

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS
ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS” – CAJAMARCA 2020.**

Autor:

Bach. Sonia del Carmen Alvarado Llanos

Bach. Rosmery Valencia Huatay

Asesor:

Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca - Perú

Febrero – 2023

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS
ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el
Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos

Bach. Sonia del Carmen Alvarado Llanos

Bach. Rosmery Valencia Huatay

Asesor:

Dr. Persi Vera Zelada

Cajamarca - Perú

Febrero – 2023

COPYRIGHT © 2023 by

SONIA DEL CARMEN ALVARADO LLANOS

ROSMERY VALENCIA HUATAY

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y PREVENCIÓN DE
RIESGOS**

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS
ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS
AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

A:

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más. A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; con su apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional.

Sonia del Carmen Alvarado Llanos

A:

Mis padres quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios es mi guía, fortaleza y está conmigo siempre.

Rosmery Valencia Huatay

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser el inspirador y darnos fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos; así mismo a nuestros hermanos por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A nuestros docentes de la facultad de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, quienes con sus enseñanzas y apoyo nos guiaron a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que se buscaba.

A la universidad privada Antonio Guillermo Urrelo, a su plana docente y a todas las autoridades, por habernos brindado oportunidades y permitirnos concluir con una etapa de nuestras vidas, gracias por la paciencia, orientación e investigación en estos años de formación académica.

RESUMEN

La presente investigación analiza el efecto del yogur vencido sobre la calidad del lodo en un reactor biológico de aguas residuales domésticas y la determinación de su parámetro cinético de degradación de la materia orgánica, pues, se sabe que el yogur vencido contiene exopolisacáridos (EPS) que influyen en la producción de biopelículas y por ende en el crecimiento bacteriano, los cuales, degradan la materia orgánica del agua residual doméstica.

El experimento se construyó de 4 biorreactores de sistema batch de 2 litros cada uno, donde se añadió 500 mL de muestra de agua residual doméstica y se aforo con agua destilada hasta completar los 2 L por cada reactor; luego, se midieron los parámetros de DBO, DQO, SST, OD y el IVL en 3 concentraciones (1, 2, 3 mL/L) y 3 volúmenes (5, 10 y 15 mL) en los siguientes tiempos: 3, 6, 9, 12, 15 horas.

Los resultados indicaron que el yogur vencido tiene un efecto significativo sobre la calidad del lodo activado de un biorreactor, dado que, mejoró la calidad del lodo, el cual tiene un IVL menor a 100 mL/g y un ajuste de curvas mayores al 90 % con un porcentaje de remoción de materia orgánica del 87.13 % (DQO) y 91.13% (DBO) respectivamente. Finalmente, la velocidad de degradación (parámetro cinético) se incrementó de 0.06 a 0.11 (adimensional), lo cual, indica que el yogur aceleró la degradación de la materia orgánica del agua residual doméstica e indicando que tiene un comportamiento de activador.

Palabras claves: lodos activados, biorreactor, parámetros cinéticos, aguas residuales, degradación.

ABSTRACT

This research analyzes the effect of expired yogurt on the quality of sludge in a domestic wastewater biological reactor and the determination of its kinetic parameter of organic matter degradation, since it is known that expired yogurt contains exopolysaccharides (EPS) that they influence the production of biofilms and therefore bacterial growth, which degrade the organic matter of domestic wastewater.

The study was carried out at the laboratory level, that is, 4 batch system bioreactors of 2 liters each were built, where 500 mL of domestic wastewater was added and then it was completed up to 5 L; BOD, COD, TSS, DO and IVL parameters were measured at 3 concentrations (1, 2, 3 mL/L) and 5 volumes (5, 10 and 15 mL) at the following times: 3, 6, 9, 12, 15 hours.

The results indicated that the expired yogurt has a significant effect on the quality of the activated sludge of a bioreactor, since it improved the quality of the sludge, which has an IVL less than 100 mL/g and a curve fit greater than 90% with a percentage of organic matter removal of 87.13% (COD) and 91.13% (DBO) respectively. Finally, the degradation rate (kinetic parameter) increased from 0.06 to 0.11 (dimensionless), which indicates that the yogurt accelerated the degradation of organic matter in domestic wastewater and indicates that it has an activator behavior.

Keywords: activated sludge, bioreactor, kinetic parameters, wastewater, degradation.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
 LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
 DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

ÍNDICE

DEDICATORIA:	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
Índice	v
Lista de tablas.....	vii
Lista de figuras	viii
Capítulo I: Introducción.....	10
1 Planteamiento del Problema	10
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	10
1.2 Definición del problema	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	12
1.4 Justificación	13
Capítulo II: Marco Teórico.....	15
2 Fundamentos teóricos de la investigación	15
2.1 Antecedentes	15
2.2 Marco histórico	18
2.3 Marco teórico.....	19
2.3.1 Lodos activados como tecnología	19
2.3.2 Reactor biológico y generación de lodos activados	21
2.3.3 Composición química de lodos activados en el reactor biológico	23
2.3.4 Efecto que produce el biorreactor en los lodos activados.....	25
2.3.5 Especies biológicas que interactúan en el reactor	26
2.3.6 Métodos de evaluación del reactor biológico.....	30
2.3.7 Reactivo para mejorar la eliminación de materia orgánica residual en el biorreactor	39
2.3.8 Marco conceptual	47

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
 LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
 DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

2.3.9 Hipótesis de la investigación	48
2.3.9.1 “Operacionalización” de variables	49
Capítulo III: Método de Investigación	50
3.1. Tipo de investigación.....	50
3.2. Diseño de investigación.....	50
3.3. Área de investigación	52
3.4. Población	53
3.5. Muestra	53
3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	53
3.6.1. Técnicas	53
3.6.2. Instrumentos	53
3.6.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	54
Capítulo IV: Resultados y Discusión	56
4.1. Prueba de normalidad de los diferentes parámetros	57
4.2 Efecto del yogur sobre el oxígeno disuelto y DQO.....	61
4.3 Efecto del tiempo sobre la OD, DQO, DBO5, SST y Sedimentabilidad.	65
4.4 Cinética de degradación de la materia orgánica.....	73
4.5 Efecto del yogur en la eficacia del biorreactor en la eliminación de la materia orgánica. ..	77
4.6 Discusión	77
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	79
5.1 Conclusiones.....	79
5.2 Recomendaciones	80
REFERENCIAS.....	81
Glosario	86
Anexos.....	88
Anexo 1: Fotos del estudio.....	88
Anexo 2: Resultados de laboratorio.....	92

