo de las dragas se utiliza un promedio de 250 gal/min y la tercera barra es la densidad del lodo que está alrededor de 2.10 m/v en promedio y la última barra controla la velocidad que se encuentra entre un 10% aproximadamente.

Los lodos de las lagunas facultativas no se encuentran uniformes en el fondo de las lagunas, ya que estas se sedimentan en forma de montículos, haciendo que desde el panel de control se observe el promedio de cantidad de lodos extraídos pudiendo subir o bajar.

Uno de los problemas a tratar es el viento, el cual mueve las mangueras, estas poseen flotadores que ayudan a que no se hunda en las lagunas, las mangueras cuentan con sogas en las cuales el personal tiene la facilidad de acomodar las mangueras para que no se choquen con la draga. La humedad de los lodos tiene que estar entre un 94 % para poder deshidratar el sólido en la planta, si se excede de este porcentaje no se puede deshidratar, además el sólido no tiene que estar tan espeso debido a que puede averiar la bomba.

Foto 15. Draga en operación



Foto: Propia

La red recolectora de lodos está conformada por tuberías situadas en los márgenes de las lagunas, las cuales tiene la función de conducir los lodos hasta las estaciones de bombeo, esta red está formada por una tubería de 150 mm (milímetros) de diámetro, para facilitar la extracción se implantaron ajustes para las mangueras con válvulas de aislamiento, cada red de conducción se encuentra paralela con una red de agua a presión para evitar obstrucciones y facilitar su limpieza. Cada conexión se acomoda con puntos para la toma de muestra de lodo, la longitud de la red es de aproximadamente 2160 m desde los márgenes de las lagunas hasta el sistema de bombeo principal (ETAPA, 2008).

El caudal medio de la red recolectora es de 40 m³ por hora y por draga con una concentración de sólidos que esta entre el 3% y 7%.

Foto 16. Red Recolectora de Lodos



Foto: Propia

La estación de bombeo auxiliar es implementado con 2 bombas sumergibles con una capacidad de impulsión de 40m³ por hora, con reguladores de caudal de 30 a 60m³ por hora y la estación de bombeo principal dispone de 3 bombas de 48m³ por hora de capacidad con reguladores de caudal entre 35 y 70m³ por hora, el múltiple de impulsión de lodos de cada una de las estaciones de bombeo está constituido por válvulas y medidores de presión, también cuenta con medidores y agitadores sumergibles para evitar la sedimentación. De ahí se procede a los tamices filtrantes auto-limpiantes de pantalla continua para eliminar sólidos gruesos presentes en el lodo (ETAPA, 2008).

Foto 17. Bombas de impulsión de lodos



Foto: Propia

3.2 ESPESAMIENTO DE LODOS

El espesamiento de lodos cuenta con espesadores circulares a gravedad, estos son dos, están fabricados de hormigón y poseen un diámetro de 11 m. estos espesadores están provistos de un conjunto mecánico giratorio para asegurar el arrastre y recolección de los lodos dispuestos en la fosa central. Estos espesadores adecuan de forma óptima el tamaño y número de las unidades subsiguientes.

Foto 18. Espesador Circular



Foto: Propia

El lodo espesado es periódicamente extraído mediante un sistema de descarga intermitente controlado por válvulas automáticas de purga de lodos de tipo Manguito accionadas neumáticamente, estas están alojadas en un pozo de válvulas anexo a los espesadores. Los lodos son conducidos a un depósito de regulación cuya función es almacenar los lodos espesados, este tanque está constituido de un medidor ultrasónico de nivel y un agitador sumergible (ETAPA, 2008).

Foto 19. Depósito de regulación



Foto: Propia

3.3 ACONDICIONAMIENTO DE LODOS (POLIELECTROLITO)

Se adiciona polielectrolitos acrílicos en formas primarias (Polimetacrilato de metilo) dentro de la maquina mezcladora con el objetivo de ayudar a la separación de la interface sólido-líquido, pasando por dos cámaras, en la primera cámara se realiza la mezcla agua-electrolito y en la segunda cámara por acción mecánica se obtiene una concentración más viscosa, la cual es inyectada automáticamente.

Foto 20. Inyectores de la solución con electrolito



Foto: Propia

3.4 ACONDICIONAMIENTO DE LODOS

Después de haber pasado por el proceso de espesamiento, los lodos son llevados hacia reactores de filtros banda para acondicionarlos de forma automática con una solución de polielectrolito, esto funciona mediante 2 bombas las cuales ingresan en reactores de mezcla de los filtros banda con el propósito de flocular los sólidos y facilitar la deshidratación por prensado (ETAPA, 2008).

Foto 21. Bombas de mezcla



Foto: Propia

3.5 DESHIDRATACIÓN EN FILTROS BANDA

El lodo acondicionado entra por 3 filtros de deshidratación tipo banda que tiene una anchura de 3 m, este se distribuye por toda la banda y es prensado en telas impermeables presionadas por un grupo de rodillos hasta alcanzar la sequedad, mediante este proceso se obtiene un volumen de 51 m³ por día de lodo deshidratado con una concentración de 25% de sólidos, el lavado de las telas filtrantes se los realiza mediante flujos de agua a presión formado por 3 bombas que tienen la función de aspirar el agua de un depósito de almacenamiento que se encuentra adjunto al edificio de deshidratación.

Foto 22. Filtros Banda



Foto: Propia

3.6 TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN FINAL

Los lodos deshidratados, pasan a una banda transportadora la cual lleva el lodo a una tolva de alimentación impulsándolo a un silo de 60m³ de capacidad que posee un medidor ultrasónico de nivel y una compuerta automática para la descarga en camiones para su disposición final (ETAPA, 2008).

Foto 23. Tanque acumulador de lodos



Foto: Propia

Finalmente, el lodo deshidratado es descargado en camiones hacia su disposición en el relleno sanitario de la ciudad, en la salida del sitio de deshidratación existe una báscula de pesaje formada por dos células individuales de carga de 25 toneladas que registran, transmiten y almacenan datos.

Foto 24. Camión transportador de lodos



Foto: Propia

El proyecto cuantificación de metano utilizando la técnica AME(Actividad Metanogénica Específica) en lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba tiene el propósito de explotar el potencial de los lodos acumulados de los espesadores de gravedad (lodo no espesado) y del tanque espesador de lodos (lodo espesado), por las propiedades tanto físicas como químicas que presentan estos lodos pueden generar metano a través de digestores anaerobios y de utilizar un método volumétrico de fácil cuantificación mediante el reactivo sosa caustica, además por los altos costos que la empresa gasta en tratar estos desechos el proyecto usa y convierte un material que es prácticamente inservible en algo productivo para el país enfocado en el cambio de la matriz energética.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO:

1. TIPO, CARACTERÍSTICAS Y TRATAMIENTO DE LODOS

1.1 TIPO Y CARACTERÍSTICAS DE LODOS SEGÚN LA ETAPA DE TRATAMIENTO DONDE SE GENERAN.

Los distintos tipos de lodos según (Lenntech, 1998) se clasifican en:

1.1.1 LODO CRUDO

Es un lodo que no ha sido estabilizado, produce acidificación y produce olores.

1.1.2 LODO PRIMARIO

Se produce de tratamientos primarios de aguas residuales, después del proceso de cribado y desarenado. Contiene gran cantidad considerable de materia orgánica, así como restos de vegetales y frutas. Este lodo se caracteriza por poseer un porcentaje de humedad que varía entre 93% y 97%. Este tipo de lodo posee gran cantidad de materia orgánica, residuos vegetales de frutas y de papel.

1.1.3 LODO ACTIVO

Este lodo tiene la cualidad de interactuar con diversos tipos de bacterias, el oxígeno desempeña un papel indispensable en las funciones metabólicas de los microorganismos (vivir, crecer y multiplicarse). Estos lodos contienen materia orgánica tanto viva como muerta, este tipo de lodos poseen minerales.

1.1.4 LODO SECUNDARIO

Estos lodos son escorias del proceso de tratamiento secundario, posee materiales inertes y microorganismos. Además se caracterizan por tener químicos, esto se debe a que en el tanque de aeración se adicionan químicos utilizados para remover el fósforo (Valdez, 2003).

1.1.5 LODO TERCIARIO

La remoción del fósforo en los lodos activados, hace que el lodo químico se una con el biológico, en cambio la remoción del elemento nitrógeno por des



nitrificación genera un lodo biológico que es muy parecido al lodo activado (Valdez, 2003).

2. TRATAMIENTO DE LODOS

En este apartado nos referiremos únicamente a los lodos originados en plantas de tratamiento generados por aguas residuales domésticas.

El tratamiento de lodos tiene como objetivo eliminar patógenos que pueden ser perjudiciales en la salud de las personas y el de utilizar este material en actividades agrícolas. Durante el tratamiento de aguas residuales se generan distintos tipos de lodos.

Existen variados procesos de tratamiento de lodos que se combinan para obtener un producto apto para su disposición final. Estos procesos están enfocados a dos aspectos fundamentales: (1) reducción de volumen y peso mediante la eliminación de agua, para ello los principales métodos empleados son el espesamiento, desaguado y secado; (2) reducción del poder de fermentación o estabilización que consiste en reducir la actividad biológica contenida en el lodo así como el contenido de microorganismos patógenos causantes de enfermedades, algunos métodos para ello son la estabilización con cal, tratamiento térmico, digestión anaerobia, digestión aerobia y compostaje (Eddy, 2003); (Ortega, 2006).

2.1 A CONTINUACIÓN SE DESCRIBE BREVEMENTE ALGUNOS DE LOS TRATAMIENTOS DE LODOS EXISTENTES:

2.1.1 DESARENACIÓN

Consiste en un proceso continuo de extracción del agua bruta de los sólidos en suspensión fácilmente decantables, como grava, arena y partículas minerales. El método más eficiente para desarenar lodos es a través de fuerzas centrifugas, separando partículas de arena del lodo orgánico.

2.1.2 ESPESAMIENTO

Este proceso es el menos costoso y se encarga de elevar el contenido de los sólidos en los lodos, removiendo gran cantidad de agua, siendo en esta etapa que el lodo no se encuentra estabilizado.



2.1.3 ESTABILIZACIÓN

Este método elimina los patógenos, los olores ofensivos y la descomposición de los lodos, las técnicas más apropiadas son la estabilización con cal, la digestión aerobia, la digestión anaerobia y el compostaje. Los sólidos suspendidos volátiles biodegradables para que se consideren estables no deben superar el 35 %.

2.1.4 ACONDICIONAMIENTO

El método más efectivo para mejorar las características de deshidratación es el tratamiento tanto físico como químico, la forma más correcta es adicionar químicos y dar un tratamiento térmico.

2.1.5 DESHIDRATACIÓN

Es un método cuyo objetivo es reducir la humedad, esto es mediante la utilización de camas de arena o por equipos mecánicos. Además para mejorar este proceso la adición de sustancias químicas como los polímeros es la más eficaz.

2.1.6 SECADO

Es una operación que se aplica para reducir el contenido de agua de los lodos a través de la evaporación.

2.1.7 INCINERACIÓN

Consiste en que los sólidos orgánicos son transformados a gases (Eddy, 2003).

Si se pretende utilizar los lodos como material de reciclaje, el lodo puede ser tratado por digestión anaerobia o bien utilizado como compostaje.



3. TIPOS DE DIGESTION

3.1 DIGESTION AEROBIA

Es un proceso que ocurre en presencia de oxígeno, las bacterias se alimentan de materia orgánica y transforman la materia orgánica en dióxido de carbono. En ausencia de materia orgánica las bacterias mueren o son utilizadas como alimento para otros microorganismos. Los microorganismos presentes empiezan a alimentarse de la materia orgánica que se encuentra en los lodos, cuando la materia orgánica disminuye ellos empiezan a consumir su protoplasma para generar la energía necesaria para sus reacciones metabólicas; oxidando su tejido celular a dióxido de carbono, amoníaco y agua. Conforme avanza el proceso de digestión, el amoníaco se oxida a nitrato (Miranda, 2005).

3.2 DIGESTION ANAEROBIA

La digestión anaerobia es un proceso natural, que ocurre cuando un grupo de bacterias en ausencia de oxígeno, se encargan en descomponer la materia orgánica proveniente de lodos de plantas de tratamiento, obteniendo como producto final biogás (CH_4 , CO_2 , H_2 , H_2S , etc.) y un líquido fertilizante que contiene minerales como (N, P, K, Ca, etc.).

Este proceso se realiza en un reactor que se encuentra completamente cerrado.

Los lodos se introducen en un reactor, permaneciendo en el reactor un periodo de tiempo considerable. El lodo que se extrae contiene bajo contenido de patógenos, es libre de malos olores y es un excelente material agrícola (Rodríguez J. , 2010).

4. FASES DE LA DIGESTION ANAEROBIA

4.1 FASE HIDROLÍTICA

Esta fase consiste en la transformación de compuestos orgánicos complejos tales como grasas, proteínas, lípidos en moléculas más simples y solubles como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos. Las bacterias que intervienen en esta fase se caracterizan por ser anaerobias facultativas que consumen todo oxígeno disuelto del sistema (Tsagarakis, 2006).



4.2 FASE ACIDOGÉNICA

Esta fase consiste en que un grupo de bacterias las acidogénicas transforman las moléculas simples y solubles en ácidos grasos volátiles tales como ácido acético, butírico y propiónico.

4.3 FASE ACETOGÉNICA

Consiste en la conversión de los ácidos grasos volátiles en ácidos acético e Hidrogeno, en esta fase intervienen microorganismos acetogénicos productores de hidrogeno (POH, 2009).

4.4 FASE METANOGÉNICA

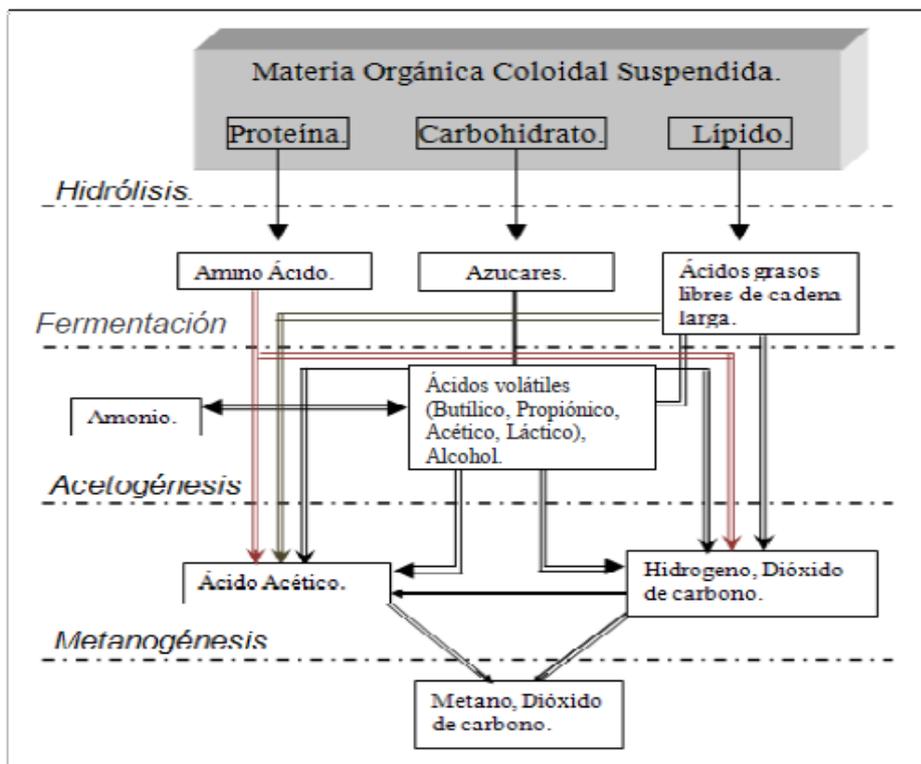
Corresponde la etapa final del proceso, en donde los ácidos acéticos e hidrogeno son transformados a metano y dióxido de carbono. Las bacterias que actúan en la biodegradación del acetato son dos: las bacterias Metanogénica acetoclásticas y las que consumen hidrogeno las Metanogénica hidrogenofílicas (Hilbert, 1999)

Las bacterias acetoclásticas transforman el ácido acético en dióxido de carbono y metano, se caracterizan por su lento desarrollo metabólico, por la eliminación de ácido acético y por generar la mayor parte de metano. Las bacterias hidrogenofílicas convierten el hidrogeno y dióxido de carbono a metano (Castillo, 2003).

La composición del Biogás es la siguiente:

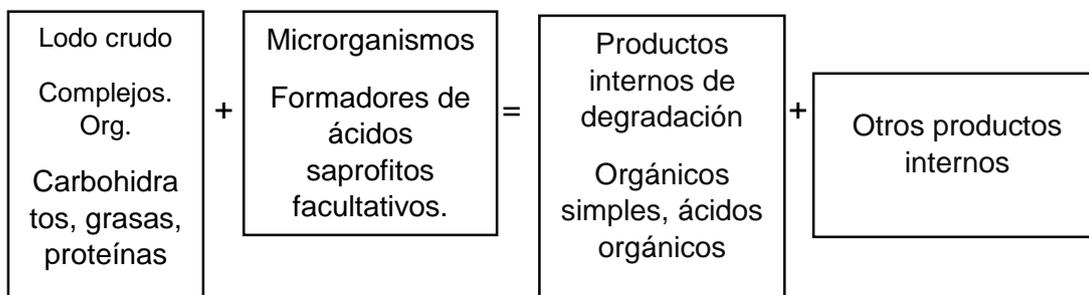
- 50 a 70% de metano
- 30 a 40% de dióxido de nitrógeno
- 0 a 5% de hidrogeno, ácido sulfúrico.

Representación de la degradación anaeróbica de materia orgánica

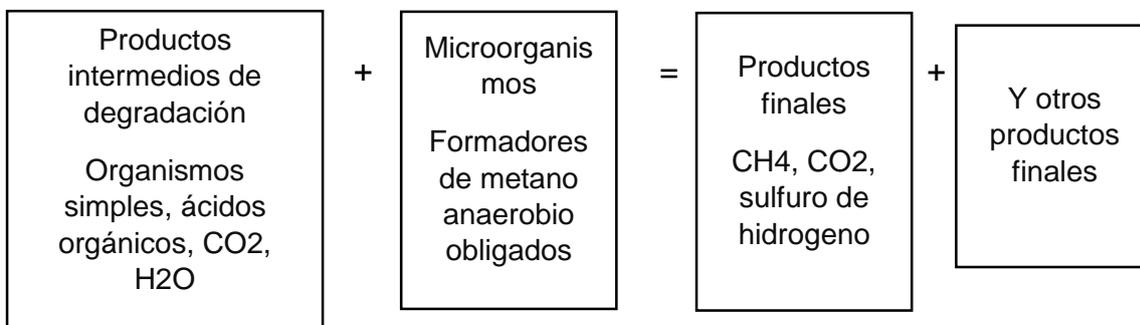


Fuente: (DEMES, 2003)

ETAPA 1: FERMENTACION ÁCIDA



ETAPA 2: FERMENTACION DEL METANO





5. PARAMETROS DEL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA

Los parámetros más importantes dentro del proceso de digestión anaerobia los presentados a continuación:

5.1 TEMPERATURA

La temperatura es una de las principales variables que actúa directamente en la velocidad de reacción metabólica de los microorganismos. La digestión anaerobia opera en tres rangos de temperatura: la digestión psicrófila trabaja a temperaturas menores a 20 °C, las mesófilas entre los 12 y 35 °C y las termófilas en intervalos que van entre 50 y 60 °C, siendo los dos últimos los mesofílicos y termofílicos los más influyentes dentro del proceso anaerobio (Appels, 2008); (Yadvika, 2004).

5.2 PH

Es fundamental encontrar un equilibrio dentro del proceso anaerobio ya que los microorganismos son diferentes en cada fase. El proceso de digestión anaerobia opera a intervalos de pH entre 6.8- 7.2. Valores de pH menores a 4 y mayores a 9.5 llevan a un desequilibrio del sistema, las poblaciones Metanogénicas son muy vulnerables a cambios de pH (Madigan, 2006); (Yadvika, 2004)

Es por ello que el pH es el principal indicador del correcto funcionamiento del sistema, ya que si los microorganismos metanogénicos son destruidos no se produce la degradación de los ácidos y como efecto el pH del sistema se reducirá. En un pH de 6.2 los microorganismos metanogénicos formadores de metano no sobreviven, por ende la digestión se interrumpe (Rodriguez J. , 2010).

5.3 TIEMPO Y TEMPERATURA

El tiempo necesario para estabilizar el lodo está relacionado con la temperatura. A temperaturas que van entre los 14 a 65 °C, las bacterias mesófilas conservan su actividad metabólica hasta los 35 °C, de ahí en adelante dan paso a las bacterias termófilas que son capaces de soportar una gama más amplia de calor (Montes, 2008).



5.4 ÁCIDOS VOLÁTILES

Son el resultado de la fermentación en el sistema son esenciales en la digestión anaerobia, una gran cantidad de estos puede llegar inclusive a acidificar el lodo lo que inhibiría la actividad metabólica de las bacterias metanogénicas formadoras de metano, además de disminuir el pH (Montes, 2008).

6. INHIBIDORES DE LA DIGESTION ANAEROBIA

Los principales inhibidores de la digestión anaerobia que alteran el funcionamiento del sistema son: metales pesados, altas concentraciones de ácidos volátiles, el excedente de nitrógeno puede producir amoníaco, que es un gas que se caracteriza por matar a las bacterias, provoca cambios de pH y la acumulación de ácidos grasos volátiles (Rivera, 2010).

Los inhibidores de la digestión anaerobia más comunes según (Ortega, 2006) son:

6.1 METALES PESADOS

Poseen un efecto estimulante sobre la actividad metabólica de las bacterias a bajas concentraciones induce a disminuir la velocidad de crecimiento. La elevada concentración de metales pesados en las aguas residuales reduce la eficiencia del proceso anaeróbico.

6.2 HIDRÓGENO

La acumulación de hidrógeno conduce a una inhibición de la actividad acetogénica y por lo general acumula ácidos grasos volátiles.

6.3 NITRÓGENO AMONICAL

Aunque es un excelente nutriente para los microorganismos en dosis elevadas limita el crecimiento de los mismos.



6.4 SULFATOS Y SULFUROS

Las excesivas concentraciones de sulfato en el sustrato inhibe el proceso metanogénico. Las bacterias metanogénicas se enfrentan con las sulfato-reductoras por el sustrato. Como resultado de este enfrentamiento se determina el biogás generado.

7. Factores que inhiben la digestión anaerobia Según (Montes, 2008) son:

7.1 PH

Los microorganismos poseen rangos de pH útiles para su crecimiento, así tenemos que para las bacterias productoras de metano el intervalo de pH es de 6,8-7,2, para las bacterias hidrolíticas el pH es de 7,2-7,4, para bacterias acetogénicas el pH es de 6,6 y para las acidogénicas el pH va de rangos de 5-6.

7.2 TEMPERATURA

Es importante lograr una temperatura que sea confortable para el buen funcionamiento del digester anaerobio, ya que temperaturas muy elevadas repercute la actividad metabólica de las bacterias metanogénicas produciendo desequilibrios y la detención del sistema.

7.3 TIEMPOS DE RETENCIÓN

Se refiere al periodo en que las bacterias necesitan reproducirse. Se distinguen dos tipos de retención, uno de estos es el tiempo de retención de sólidos (TRS), el cual determina el tiempo de permanencia de los sólidos en el reactor y el otro es el tiempo de retención hidráulico (TRH), que es aquel tiempo en que permanece el líquido en el digester anaerobio.

Es de suma importancia que al iniciar el proceso de digestión anaerobia, los tiempos de retención hidráulica sean elevados debido a que las bacterias necesitan relacionarse conjuntamente con el sustrato y conservar una carga orgánica baja, la cual va creciendo a medida que el reactor se va estabilizando (Hulshoff, 1987).

Los tiempos de retención hidráulica están íntimamente combinados a la temperatura del proceso, esto quiere decir que a mayores temperaturas el TRH es menor y a menores temperaturas el TRH es mayor. El tiempo promedio



necesario para que se desarrollen las bacterias Metanogénicas considerando la temperatura ambiente de la localidad de 20 °C es de 20 a 30 días.

8. MONITOREO DE SISTEMAS ANAEROBIOS

El monitoreo de los sistemas anaerobios pueden ser de tres tipos según (Chernicharo C. , 1997) son:

8.1 MONITOREO DE LA EFICIENCIA

Este tipo de monitoreo pretende buscar el desempeño de la unidad frente a las especificaciones de diseño. Los parámetros físico-químicos a ser medidos son: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Volátiles y microorganismos patógenos.

8.2 MONITOREO DE LA ESTABILIDAD

Se basa en prevalecer la fermentación acidogénica sobre la Metanogénica. Los parámetros físico-químicos a ser medidos son: Alcalinidad, Ácidos grasos volátiles, pH y la composición del metano.

8.3 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL LODO

Se encarga en evaluar tanto características cuantitativas como cualitativas de los lodos. En lo referente a las cuantitativas se mide Sólidos Totales y Sólidos Volátiles Totales y en lo referente a las cualitativas se usan ensayos de sedimentabilidad, perfil de lodos y la técnica AME (Actividad Metanogénica Específica).

9. BIODIGESTORES

Los Biodigestores son reactores herméticos impermeables en los cuales se deposita cierta cantidad de materia orgánica, sea esta procedente de desechos animales, vegetales y humanos en diluciones de agua para que se produzca la descomposición de la materia orgánica, generando biogás y biofertilizante rico en minerales (Campero, 2007).