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
 LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
 DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 VALORES TÍPICOS DE LAS CANTIDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS PRODUCIDOS EN DIFERENTES PROCESOS DE TRATAMIENTO	24
TABLA 2 ECUACIONES PARA TASAS NETAS DE REMOCIÓN DE SUSTRATO	37
TABLA 3 COMPONENTES DE YOGURT	41
TABLA 4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	49
TABLA 5 DISEÑO EXPERIMENTAL	51
TABLA 6 RESULTADOS DEL EXPERIMENTO	56
TABLA 7 ANÁLISIS DE VARIANZA DE OD VS VOLUMEN DE YOGURT	62
TABLA 8 ANÁLISIS DE VARIANZA DE DQO VS VOLUMEN DE YOGURT	64
TABLA 9 CORRELACIÓN DEL OD VS TIEMPO.	65
TABLA 10 ANÁLISIS DE VARIANZA DEL OD VS. TIEMPO	65
TABLA 11 CORRELACIÓN DE LA DQO VS TIEMPO.	67
TABLA 12 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DQO VS. TIEMPO.	67
TABLA 13 CORRELACIÓN DE LA DBO5 VS TIEMPO.	68
TABLA 14 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LA DBO VS. TIEMPO.	69
TABLA 15 CORRELACIÓN DE LOS SST VS TIEMPO.	70
TABLA 16 CORRELACIÓN DE LA SEDIMENTABILIDAD VS TIEMPO.	71
TABLA 17 EFECTO DEL YOGURT SOBRE LA PRODUCCIÓN DE SÓLIDOS Y SEDIMENTABILIDAD	72
TABLA 18 EVALUACIÓN DEL DQO VS. EL TIEMPO.	73
TABLA 19 LINEALIZACIÓN DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DEL DQO.	75
TABLA 20 DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE DEGRADACIÓN (PARÁMETRO CINÉTICO)	76
TABLA 21 EFECTO SOBRE LA EFICACIA DEL BIORREACTOR.....	77

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
 LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
 DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 VARIACIÓN DEL NÚMERO DE BACTERIAS CON EL TIEMPO EN UN CULTIVO POR LOTES.	31
FIGURA 2 VARIACIÓN DEL SUSTRATO Y LA BIOMASA CON EL TIEMPO EN UN CULTIVO POR LOTES.....	33
FIGURA 3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL MODELO	35
FIGURA 4 BOCETO DE ESTRUCTURA EPS	46
FIGURA 5 REACTOR BIOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
FIGURA 6 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	51
FIGURA 7 UBICACIÓN DE LA RECOLECCIÓN DE MUESTRA.....	52
FIGURA 8 PRUEBA DE NORMALIDAD PARA EL OXÍGENO DISUELTO.	57
FIGURA 9 PRUEBA DE NORMALIDAD PARA DQO.....	58
FIGURA 10 PRUEBA DE NORMALIDAD PARA DBO5	59
FIGURA 11 PRUEBA DE NORMALIDAD PARA SST.....	60
FIGURA 12 PRUEBA DE NORMALIDAD PARA LA SEDIMENTABILIDAD.	61
FIGURA 13 CORRELACIÓN DEL OD VS EL VOLUMEN Y CONCENTRACIÓN DEL YOGURT VENCIDO.	62
FIGURA 14 CORRELACIÓN DE LA DQO VS EL VOLUMEN Y CONCENTRACIÓN DEL YOGURT VENCIDO.	63
FIGURA 15 CORRELACIÓN DEL OD VS EL TIEMPO.	66
FIGURA 16 CORRELACIÓN DE LA DQO VS TIEMPO.	68
FIGURA 17 CORRELACIÓN DE LA DBO5 VS TIEMPO.....	69
FIGURA 18 CORRELACIÓN DE LOS SST VS TIEMPO.	70
FIGURA 19 CORRELACIÓN DE LA SEDIMENTABILIDAD VS TIEMPO.	72
FIGURA 20 DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS Y VELOCIDADES DE DEGRADACIÓN.	74
FIGURA 21 LINEALIZACIÓN A BASE LOGARÍTMICA DE LOS DATOS DE DQO.	75
FIGURA 22 TOMA DE MUESTRAS DEL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA NO OPERATIVA DE CAJAMARCA	88
FIGURA 23 MEDICIÓN DE LAS MUESTRAS.....	88
FIGURA 24 ROTULACIÓN A CADA UNA DE LAS CUATRO MUESTRAS.....	89

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

FIGURA 25 ADICIÓN DEL YOGUR A CADA UNA DE LAS MUESTRAS.....	89
FIGURA 26 MEDICIÓN DEL TIEMPO QUE LAS PARTÍCULAS SE PRECIPITAN; PARA DETERMINAR EL IVL.....	90
FIGURA 27 MEDICIÓN DEL PH DE UNA DE LAS MUESTRAS.....	90
FIGURA 28 MEDICIÓN DE LA TURBIDEZ DE CADA UNA DE LAS MUESTRAS.....	91

Capítulo I: Introducción

1 Planteamiento del Problema

1.1 Descripción de la realidad problemática

El recurso hídrico en el Perú es abundante, pues se ubica entre “los 20 países más ricos del mundo con 72,510 metros cúbicos/habitante/año; con aproximadamente 2 046 287 MMC de agua.” (Amarildo Fernández, 2011, p. 3). Esto indica que el Perú cuenta con varias fuentes de agua dulce: lagos, lagunas, ríos, quebradas, etc. De donde son extraídas el agua para el consumo humano. Sin embargo, existe aún el desecho indiscriminado de aguas residuales sin tratamiento: sean de origen industrial o domésticas. Pues según la Autoridad Nacional del Agua informó que “alrededor de 54 m³/s de agua residual sin tratamiento, es entregado a fuentes superficiales y aproximadamente 4 000 hectáreas de tierras agrícolas son regadas con aguas residuales.” (Amarildo Fernández, 2011, p. 4). Esta problemática ha ocasionado que el sector público y privado inicien gestiones para la minimización de aguas residuales desechadas a los cuerpos de agua; esto incluye la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se pueden clasificar en dos grupos: 1) los de origen municipal y 2) los de origen industriales; esto debido a las características específicas del efluente. Adicionalmente, se habla también de tipos de tecnología: lodos activados, humedales, oxidación avanzada, entre otros. Las tecnologías mencionadas son muy eficientes cuando su operación y mantenimiento son controlados adecuadamente, pues de lo contrario, pueden ser más perjudiciales que el efluente sin tratar, dado que, para el