Este proceso de digestión anaerobia se produce cuando un conjunto de microorganismos transforman la materia orgánica que se encuentra en el reactor



anaerobio y generan metano que es un gas muy eficiente si se lo utiliza como combustible.

9.1 CLASIFICACION DE LOS BIODIGESTORES

9.1.1 BIODIGESTORES DE CARGA CONTINÚA

Estos digestores son más sofisticados se trata de equipos comerciales que necesitan alimentarlos, agitarlos y calentarlos. Se genera concentraciones altas de biogás que es aprovechado por la industria (Fernández, 2006).

9.1.2 BIODIGESTORES DE CARGA DISCONTINUA

Estos digestores consisten en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro que acumula biogás. Estos digestores son útiles a escala de laboratorio si se pretende evaluar residuos orgánicos (Fernández, 2006).

9.1.3 BIODIGESTORES DE CARGA SEMI-CONTINUA

En estos digestores se carga la materia orgánica por gravedad, el volumen de la mezcla depende del periodo de fermentación y generan una cantidad constante de biogás, el biogás generado se acumula dentro del mismo sistema (Fernández, 2006).

Un proyecto interesante que se realizó en la Universidad Tecnológica de Pereira consistía en la determinación de la Actividad Metanogénica Específica (AME), a través de un método volumétrico que trata primordialmente en inducir metano mediante unos reactivos, hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, el cual cuantifica el metano obtenido en reactores anaerobios (Mario & Matinez, 2012). Este es un método interesante, innovador y fácil de utilizar.

En la investigación se observó la tesis de una estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca el cual consistía en un método anaerobio diferente, este digestor fue construido con el propósito de inducir de calor para obligar a los microorganismos a producir rápidamente metano y así medirlo en un barómetro para calcular el volumen de biogás producido, estos resultado nos



pueden ayudar para tener en cuenta sobre la actividad que se va a tener dentro de nuestro reactor dándonos así el tiempo efectivo para la obtención del metano.

10. TÉCNICA AME

Los principales pioneros en implementar la técnica AME fueron Valcke y Verstraete (1983), De Zeeuw (1984) y Dolfing-Bloemen (1985) y sale como una herramienta de evaluación y caracterización del proceso anaerobio (Chernicharo, 2007), nos permite cuantificar la máxima producción de metano generada por acción de microorganismos presentes en el lodo. También se usa para el monitoreo de la calidad del lodo en reactores anaerobios, observando así, el consumo de los sustratos que se suministran para la alimentación de los microorganismos y como una forma de evaluar el comportamiento de lodos contaminados, para así poder determinar la carga máxima orgánica que se puede aplicar en un sistema.

En la cuantificación de metano interviene la acción de microorganismos metanogénicos que convierten el H_2 y el acetato como sustrato en gas metano.

Dicha técnica es utilizada también para determinar la capacidad de asimilación que tienen las bacterias metanogénicas en la producción de biogás, de esta manera se puede determinar el potencial de la biomasa para transformar el sustrato administrado en gas metano y CO_2 .

De acuerdo con la bibliografía, esta técnica nos brinda otras posibilidades como: evaluar el comportamiento del lodo induciéndolo con compuestos potencialmente inhibidores (sustratos), el grado de degradabilidad de los sustratos a diferentes dosis, monitorear los cambios del lodo dentro del reactor, determinar la carga máxima orgánica y el tipo de lodo.

Dentro del estudio se realizará el método volumétrico para observar la generación de metano dentro de un tiempo determinado y realizar la cuantificación del mismo, aprovechando así los lodos para una generación productiva para el país y observar a futuro la proporcionalidad del metano de acuerdo con el lodo utilizado (Lozada, 2012).

11. DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD METANOGENICA ESPECÍFICA

La AME es una herramienta que compara fases operacionales en reactores anaerobios (Patricia Torres Lozada., 2002). Este método consiste en que cuantifica el volumen de metano producido mediante el uso de sustancias base



como es el NaOH o el KOH que son capaces de reaccionar con el CO₂ que se encuentra en el biogás. El pH de estas bases debe ser superior de 12 para asegurar el secuestro de CO₂ producido (Mario & Matinez, 2012).

Para el cálculo de la actividad metanogénica máxima específica se lo realiza mediante la utilización de la velocidad máxima de generación del metano (dCH₄/dt) expresada en ml CH₄/días, dicho dato lo tenemos que transformar a condiciones de presión de la zona en nuestro caso en el cantón Cuenca y a la temperatura que se genera dentro del reactor ya que es un sistema anaerobio.

La fórmula para el cálculo del AME es la siguiente:

$$AME \left(\frac{gDQO}{gSV} \right) = \frac{\frac{dVCH_4}{dt}}{X_0 VR f_1}$$

Fuente: (Field, 1988)

$\frac{gDQO}{gSV}$ = gramos de DQO removida por gramos de SV de los lodos

AcmCH₄= Actividad Metanogénica (g DQOCH₄ g SSV-1·d-1)

VCH₄= Producción acumulada de volumen de metano (ml)

t=Tiempo (día)

X₀= Concentración inicial del inóculo (g SV/L)

VR: Volumen útil del reactor (L)

f₁: Factor de conversión (64 g DQO/ 16 g CH₄)

Está fórmula se desglosa de la siguiente manera:

$$\frac{dMCH_4}{dt} = \left(\frac{dCH_4}{dt} \right) \frac{PM}{RT}$$

Donde:

$\frac{dMCH_4}{dt}$ = Velocidad de producción de Metano en peso (gCH₄/día).

dCH₄/dt = Velocidad máxima de generación del metano (Pendiente=ml/día)

P= Presión de la zona (Cuenca 564 mmHg)

M= Peso molecular del metano (16 g CH₄/mol)

R= Constante de la ley de gases (62,36 mmHg * L/ mol * °K)

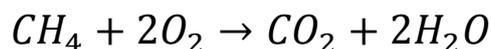


T = Temperatura de cada reactor (T= 273 + Temperatura promedio del reactor °K)

Así obtenemos la velocidad de producción de Metano en peso (gCH₄/día).

Fuente: (Arcayo Palacios, y otros, 2013)

La reacción del Metano con respecto al Oxígeno es la siguiente:



Con esta reacción procederemos a ver la DQO (f1= conversión) consumida:

$$\frac{dDQO}{dt} = \left(\frac{g CH_4}{día} \right) \left(\frac{64 g O_2}{16 g CH_4} \right)$$

Él AME queda finalmente así:

$$AME \left(\frac{gDQO}{gSV día} \right) = \frac{dDQO}{g SV}$$

$$SV(g) = \frac{X_0 \frac{mg}{litro} VR}{1000mg}$$

SV (g) = Solidos Volátiles que se encuentran en el lodo

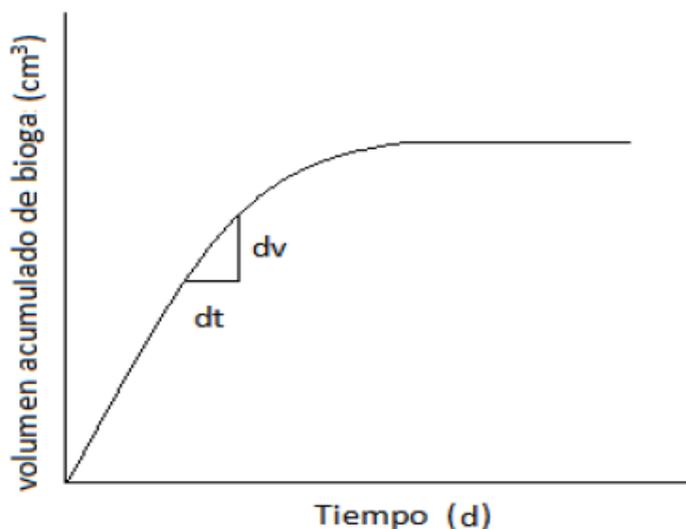
VR (L)= Volumen útil del reactor

X₀= Concentración inicial del inóculo (g SV/L). Dato obtenido de los resultados del laboratorio (lodo espesado y lodo no espesado).

Este resultado de los SV (g) es para cada uno de los reactores con sus respectivos volúmenes implementados para esta investigación (Arcayo Palacios, y otros, 2013).

Cálculo de la pendiente

Gráfico 1. Curva de tendencia del biogás



Fuente: (Mario & Matinez, 2012).

Curva producción de biogás usando medición de la pendiente.

$$m = \frac{dv}{dt}$$

$$dv = (cm^3), dt = (horas, dias)$$

Fuente: (Mario & Matinez, 2012)

Dentro de la temperatura, este es muy importante para la digestión del cual dentro de las investigaciones hemos tomado que los periodos termófilos y mesófilos que su rango de temperatura está de 15 a 65 °C, siendo esto que a temperaturas que van de 30 a 35 °C la actividad bacteriana prolifera satisfactoriamente (Montes, 2008).

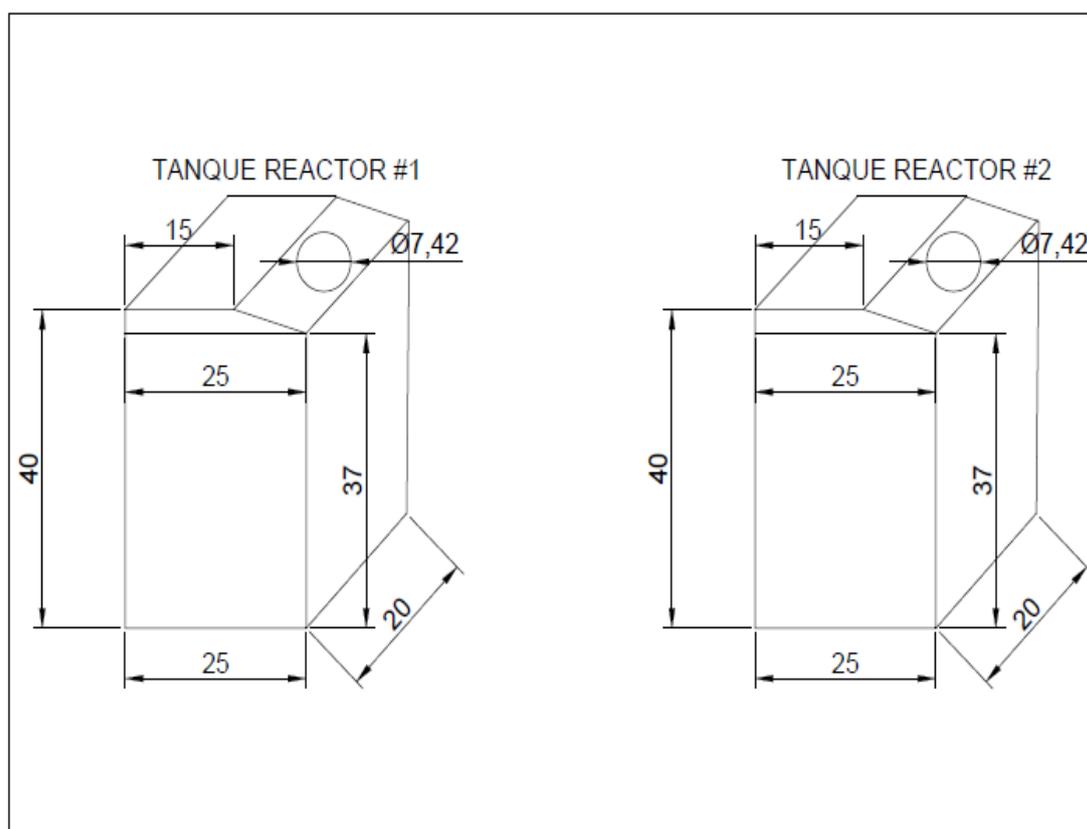
CAPITULO III

METODOLOGIA RECOLECCION DE INFORMACION

1. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Se escogieron 6 contenedores de plástico, los adecuamos en reactores pilotos anaerobios de flujo discontinuo, los cuales poseen diferentes medidas, la capacidad de volumen de lodos en cada contenedor utilizado en el método experimental fue del 70 %.

Grafico 2. Dibujo de los reactores 1 y 2 en AutoCAD



Elaborado por Santiago Manobanda (AutoCAD)

Foto 25. Tanque reactor

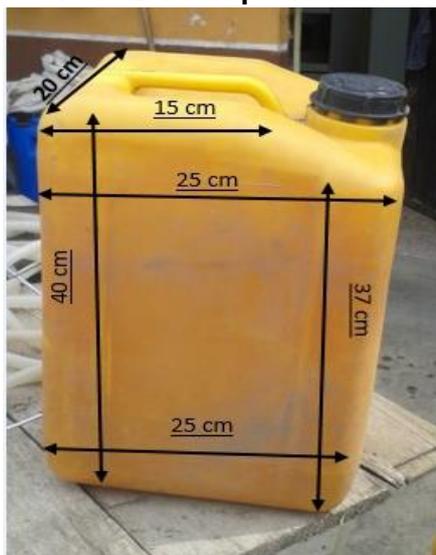


Foto: propia

El dispositivo utilizado para el transporte de biogás, está conformado por un equipo de difusiones de soluciones modelo IS-01 A/A-21 G/NV (LA).

Foto 26. Difusor de solución



Foto: Propia

Foto 27. Paquete del difusor



Foto: Propia

Este instrumento fue conectado directamente desde los reactores discontinuos anaerobios hacia una bolsa de suero, el cual contuvo un volumen de 500 ml de solución de NaOH (sosa cáustica) al 3 %. Para la preparación de la solución de sosa cáustica se utilizó fórmulas de química general.

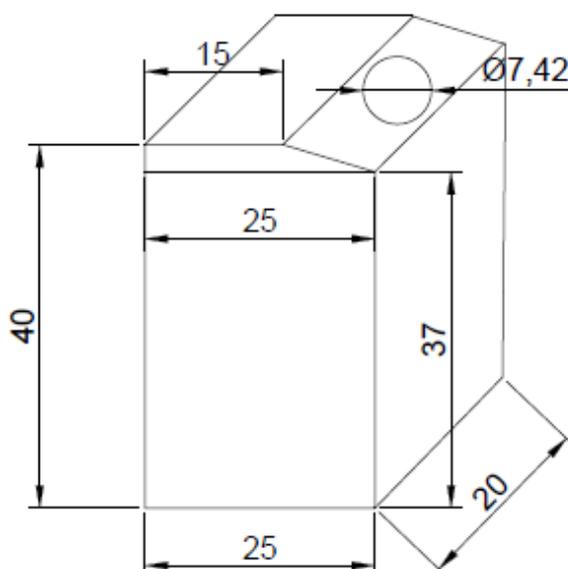
Foto 28. Solución de NaOH preparada



Foto: Propia

1.1 VOLUMEN DE LODOS

Reactor: Medidas del reactor en cm





Para saber cuál es el volumen ideal de lodos a ocupar en el reactor, se utilizó la fórmula:

$$V = h * b * a$$

$V = \text{Volumen del reactor}$

$h = \text{altura}$

$b = \text{base}$

$a = \text{ancho}$

Aplicando la fórmula el resultado es:

$$V = 37 \text{ cm } 25 \text{ cm } 20 \text{ cm}$$

$$V = 18.500 \text{ cm}^3$$

Transformando el resultado cm^3 a m^3

$$V = 0,37 \text{ m } 0,25 \text{ m } 0,20 \text{ m}$$

$$V = 0,0185 \text{ m}^3$$

Transformando los m^3 a litros:

Factor de conversión: 1 m^3 equivale a 1000 L en 0,0185 m^3 es igual

$$V = \frac{0,0185 \text{ m}^3 \ 1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

$$V = 18,5 \text{ l}$$

Se utiliza el 70 % del total del reactor y nos queda un volumen de

$$\text{Volumen a utilizar} = \frac{18,5 \text{ l } 70 \%}{100 \%} = 13,3 \text{ l}$$

Los gramos de sosa cáustica (NaOH) al 3 % diluido en 500 ml de agua destilada fueron:

$$g \text{ soluto a implementar} = \frac{500 \text{ ml } 3g}{100 \text{ ml}} = 15 \text{ g}$$

Se utilizará 15 g de sosa cáustica.

Se utilizaron 6 contenedores de plástico de diferentes tamaños 2 grandes de 20 litros, 2 medianos de 6 litros y 2 pequeños de 4 litros, los cuales se adecuaron en reactores pilotos anaerobios de flujo discontinuo. Se decidió para tres

reactores de diversos tamaños, utilizar los lodos provenientes del espesador de lodos (lodo no espesado) y los otros tres del tanque de lodos espesados (lodo espesado) empleándose para el método experimental un 70 % del volumen total de cada contenedor.

El objetivo de utilizar los 6 reactores fue para poder comparar el volumen de biogás acumulado en los diferentes volúmenes de lodos utilizados en cada uno de los reactores, así como su temperatura y pH. También fue el de encontrar el reactor más óptimo de generación de biogás.

1.2 DESCRIPCION DE LA TOMA DE MUESTRA

Después de realizar el respectivo análisis físico-químico (ver Anexo 1) propuesto, el ingreso de los lodos a los reactores discontinuos anaerobios se lo hizo de forma manual utilizando baldes de plástico y tomando en cuenta medidas de seguridad personal como son uso de guantes de látex y mascarillas. Los lodos extraídos fueron colocados en cada contenedor, ocupándose un 70 % del volumen total.

TABLA 1. VOLUMEN DE LODOS

VOLUMEN DE LODOS			
	VOLUMEN CONTENEDOR	VOLUMEN LODOS ADICIONADOS	UNIDADES
REACTOR 1	20	13	litros
REACTOR 2	20	13	litros
REACTOR 3	4	2	litros
REACTOR 4	6	4	litros
REACTOR 5	6	4	litros
REACTOR 6	4	2	litros

Los digestores discontinuos anaerobios en su parte superior están implementados por el equipo difusor que tiene la finalidad de transportar el biogás generado en los reactores hacia una funda de suero que contienen la solución de sosa caustica 3%, posteriormente la funda de suero tiene instalado otro equipo difusor que lleva la solución preparada hacia una probeta para su respectiva cuantificación.

Foto 29. Armado de los reactores**Foto: Propia**

La metodología utilizada en la instalación de los contenedores de plástico fue la siguiente:

- Se extrajo los lodos de los espesadores de gravedad (lodo no espesado) y del tanque espesador de lodos (lodo espesado) mediante el juez de lodos que es un instrumento que consiste en un tubo de 3 metros de largo, el cual en una de sus puntas se encuentra una válvula metálica que al entrar en contacto con el lodo permite el ingreso del mismo hasta llenar por completo el tubo del sólido.
- Se colocaron los lodos acondicionando ácido acético como sustrato.
- Se adicionó 15 ml de ácido acético para los contenedores grandes, para los medianos se agregó 10 ml y para los reactores pequeños se ocupó un total de 5 ml.
- Se usó contenedores de flujo discontinuo por su facilidad de usarse a escala de laboratorio.
- Se llenaron los reactores con el lodo y se empezó con el monitoreo 2 días a la semana en el transcurso de dos meses.
- Se obtuvo biogás producto de la degradación bacteriana y se acumuló en el reactivo (sosa cáustica) para su cuantificación por desplazamiento de volumen por el método AME (Actividad Metanogénica Específica).

Foto 30. Juez de lodos**Foto: Propia**

2 ANALISIS FISICO QUIMICOS

Los análisis propuestos son: pH, Nitrógeno total, Fosforo, DQO, DBO₅, solidos totales, solidos volátiles totales, solidos suspendidos volátiles, solidos suspendidos.

2.1 pH

El método consiste en utilizar un potenciómetro, el cual se procede a su calibración para su posterior medición, su calibración se las realiza en soluciones buffer (soluciones reguladoras de pH 7.0 y pH 4.0). Luego se introduce el electrodo en la muestra, se homogeniza la muestra y se registra la lectura.

2.2 SOLIDOS TOTALES VOLÁTILES

Los sólidos totales volátiles corresponden a compuestos que se pierden por calcinación a 600 °C en una mufla. El método es el gravimétrico donde estos compuestos se determinan por diferencia de peso, generalmente este análisis se realiza en un intervalo de tiempo que va de 10 a 15 minutos (Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho , 1963)



2.3 SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES

Se procede a la calcinación del crisol que contiene sólidos suspendidos en un rango de tiempo de 15 a 20 minutos, la muestra se pone en contacto con el aire para que momentáneamente se enfríe y de inmediato se pone en desecador alrededor de 30 a 40 minutos antes de poder pesarlos. Lo perdido en la calcinación se designa como sólidos suspendidos volátiles (Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho , 1963).

2.4 SOLIDOS VOLÁTILES

Son sólidos que corresponden a compuestos que se pierden durante la calcinación a 550 °C. El método de análisis es el Gravimétrico, donde estos sólidos se determinan por diferencia de peso empleado (Metodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho, 1963).

2.5 DETERMINACIÓN DE FÓSFORO

El método es el fotométrico, que se basa en la reacción del ion fosfato con el molibdovanadato para formar un color amarillo. La solución se disuelve en agua destilada y se adiciona la solución coloreada, se lo deja reposar por aproximadamente 15 minutos y se realiza la lectura de la longitud de onda y se calcula la concentración con la ecuación de la curva de los patrones de lectura (Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho , 1963).

2.6 DETERMINACIÓN NITRÓGENO ORGÁNICO Y TOTAL

Para la determinación del nitrógeno total se comprenderá de 3 fases; en la primera fase es la digestión de la muestra, para ello la muestra se somete a una digestión por calentamiento con ácido sulfúrico y una mezcla de gases que oxidan la materia orgánica y obtiene las formas de nitrógeno que en medio ácido de encuentra como amonio. La segunda fase consiste en la destilación en la cual el amonio se mezcla con hidróxido de sodio que por acción de calor se obtienen productos como el amoniaco y agua. En la tercera fase que es la valoración el amoniaco desprendido se recoge en un volumen de solución de ácido bórico y se determina la cantidad de ácido que reacciona con el amoniaco.



El análisis de nitrógeno total es el mismo solo que no se toma en cuenta el amoniaco desprendido (Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho , 1963).

3. METODOLOGÍA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El proceso de recolección de información consta de cuatro fases:

3.1 PRIMERA FASE

Se procede a conocer las instalaciones de la empresa, para identificar el espacio físico más idóneo para la instalación de los digestores pilotos anaerobios discontinuos.

3.2 SEGUNDA FASE

Esta fase consiste en tomar cierta cantidad de volumen de lodos de los espesadores de gravedad y del tanque de lodos espesados, llevarlos a los laboratorios para su respectivo análisis físico-químico de interés en el presente estudio.

3.3 TERCERA FASE

Esta fase consistió en realizar el muestreo correspondiente a los digestores anaerobios, esta etapa se la realizó visitando dos veces por semana el lugar donde se implementaron nuestros digestores, tomando así datos como la temperatura y el pH, en la parte superior del reactor (Tapa) se instaló una manguera con una llave la cual nos permitió regular la salida del biogás hasta una bolsa de suero la cual contiene la solución de sosa caustica al 3%.

3.4 CUARTA FASE

Esta fase consistió en la identificación del método más idóneo para la correcta cuantificación de los resultados obtenidos en el muestreo, el método que se utilizó es él AME para la investigación.



4 DETERMINAR LA ACTIVIDAD MÁXIMA ESPECIFICA DE LOS LODOS EVALUADOS

Se considera la velocidad de producción de Metano correspondiente a la pendiente más empinada de la curva de la tasa de producción de metano, al graficar cantidad de metano producida (ml) versus tiempo (días).

5 MÉTODOS: MÉTODO EXPERIMENTAL, MÉTODO VOLUMÉTRICO (TÉCNICA AME).

Este método consiste en utilizar una solución de hidróxido de sodio al 3% y poder cuantificar el volumen de gas generado mediante desplazamiento, este método se lo conoce como AME (Actividad Metanogénica Específica).

6 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

Después de haber recolectado la información se procederá a analizarla, para ello se observará los datos obtenidos a la entrada y durante la digestión en los seis reactores.

El proyecto pretende realizar gráficos de regresión lineal entre el volumen del biogás generado en el reactor piloto anaerobio con respecto al tiempo de funcionamiento. Estos gráficos permiten determinar la actividad máxima específica de los lodos evaluados a partir de la pendiente más empinada de la producción de biogás.

CAPITULO IV

DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD MÁXIMA ESPECÍFICA DE LOS LODOS EVALUADOS

Los 6 reactores fueron instalados en la parte posterior de la planta de tratamiento de lodos que se encuentra en Ucubamba, se los implementó al medio ambiente para observar la actividad Metanogénica y obtener datos a las condiciones del lugar, en este caso la ciudad de Cuenca.

Se realizó la instalación de 6 digestores (ver tabla 1) en la parte posterior de la planta de lodos de Ucubamba, estos fueron previamente llenados con el lodo y mezclados con el sustrato (ácido acético) fueron ubicados sobre una mesa de escritorio que contiene en sus periferias bolsas de suero selladas, estas bolsas contienen la solución de hidróxido de sodio conocido como sosa cáustica.

Los digestores que se encuentran ubicados al lado izquierdo de la imagen se llenaron con lodos procedentes del espesador de lodos (lodo no espesado) estos son los R2, R4 y R6 de volumen de 20, de 6 y de 4 litros respectivamente, en cambio los reactores ubicados al lado derecho de la imagen están llenados con lodos provenientes del tanque espesador (lodo espesado) estos son R1, R3 Y R5 que contienen dicho volumen descrito anteriormente (ver foto 33).

Foto 31. Instalación de los digestores



Foto: Propia

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO UTILIZADO

Los reactores poseen una bolsa de solución de NaOH, esta contiene dos catéteres que se encuentran cerrados. Cada vez que se realiza los monitoreos, se abre el primer catéter que pone en contacto el digestor con la bolsita que contiene el reactivo, esto permite el paso del biogás generado y acumulado anaeróbicamente del digestor hacia la solución. Al ingresar el biogás se cierra el catéter. Una vez que reacciona la solución con el biogás comienza a burbujear (ver foto 32), el reactivo está empezando a secuestrar dióxido de carbono dejando libre gas metano el cual ejerce presión dentro de la bolsa aumentando así la presión de la solución y por diferencia de presiones entre la solución y la atmosfera, la disolución comenzó a gotear en los dos catéter, terminado este procedimiento se empieza a vaciar en las probetas.

Al iniciar el método experimental se tomaron lecturas del volumen del líquido desplazado, es decir, la sosa caustica tiene la propiedad de acumular dióxido de carbono dejando pasar gas metano, dicho gas ejerce presión dentro de la bolsa haciendo que se desplace la solución en forma de goteo hacia los dos catéter (ver foto 34). La cantidad de goteo hace referencia a la cantidad de gas que se encuentra acumulada en las bolsas, dicho goteo culmina cuando la presión tanto de la bolsa como la atmosférica se igualan. También se tomaron lecturas de parámetros físico como la temperatura y el pH anotando la fecha del monitoreo. Los volúmenes acumulados se graficaron en función del tiempo de monitoreo (cada dos días), se obtuvieron datos de acumulación de biogás que indican la producción máxima de biogás generada en esos días de monitoreo. La obtención de datos se la realizó mediante la extracción de una muestra de cada digestor para ver el pH de cada uno, esto se hizo con la utilización de un pHmetro Eco test (PH METRO DE MANO 2520200), previo a su calibración, nos indica los datos en ese instante, tenemos que considerar que este equipo no mide la actividad microbiana al contrario, nos permite controlar la actividad microbiana. Los microorganismos al respirar generan dióxido de Carbono y este gas al estar en contacto con el agua produce ácido carbónico. Los microorganismos necesitan estar en un rango de potencial de hidrogeno de 6 a 6.8 para mantenerse activos, si el pH subía este intervalo, se utilizaba ácido acético para alimentar a los microorganismos y de esta manera estabilizar el pH y la generación de biogás.

También se requirió de un termómetro digital de bolsillo ST9215 OE (-50 A 150 GRADO C x 0.1 GRADO C), para observar la temperatura tanto del ambiente como la de cada uno de los reactores, este dato nos indicó la temperatura dentro de los reactores ya que los microorganismos generan calor al momento de la reacción con el sustrato, no se podía tomar las muestras después de que se introdujo el alimento porque esta tenía que estar uniforme, para llegar a ello se procedió agitar manualmente a cada reactor, en esos instantes se generaba el biogás metano, no se debe abrir la tapa de los reactores porque de ser el caso, puede ocasionar datos erróneos no factibles para nuestra investigación, el gas

generado se introdujo en la bolsa que contiene la solución de NaOH al 3%, esta solución atrapa el CO₂ dejando pasar CH₄, se llena la bolsa y por diferencia de presión empieza a gotear en los dos catéter obteniendo así un volumen referencial en ml del gas generado en cada reactor, nuestro tiempo de retención fue de 2 días, en este lapso de tiempo el pH se regulaba a 6, esto nos indica adicionar sustrato, todo el monitoreo se realizó en 55 días eso equivale a 2 meses que es el rango mínimo para el monitoreo en los reactores discontinuos anaerobios (Hulshoff, 1987). La forma más idónea de demostrar que se generó biogás fue extraer gas acumulado de las bolsitas en jeringas y quemarlo en una flama pequeña (ver foto 35).

Foto 32. Burbujeo

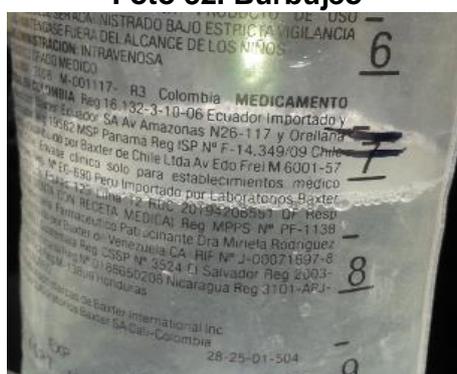


Foto: Propia

Foto 33. Acumulación biogás en los catéter



Foto: Propia

Foto 34. Goteo



Foto: Propia

Foto 35. Quema de gas

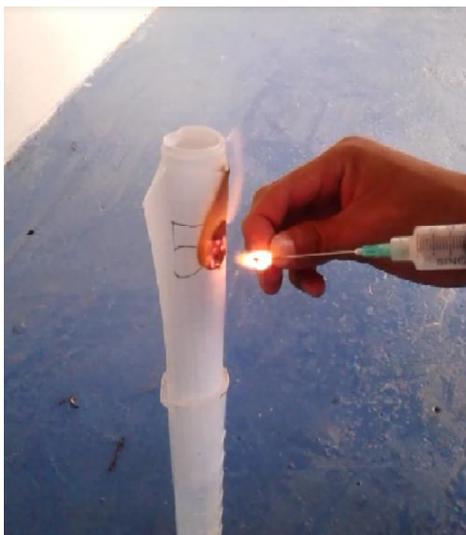


Foto: Propia

RESULTADOS DE LOS MONITOREOS

A continuación se presentan Los resultados obtenidos en los 55 días de monitoreo.

TABLA 2. RESULTADOS DE LOS MONITOREOS

MONITOREOS DE GENERACIÓN DE BIOGÁS						
TEMP AMB °C	FECHA		REACTORES	pH	TEMP REACTOR °C	V CH ₄ ml
33,7	12/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	4,5	23,2	5
	12/01/2015		Reactor 3	5,2	27,42	1,5
	12/01/2015		Reactor 5	5,2	26,2	1
	12/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 2	4,3	22	1
	12/01/2015		Reactor 4	4,9	21	2,5
	12/01/2015		Reactor 6	4,8	27,2	1
TEMP AMB °C	13/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	5,7	24,7	4
34,4	13/01/2015		Reactor 3	5,4	33,5	0,5
	13/01/2015		Reactor 5	5,9	33,6	3
	13/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 2	4,8	22,5	1
	13/01/2015		Reactor 4	5	27,1	1
	13/01/2015		Reactor 6	5	34,9	5
TEMP AMB °C	15/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 3	6	29,9	5
30,4	15/01/2015		Reactor 5	6,3	25,5	6
	15/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 4	5,5	29,1	6
	15/01/2015		Reactor 6	5,5	32,2	5
TEMP AMB °C	17/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6,5	21,2	7
30,2	17/01/2015		Reactor 3	5,6	23,3	6
	17/01/2015		Reactor 5	5,9	28,8	4
	17/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 2	5,9	22,3	7
	17/01/2015		Reactor 4	5,4	26,4	7
	17/01/2015		Reactor 6	5,3	30,4	5



TABLA 2. RESULTADOS DE LOS MONITOREOS

TEMP AMB °C	19/01/2015		Reactor 1				
33,5	19/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 3	5,8	22,6	5,5	
	19/01/2015		Reactor 5	6	24	4,2	Nota
	19/01/2015		Reactor 2				
	19/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 4	5,5	25,4	5	R2: Obstruido
	19/01/2015		Reactor 6	5,7	28,5	4,1	
TEMP AMB °C	20/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 3	5,9	23,4	4	
33,9	20/01/2015		Reactor 5	6,1	27,9	3	
	20/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 4	5,6	25,9	2	
	20/01/2015		Reactor 6	5,5	27,4	5	
TEMP AMB °C	23/01/2015		Reactor 1	7	21,1	6	
21,5	23/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 3	5,4	22,7	5	Nota
	23/01/2015		Reactor 5	6	22,1	3,5	
	23/01/2015		Reactor 2	7,4	21,4		R3: añadió 1ml de A. Acético
	23/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 4	5,4	23,4	4	
	23/01/2015		Reactor 6	5,5	27,1	4	
TEMP AMB °C	26/01/2015		Reactor 1				
32	26/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 3	5,7	19,4	7	
	26/01/2015		Reactor 5	6,3	19	4	No ta
	26/01/2015		Reactor 2				
	26/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 4	5,7	19	4	R2: No se realizó toma de muestra
	26/01/2015		Reactor 6	5,5	19,1	5,5	
TEMP AMB °C	28/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6,8	18,9	15	



19,8	28/01/2015		Reactor 3	6,9	17,8	4		
	28/01/2015		Reactor 5	6,8	17,8	5		
	28/01/2015	Espesador de lodos	Reactor 2	6,4	19,2	13		
	28/01/2015		Reactor 4	5,7	17,6	5		
	28/01/2015		Reactor 6	6	18,2	1,5		
TEMP AMB °C	30/01/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6,7	22,9	7,5	No ta	R4: añadió 1 ml de A. Acético pH : 5.4
22,1	30/01/2015		Reactor 3	6	26	5		R6: añadió 2 ml de A. Acético pH : 4.9
	30/01/2015		Reactor 5	6,7	18,9	6		R2: añadió 5 ml de A. Acético pH : 6
	30/01/2015		Reactor 2	6,2	22	6		R1: añadió 5 ml de A. Acético pH : 6.2
	30/01/2015		Espesador de lodos	Reactor 4	6	19,6	3,5	
	30/01/2015			Reactor 6	5,9	22,1	4	
TEMP AMB °C	02/02/2015		Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6,8	19,8	6	No ta
23,4	02/02/2015	Reactor 3		5,8	19,9	6	R4: añadió 3 ml de A. Acético	
	02/02/2015	Reactor 5		6,8	21,7	5,5	R5: añadió 3 ml de A. Acético	
	02/02/2015	Espesador de lodos		Reactor 2	6,7	21,6	7	
	02/02/2015			Reactor 4	5	19	3	
	02/02/2015			Reactor 6	5	22,5	6	
TEMP AMB °C	05/02/2015	Tanque Lodos espesados		Reactor 1	6,7	21,1	9	
24,4	05/02/2015		Reactor 3	5,9	19,5	6		
	05/02/2015		Reactor 5	6,4	22,8	5		
	05/02/2015		Espesador de lodos	Reactor 2	6,7	20,8	9	
	05/02/2015			Reactor 4	5,2	20,7	5,5	
	05/02/2015			Reactor 6	5,2	24,8	5,5	



TEMP AMB °C	07/02/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6,8	24,4	8	Nota	R1: añadió 10 ml de A. Acético
26,6	07/02/2015		Reactor 3	5,9	26,9	8		R2: añadió 10 ml de A. Acético
	07/02/2015		Reactor 5	6,7	26,3	16		
	07/02/2015		Espesador de lodos	Reactor 2	6,9	23,2	6	
	07/02/2015			Reactor 4	5,1	25,9	5	
	07/02/2015			Reactor 6	5,3	29	8	

TEMP AMB °C	10/02/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6	23,3	6	Nota	R5: añadió 2 ml A. Acético	
31,7	10/02/2015		Reactor 3	5,8	27,4	9		R3: añadió 2 ml A. Acético	
	10/02/2015		Reactor 5	6,2	28,5	5		R4: añadió 2 ml A. Acético	
	10/02/2015		Espesador de lodos	Reactor 2	6	22,4		10	R6: añadió 2 ml de A. Acético
	10/02/2015			Reactor 4	4,9	23,8		4	R1: añadió 10 ml de A. Acético
	10/02/2015			Reactor 6	5,3	29,8		6	R2: añadió 10 ml de A. Acético
TEMP AMB °C	12/02/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6	24,7	5			
21,5	12/02/2015		Reactor 3	5,8	24	5			
	12/02/2015		Reactor 5	6,2	25,3	5,5			
	12/02/2015		Espesador de lodos	Reactor 2	6,3	23,7		6,5	
	12/02/2015			Reactor 4	4,9	24,8		5	
	12/02/2015			Reactor 6	5,3	26		6	



TEMP AMB °C	19/02/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6,8	18,2	9	Nota	No se indujo a calor del sol
33,4	19/02/2015		Reactor 3	5,3	17,9	7,5		
	19/02/2015		Reactor 5	6,3	18	8		
	19/02/2015		Espesador de lodos	Reactor 2	6,9	17,9		
	19/02/2015	Reactor 4		5,2	17,5	6		
	19/02/2015	Reactor 6		4,8	19	8		
TEMP AMB °C	21/02/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6,2	15,8	4	Nota	R5: añadió 3 ml de A. Acético
19,3	21/02/2015		Reactor 3	5,5	14,5	3		R3: añadió 3 ml de A. Acético
	21/02/2015		Reactor 5	6,5	14,7	2		R6: añadió 3 ml de A. Acético
	21/02/2015		Reactor 2	6,4	15,4	3,5		R4: añadió 3 ml de A. Acético
	21/02/2015	Espesador de lodos	Reactor 4	5	14,4	2,5	Nota	R1: añadió 10 ml de A. Acético
	21/02/2015		Reactor 6	4,9	14	5		R2: añadió 10 ml de A. Acético

TEMP AMB °C	23/02/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6	24,8	6
28,3	23/02/2015		Reactor 3	4,9	24,8	7
	23/02/2015		Reactor 5	6,4	26,6	8
	23/02/2015	Espesador de lodos	Reactor 2	6,2	24,3	9
	23/02/2015		Reactor 4	4,7	24,4	6
	23/02/2015		Reactor 6	4,5	27,7	8



TEMP AMB °C	25/02/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	5,8	19,9	33,5	Nota	R4: olor más a amoniaco		
19,1	25/02/2015		Reactor 3	4,6	18,5	5				
	25/02/2015		Reactor 5	6,2	19,2	15,5				
	25/02/2015		Espesador de lodos	Reactor 2	5,8	20,1			8	
	25/02/2015			Reactor 4	4,5	18,2			3	
	25/02/2015			Reactor 6	4,4	19,8			6	
TEMP AMB °C	27/02/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	5,9	22,4	5,5			Nota	R4: olor más a amoniaco
36,8	27/02/2015		Reactor 3	4,7	23,8	5				
	27/02/2015		Reactor 5	6,2	22,5	11,5				
	27/02/2015	Espesador de lodos	Reactor 2	6	22,2	6				
	27/02/2015		Reactor 4	4,6	22,3	3				
	27/02/2015		Reactor 6	4,4	24,4	4,5				
TEMP AMB °C	02/03/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6	25	9	Nota	R4: Mas olor a amoniaco		
37,3	02/03/2015		Reactor 3	5,1	27,8	17,5				
	02/03/2015		Reactor 5	6,3	24,7	8				
	02/03/2015	Espesador de lodos	Reactor 2	6,1	23,8	9				
	02/03/2015		Reactor 4	4,7	24	8				
	02/03/2015		Reactor 6	4,4	26,2	8				
TEMP AMB °C	04/03/2015	Tanque Lodos espesados	Reactor 1	6	22,8	8			Nota	R1: encuentra en estado liquido
27,2	04/03/2015		Reactor 3	5	23,9	6				
	04/03/2015		Reactor 5	6,4	22,8	5				
	04/03/2015		Espesador de lodos	Reactor 2	6,4	21,8				
	04/03/2015	Reactor 4		4,7	21,6	4				
										R3: encuentra en estado liquido
								R5: encuentra en estado liquido		

	04/03/2015	Reactor 6	4,5	25,2	5,5	
TEMP AMB °C	06/03/2015	Reactor 1	5,9	20,2	17,5	
24,1	06/03/2015	Reactor 3	4,9	20,5	6,5	R5: Añadió 3 ml A. Acético
	06/03/2015	Reactor 5	6,2	20,2	23	R1: Añadió 10 ml A. Acético
	06/03/2015	Reactor 2	5,8	22,5	9	R2: Añadió 10 ml A. Acético
	06/03/2015	Reactor 4	4,7	20,7	4	R3: Añadió 1 ml A. Acético
	06/03/2015	Reactor 6	4,5	24,1	7	

En la tabla 2 se presenta un resaltado de color amarillo en los reactores 1 y 2, esto nos indica que en los primeros días de monitoreo se produjo una obstrucción en dichos reactores por lo que no se obtuvo datos en dichas fechas. Las notas resaltadas de color azul hacen referencia a la adición de sustrato. En algunos días de monitoreo se añadió sustrato a ciertos reactores debido a que su pH estaba cerca de la neutralidad, en otros no se añadió sustrato (ácido acético) porque su pH se encontraba óptimo.

TABLA 3. RESULTADOS DE LOS MONITOREOS EN LOS REACTORES

Tabla 3.1 RESULTADO MONITOREO REACTOR 1 CON EL VOLUMEN ACUMULADO

MONITOREOS GENERACIÓN DE BIOGÁS						
Nº días	REACTORES	pH	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN CH ₄ ml	PESO DE LODOS g	VOLUMEN ACUMULADO CH ₄ ml
1	Reactor 1	4,5	23,2	5	12752	5
2	Reactor 1	5,7	24,7	4		9
3	Reactor 1	6,5	21,2	7		16
4	Reactor 1	7	21,1	6		22
5	Reactor 1	6,8	18,9	15		37
6	Reactor 1	6,7	22,9	7,5		44,5
7	Reactor 1	6,8	19,8	6		50,5
8	Reactor 1	6,7	21,1	9		59,5
9	Reactor 1	6,8	24,4	8		67,5

10	Reactor 1	6	23,3	6	73,5
11	Reactor 1	6	24,7	5	78,5
12	Reactor 1	6,8	18,2	9	87,5
13	Reactor 1	6,2	15,8	4	91,5
14	Reactor 1	6	24,8	6	97,5
15	Reactor 1	5,8	19,9	33,5	131
16	Reactor 1	5,9	22,4	5,5	136,5
17	Reactor 1	6	25	9	145,5
18	Reactor 1	6	22,8	8	153,5
19	Reactor 1	5,9	20,2	17,5	171
		PROMEDIO TEMP	21,81		

TABLA 3.2 RESULTADOS MONITOREO REACTOR 2 CON EL VOLUMEN ACUMULADO

MONITOREOS GENERACIÓN DE BIOGÁS						
Nº días	REACTORES	pH	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN CH ₄ ml	PESO DE LODOS g	VOLUMEN ACUMULADO CH ₄ ml
1	Reactor 2	4,3	22	1	12997	1
2	Reactor 2	4,8	22,5	1		2
3	Reactor 2	5,9	22,3	7		9
4	Reactor 2	6,4	19,2	13		22
5	Reactor 2	6,7	21,6	7		29
6	Reactor 2	6,7	20,8	9		38
7	Reactor 2	6,9	23,2	6		44
8	Reactor 2	6	22,4	10		54
9	Reactor 2	6,3	23,7	6,5		60,5
10	Reactor 2	6,9	17,9	15		75,5
11	Reactor 2	6,4	15,4	3,5		79
12	Reactor 2	6,2	24,3	9		88
13	Reactor 2	5,8	20,1	8		96
14	Reactor 2	6	22,2	6		102
15	Reactor 2	6,1	23,8	9		111
16	Reactor 2	6,4	21,8	6		117
17	Reactor 2	5,8	22,5	9		126
		PROMEDIO TEMP	21,51			

TABLA 3.3 RESULTADO MONITOREO REACTOR 3 CON EL VOLUMEN ACUMULADO

MONITOREOS GENERACIÓN DE BIOGÁS						
Nº días	REACTORES	pH	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN CH ₄ ml	PESO DE LODOS g	VOLUMEN ACUMULADO CH ₄ ml
1	Reactor 3	5,2	27,42	1,5	2023	1,5
2	Reactor 3	5,4	33,5	0,5		2
3	Reactor 3	6	29,9	5		7
4	Reactor 3	5,6	23,3	6		13
5	Reactor 3	5,8	22,6	5,5		18,5
6	Reactor 3	5,9	23,4	4		22,5
7	Reactor 3	5,4	22,7	5		27,5
8	Reactor 3	5,7	19,4	7		34,5
9	Reactor 3	6,9	17,8	4		38,5
10	Reactor 3	6	26	5		43,5
11	Reactor 3	5,8	19,9	6		49,5
12	Reactor 3	5,9	19,5	6		55,5
13	Reactor 3	5,9	26,9	8		63,5
14	Reactor 3	5,8	27,4	9		72,5
15	Reactor 3	5,8	24	5		77,5
16	Reactor 3	5,3	17,9	7,5		85
17	Reactor 3	5,5	14,5	3		88
18	Reactor 3	4,9	24,8	7		95
19	Reactor 3	4,6	18,5	5		100
20	Reactor 3	4,7	23,8	5		105
21	Reactor 3	5,1	27,8	17,5		122,5
22	Reactor 3	5	23,9	6		128,5
23	Reactor 3	4,9	20,5	6,5		135
PROMEDIO TEMP			23,28			

TABLA 3.4 RESULTADO MONITOREO REACTOR 4 CON EL VOLUMEN ACUMULADO

MONITOREOS GENERACIÓN DE BIOGÁS						
Nº días	REACTORES	pH	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN CH ₄ ml	PESO DE LODOS g	VOLUMEN ACUMULADO CH ₄ ml
1	Reactor 4	4,9	21	2,5	4012	2,5
2	Reactor 4	5	27,1	1		3,5
3	Reactor 4	5,5	29,1	6		9,5
4	Reactor 4	5,4	26,4	7		16,5

5	Reactor 4	5,5	25,4	5	21,5
6	Reactor 4	5,6	25,9	2	23,5
7	Reactor 4	5,4	23,4	4	27,5
8	Reactor 4	5,7	19	4	31,5
9	Reactor 4	5,7	17,6	5	36,5
10	Reactor 4	6	19,6	3,5	40
11	Reactor 4	5	19	3	43
12	Reactor 4	5,2	20,7	5,5	48,5
13	Reactor 4	5,1	25,9	5	53,5
14	Reactor 4	4,9	23,8	4	57,5
15	Reactor 4	4,9	24,8	5	62,5
16	Reactor 4	5,2	17,5	6	68,5
17	Reactor 4	5	14,4	2,5	71
18	Reactor 4	4,7	24,4	6	77
19	Reactor 4	4,5	18,2	3	80
20	Reactor 4	4,6	22,3	3	83
21	Reactor 4	4,7	24	8	91
22	Reactor 4	4,7	21,6	4	95
23	Reactor 4	4,7	20,7	4	99
		PROMEDIO TEMP	22,25		

TABLA 3.5 RESULTADO MONITOREO REACTOR 5 CON EL VOLUMEN ACUMULADO

MONITOREOS GENERACIÓN DE BIOGÁS						
Nº días	REACTORES	pH	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN CH ₄ ml	PESO DE LODOS g	VOLUMEN ACUMULADO CH ₄ ml
1	Reactor 5	5,2	26,2	1	3932	1
2	Reactor 5	5,9	33,6	3		4
3	Reactor 5	6,3	25,5	6		10
4	Reactor 5	5,9	28,8	4		14
5	Reactor 5	6	24	4,2		18,2
6	Reactor 5	6,1	27,9	3		21,2
7	Reactor 5	6	22,1	3,5		24,7
8	Reactor 5	6,3	19	4		28,7
9	Reactor 5	6,8	17,8	5		33,7

10	Reactor 5	6,7	18,9	6	39,7
11	Reactor 5	6,8	21,7	5,5	45,2
12	Reactor 5	6,4	22,8	5	50,2
13	Reactor 5	6,7	26,3	16	66,2
14	Reactor 5	6,2	28,5	5	71,2
15	Reactor 5	6,2	25,3	5,5	76,7
16	Reactor 5	6,3	18	8	84,7
17	Reactor 5	6,5	14,7	2	86,7
18	Reactor 5	6,4	26,6	8	94,7
19	Reactor 5	6,2	19,2	15,5	110,2
20	Reactor 5	6,2	22,5	11,5	121,7
21	Reactor 5	6,3	24,7	8	129,7
22	Reactor 5	6,4	22,8	5	134,7
23	Reactor 5	6,2	20,2	23	157,7
		PROMEDIO TEMP	23,35		

TABLA 3.6 RESULTADO MONITOREO REACTOR 6 CON EL VOLUMEN ACUMULADO

MONITOREOS GENERACIÓN de BIOGÁS						
Nº días	REACTORES	PH	TEMPERATURA (°C)	VOLUMEN CH4 ml	PESO DE LODOS g	VOLUMEN ACUMULADO CH4 ml
1	Reactor 6	4,8	27,2	1	1774	1
2	Reactor 6	5	34,9	5		6
3	Reactor 6	5,5	32,2	5		11
4	Reactor 6	5,3	30,4	5		16
5	Reactor 6	5,7	28,5	4,1		20,1
6	Reactor 6	5,5	27,4	5		25,1
7	Reactor 6	5,5	27,1	4		29,1
8	Reactor 6	5,5	19,1	5,5		34,6



9	Reactor 6	6	18,2	1,5	36,1
10	Reactor 6	5,9	22,1	4	40,1
11	Reactor 6	5	22,5	6	46,1
12	Reactor 6	5,2	24,8	5,5	51,6
13	Reactor 6	5,3	29	8	59,6
14	Reactor 6	5,3	29,8	6	65,6
15	Reactor 6	5,3	26	6	71,6
16	Reactor 6	4,8	19	8	79,6
17	Reactor 6	4,9	14	5	84,6
18	Reactor 6	4,5	27,7	8	92,6
19	Reactor 6	4,4	19,8	6	98,6
20	Reactor 6	4,4	24,4	4,5	103,1
21	Reactor 6	4,4	26,2	8	111,1
22	Reactor 6	4,5	25,2	5,5	116,6
23	Reactor 6	4,5	24,1	7	123,6
		PROMEDIO TEMP	25,2		

En cada una de las tablas se muestran los resultados de pH, temperatura, peso total de los lodos, el volumen de metano. En esta tabla se adiciona el volumen de biogás acumulado.