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

tratamiento se inyectan diversos reactivos químicos y biológicos. Es aquí, donde la presente investigación aportará una contribución con respecto al control y operación de los biorreactores que son parte del sistema de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Esto quiere decir, que las plantas de lodos activados generalmente pierden su potencial de tratabilidad cuando los biorreactores o reactores biológicos dejan de funcionar correctamente y el efluente es tratado parcialmente, este problema se expande hasta el proceso de sedimentación ya que, al no existir una generación de lodos, estos no se pueden precipitar completamente, ocasionando agua tratada con alto contenido de sólidos suspendidos. Es por ello, que se busca conocer el efecto del yogur vencido sobre el crecimiento bacteriano de un reactor biológico, pues, se sabe que el yogur tiene nutrientes que contribuyen a la reproducción bacteriana y se comporta como un catalizador (cinética), sin embargo, no se ha encontrado investigaciones que lo hayan utilizado como catalizador en un reactor biológico del sistema de lodos activados; por lo que, el problema lo formulamos de la siguiente manera:

1.2 Definición del problema

¿Cuál es el efecto del “yogur vencido” sobre la calidad de los lodos activados y los parámetros cinéticos del biorreactor de las aguas residuales domésticas?

EFEECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

1.3 *Objetivos*

1.3.1 **Objetivo general.**

- Evaluar el efecto del “yogur vencido” sobre la calidad de los lodos activados y los parámetros cinéticos del biorreactor de las aguas residuales domésticas.

1.3.2 **Objetivos específicos**

- Determinar el aumento de la velocidad de descomposición de la materia orgánica en función de la adición del “yogur vencido”
- Determinar el modelo cinético más apropiado para relacionar la velocidad de la descomposición de la materia orgánica y el aumento de los microorganismos.
- Evaluar la eficacia del biorreactor en relación con la adición del yogur vencido.
- Determinar el cambio de la calidad del lodo mediante el IVL en relación con la adición del yogur.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

1.4 Justificación

Las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con operaciones más comunes y conocidas son los lodos activados, los cuales cuentan con dos procesos principales: Reactor biológico y sedimentadores secundarios; siendo el corazón o proceso principal el reactor biológico, es decir, si el reactor biológico no es operado correctamente el tratamiento por si es deficiente ya que la carga microbiana son los responsables de reducir la materia orgánica. De ahí que, se investigan diferentes sustratos activadores para acelerar el crecimiento microbiano y degradar el material orgánico.

En esta investigación, se ha aplicado el yogur vencido como sustrato activador en un biorreactor o reactor biológico con la finalidad de mejorar la calidad del lodo activado y obtener la velocidad de degradación (parámetro cinético) del material orgánico; dado que, el yogur cuenta con componentes nutritivos (EPS) que actúan en la generación de biopelículas y por ende en el proceso de adaptabilidad del microorganismo al agua residual.

Por lo tanto, la importancia de esta investigación radica en dos grandes áreas:

- Mejoramiento en la operación del biorreactor o reactor biológico, puesto que, buscar activadores o incluso lodos activados para activar el reactor conlleva un costo elevado aún más cuando los microorganismos aún no se han adaptado.
- El cuidado del medio ambiente, es decir, se aplica el reciclaje y reuso de un producto vencido, dado que, la mayoría de estos productos son desechados en rellenos sanitarios.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Finalmente, el aporte de esta investigación tiende a mejorar los procesos de
tratabilidad y reciclaje de productos vencidos.

Capítulo II: Marco Teórico

2 Fundamentos teóricos de la investigación

2.1 Antecedentes

Según Sharma, Gaur, Kim, y Pandey (2019) describen que “el desperdicio de alimentos es rico en materia orgánica [...], por lo tanto, el empleo de métodos biológicos para el tratamiento de dichos desechos ofrece una forma sostenible de valorización” (p. 2). Los microorganismos para usar en su descomposición pueden ser aeróbicos o anaeróbicos, por lo tanto, se pueden usar como sustratos para el crecimiento bacteriológico en los sistemas de tratamiento de aguas. Los lácteos contienen proteínas de alto valor biológico y alta digestibilidad, grasa, hidratos de carbono, vitaminas y minerales, especialmente calcio y fósforo; los cuales producen sustancias poliméricas extracelulares que son útiles para la generación de biopelículas y estas a la vez al consumo de la materia orgánica del agua residual.

Haiping Luo, et al, (2017) en su estudio titulado “Electricity generation in a microbial fuel cell using yogurt wastewater under alkaline conditions”, usaron el yogur como sustrato para la generación de electricidad, donde, la concentración inicial de DQO de $1,0 \pm 0,1$ g/L y pH = 10,5 en las aguas residuales de yogur, la densidad de potencia máxima alcanzó 1043 ± 100 mW/m² en la Celda de combustión microbiana- MFC, en aguas residuales en condiciones alcalinas. En consecuencia, la remoción de DQO, nitrógeno amoniacal - NH₄-N, TN alcanzó $88 \pm 7\%$, $96 \pm 4\%$ y $69 \pm 3\%$, respectivamente. Las concentraciones más altas de aguas residuales de yogur aumentaron la resistencia interna en el MFC y

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

disminuyeron la viabilidad bacteriana en la biopelícula del ánodo, lo que resultó en una disminución de la generación de electricidad en el MFC. Es decir, el agua residual de yogur como sustrato generaba electricidad, pero por corto lapsos de tiempo. Este estudio, nos indica que el yogur puede ser utilizado como un activador en la actividad microbiana.

SENA, (2015), afirman que “La mayoría de los biopolímeros muestran una capacidad de biorremediación con uniones y retención de metales pesados. Numerosos estudios demuestran que disoluciones de biopolímeros pueden extraer metales pesados por quelación, reducción, precipitación, intercambio iónico. La capacidad de extracción de metales pesados de la bacteria *Zooglea ramigera* ha sido ampliamente estudiada; esta, es una bacteria productora de *exopolisacárido* y se encuentra en el tratamiento de aguas residuales.” (p. 33). Esto muestra que uno de los componentes del Yogur es el exopolisacárido, el cual actúa en la generación de las biopelículas.