GRÁFICOS DE COMPARACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Gráfico 1. Valores del pH con respecto al tiempo del reactor 1

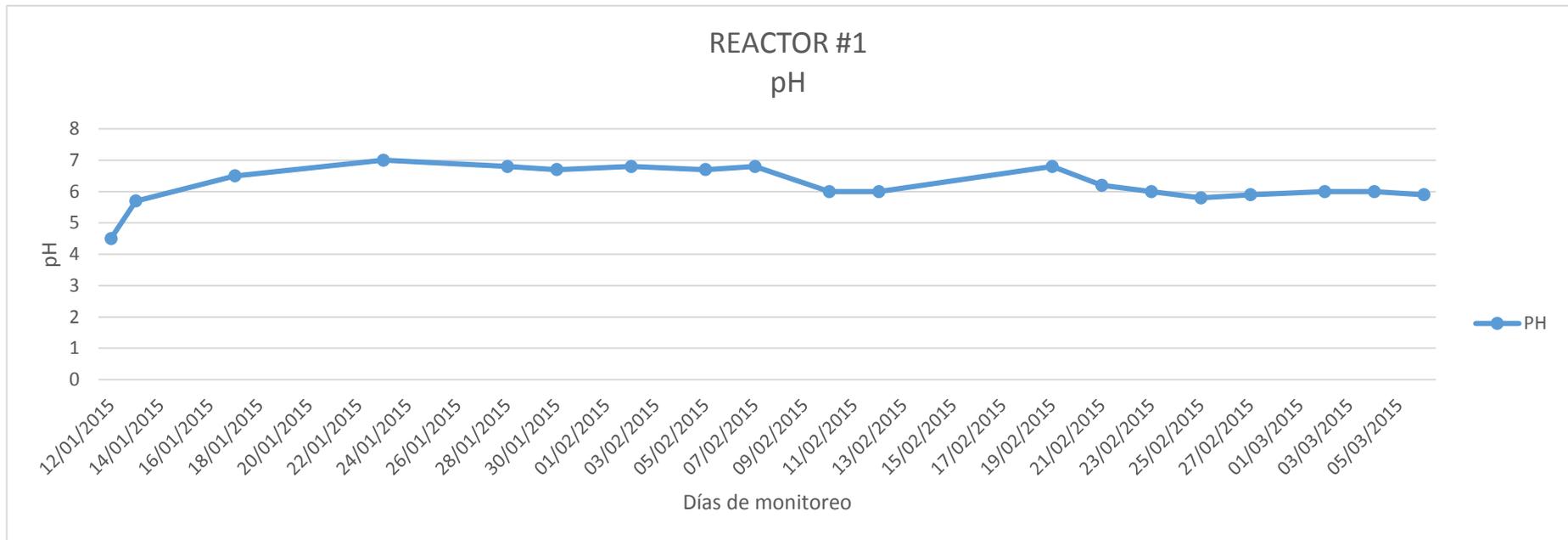


Gráfico 2. Valores del pH con respecto al tiempo del reactor 2

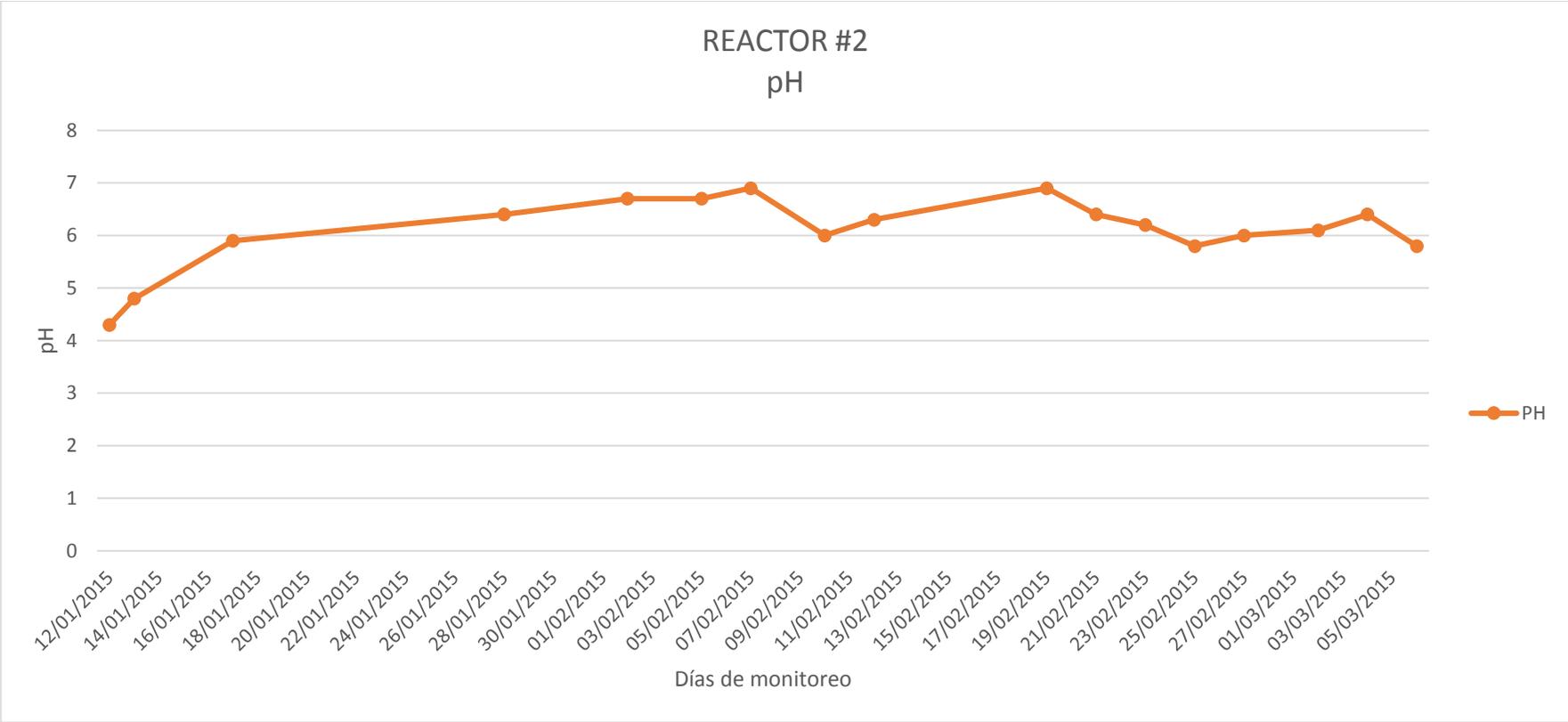
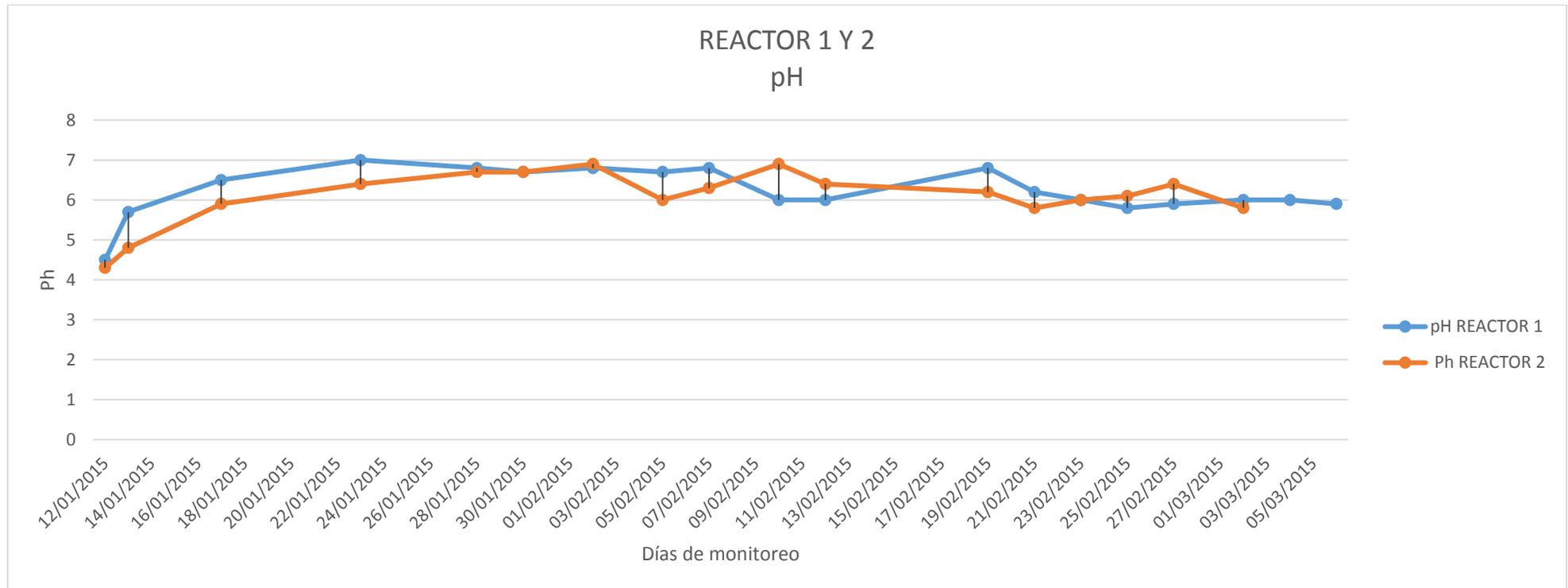


Gráfico 3. Comparación del pH con respecto al tiempo de los reactores 1 y 2



En el gráfico se observa que en los reactores 1 y 2 su pH se mantiene en el mismo rango, los datos reflejan cómo se han podido estabilizar de acuerdo al tiempo de retención, también que la población microbiana se ha mantenido activa sin pérdidas poblacionales, notamos que en 3 puntos sus pH se igualaron, esto hace referencia al punto de partida de la actividad de los microorganismos, generación y consumo del sustrato, sin embargo en el reactor 1 predominó la generación de biogás.

Gráfico 4. Valores del pH con respecto al tiempo del reactor 4

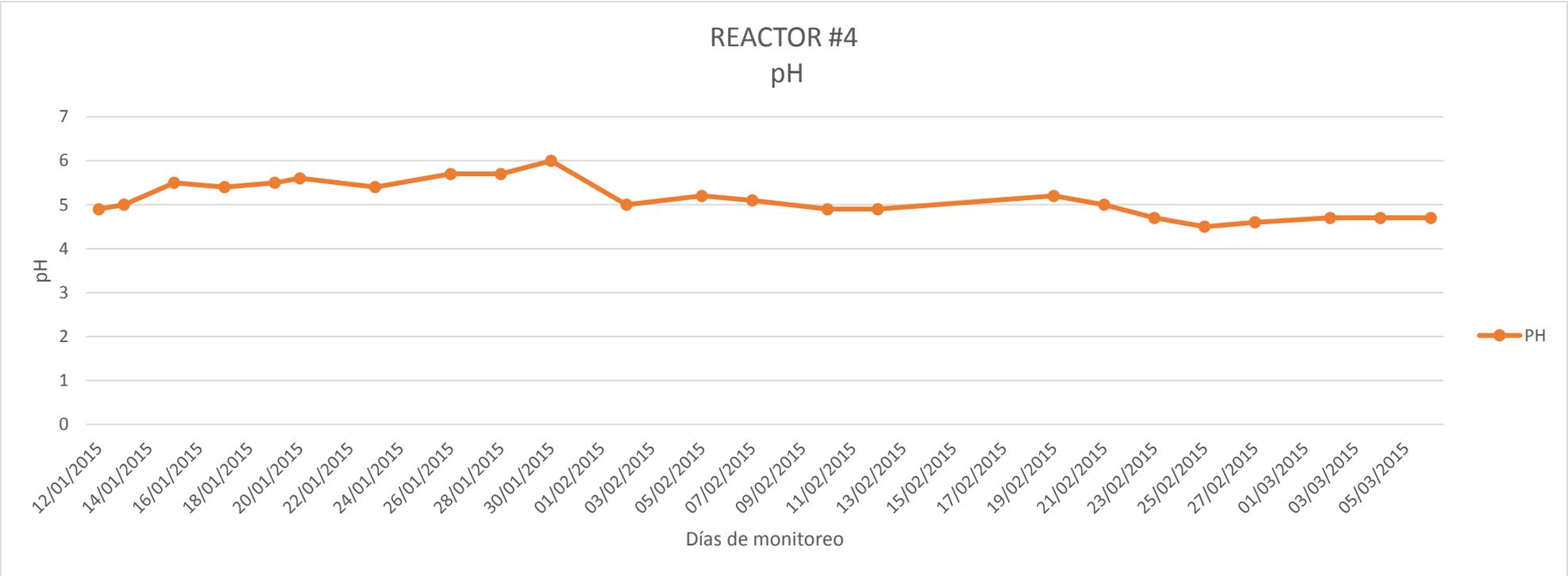


Gráfico 5. Valores del pH con respecto al tiempo del reactor 5

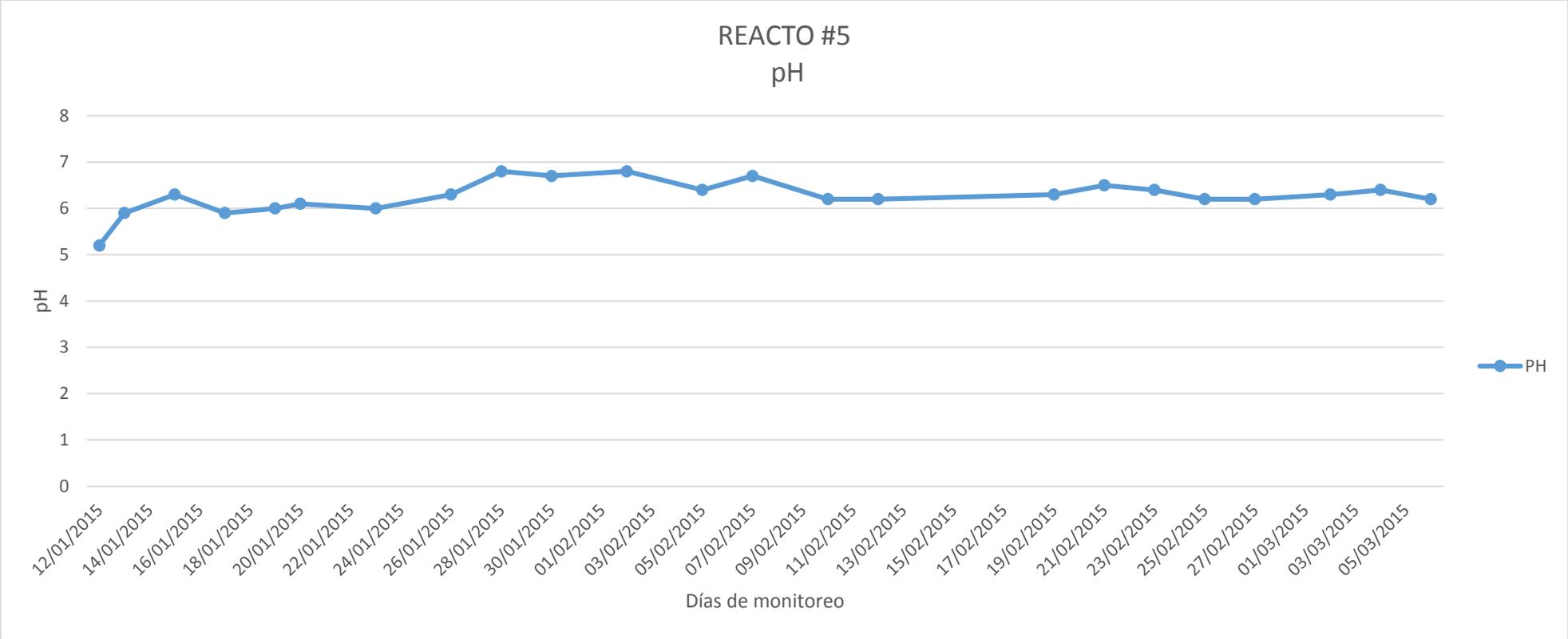
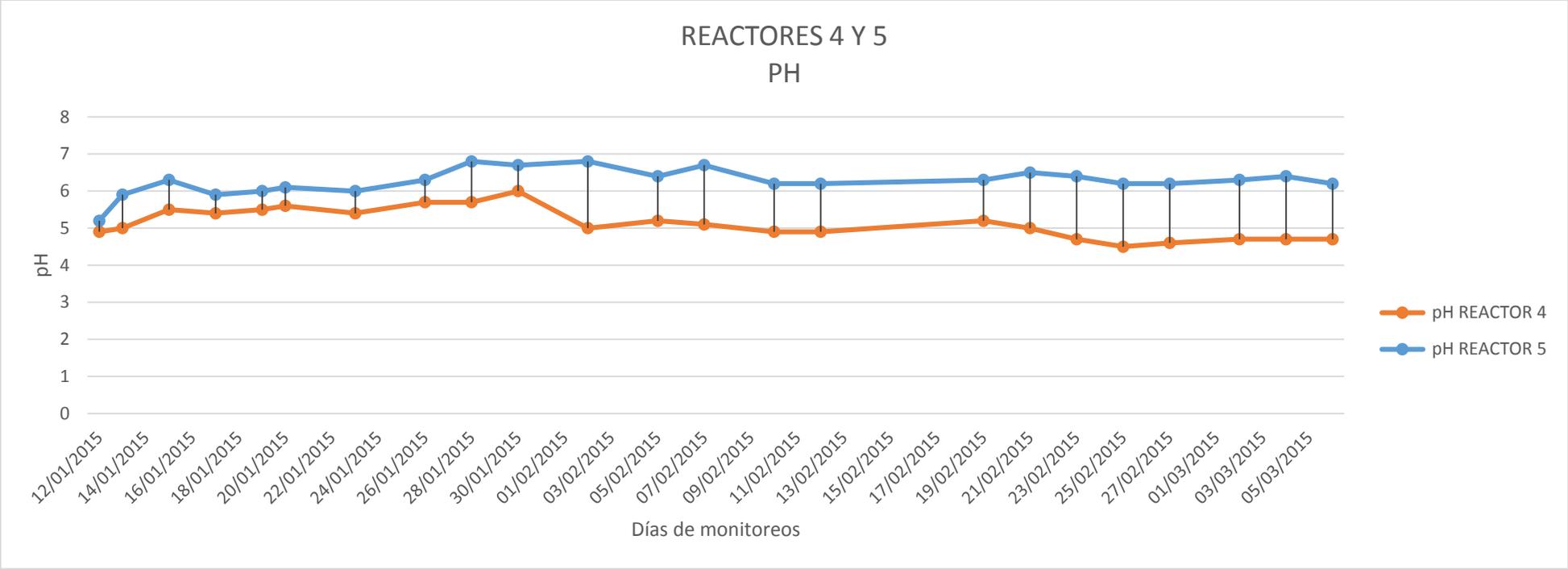


Gráfico 6. Comparación del pH con respecto al tiempo de los reactores 4 y 5



Según el gráfico nos indica que los pH de los reactores 4 y 5 son muy diferentes, el 5 presenta un pH óptimo y se mantuvo así por todo el tiempo de monitoreo, en el 4 presenta datos por debajo del pH 6, el pHmetro nos indicó datos de pH ácido, el cual se dejó de añadir sustrato hasta esperar su estabilización.

Gráfico 7. Valores del pH con respecto al tiempo del reactor 3

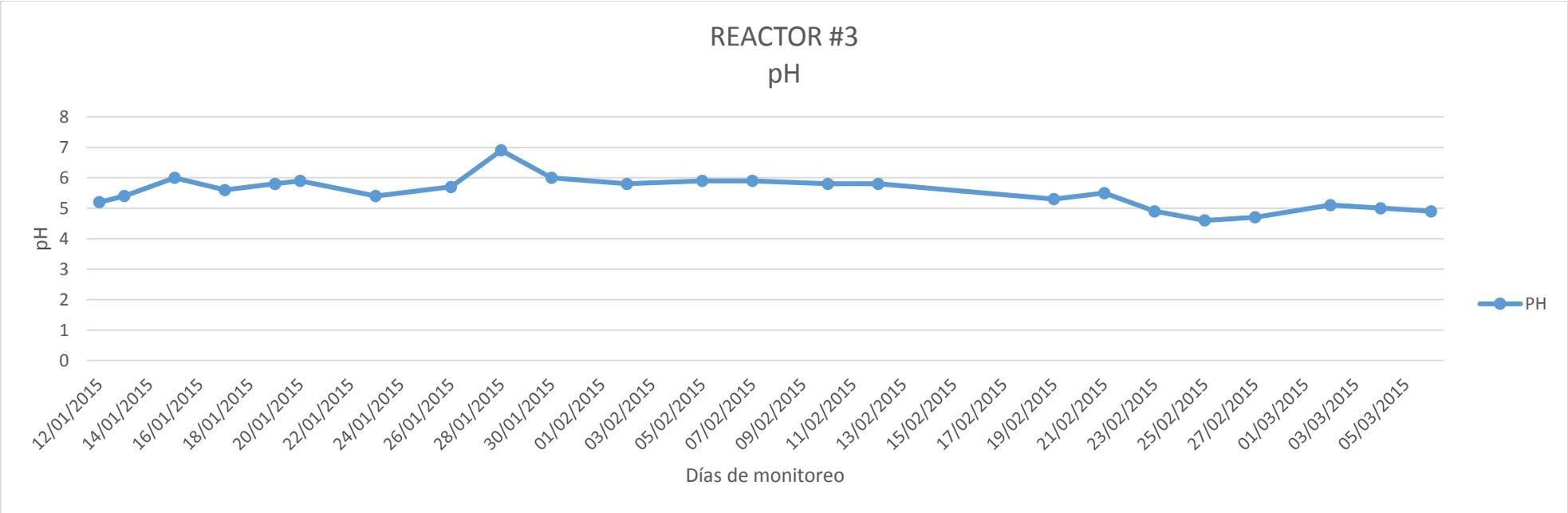


Gráfico 8. Valores del pH con respecto al tiempo del reactor 6

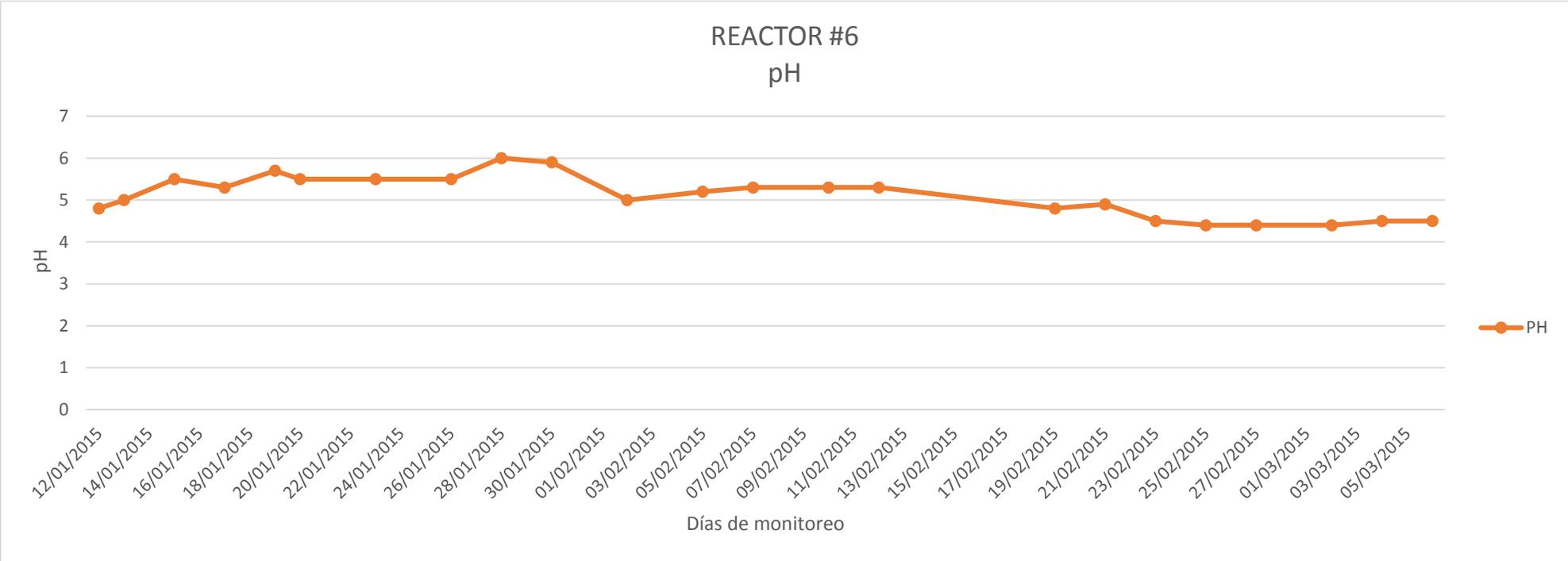
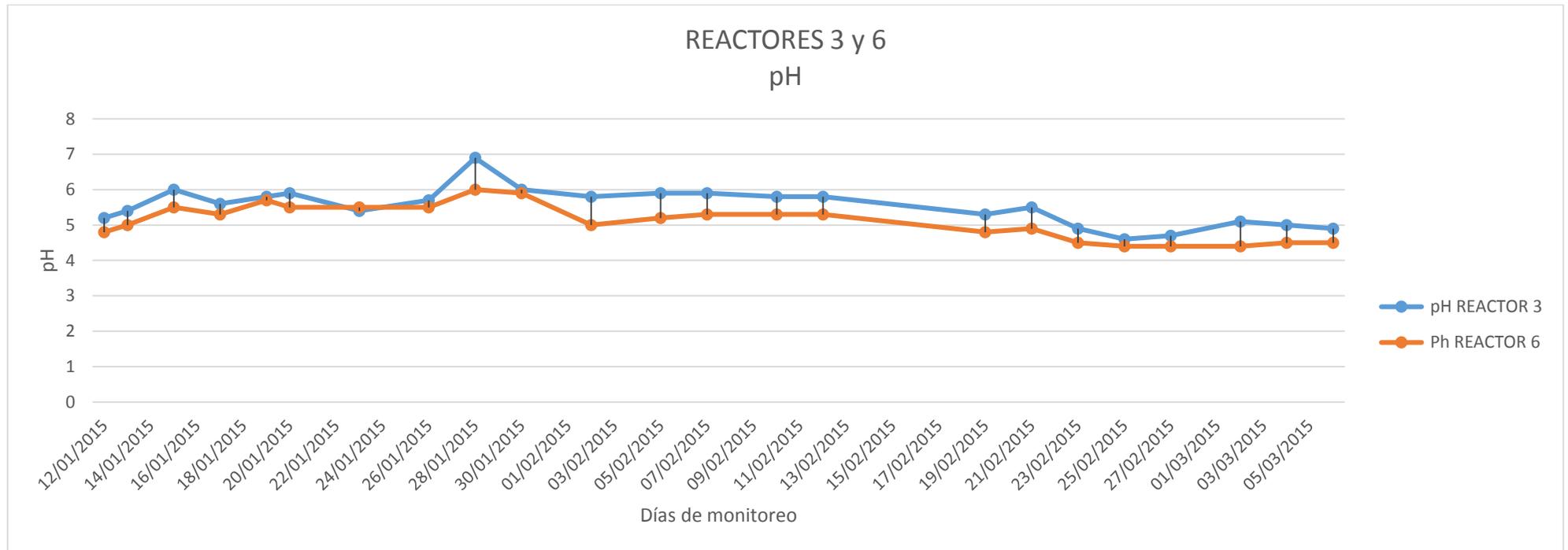


Gráfico 9. Comparación del pH con respecto al tiempo del reactor 3 y 6



Nuestro gráfico muestra que el reactor 3 y 6 van de forma lineal, sin embargo el reactor 6 tiene valores de pH por debajo de 6, esto se debe también a que el sustrato adicionado empezó hacer que el lodo se vuelva ácido. El rango de pH de los reactores 1, 3,5 es mayor al pH de los reactores 2, 4,6, debido a que el lodo proviene del tanque espesador de lodos (lodo espesado).

Gráfico 10. Valores de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 1

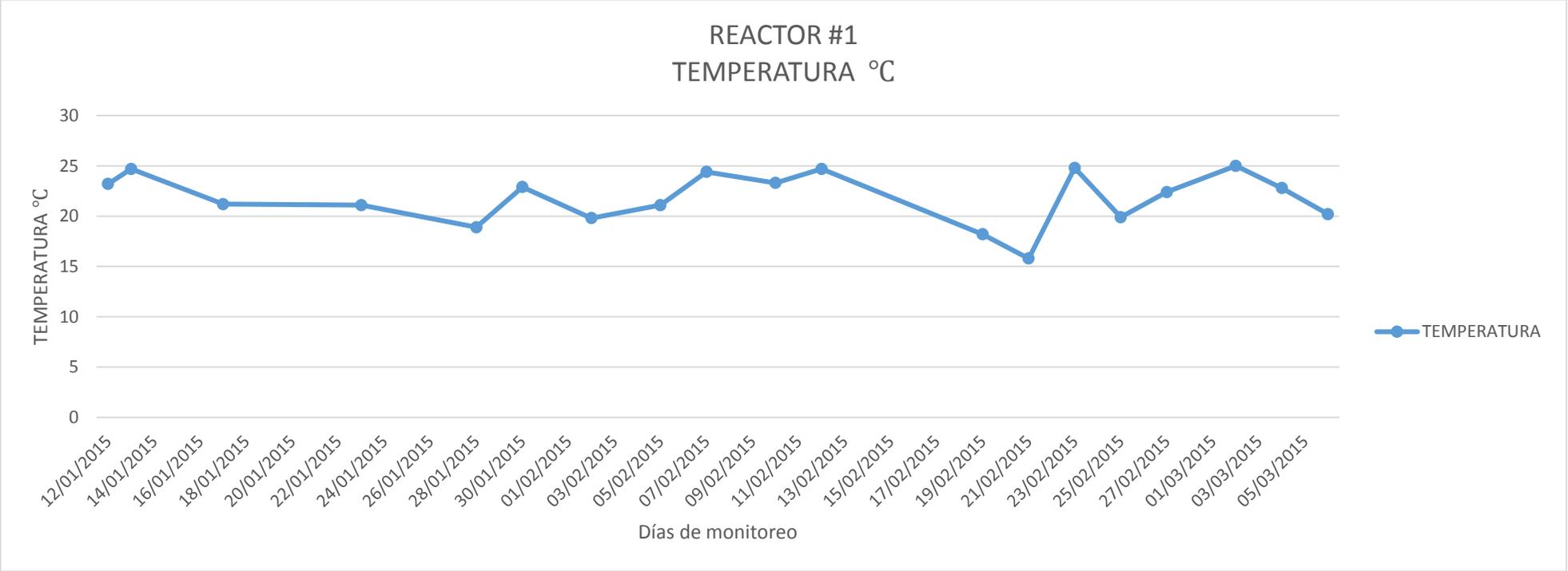


Gráfico 11. Valores de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 2

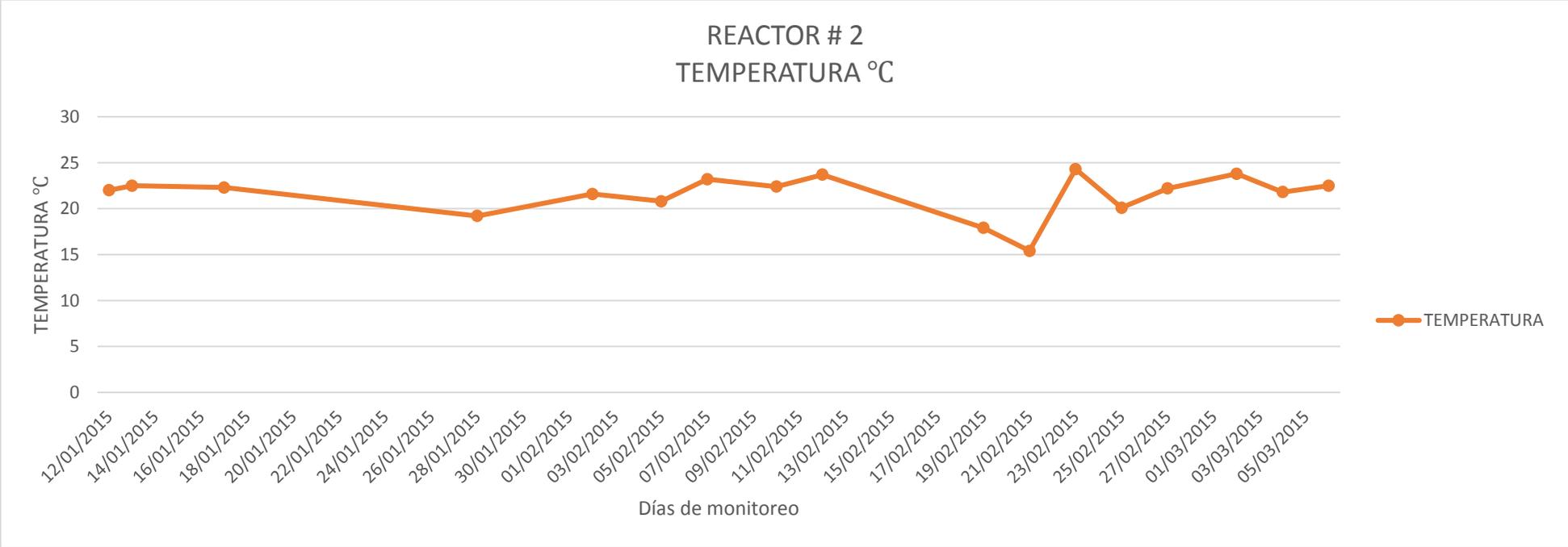
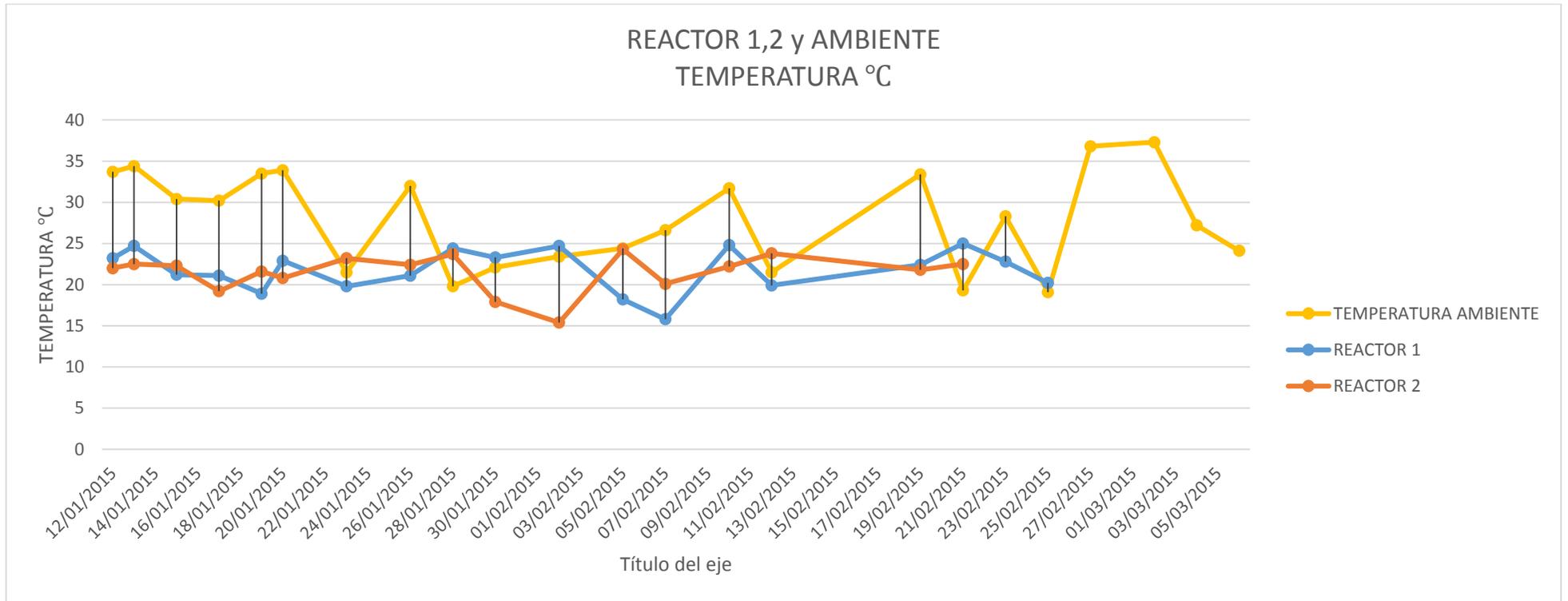


Gráfico 12. Comparación de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 1, 2 y la del ambiente.



El gráfico nos indica los valores de temperatura en el monitoreo, entre los reactores 1,2 y el ambiente, los valores nos muestran que si hubo más calor externo que interno esto se debió que en esos días la temporada fue mayor a los 30 °C y beneficiosa para los reactores lo cual ayudó con la generación de biogás, con ello a consumirse todo el sustrato, no hay mucha variación de temperatura entre los reactores.



Gráfico 13. Valores de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 4

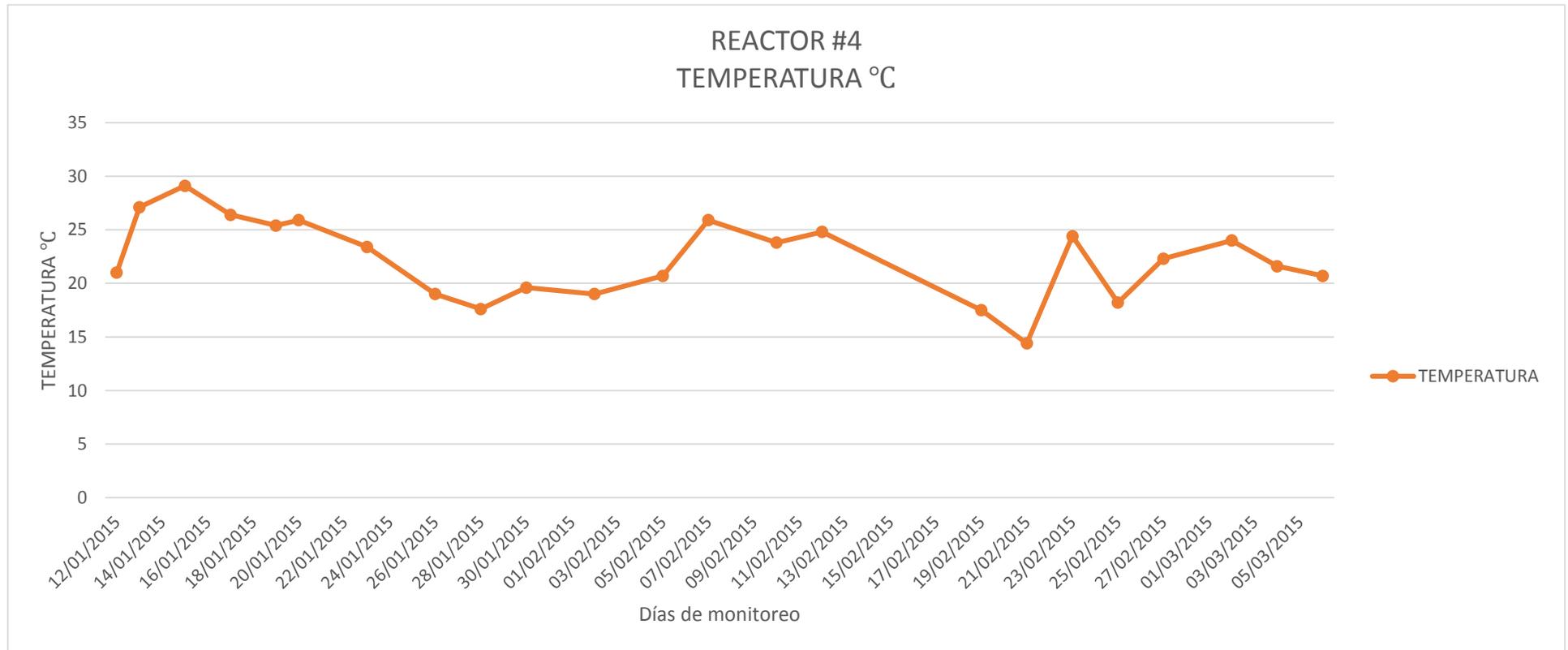


Gráfico 14. Valores de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 5

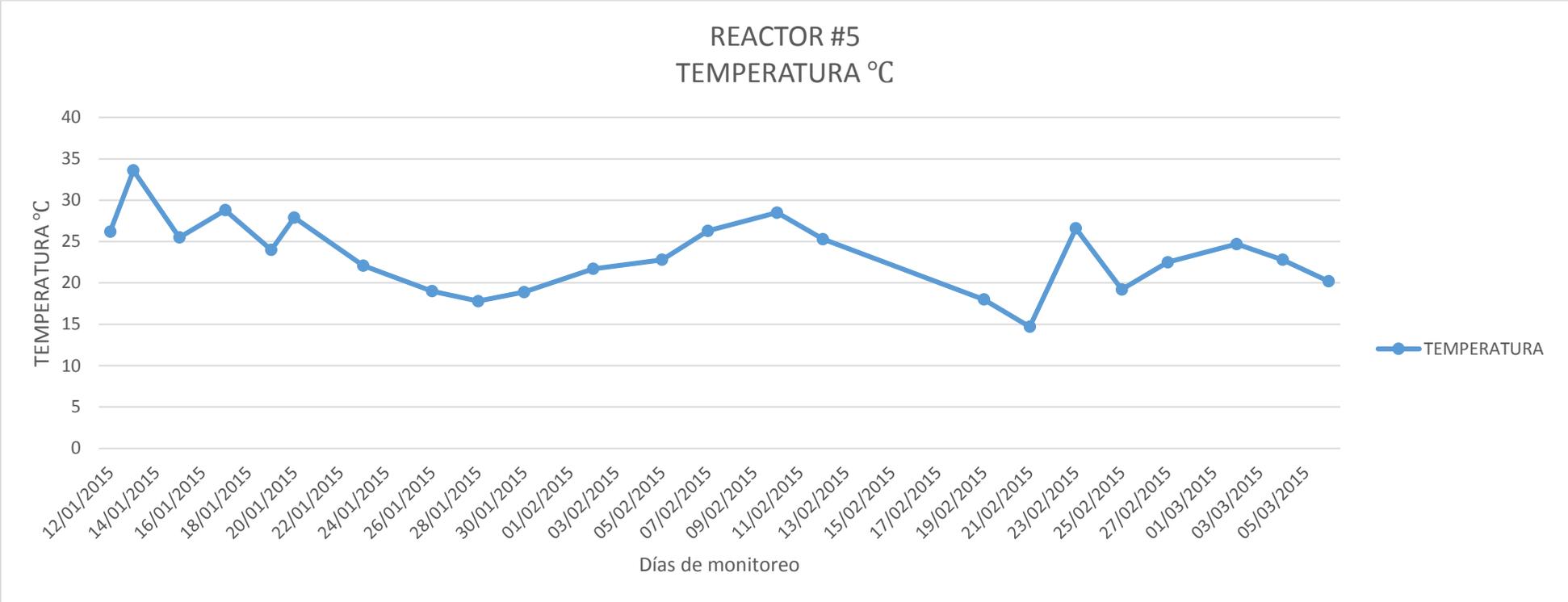
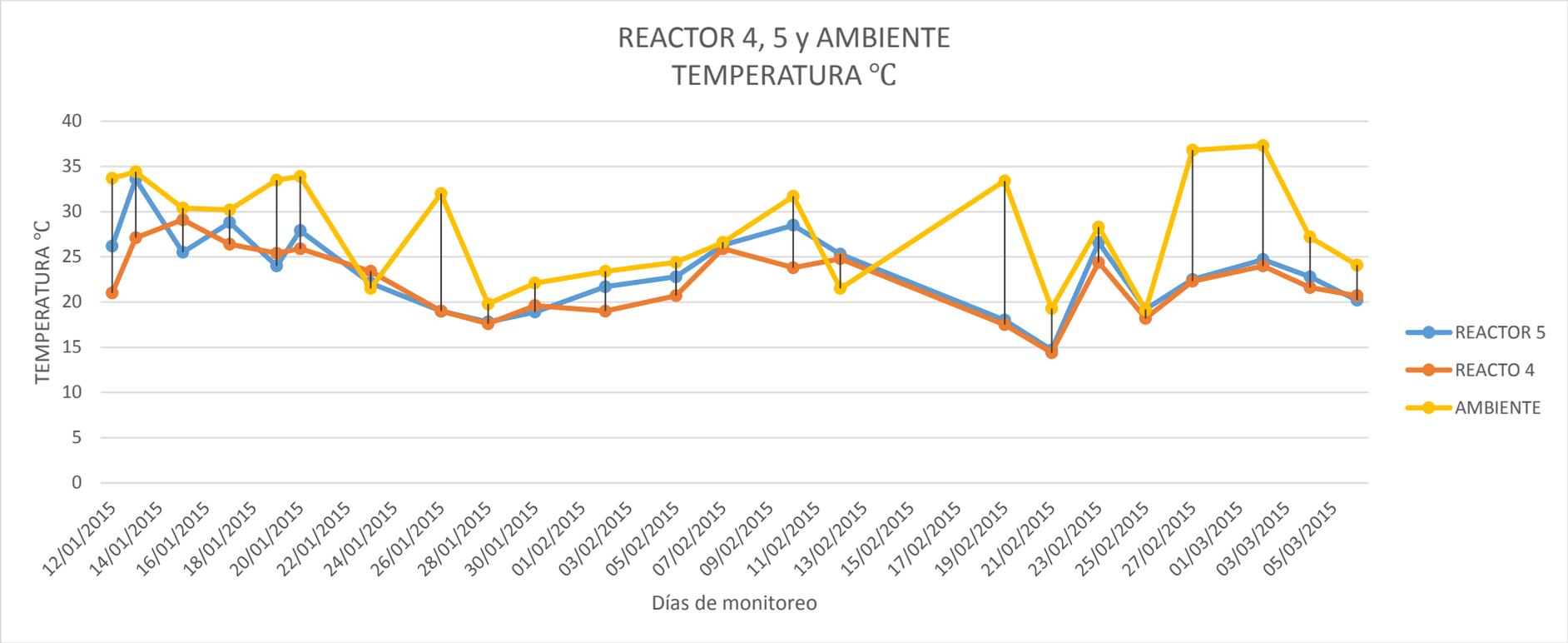


Gráfico 15. Comparación de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 4, 5 y la del ambiente.



Se muestra en el gráfico que los reactores 5 y 4 tienen una temperatura que no varía la una con la otra, los puntos están iguales en algunas fechas, también que predomina la temperatura ambiente en gran parte de los días de monitoreo.