PT Hoa, L Nair , & C Visvanathan, (2003), estudiaron el efecto de los nutrientes en la producción de sustancias poliméricas extracelulares (EPS) y su impacto en las propiedades de los lodos y la eficiencia de eliminación se investigaron en una planta de tratamiento de aguas residuales. Se realizó un análisis de regresión múltiple para evaluar el efecto de las variables en las condiciones operativas de los nutrientes sobre la producción de EPS y las propiedades del lodo. El estudio de campo reveló que, aunque se encontraron microorganismos filamentosos en la mayoría de las muestras de lodo, no siempre causaron acumulación de lodo. “Además, se observó que la producción de EPS era menor en los procesos anaeróbicos que en los aeróbicos. Se realizó una evaluación del efecto de la

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

deficiencia y el exceso de nitrógeno y fósforo en experimentos por lotes en aguas residuales sintéticas con glucosa como fuente de carbono. El estudio reveló que los componentes del EPS, a saber, las proteínas y los carbohidratos, tenían un efecto más profundo en las propiedades del lodo en comparación con el EPS total, siendo las proteínas más significativas que los carbohidratos. Tanto la deficiencia de nitrógeno (DQO: N < 100:2) como el exceso de nitrógeno (DQO: N > 100:10) mejoraron las propiedades del lodo. La relación óptima de fósforo determinada fue DQO:P, con un rango de 100:3 a 100:5, en la que mejoraron las propiedades de los lodos en términos de sedimentación, deshidratación y clarificación final.” (p. 437). Las sustancias poliméricas extracelulares generan también las biopelículas los cuales se originan en los reactores de los lodos activados.

Por otro lado, “los gránulos aeróbicos son redondos, densos, compactos y tienen capas múltiples (generalmente aeróbicas y anóxicas), alto rendimiento de EPS, diámetro entre 0.2 mm y 5 mm, y velocidad de sedimentación entre 10 y 90 m/h. Por otro lado, los flóculos de lodo activado tienen una forma irregular, tienen una sola capa aeróbica debido a los diámetros pequeños (<0.2 mm), los bajos rendimientos de EPS y la baja velocidad de sedimentación (<10 m / h). En términos de costos, la tecnología AGS presenta una reducción del 20-25% en los costos operativos, una demanda de electricidad un 23-40% menor y una reducción del 50-75% en los requisitos de espacio.” (Bengtsson et al., 2019).

Sousa Rollemberg, Nascimento de Barros, Sousa Aguiar Lira, Milen Firmino, & Bezerra dos Santos, (2019) estudiaron y tuvieron como objetivo “comparar la dinámica, la biocinética y la diversidad microbiana entre los flóculos de lodo activado (ASF) y AGS

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

cuyos sistemas fueron operados en condiciones experimentales similares en términos de inóculo, alimentación, fuente de sustrato, etc. Por lo tanto, los parámetros cinéticos involucrados se determinaron en base a la eliminación de materia orgánica, nitrificación, desnitrificación y desfosfatación, así como los cambios microbianos que evaluaron mediante análisis metagenómico.”

2.2 Marco histórico

“Las aguas residuales, AR, empezaron a existir desde que el hombre se le ocurrió que el agua sería un excelente medio para limpiar y llevar lejos los detritos humanos y otros desperdicios generados en su actividad cotidiana. Las referencias más antiguas del uso de drenajes y alcantarillados se han hallado en Nippur, antigua ciudad de Mesopotamia. Estas grandes estructuras de la antigüedad datan de cinco mil años A.C. y el sistema de desagüe transportaba el AR de palacios y distritos residenciales de la ciudad.” (Orozco Jaramillo, 2014, p. 6).

A medida que la población del mundo ha aumentado, “uno de los problemas que más preocupa a la humanidad es la gran cantidad de aguas residuales que se generan a diario y que son vertidas a cuerpos de agua, la eliminación de aguas residuales sin un tratamiento ya no es una opción. Esto ha hecho que se desarrollen diversos métodos de tratamiento de aguas residuales uno de los más comúnmente utilizado es proceso de lodos activados.” (p. 6).

El concepto del proceso se remonta al “trabajo del Dr. Angus Smith a principios de la década de 1880, quien investigó la aireación de los tanques de aguas residuales para

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

acelerar la oxidación biológica. En 1912 y 1913, Clark y Adams realizaron experimentos con aguas residuales aireadas para cultivar microorganismos en botellas y tanques, en la Estación Experimental de Lawrence. Estos resultados motivaron otra investigación adicional llevada a cabo en Manchester Sewage Works en Inglaterra por Arden y Lockett (1914). Desarrollaron el proceso y lo llamaron lodos activados porque implicaba la producción de una masa activada de microorganismos capaces de estabilizar aeróbicamente la materia orgánica de las aguas residuales.” (Riffat, 2013).

“Una vez descubierto este proceso comenzó a expandirse muy rápido. El objetivo era conseguir erradicar los acuciantes problemas de contaminación del agua, derivados del avanzado proceso de industrialización del país y su alta densidad poblacional, y que estaban causando también graves problemas de salud pública.” (Soluciones Medioambientales y Aguas (SMA), 2014)

“El sistema de lodos activados es uno de los sistemas más utilizados en el mundo para el tratamiento de aguas residuales municipales. Ocupa el primer lugar en caudal tratado y el segundo lugar como número de sistemas usados en América Latina, después de las lagunas de estabilización.” (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013, p. 19)

2.3 Marco teórico

2.3.1 Lodos activados como tecnología

Esta tecnología implica un tratamiento biológico para la degradación de la materia orgánica y la reducción de los sólidos. La eficacia se mide principalmente en términos de DBO_5 y eliminación de sólidos en suspensión.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

El proceso básico de lodos activados según Riffat, (2013) consta de tres componentes:

- a. Un reactor biológico donde los microorganismos se mantienen en suspensión y aireados.
- b. Un tanque de sedimentación o clarificador
- c. Un sistema de reciclaje para devolver los sólidos sedimentados del clarificador al reactor.