Gráfico 16. Valores de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 3

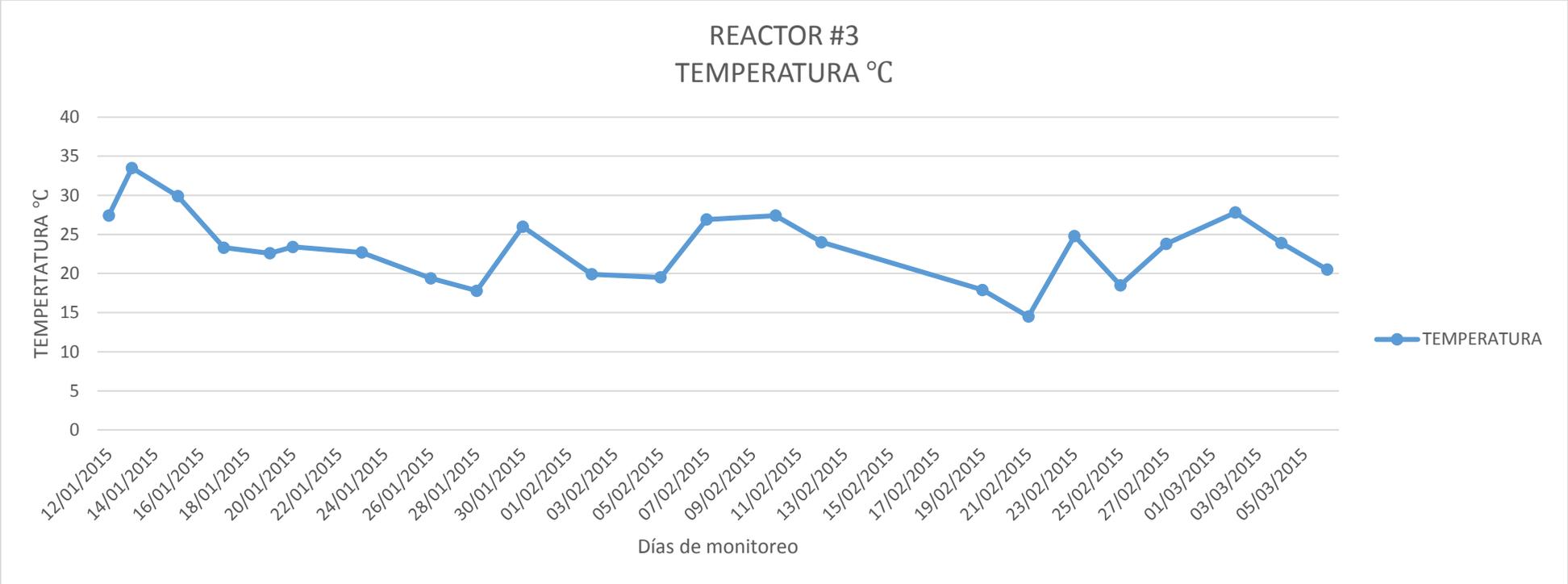


Gráfico 17. Valores de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 6

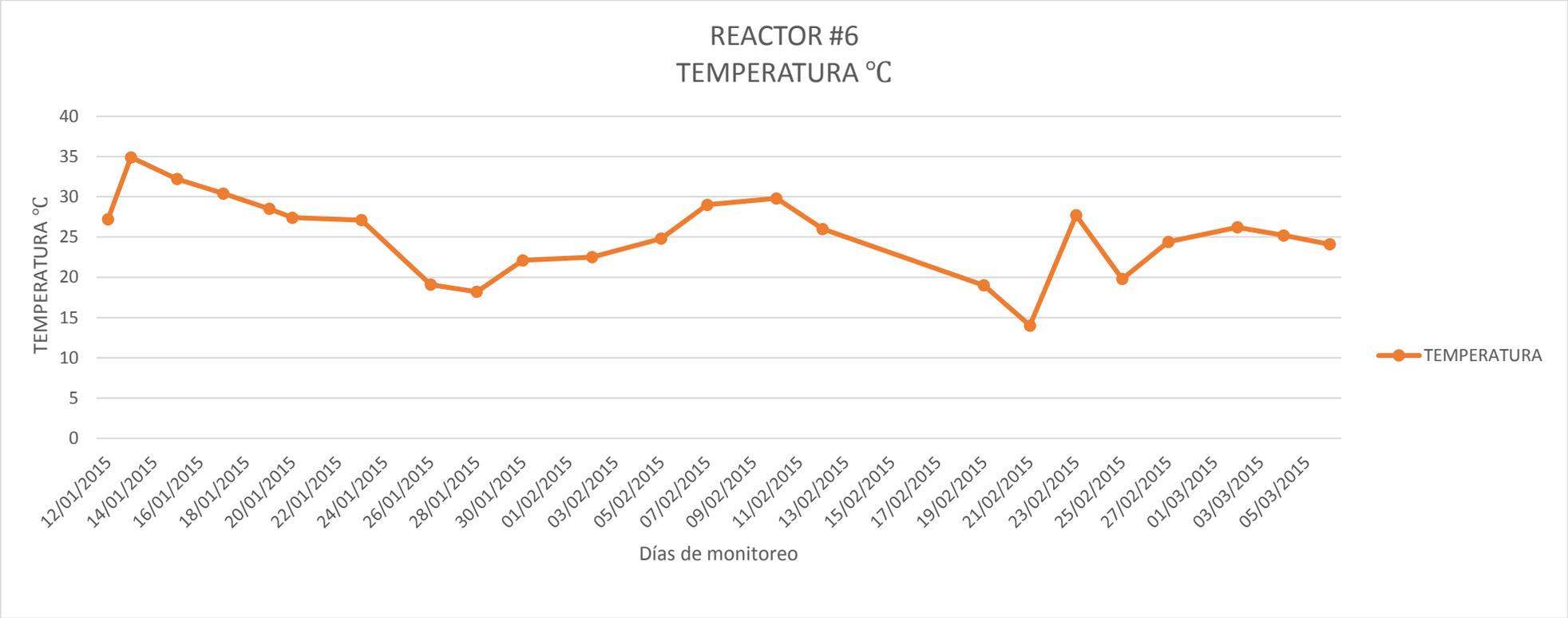
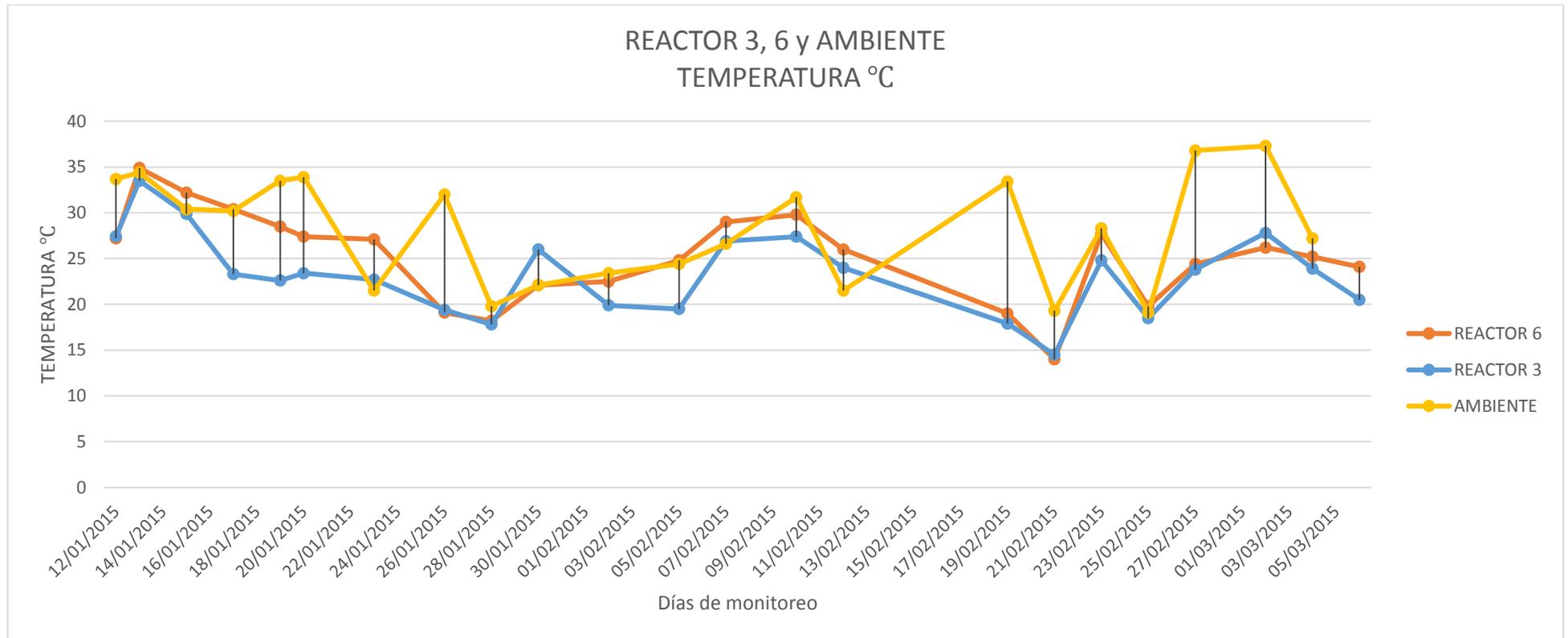


Gráfico 18. Comparación de la temperatura con respecto al tiempo del reactor 3, 6 y la del ambiente



La temperatura en estos reactores 3 y 6 con respecto a la del ambiente son casi similares, dentro de dichos digestores tenían un volumen más bajo de lodos introducidos, significando así que sus temperaturas son similares a la temperatura ambiente. El calor utilizado fue luz del sol, exponiendo a todos los digestores a la incidencia de dicha luz. El tiempo de incidencia a la luz del sol fue de 30 a 120 minutos.

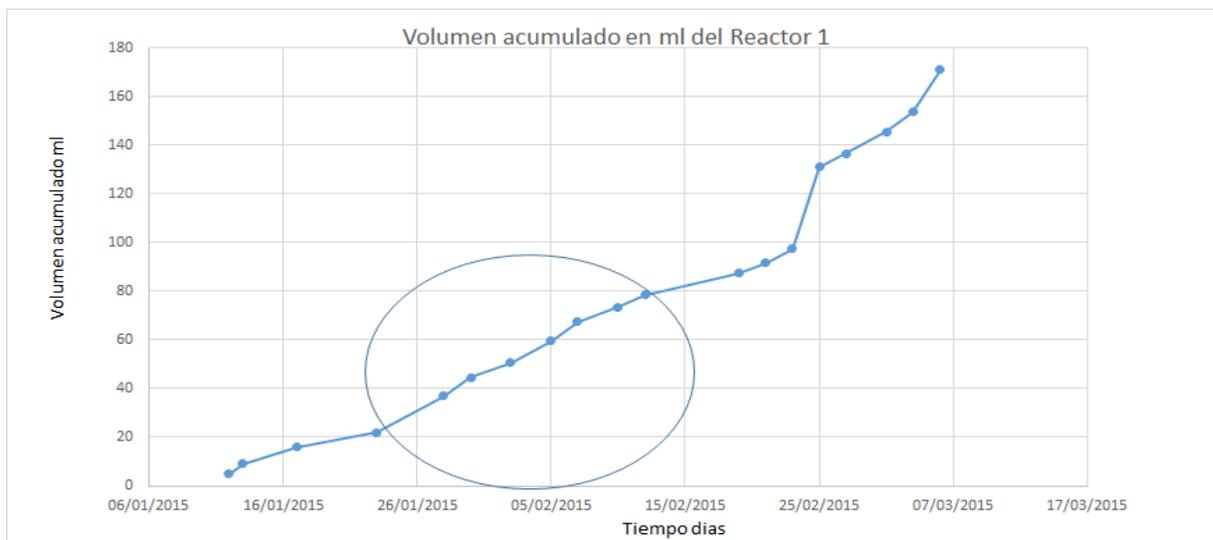


Nuestros digestores fueron sometidos a condiciones ambientales de la zona del cantón Cuenca.

DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE

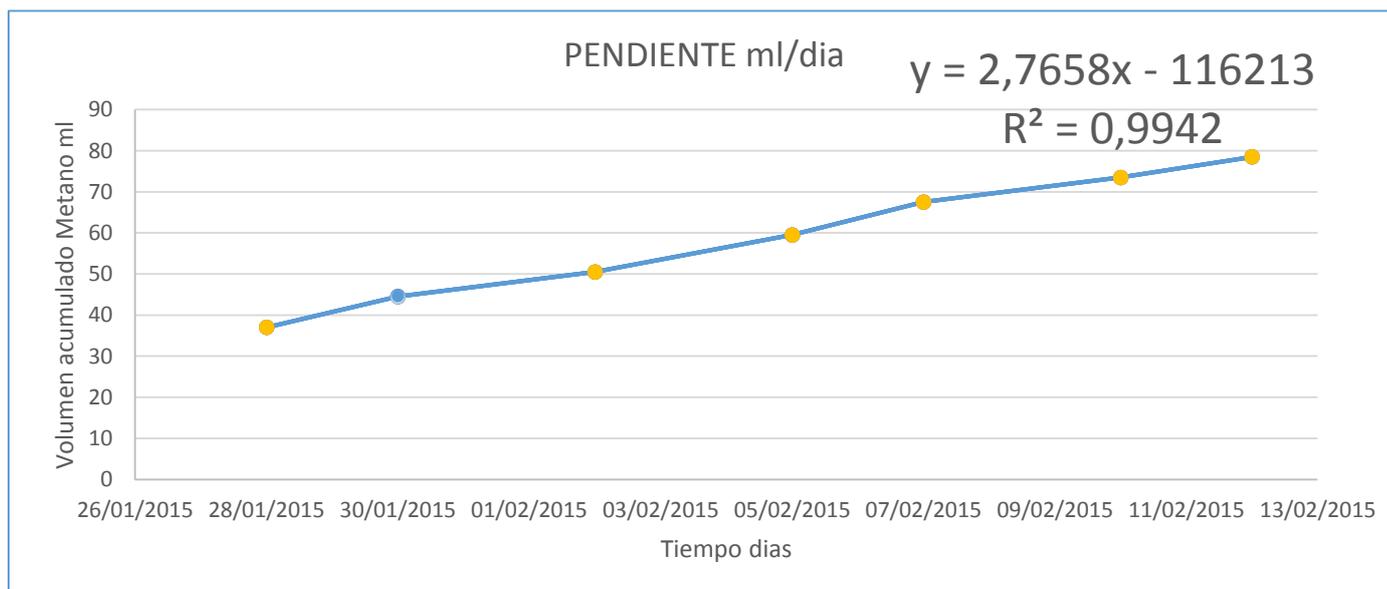
GRÁFICOS DE GENERACIÓN METANO EN CADA UNO DE LOS REACTORES

Gráfico 19. Generación de Metano Reactor 1



El gráfico 19 hace referencia a la pendiente más empinada graficada entre el volumen acumulado en ml de metano vs el tiempo de operación del biodigestor 1. (HSIEH, 2009).

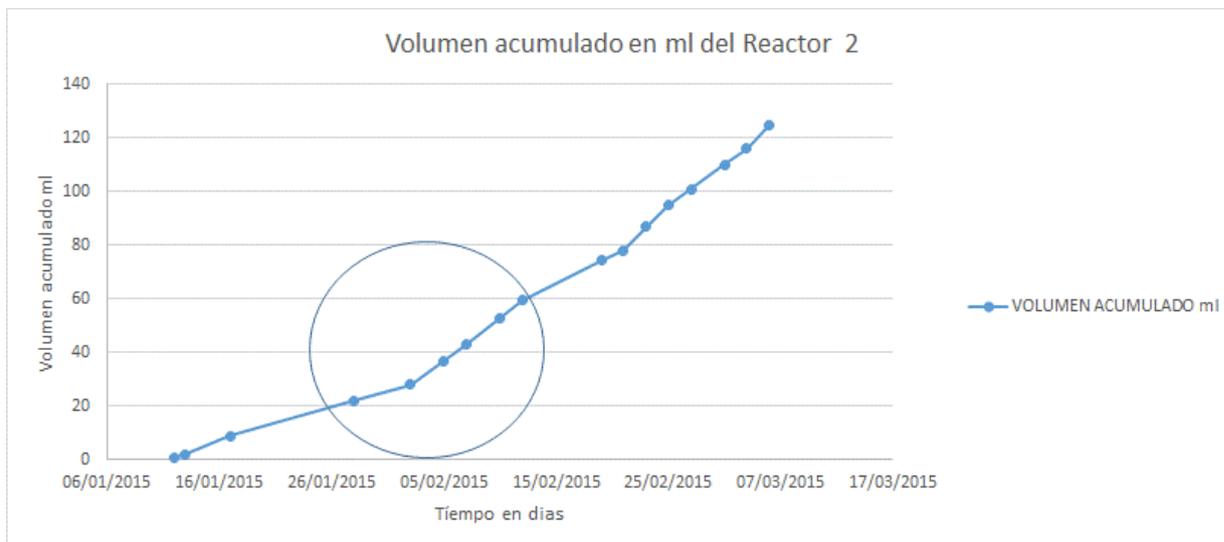
Gráfico 19.1 Pendiente Reactor 1





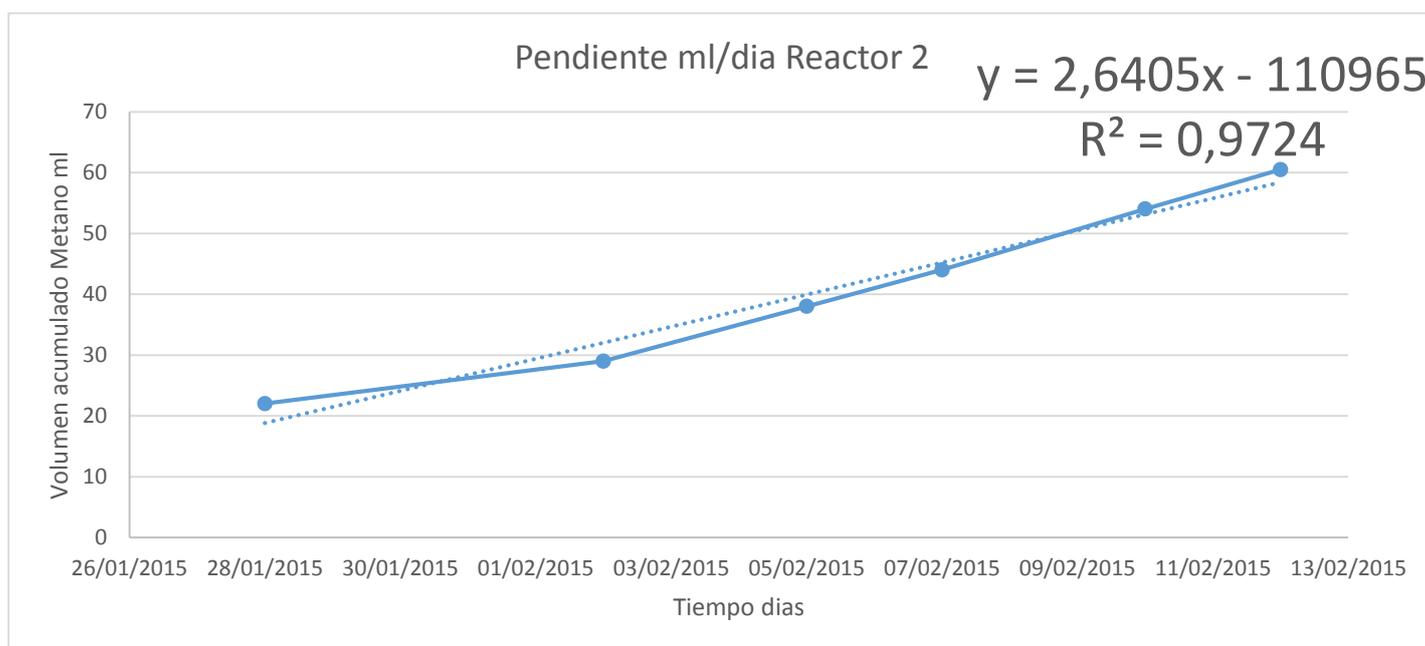
El gráfico 19.1 presenta la pendiente generada en los 55 días de monitoreo del reactor 1, dando como resultado 2.76 ml CH₄/día, es decir, la máxima velocidad de producción de metano.

Gráfico 20. Generación de Metano del Reactor 2



El gráfico 20 hace referencia a la pendiente más empinada graficada entre el volumen acumulado en ml de metano vs el tiempo de operación del digestor 2. (HSIEH, 2009).

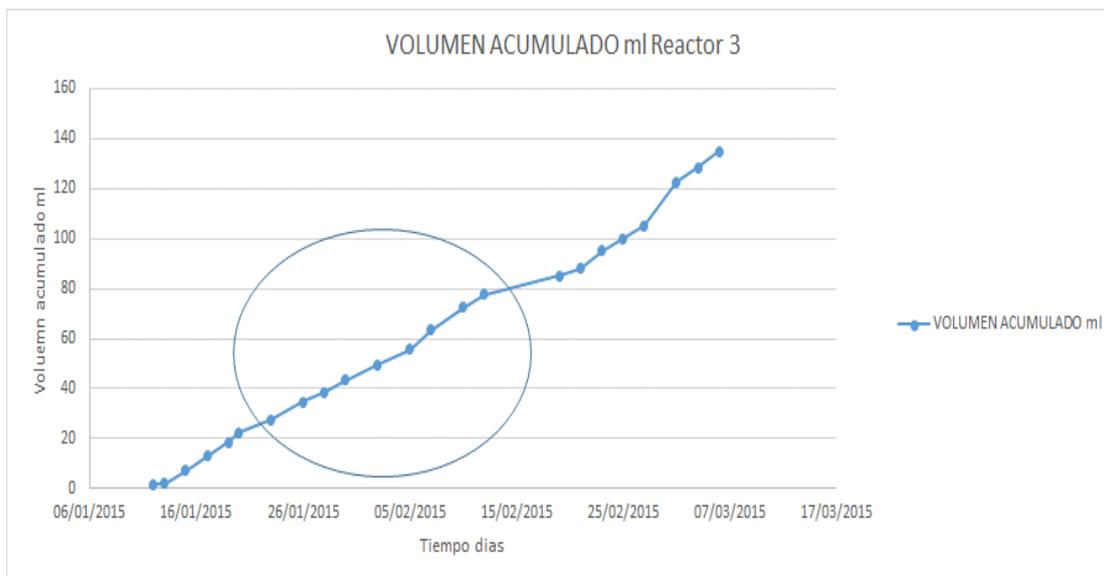
Gráfico 20.1 Pendiente Reactor 2





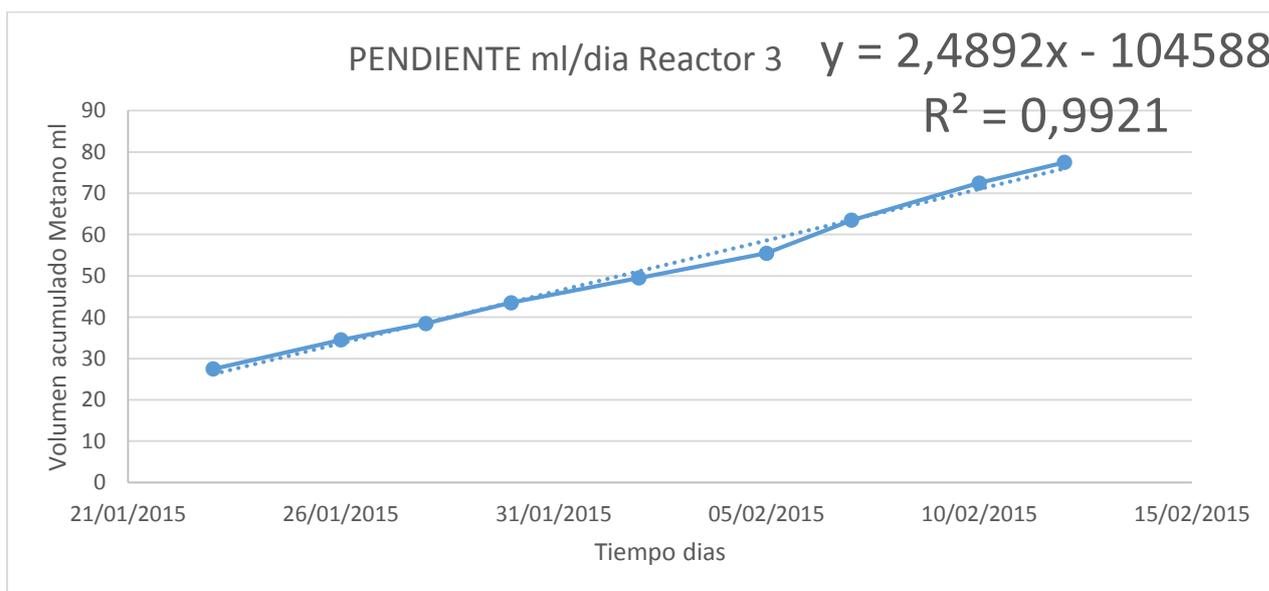
El gráfico 20.1 presenta la pendiente generada en los 55 días de monitoreo del reactor 2, dando como resultado 2.58 mlCH4/día, es decir, la máxima velocidad de producción de metano.

Gráfico 21. Generación de Metano del Reactor 3



El gráfico 21 hace referencia a la pendiente más empinada graficada entre el volumen acumulado en ml de metano vs el tiempo de operación del biodigestor 3.

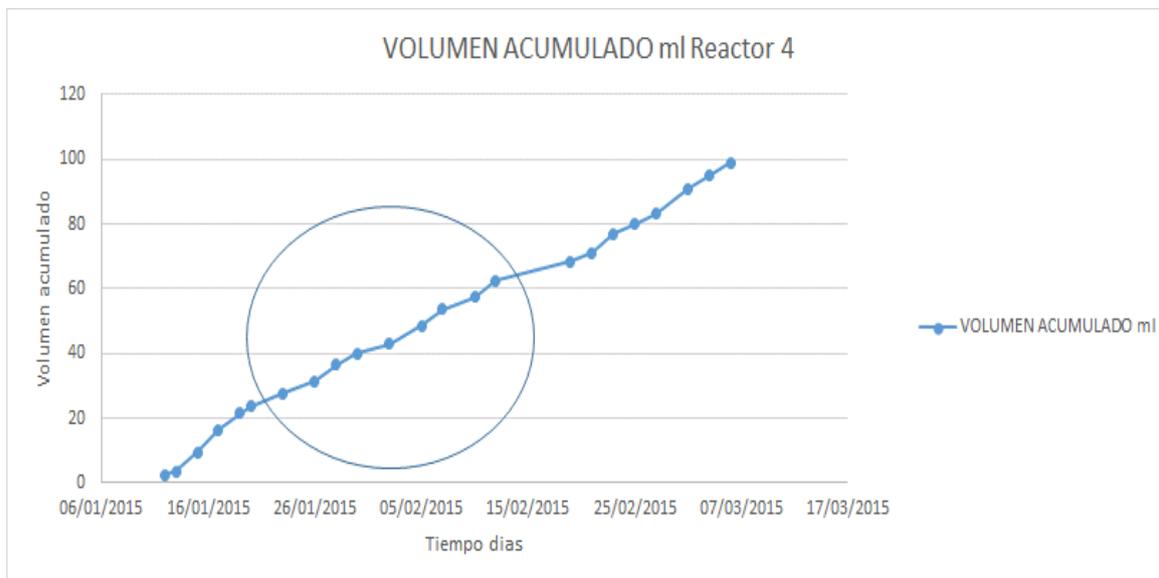
Gráfico 21.1 Pendiente Reactor 3





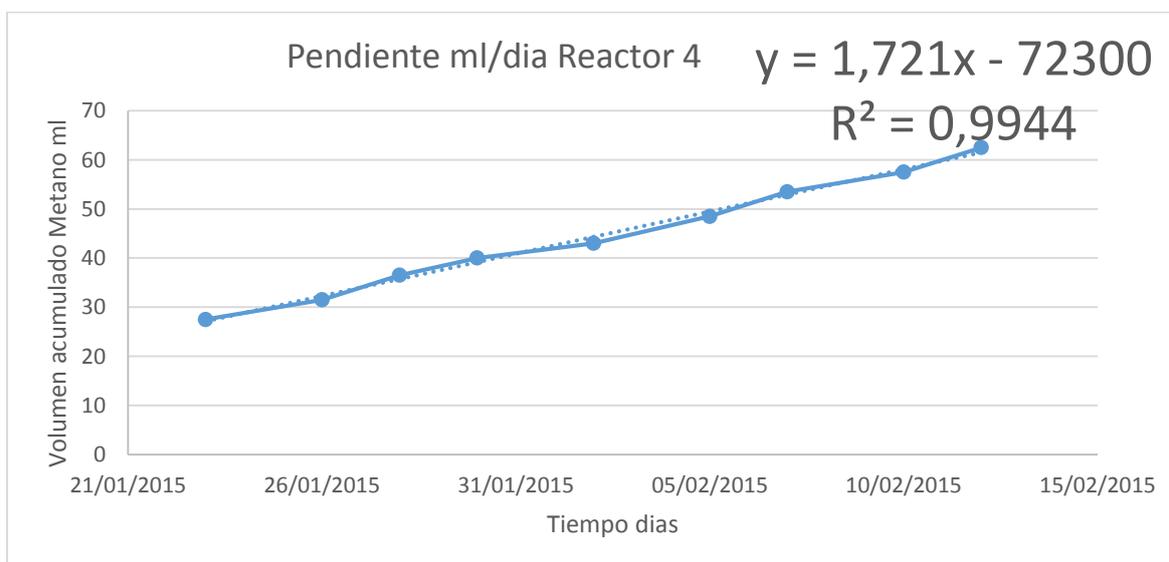
El gráfico 21.1 presenta la pendiente generada en los 55 días de monitoreo del reactor 3, dando como resultado 2.48 ml CH₄/día, es decir, la máxima velocidad de producción de metano en ese periodo de tiempo.

Gráfico 22. Generación de Metano del Reactor 4



El gráfico 22 hace referencia a la pendiente más empinada graficada entre el volumen acumulado en ml de metano vs el tiempo de operación del biodigestor 4.

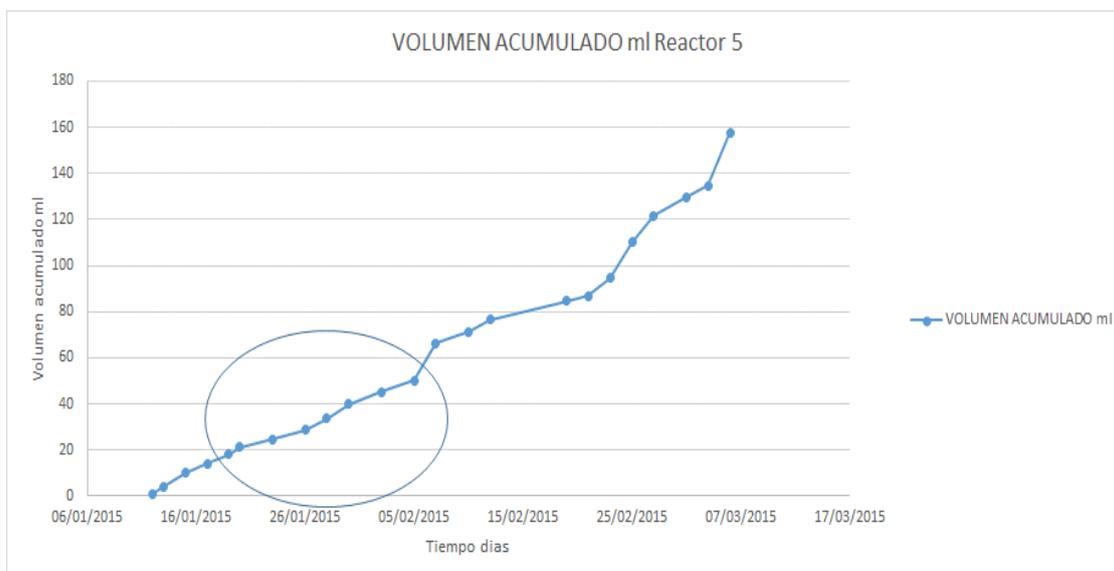
Gráfico 22.1 Pendiente Reactor 4



El gráfico 22.1 presenta la pendiente generada en los 55 días de monitoreo del reactor 4, dando como resultado 1.72 ml CH₄/día, es decir, la máxima velocidad de producción de metano en ese periodo de tiempo.

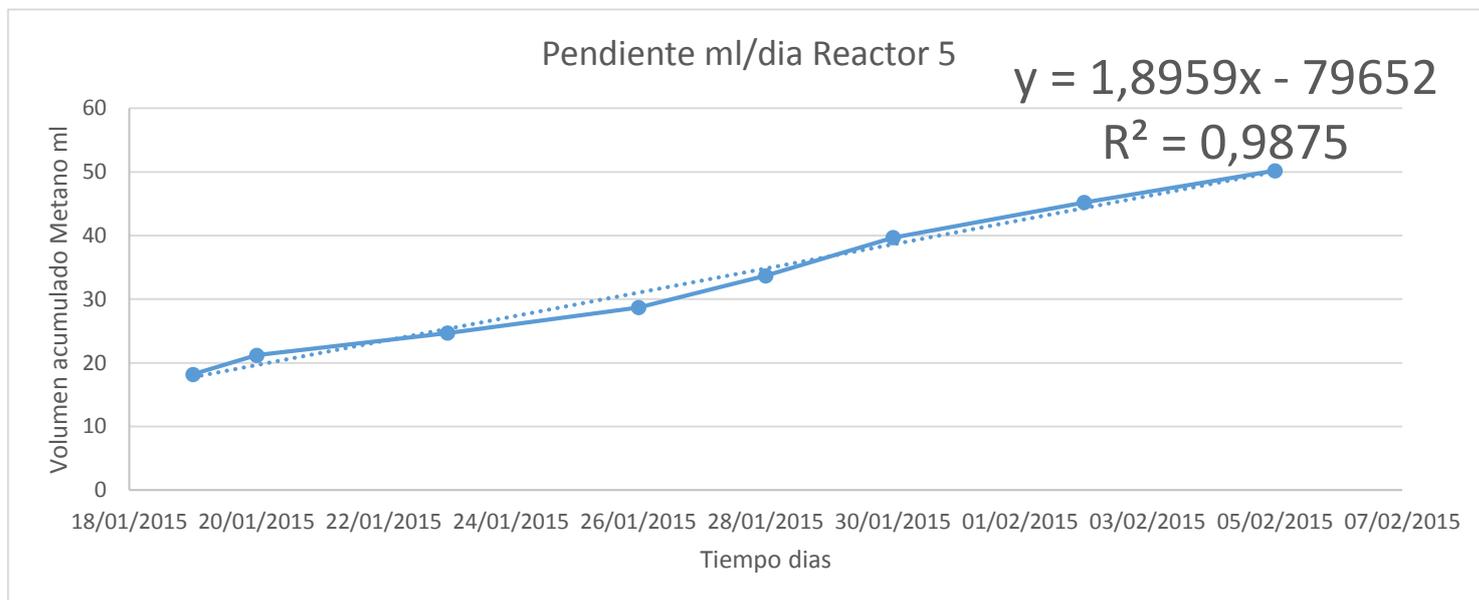


Gráfico 23. Generación de Metano del Reactor 5



El gráfico 23 hace referencia a la pendiente más empinada graficada entre el volumen acumulado en ml de metano vs el tiempo de operación del biodigestor 5.

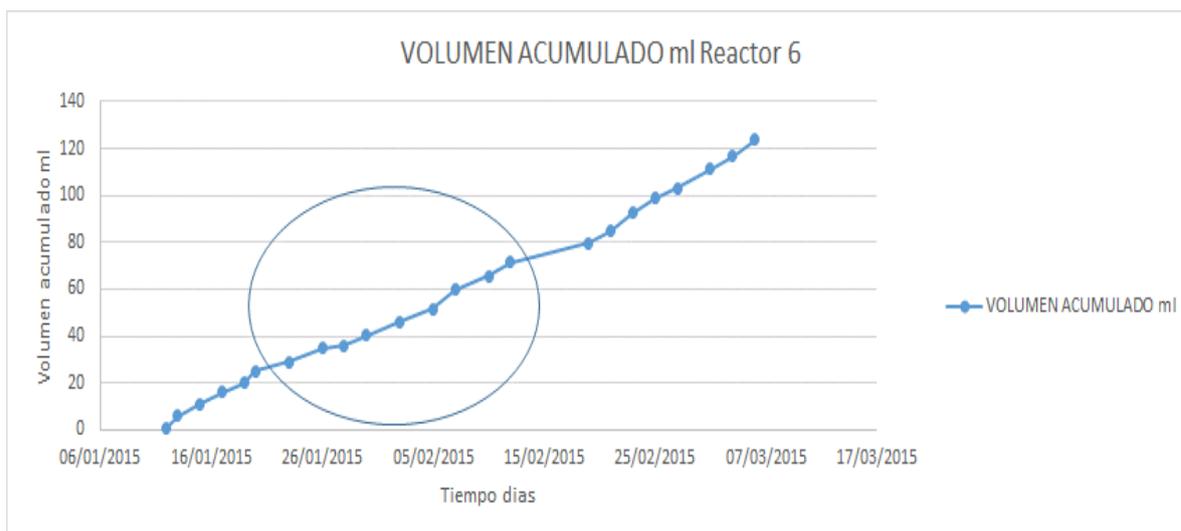
Gráfico 23.1 Pendiente Reactor 5



El gráfico 23.1 presenta la pendiente generada en los 55 días de monitoreo del reactor 5, dando como resultado 1.89 ml CH₄/día, es decir, la máxima velocidad de producción de metano en ese periodo de tiempo.

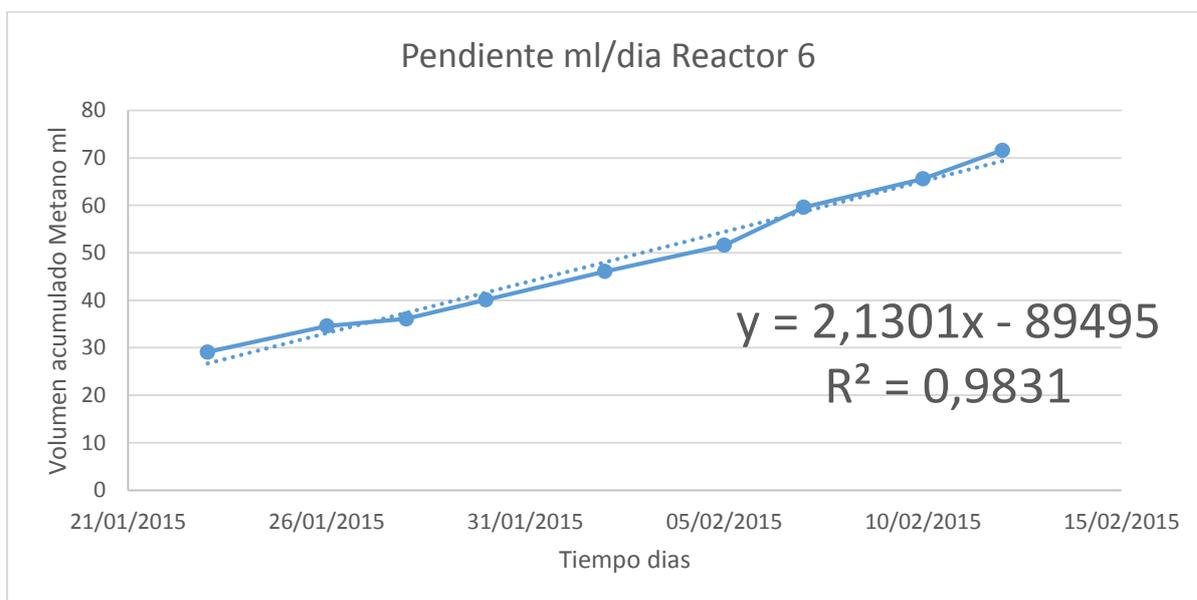


Gráfico 24. Generación de Metano del Reactor 6



El gráfico 24 hace referencia a la pendiente más empinada graficada entre el volumen acumulado en ml de metano vs el tiempo de operación del biodigestor 6.

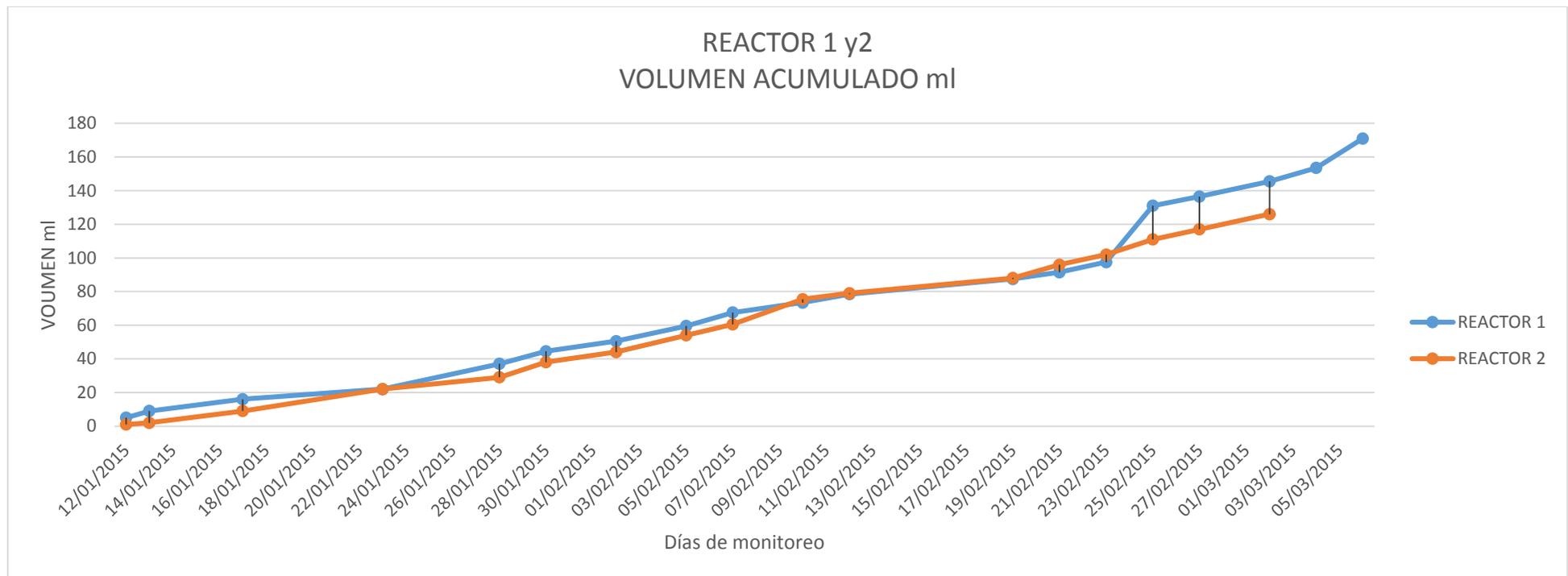
Gráfico 24.1 Pendiente Reactor 6



El gráfico 24.1 presenta la pendiente generada en los 55 días de monitoreo del reactor 6, dando como resultado 2.13 ml CH₄/día, es decir, la máxima velocidad de producción de metano en ese periodo de tiempo.

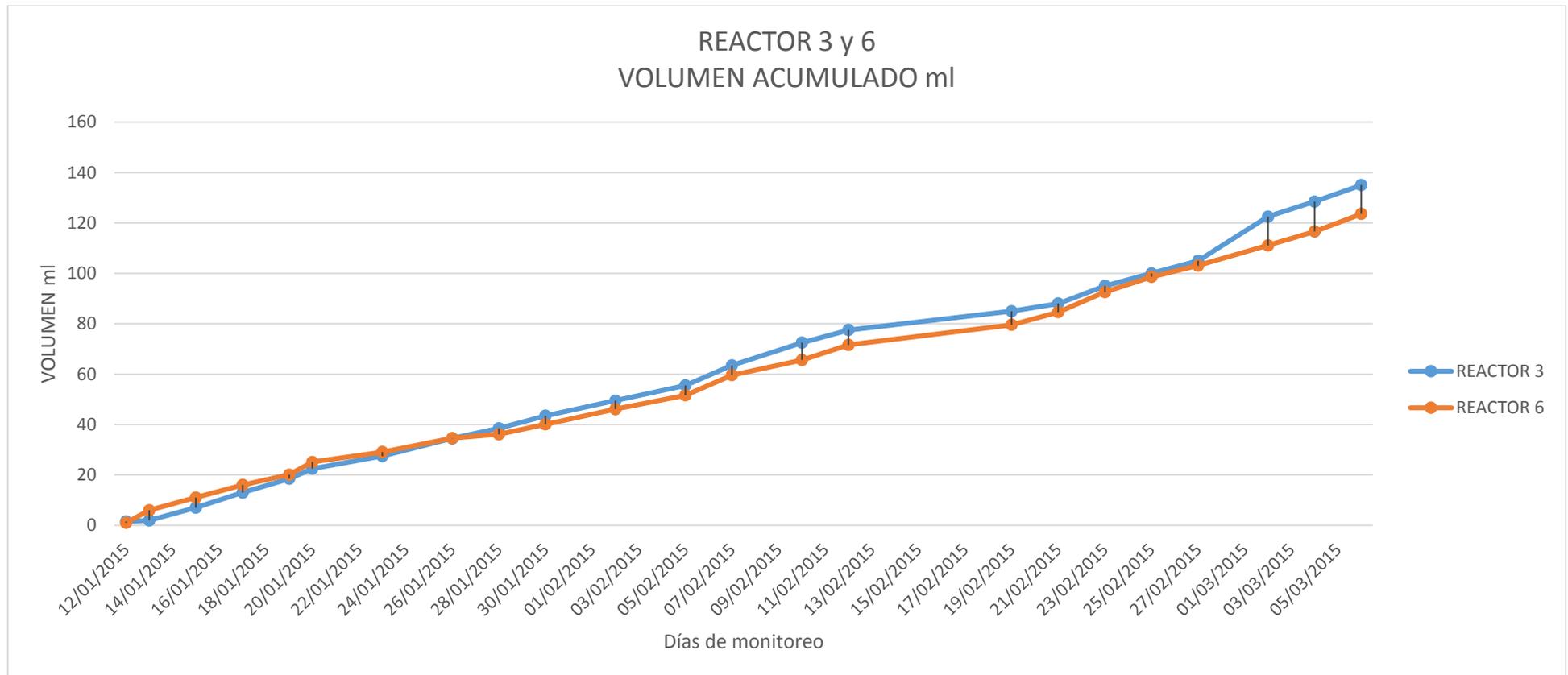
GRÁFICOS COMPARATIVOS ENTRE LOS VOLÚMENES ACUMULADOS DE LOS REACTORES DISCONTINUOS ANAEROBIOS

GRÁFICO 25. COMPARACIÓN VOLÚMENES ACUMULADOS DE METANO ENTRE REACTORES 1 Y 2



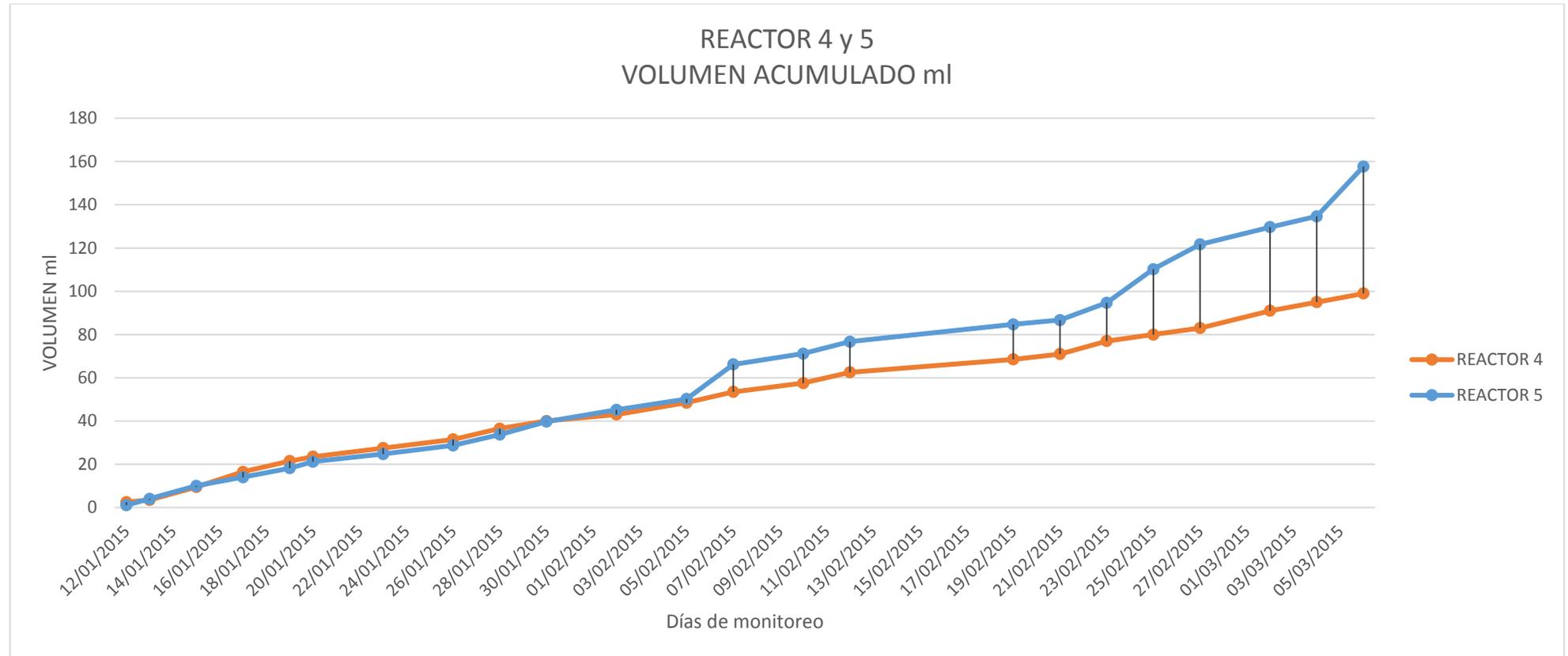
En el gráfico 25 se observa los volúmenes acumulados de biogás entre el reactor 1 y 2, el reactor 1 presenta una mayor generación de biogás, esto se debe a que los microorganismos presentes en dicho lodo asimilaron de mejor manera el sustrato añadido y generaron mayor producción de gas, también se observa que hubo un momento de estabilización entre estos dos reactores.

GRÁFICO 26. COMPARACIÓN VOLÚMENES ACUMULADOS DE METANO ENTRE REACTORES 3 Y 6



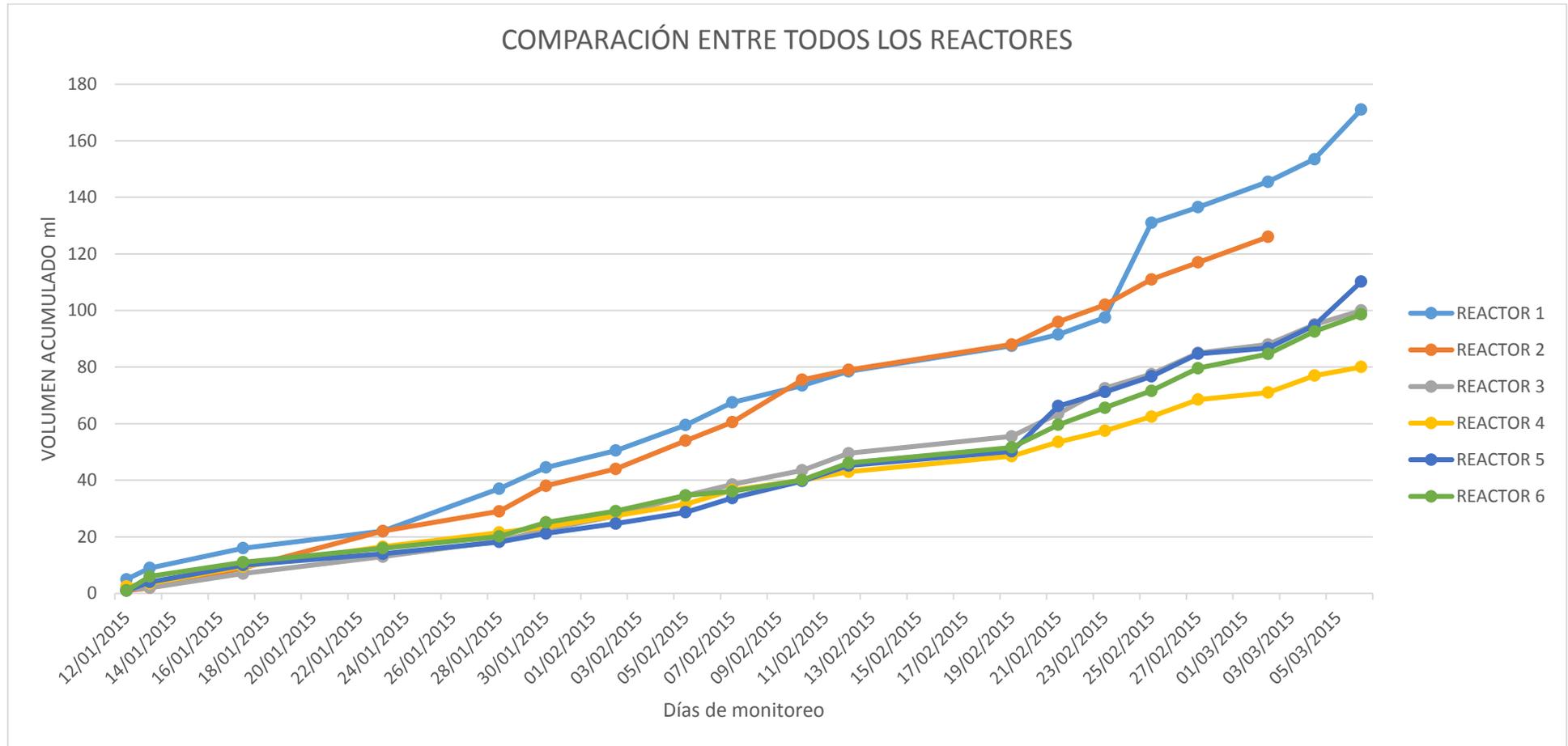
El gráfico 26 muestra la acumulación del biogás entre el reactor 3 y 6, siendo que al comienzo los reactores empezaron a generar biogás por igual, sin embargo el digestor 3 prevaleció más sobre el 6 generando más biogás, esto es debido a que la actividad microbiana del reactor 3 estuvo más activa hubo una mejor asimilación del sustrato con los microorganismos presentes en el lodo.

GRÁFICO 27. COMPARACIÓN VOLÚMENES ACUMULADOS DE METANO ENTRE REACTOR 4 Y 5



El gráfico 27 presente los volúmenes acumulados del reactor 4 y 5 a lo largo de los días de monitoreo, al principio los digestores comenzaron a producir biogás por igual, sin embargo el digestor numero 5 fue el que generó más biogás a comparación del otro, esto es por la adaptabilidad y aprovechamiento de las bacterias metanogénicas con el sustrato (Ácido Acético) añadido.