“En este proceso las aguas residuales fluyen continuamente hacia el tanque de aireación o reactor biológico. Se introduce aire para mezclar las aguas residuales con los microorganismos y para proporcionar el oxígeno necesario para mantener las condiciones aeróbicas. Aquí los microorganismos son los encargados de degradar la materia orgánica de las aguas residuales y la convierten en masa celular y productos de desecho.” (Riffat, 2013)

La mezcla pasa entonces al clarificador secundario, “donde tiene lugar la clarificación del efluente y el espesamiento de los sólidos sedimentados. El efluente clarificado se descarga para su posterior tratamiento o eliminación. Los sólidos espesados se eliminan como flujo inferior. Una parte del flujo inferior es de subflujo (llamado lodo activado residual), mientras que el resto (20% a 50%) se devuelve al tanque de aireación como lodo activado de retorno. El lodo de retorno ayuda a mantener una alta concentración de biomasa activa en el tanque de aireación.” (Riffat, Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering, 2013)

Se han desarrollado un gran número de variaciones del proceso de lodos activados que se utilizan actualmente. “El reactor biológico puede funcionar como un reactor

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

completamente mezclado (reactor de tanque agitado de flujo continuo, CSTR) o como un reactor de flujo tapón. En los últimos tiempos, los procesos de lodos activados se utilizan con mayor frecuencia para la eliminación de DBO junto con la eliminación de nitrógeno y/o fósforo. Existe un amplio conjunto de conocimientos basados en investigaciones pasadas y presentes sobre las comunidades microbianas, los parámetros operativos, los modelos de proceso y las capacidades de eliminación de diversos contaminantes en el proceso de lodos activados.” (Riffat, 2013)

La principal ventaja de este tipo de sistema es que la eficiencia de remoción de los contaminantes es alta. “A su vez no desperdicia agua, ya que el efluente que si cumple con los estándares de calidad se reutiliza en las actividades de la empresa y la pequeña parte que no queda completamente limpia sirve para crear los lodos. Otro beneficio es que las instalaciones de los lodos activados no requieren áreas de gran extensión, claro que eso dependerá de la cantidad de agua que se utiliza en la empresa. Entre otras ventajas están que son libres de malos olores y que no producen desechos.” (CBR Ingeniería, 2021)

2.3.2 Reactor biológico y generación de lodos activados

Los tratamientos biológicos de las aguas residuales “se centran en la capacidad de un conjunto de microorganismos que degradan la materia orgánica y transforman el nitrógeno amoniacal presente en el agua para su propio crecimiento. Para ello es necesario que, además de materia orgánica, el agua contenga nutrientes, como el nitrógeno o el fósforo. Posteriormente, dichos microorganismos se encargan de eliminar la materia orgánica presente en el agua.” (Telwesa, 2021). Cabe destacar que “el conjunto de microorganismos

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

suele ser muy variado y su composición exacta depende de las características del agua residual tratada y de las condiciones del proceso. Por ello, se trata de una especie de ecosistema que se adapta continuamente a las condiciones externas cambiantes.” (Telwesa, 2021).

En los procesos de lodos activados, “los microorganismos se encuentran mezclados con la materia orgánica que digerirán para reproducirse y sobrevivir. Cuando la masa de microorganismo crece y es mezclada con la agitación introducida al tanque por medios mecánicos o de inyección de aire, ésta tiende a agruparse (floculación) para formar una masa activa de microorganismos denominada lodo activado; a la mezcla de este lodo con el agua residual se llama licor mezclado. El licor mezclado fluye del tanque de aireación a un clarificador secundario donde el lodo activado sedimenta. Una porción del lodo sedimentado debe ser retornado al tanque de aireación para mantener una apropiada relación sustrato-microorganismo y permitir así una adecuada degradación de la materia orgánica.” (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013, p. 18).

En el reactor completamente mezclado, “las partículas que entran al tanque de aireación son inmediatamente distribuidas en todo el volumen del reactor logrando una homogeneidad completa en el mismo. La concentración de contaminantes en el reactor es, idealmente, la misma en todo el volumen del reactor y por lo tanto en su salida.” (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013, p. 18)

La cantidad de lodos activados producidos depende del peso de los sólidos del lodo y su concentración. La masa de lodo activado producido en el proceso es función de:

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

- La cantidad de materia orgánica removida en el proceso
- La masa de microorganismos en el sistema
- Los sólidos suspendidos biológicamente inertes del afluente al proceso
- La pérdida de sólidos suspendidos en el efluente

Para cuantificar la producción de lodos activados según Romero Rojas, (2010), se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_X = Q \left[\left(\frac{Y (S_0 - S_e)}{1 + k_d \theta_c} \right) + SS_f + SS_{VNB} \right] 10^{-3}$$

Donde:

P_X = masa de sólidos totales desechados, kg/d

Q = caudal de aguas residuales, m³/d

Y = coeficiente máximo de producción de biomasa, generalmente entre 0,4 y 0,8 (típico 0,6) kg SSV/kg DBOR o 0,25 a 0,4 SSV/kg DQOR

S_0 = DBO soluble del afluente, mg/L

S_e = DBO soluble del efluente, mg/L

θ_c = edad de lodos, d

k_d = constante de declinación endógena, generalmente entre 0,04 y 0,075 d⁻¹ (típico 0,06)

SS_f = sólidos suspendidos fijos del afluente, mg/L

SS_{VNB} = sólidos suspendidos volátiles no biodegradables del afluente, mg/L

2.3.3 Composición química de lodos activados en el reactor biológico

“Las características de los lodos varían mucho dependiendo de su origen, de su edad, del tipo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos. (...) Así

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

mismo la cantidad de lodo producido es muy variable, dependiendo del proceso de tratamiento usado y de la concentración de aguas residuales.” (Romero Rojas, 2010, p. 758)

En la siguiente tabla se presentan los valores típicos de las cantidades y características de los lodos producidos en diferentes procesos de tratamiento.

Tabla 1

Valores típicos de las cantidades y características de los lodos producidos en diferentes procesos de tratamiento.

Proceso	%humedad del lodo		Densidad relativa	
	Intervalo	Típico	Sólidos	Lodo
Sedimentación primaria	88 – 96	95	1.4	1.02
Filtro percolador	91 – 95	93	1.5	1.025
Precipitación química	-	93	1.7	1.03
Lodos activados	90 – 93	92	1.3	1.005
Tanques sépticos	-	93	1.7	1.03
Tanques Imhoff	90 – 95	90	1.6	1.04
Aireación prolongada	88 – 92	90	1.3	1.015
Lodo primario digerido anaerobiamente	90 – 95	93	1.4	1.02
Laguna aireada	88 – 92	90	1.3	1.01
Lodo primario digerido aerobiamente	93 – 97	96	1.4	1.012

Además, “el lodo activado producido por el reactor biológico es de color carmelita y floculento. Si es oscuro puede ser séptico, si el color es claro puede estar subaireado y

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

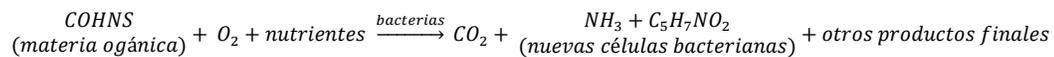
sedimentar lentamente. En buenas condiciones no tiene olor ofensivo y huele a tierra.”

(Romero Rojas, 2010, p. 760).

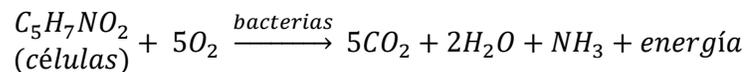
2.3.4 Efecto que produce el biorreactor en los lodos activados

En el reactor se introduce un residuo orgánico, donde se mantiene el cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce como el nombre de “Licor de mezcla”. En el reactor, el cultivo bacteriano lleva a cabo la conversión en concordancia general con la estequiometría de las siguientes reacciones:

Oxidación y síntesis:



Respiración endógena:



En estas ecuaciones, “COHNS representa la materia orgánica del agua residual. A pesar de que la reacción de la respiración endógena conduce a la formación de productos finales relativamente sencillos y al desprendimiento de energía, también se forman algunos productos orgánicos estables.” (Metcalf & Eddy, 2010, p. 437).

“Los biorreactores de lodos activados tienen un gran efecto en la remoción de la materia orgánica” (Romero Rojas, 2010, p. 264). Este efecto puede ser medido en la eficiencia del biorreactor mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0}$$

Donde:

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

$E = \text{Eficiencia}$

$S = \text{DBO del efluente}$

$S_0 = \text{DBO del afluyente}$

2.3.5 Especies biológicas que interactúan en el reactor

Los lodos activados “utilizan un cultivo altamente concentrado de bacterias facultativas en suspensión, con buenas propiedades de sedimentación. Los desechos orgánicos de carbohidratos tienden a reproducir Pseudomonas, mientras los desechos proteínicos favorecen Alcaligenes, Flavobacterias y Bacilos. Todos estos tipos de bacterias conforman un floc conocido como la Zooglea Ramígera en el cual aparecen protozoos de ambientes de baja energía como la Vorticela, siempre que el tratamiento sea eficiente, es decir la DQO sea baja.” (Orozco Jaramillo, 2005, p. 67)

2.3.5.1 Bacterias

“Son los constituyentes más abundantes del flóculo, existen más de 300 especies reportadas que han sido aisladas del licor mezclado. Las bacterias son las responsables de la oxidación de la materia orgánica y de la transformación de los nutrientes, producen polisacáridos y materiales poliméricos que ayudan en la floculación de la biomasa microbiana.” (Moeller & Tomasini Ortíz, s.f., p. 165).

Los principales géneros son:

- Zooglea
- Pseudomonas
- Flavobacterium

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

- Alcaligenes
- Bacillus
- Achromobacter
- Corynebacterium
- Comomonas
- Brevibacterium
- Acineto bacter
- Organismos Filamentosos (Sphaerotilus, Beggiatoa)
- Bacterias autotróficas nitrificantes (Nitrosomonas y Nitrobacter)
- Bacterias sulfurosas fototróficas (Rhodospirillaceae)

“Las cuentas totales en placa realizadas al licor mezclado están en el orden de 10^8 UFC/mg de lodo.” (Moeller & Tomasini Ortíz, s.f., p. 165).

2.3.5.2 Hongos

En general, “las condiciones que prevalecen en un sistema de lodos activados no favorecen el crecimiento de hongos, sin embargo, en algunas ocasiones se observan algunos filamentos fungales. Este crecimiento fungal puede favorecerse en condiciones de pH bajo, toxicidad y efluentes con deficiencia de nitrógeno.” (Moeller & Tomasini Ortíz, s.f., p. 165). Algunos géneros encontrados son los siguientes:

- Geotrichium
- Penicillium
- Cephalosporium

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

- Cladosporium
- Alternaria

2.3.5.3 Protozoarios

“Los protozoarios son organismos pertenecientes al reino Protista y que son predadores de bacterias.” (Moeller & Tomasini Ortíz, s.f., p. 165). Los principales grupos son los siguientes:

- a) Ciliados: “Su medio de locomoción son los cilios y por el movimiento de éstos se hacen llegar el alimento. Se clasifican en libres, trepadores y anclados.” (p. 165). Los principales géneros son los siguientes:

Ciliados libres

- Chilodonella
- Colpidium
- Blepharisma
- Euplotes
- Paramecium
- Leonotus
- Trachelophylum
- Spirostomum

Ciliados trepadores

- Aspidisca
- Euplotes

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Ciliados anclados

- Vorticella
 - Corchesium
 - Opercularia
 - Epystilis
- b) Flagelados “Su medio de locomoción es mediante uno o varios flagelos. Algunos ejemplos de protozoarios flagelados son: Bodo, Pleuromonas y Monosiga” (p. 165)
- c) Rhizopoda o Amiboidea; “Su movimiento es por medio de pseudópodos o falsos pies, ejemplos: Amoeba y Thecamoeba.” (p. 165)

2.3.5.4 **Rotíferos**

“Los rotíferos son organismos multicelulares. Su tamaño fluctúa entre las 100 y 500 micras. Los rotíferos presentes en lodos activados.” (Moeller & Tomasini Ortíz, s.f., p. 165), pertenecen a dos órdenes principales:

- Bdeloidea (Philodina y Habrotocha)
- Monogononta (Lecane y Notomata)

“El papel de los rotíferos en los lodos activados es: remover las bacterias suspendidas no floculadas y contribuir con sus desechos a la formación del flóculo.” (p. 165)

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

2.3.6 Métodos de evaluación del reactor biológico

2.3.6.1 Método de evaluación relacionado a la cinética

En la actualidad existen varios tipos de aplicaciones que van desde “aplicaciones de formación académica hasta herramientas de modelación y simulación orientados a ambientes profesionales. La modelación de los procesos de tratamiento tiene como objetivo realizar un análisis del funcionamiento del sistema y optimizar procesos. Metcalf y Eddy (1995) mencionan que los modelos de sistemas de tratamiento se expresan a través de balances de masa donde se tiene en cuenta la cinética de reacción y la hidrodinámica.” (Acevedo Moreno, 2021, p. 24)