GRAFICO 28. COMPARATIVO ENTRE TODOS LOS REACTORES



Según se muestra en el gráfico que los reactores con más índice de generación de biogás son los reactores 1 y 2, todos muestran una tendencia de estabilización y producción de biogás y vemos la baja producción del mismo en los otros reactores.

RESULTADOS TECNICA AME

REACTOR 1

TABLA 4. RESULTADOS CÁLCULOS

PENDIENTE ml/día	dCh4/dt (grCH4/día)	dDQO/dt (grO2/día)	AME (gr DQO/gr SV)	AME por los 55 días de monitoreo (Kg DQO/ Kg SV)
2.7658	0.0014	0.0054	0.0011	0.0610

La pendiente del primer reactor constituye la velocidad máxima de producción de metano es decir el volumen expresado en ml/día de monitoreo que es 2.76 ml/día, partiendo de la obtención de la pendiente y considerando la ecuación de los gases ideales en las condiciones meteorológicas del cantón Cuenca de 564 mmHg de Presión, una temperatura promedio experimental de 294.81 °K para el primer reactor y utilizando una constante de gases ideales de (62.36 mm Hg * L/mol* K) obtenemos la velocidad de producción de Metano(dCH4/dt).

$$\frac{dCH_4}{dt} = 0.0027 \text{ L/día} \times \frac{564 \text{ mmHg}}{62.36 \text{ mmHg L/mol k}} \times \frac{16 \text{ g } CH_4/\text{mol}}{294.81 \text{ k}}$$

Siendo:

$$\frac{dCH_4}{dt} = 0.0014 \text{ g } \frac{CH_4}{\text{día}}$$

La DQO del metano producido por día de monitoreo se calcula de la siguiente manera, se parte de la reacción de metano con el oxígeno, los 64 g de peso molecular del oxígeno se divide para los 16 g de peso molecular del CH4, ese resultado se multiplica por la velocidad de generación de metano indicándonos así la cantidad de DQO consumida en un día.

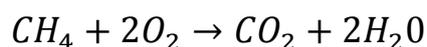
$$\frac{dDQO}{dt} = 0.0014 \text{ g } \frac{CH_4}{\text{día}} \times 4$$

$$f1 = \text{factor de conversión} \left(64 \text{ g } \frac{O_2}{16 \text{ g } CH_4} \right)$$

$$\frac{dDQO}{dt} = 0.0054 \text{ g } \frac{O_2}{\text{día}}$$



La reacción del Metano con respecto al oxígeno es la siguiente:



Después de haber obtenido el dato de la $dDQO/dt$ se procede a calcular la actividad máxima específica (AME) con sus respectivas unidades (Kg DQO/Kg S.T.V), los sólidos totales volátiles que se utilizó en este estudio son 378 mg/litro para los lodos provenientes del tanque espesador de lodos y 178 mg/litro para los lodos provenientes del espesador de lodos.

Para obtener los sólidos totales volátiles presentes en el lodo (análisis del laboratorio) en gramos de cada reactor, se realizó el siguiente cálculo:

Los 378 mg/litro se multiplicó por los 13 litros de volumen de lodos en el reactor 1 y se dividió para 1000mg:

$$SV(g) = \frac{378 \frac{mg}{litro} \cdot 13 \text{ litros}}{1000mg}$$

$$SV (g) = 4.91 g$$

Fuente: (Arcayo Palacios, y otros, 2013)

Este cálculo se realiza para todos los reactores con sus diferentes volúmenes de lodo tomando en consideración el resultado del laboratorio de sólidos totales volátiles tanto del espesador de lodos (lodo no espesado) como del tanque de lodos espesados (lodo espesado).

Finalmente obtenido los datos de SV (g), se procede a calcular la actividad máxima específica (AME) para ello se realizó el siguiente cálculo:

La DQO/dt obtenida anteriormente se multiplica por los días de monitoreo en este estudio es de 55 días y se divide para los sólidos volátiles de cada reactor. Los resultados obtenidos de la técnica AME son después del proceso anaerobio.

$$A.M.E = \frac{0.0054 g \frac{O_2}{día} \cdot 55 \text{ dias}}{4.91 g}$$

$$A.M.E = 0.0610 \frac{kgDQO}{kg SV}$$

Fuente: (Arcayo Palacios, y otros, 2013)

TABLA 5. RESULTADOS FINALES DE LOS REACTORES

RESULTADOS FINALES										
		PENDIENTE ml/día	$d CH_4/dt$	$d DQO/dt$	AME por día (g DQO/g SVT)	AME por los 55 días de monitoreo (kg DQO/Kg SVT)	VOLUMEN DE LODOS (LITROS)	SV mg/litro (Concentración)	SV(g) (Masa)	PESO DE LODOS (g)
TANQUE ESPESADOR DE LODOS (LODO ESPESADO)	REACTOR 1	2.76	0.0014	0.0054	0.0011	0.061	13	378	4.9	12752
	REACTOR 3	2.48	0.0012	0.0048	0.0064	0.352	2	378	0.75	2023
	REACTOR 5	1.89	0.0009	0.0037	0.0024	0.134	4	378	1.51	3932
ESPESADOR DE LODOS (LODO NO ESPESADO)	REACTOR 2	2.64	0.0012	0.0048	0.0020	0.114	13	178	2.31	12997
	REACTOR 4	1.72	0.0008	0.0034	0.0047	0.261	4	178	0.71	4012
	REACTOR 6	2.13	0.001	0.0041	0.0116	0.639	2	178	0.35	1774

El cuadro muestra los resultados finales de la técnica AME obtenidos en el presente estudio, aquí se presenta la variabilidad de la técnica AME en los diferentes reactores por lo cual estos datos son confiables para poder realizar la comparación entre ellos, es decir, el reactor 1 y 2, el 4 y 5, por último el 3 y 6.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Los datos obtenidos de la técnica AME (Actividad Metanogénica específica) nos sirvieron para realizar comparaciones entre los diferentes volúmenes de lodos usados en los reactores, presentando los mejores resultados los reactores 1,3 y 5 que contienen lodos procedentes del tanque espesador de lodos (lodos espesados).

Como la técnica AME no cuenta con tablas estandarizadas de comparaciones, según (López M, 2004) considera como baja Actividad Metanogénica Específica valores menores de 0.1 (g DQO/g STV día) muy a lo contrario a los resultados encontrados en esta investigación que están por encima de 0.1 (gDQO/g STV día).

La técnica AME en este estudio nos mostró que mientras mayor es la velocidad de producción de metano (mayor pendiente), la actividad Metanogénica de generación de biogás es mucho mejor presentando valores muy cercanos a 0.1 Kg DQO/kg SVT, haciendo comparaciones entre los reactores 1-2, reactores 3-6 y los reactores 5-4.

La temperatura en los días de monitoreo de nuestro estudio no influyó mucho en la generación de biogás, ya que la producción de biogás se debió más al uso del sustrato (ácido Acético) como alimento hacia los microorganismos, el cual reaccionó de forma rápida generando una gran cantidad de gas.

Las condiciones ambientales en la ciudad de Cuenca no fueron un impedimento para la operación de estos reactores anaeróbicos de flujo discontinuo.

Los días con temperaturas mayores a 30 °C en las fechas de monitoreo fueron beneficiosas, ya que esta temperatura ayudo a estabilizar el pH, así como también a mantener activa la población microbiana produciendo biogás.

Los lodos residuales que se extraen de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba son un producto factible de utilizar para explotar su potencial dentro de un sistema de digestión anaerobia y con la utilización del sustrato ácido acético se obtuvo una generación rápida de biogás.

Al no tener datos estándares de comparación de la técnica AME a nivel nacional y mundial, en nuestro estudio experimental hemos demostrado que la AME ideal se encuentra entre los rangos 0.06 a 0.2 (g DQO/ g STV), si este AME sobrepasa este rango la generación de Biogás es pobre y la acidez del lodo es alta.

La adicción de sustrato en los reactores 4 y 6 fueron óptimas al principio del experimento, sin embargo al pasar los siguientes días de monitoreo su pH se mantuvo por debajo de 6 afectando así la producción de bacterias



metanogénicas y por ende su generación de biogás. Esto nos indicó que introducir demasiado sustrato a nuestro lodo el sistema se vuelve acidificable.

Se pudo observar que cuando se generó gas y burbujeaba la bolsita de una forma abundante existía más dióxido de carbono que metano, en caso contrario cuando burbujeaba menos el gas metano fue más concentrado.

Con respecto al volumen acumulado de biogás comparando entre los reactores R1= 171 ml y R2= 126 ml; R3= 135 ml y R6= 123,6 ml; R4= 99 ml y R5= 157,7 ml, observamos claramente que los reactores que más volumen referencial de metano generaron son los R1, R3, R5 provenientes estos lodos del tanque espesador de lodos (lodo espesado), esto es debido a que estos lodos contienen más cantidad de sólidos volátiles totales que el de los reactores R2,R4,R6 que son lodos que provienen del espesador de lodos(lodo no espesado).

Según los resultados finales de DQO en el lodo proveniente del espesador de lodos (lodo no espesado), se redujo un 41% con respecto a los datos iniciales y en el tanque de lodos (lodo espesado) se redujo en 57 %. Esto significa que si se consumió la DQO con respecto a los sólidos volátiles totales presentes en dicho lodo.

RECOMENDACIONES

En nuestra investigación se utilizó como sustrato el ácido acético para la generación de biogás y para que la población microbiana este en continua actividad, para una investigación a futuro se recomienda intentar con otros tipos de sustrato como el vinagre, también se debe tomar en cuenta los tiempos de retención del pH para la estabilización de los reactores.

Se recomienda utilizar digestores continuos para que la generación de gas sea continua y poder comparar con nuestros digestores para observar cuál de estos es más conveniente, identificar el volumen que genere tomando en cuenta las características y diferencias de dichos digestores.

En este estudio se utilizó como reactivo de cuantificación y secuestro de dióxido de carbono a la sosa caustica, se recomienda utilizar otro tipo de reactivo como el hidróxido de potasio para realizar una comparación de eficiencia entre estos dos reactivos.



Se recomienda realizar futuras experimentaciones con digestores de flujo discontinuos en climas calurosos como en el cantón santa Isabel para comparar la producción de biogás a diferentes temperaturas zonales.

Se recomienda utilizar en futuras experimentaciones digestores que contengan una mayor cantidad de volumen de lodos para que de esta manera se pueda extraer el remanente del lodo y poder analizar en el laboratorio la remoción de DQO dentro del sistema.

Se recomienda sellar efectivamente las bolsas de suero que contienen la solución, ya que si no se encuentran correctamente selladas se permite el contacto con el oxígeno del aire y el reactivo sosa caustica comienza a solidificarse.

Se recomienda utilizar tiempos de retención largos en zonas frías por la asimilación de las bacterias con el sustrato.

BIBLIOGRAFÍA.

- Appels, L. B. (2008). *Principles and potential of the Digestion of waste-activated sludge* .
- Arcayo Palacios, G., Chávez Suazo, J. P., Del Campo Oré, R. M., Lazarte Aguirre, L. A., Llanos Cruz, M. L., Loaiza Guillen, L. E., . . . Soto Guevara, E. (2013). *DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD METANOGENICA* . UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.
- Campero, O. (2007). *Biogas en Bolivia: Programas viviendas autoenergéticas*. Cochabamba-Bolivia.
- Castillo, E. (2003). Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos . *Revista colombiana de biotecnología* .
- Chernicharo. (2007). Principios do tratamento biológico de águas residuárias . Brasil .
- Chernicharo, C. (1997). *Principios de tratamiento biológico de aguas Residuales* . Brasil.
- DEMES. (2003). Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. Netherlands .
- ECURED. (22 de ABRIL de 2015). *ECURED*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Ley_de_Raoult
- Eddy, M. &. (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Mc. Graw-Hill.
- ETAPA, E. D. (Dirección). (2008). *ETAPA EP "El futuro ahora"* [Película].
- Fernández, A. G. (2006). *Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales*.
- Field, J. S. (1988). Ensayos anaerobios. . En *Proc of 4 th Symp. On Wastewater Anaerobic Treatment*. España .
- Hilbert. (1999). *Manual para la producción de Biogas* .
- HSIEH, C.-F. (2009). *TOXICIDAD METANOGENICA DE PURÍN DE*. Chile: Universidad de La Serena.
- Hulshoff. (1987). *Manual de arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodos* .



- J.A, R. (2010). *Estudio Comparativo de Diferentes Tecnologías de Higienización de Lodos de Depuradora con fines para su Reutilización* . Madrid.
- Kumar, N. (2009). *Multicriteria Assessment of Alternative Sludge Disposal Methods*.
- Lenntech. (1998). Water Treatment Solutions. *Lenntech*.
- López M, V. (2004). *El Comportamiento de los reactores anaerobios de Residuos Sólidos a través de ensayos microbiológicos*. Obtenido de revista.cnic.edu.cu: [http://revista.cnic.edu.cu/revista CB/files/CB-2004-3-179-183](http://revista.cnic.edu.cu/revista%20CB/files/CB-2004-3-179-183)
- Lozada, P. U. (2012). *Materia Facilmente Acidificable*. *bvsde*, 8.
- Madigan, M. M. (2006). *Biología de los microorganismos*.
- Mario, J. C., & Matinez, E. B. (2012). EVALUACION DE LA DIGESTION ANAEROBIA COMO ALTERNATIVA DE ESTABILIZACION DE BIOSOLIDOS PRODUCIDOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA. *Tesis*, 104.
- MES, D. (2003). *Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes*. Netherlands.
- Métodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho* . (1963).
- Metodos estandar para el examen de aguas y aguas de desecho*. (1963). Mexico: Interamericana, S.A.
- Miranda. (2005). *Analisis comparativo del uso de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la aplicación benéfica al suelo*. Chile.
- Miranda, S. (2005). *analisis comparativo de lodos* . chile.
- Montes, M. (2008). *Estudio Técnico-Económico de la Digestión Anaerobia conjunta de la fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos y Lodos de Depuradora para la obtención de Biogas*. Madrid.
- Ortega, N. (2006). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Valencia-España.
- Patricia Torres Lozada., J. A. (2002). ACTIVIDAD METANOGÉNICA COMO HERRAMIENTA PARA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO ANAEROBIO EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES FÁCILMENTE ACIDIFICABLES. *TESIS*, 8.
- POH, P. &. (2009). *Development of anaerobic digestion methods for palm oil*.



- Reyes.Sara, M. y. (2005). *Analisis comparativo del uso de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la aplicacion benéfica al suelo*. Chile.
- Rivera. (2010). *Estudio Cinético de la digestión anaerobica termofílica de pollinaza a escala piloto*.
- Rodriguez. (2010). *Estudio Comparativo de Diferentes Tecnologias de Higienización de Lodos de depuradora con fines para su Reutilización*. Madrid.
- Rodriguez. (2012). *Estudio Comparativo de Diferentes Tecnologias de Higienización de Lodos de Depuradora con fines para su Reutilización*. Madrid.
- Rodriguez, J. (2010). *Estudio comparativo de diferentes tecnologias de Higienización de lodos de depuradora con fines para su Reutilización*. Madrid.
- Rodriguez, J. (2010). *Estudio Comparativo de Diferentes Tecnologias de Higienización de Lodos de Depuradora con fines para su Reutilización*. Madrid.
- Sara, M. S. (2005). *Analisis comparativo del uso de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la Aplicación benéfica al suelo*. Chile.
- Silvana, M. (2005). *Analisis comparativo del uso de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la aplicación benéfica al suelo*. Chile .
- Tsagarakis. (2006). *Technical and Economic Evaluation of the Biogas Utilization for Energy Production at Iraklio Municipality*. Greece.
- Valdez, E. &. (2003). *Ingenieria de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas Residuales*. Mexico.
- Yadvika. (2004). *Enhancement of Biogas production from solid substrates using different techniques* .



**ANEXO 1
DATOS INGRESOS DE LAS MUESTRAS**

ETAPA <small>EMPRESA MUNICIPAL DE TELECOMUNICACIONES AGUA POTABLE, ALCAÑARELLADO Y SANEAMIENTO</small> LABORATORIO DE SANEAMIENTO	FORMULARIO PARA RECEPCIÓN DE MUESTRAS
---	--

Nº DE PEDIDO: 599/02/14 CÓDIGO MUESTRA 599/01-02/14
 SOLICITA EL ANÁLISIS: Ing. Paul Torres R.U.C.: _____
 DIRECCIÓN: Panamericana Norte Km 5 1/2 Cuenca
 CORREO ELECTRÓNICO: _____ TELÉFONO: 412 5560
 FUENTE: Permanente de Lado espesador LUGAR: Planta de Lado 3
 MUESTRAS TOMADAS POR: Sra Santiago Manobanda
 ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: Sr. Santiago Manobanda
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2014/12/10 FECHA ENTREGA RESULTADOS: 2014/12/18

ANALISIS REQUERIDOS

- | | | | |
|--|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> Alcalinidad Fenoltaleína
<input type="checkbox"/> Alcalinidad Total
<input type="checkbox"/> Cianuro libre
<input type="checkbox"/> Clorofila a
<input type="checkbox"/> Cloruros
<input type="checkbox"/> Color aparente
<input type="checkbox"/> Color real
<input type="checkbox"/> Conductividad
<input checked="" type="checkbox"/> DBO ₅
<input checked="" type="checkbox"/> DQO
<input type="checkbox"/> Densidad aparente
<input type="checkbox"/> Dureza Cálcica
<input type="checkbox"/> Dureza Total
<input checked="" type="checkbox"/> Fósforo Total
<input type="checkbox"/> Nitratos
<input type="checkbox"/> Nitritos
<input type="checkbox"/> Nitrogeno Amoniacal
<input type="checkbox"/> Nitrogeno Orgánico
<input checked="" type="checkbox"/> NKT | <input type="checkbox"/> O.D.
<input checked="" type="checkbox"/> pH
<input type="checkbox"/> Sólidos Sedimentables
<input checked="" type="checkbox"/> Sólidos Suspendidos
<input checked="" type="checkbox"/> Sólidos Susp. Volátiles
<input checked="" type="checkbox"/> Sólidos Totales
<input checked="" type="checkbox"/> Sólidos Totales Volátiles
<input type="checkbox"/> Sólidos Disueltos
<input type="checkbox"/> Subs. Solubles al Hexano
<input type="checkbox"/> Sulfatos
<input type="checkbox"/> Sulfuros
<input type="checkbox"/> Turbiedad

<input type="checkbox"/> Pesticidas Organoclorados
<input type="checkbox"/> Pesticidas Organofosforados
<input type="checkbox"/> Radiactividad α y β

<input type="checkbox"/> Coliformes
<input type="checkbox"/> Parásitos | <input type="checkbox"/> Aluminio
<input type="checkbox"/> Antimonio
<input type="checkbox"/> Arsénico
<input type="checkbox"/> Bario
<input type="checkbox"/> Berilio
<input type="checkbox"/> Bismuto
<input type="checkbox"/> Boro
<input type="checkbox"/> Cadmio
<input type="checkbox"/> Cobalto
<input type="checkbox"/> Cobre
<input type="checkbox"/> Cromo
<input type="checkbox"/> Estaño
<input type="checkbox"/> Estroncio
<input type="checkbox"/> Hierro
<input type="checkbox"/> Litio
<input type="checkbox"/> Manganeseo
<input type="checkbox"/> Mercurio
<input type="checkbox"/> Molibdeno
<input type="checkbox"/> Níquel
<input type="checkbox"/> Plata | <input type="checkbox"/> Plomo
<input type="checkbox"/> Potasio
<input type="checkbox"/> Selenio
<input type="checkbox"/> Sodio
<input type="checkbox"/> Vanadio
<input type="checkbox"/> Zinc |
|--|--|---|---|

OBSERVACIONES: 599/01 Esposador de lado 3 599/02 Tanque espesador

COSTO: _____ COSTO + IVA: _____
 FIRMA CLIENTE: [Firma] CI: 0104683206
 FIRMA RECEPCIÓN DE MUESTRA: [Firma]

MC0402-0507

ANEXO 1.1

RESULTADOS DE LABORATORIO ETAPA S.A.

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. – Cuenca Telf : 4175557 - 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el OAE con Acreditación N° OAE LE 2C 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	---	---

FECHA: 2014/12/18

INFORME N°: 599/14

CLIENTE

NOMBRE: ING. PAUL TORRES C.
 DIRECCIÓN: Panamericana Norte Km 5 y 1/2 – Cuenca

MUESTRA

CODIGO: 599/01-02/14
 DESCRIPCIÓN: Remanente de Lodo Espesado
 PROCEDENCIA: Planta de Lodos
 FECHA DE RECEPCIÓN: 2014/12/10
 ENTREGADAS POR: Sr. Santiago Manobanda

RESULTADOS

PARAMETRO	METODO	FECHA REALIZACION	UNIDADES	ESPESADOR 599/01/14	TANQUE ESPESADOR DE LODOS 599/021/14
DBO5	PEE/LS/FQ/01	2014/12/10 2014/12/15	mg/l	24	32
DQO	PEE/LS/FQ/06	2014/12/12	mg/l	673	264
FÓSFORO TOTAL	PEE/LS/FQ/03	2014/12/12	mg/l	2.69	2.06
NKT *	SM 4500 Norg B	2014/12/12	mg/l	65.22	47.43
pH *	SM 4500 H B	2014/12/10		7.42	8.13
SÓLIDOS SUSPENDIDOS	PEE/LS/FQ/04	2014/12/10	mg/l	82	35
SÓLID. SUSP. VOLATILES*	SM 2540 E	2014/12/12	mg/l	46	21
SÓLIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/05	2014/12/15	mg/l	552	996
SÓLIDOS TOTALES VOLATILES *	SM 2540 E	2014/12/17	mg/l	178	378

SM: STANDARD METHODS, Edición 22

PARÁMETRO	DBO5	DQO (>100)	DQO (<100)	FOSFORO TOTAL	SÓLIDOS SUSPEND.	SÓLIDOS TOTALES
INCERTIDUMBRE	18.12 % (95 %, k=1.96)	12.7% (95 %, k=1.96)	13.05% (95 %, k=1.99)	9.04% (95 %, k=1.96)	10.76% (95 %, k=1.96)	17.21 % (95 %, k=1.96)

Atentamente,



Ing. Andrea Arévalo
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE"

MC0406-13

Ingreso de las muestras extraídas al laboratorio de ETAPA EP.

Anexo 2

Ph sosa cáustica



Anexo 3

Instrucción y extracción de los lodos, preparación de los filtros para obtener la muestra de agua de los lodos.



a) Material pétreo para los filtros



b) Contenedores para los filtros



c) Filtros terminados



d) Instrucción en la extracción de lodos



e) Extracción del tanque de lodos



f) Extracción del espesador de lodos



g) Lodos en los filtros



h) Lodos en los filtros



i) Lodo filtrado (tanque de lodos)



j) Lodo filtrado (espesador de lodos)



k) Muestra de filtrado del tanque espesador



l) Muestra del filtrado del espesador



m) Muestras para el laboratorio

ANEXO 4

Monitoreo, alimentación y obtención de datos



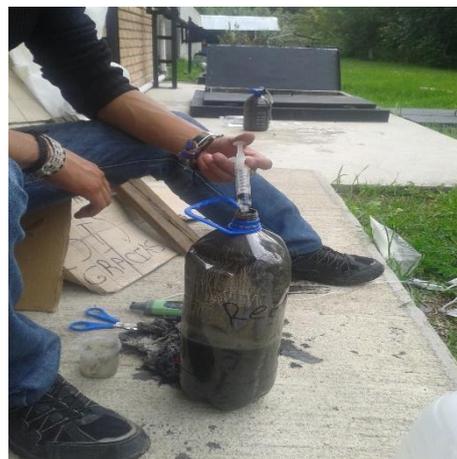
a) Medición de pH de los lodos



b) Medición de temperatura de los lodos



c) Adición de sustrato(ácido acético)



d) Adición de sustrato(ácido acético)



e) Medición de biogás en probetas



f) Medición de pH de la solución



g) Estabilización de los reactores discontinuos anaerobios

ANEXO 5

Resultados finales de laboratorio de sanitaria

LABORATORIO DE SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUA

Muestra procedencia:	Agua procedente de los reactores de lodos de la PTAR de Ucubamba.- Cuenca.- Azuay
Tipo de fuente:	Aguas residuales
Fecha de toma:	18 de Mayo de 2015
Fecha de análisis:	18 de Mayo de 2015
Análisis solicitado por:	Sr. Victor Heras

PARAMETROS	LODO ESPESADO		LODO NO ESPESADO		UNIDAD	OBSERVACIONES
	REACTOR 1	REACTOR 2	REACTOR 3-5	REACTOR 3-5		
VOLUMEN DEL REACTOR	13,00	13,00	6,00		L	
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	152,00	276,00	1440,00		mg/l	
SOLIDOS TOTALES	946,0	915,0	2155,0		mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	743,0	721,0	1207,0		mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	203,0	194,0	948,0		mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	885,0	876,0	2110,0		mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	713,0	703,0	1194,0		mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	172,0	173,0	916,0		mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	61,0	39,0	45,0		mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	30,0	18,0	13,0		mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	31,0	21,0	32,0		mg/l	
CONDUCTIVIDAD	2410,00	2280,00	2860,00		uS/cm	

Responsable:



Dra. Guillermina Pautá C.
Quimico-Analista

UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE
INGENIERIA SANITARIA