“Las relaciones cinéticas tratan de encontrar los parámetros que gobiernan o definen las tasas de cambio de los parámetros que importan en el TAR. Específicamente, son de interés la velocidad de remoción de sustrato y la tasa de aumento de biomasa.” (p. 24)

Matemáticamente, los parámetros que intervienen en estos fenómenos se expresan como sigue:

$$\begin{aligned}
 S &= \text{Sustrato orgánico (mg DQO o DBO/L)} \\
 X &= \text{Biomasa, (generalmente como mg SSVLM/L)} \\
 dS/dt &= \text{Tasa de remoción de sustrato (mg DQO/L.día)} \\
 dX/dt &= \text{Tasa de aumento de biomasa (mg SSVLM/L.día)}
 \end{aligned}$$

Es el caso que si encontramos “las leyes que rigen dS/dt y dX/dt tendremos importantes herramientas para diseñar métodos de control de los microorganismos. También son de utilidad todas las otras tasas de reacción que podamos describir

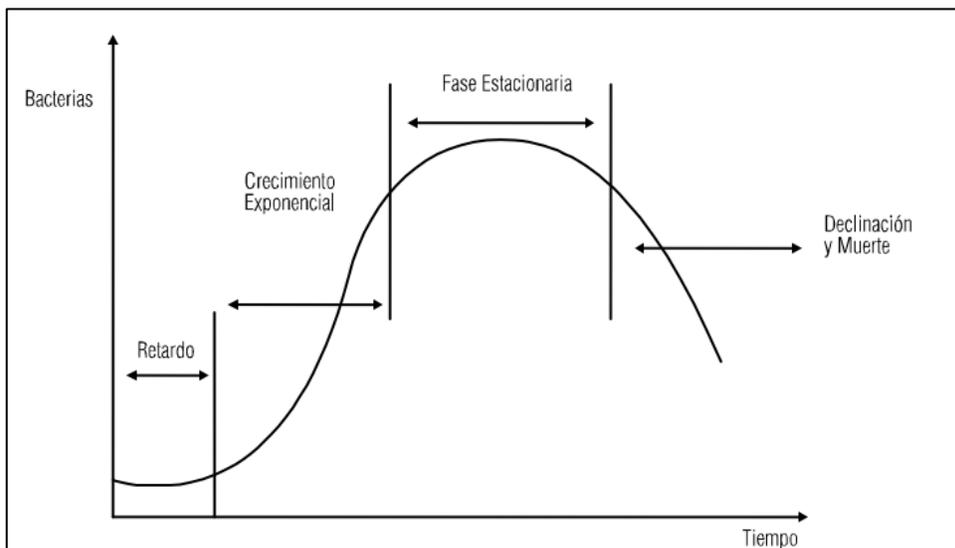
EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

adecuadamente con lenguaje de ingeniería.” (Orozco Jaramillo, Bioingeniería de aguas residuales, 2005, p. 101)

“La tasa de crecimiento microbiano y la tasa de utilización del sustrato se encuentran entre los parámetros cinéticos fundamentales de los procesos de tratamiento biológico. Un experimento por lotes puede realizarse con una cantidad específica de alimento o sustrato (S) en un reactor de laboratorio inoculado con un cultivo mixto de microorganismos (X). La tasa de crecimiento de la biomasa dX/dt , y la correspondiente tasa de utilización del sustrato en el tiempo dS/dt , pueden representarse mediante las curvas que se muestran en la figura. La curva de crecimiento microbiano tiene cuatro fases distintas.” (Riffat, 2013).}

Figura 1

Variación del Número de Bacterias con el Tiempo en un cultivo por lotes.



Nota: Orozco Jaramillo, Bioingeniería de aguas residuales, 2005.

Supongamos que los organismos viables, es decir vivos, “los podemos contar numéricamente en el tiempo a partir de un tiempo cero, es decir a partir de la inoculación

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

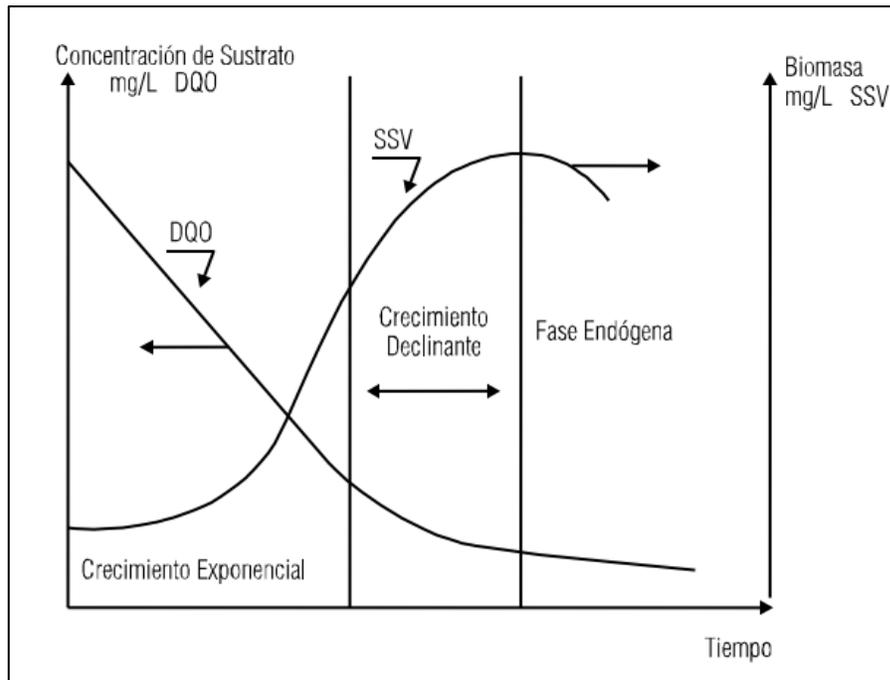
inicial de las bacterias en el medio de cultivo o sustrato. En este caso el crecimiento es desbalanceado, pues ocurre en condiciones cambiantes. Inicialmente encontraremos que el crecimiento numérico es bajo, pues los organismos están en proceso de aclimatación o adaptación; esta es llamada fase de retardo (ver Figura 1), y ocurre porque los microorganismos están produciendo las enzimas necesarias para el nuevo sustrato (Agua Residual) y/o la nueva concentración al momento de la alimentación inicial.” (p. 104). Una vez aclimatados, “comienza la fase de crecimiento exponencial, fase en la cual hay un crecimiento balanceado, pues las bacterias no necesitan nueva maquinaria enzimática con el tiempo, debido a la gran abundancia de sustrato (alimento) en comparación al número de bacterias. La tercera fase comienza cuando el sustrato se empieza a agotar, las condiciones son muy cambiantes para las bacterias y el número de bacterias se ha multiplicado mucho, de modo que la competencia intra-específica e ínter-específica se acelera. Esta es la fase estacionaria, donde el número no fluctúa considerablemente. Finalmente, al agotarse el sustrato orgánico y las reservas internas comienza la fase de declinación y muerte.” (Orozco Jaramillo, 2005, p. 104).

El proceso de crecimiento de los microorganismos está en función de la cantidad de sustrato presente en el medio, tal y como se puede observar en la figura 2.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 1

Variación del Sustrato y la Biomasa con el Tiempo en un cultivo por lotes.



Se observa que el sustrato tiene una alta tasa de decaimiento en la fase de crecimiento exponencial de los microorganismos. En base a dicha gráfica se han planteado varios modelos cinéticos, dentro de ellos el más usado es el modelo de Monod, para la parte de crecimiento exponencial hasta alcanzar la fase de estabilidad.

2.3.6.2 Modelo de Monod

Se han desarrollado “varios modelos para modelar el crecimiento microbiano en reactores biológicos. Uno de los primeros modelos fue el de Monod que ha servido de base para el desarrollo de numerosos modelos que se usa hoy en día. El modelo Monod supone que la tasa de utilización del sustrato, y por tanto la tasa de producción de biomasa, está

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

limitada por la tasa de reacciones enzimáticas en las que interviene el sustrato limitante.”

(p.105). La ecuación de Monod para el crecimiento microbiano viene dada por

$$\mu = \mu_{max} \frac{S}{K_S + S}$$

Donde:

μ_{max} = constante de crecimiento específico máximo, d^{-1}

S = concentración de sustrato, mg/L

K_S = coeficiente de media saturación, mg/L

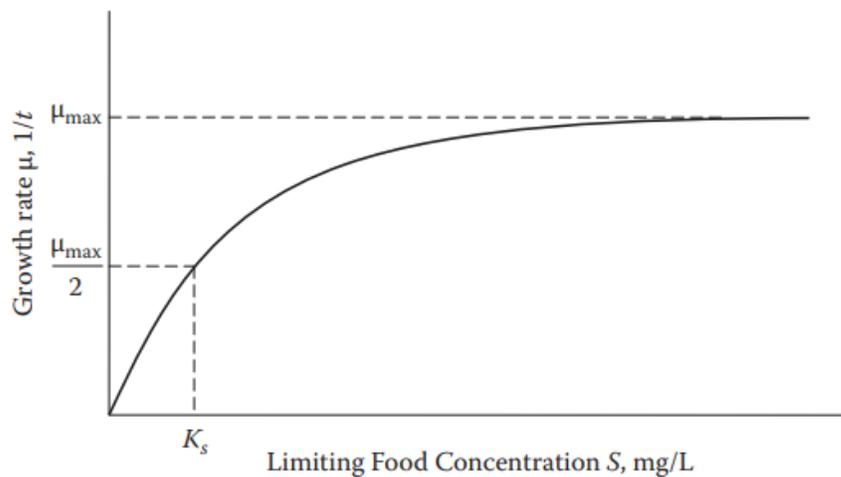
K_S es la concentración de sustrato correspondiente a la tasa de crecimiento

$$\mu = 1/2\mu_{max}$$

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 2

Representación gráfica del modelo Monod.



La figura 3 es una representación gráfica de la ecuación de Monod, que ilustra que la tasa de crecimiento de la biomasa es una función hiperbólica de la concentración de sustrato.

“Basándose en la ecuación de Monod y en la figura 2, a una concentración elevada de sustrato, se considera que el sistema está limitado por las enzimas ($S \gg K_S$)” (p. 106). En este caso la tasa de crecimiento es aproximadamente igual a la tasa de crecimiento máxima, y la ecuación anterior se convierte en:

$$\mu \approx \mu_{max}$$

Otra situación se presenta a bajas concentraciones de sustrato, cuando éste es limitante ($S \ll K_S$). La ecuación principal del modelo puede escribirse entonces como:

$$\mu = \mu_{max} \frac{\mu_{max} S}{K_S} = K' S$$

EFEECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Donde: $\frac{\mu_{max}S}{K_S} = K'$

“La tasa de crecimiento de la biomasa se vuelve independiente de la concentración de biomasa presente. La tasa de crecimiento específica pasa a ser de primer orden con respecto a la concentración de sustrato, como se muestra en la ecuación y se representa por el segmento recto inicial de la curva en la Figura 3, Representación gráfica del modelo Monod.” (Riffat, 2013).

- **La fase de crecimiento exponencial de los microorganismos.**

$$r_g = \frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\mu_{max}XS}{k_m + S}$$

Donde X representa la concentración de microorganismo expresada en mg/L de sólidos suspendidos volátiles, S la concentración de sustrato que representa a la materia orgánica, μ_{max} es la velocidad máxima que se puede alcanzar, y k_m es la constante de Monod. (Riffat, 2013)

- **En la fase de decaimiento o fase de muerte**, existe una desaparición de la masa microbiológica, para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$r_d = \frac{\partial X}{\partial t} = -k_d X$$

Según las ecuaciones anteriores se formula las ecuaciones más generales de velocidad de crecimiento neto y el tiempo de retención celular:

$$r_{neto} = r_g + r_d$$

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

$$\left(\frac{\partial X}{\partial t}\right)_{neto} = \frac{\mu_{max}XS}{k_m + S} - k_dX$$

$$\mu = \frac{1}{X} \left(\frac{\partial X}{\partial t}\right)_{neto} = \frac{\mu_{max}S}{k_m + S} - k_d = \frac{1}{\theta_c}$$

Donde μ representa la velocidad de reacción y θ representa el tiempo de retención celular, k_d representan la constante de descomposición endógena de los microorganismos.

También existen otros modelos cinéticos para verificar el ajuste de los datos experimentales mediante el uso de microorganismos.

Tabla 2

Ecuaciones para tasas netas de remoción de sustrato

Condición	Proponente	Ecuación	
Abundancia	Universal	$\frac{\partial S}{X\partial t} = -k_0$	Ec. - 1
Inanición	Eckenfelder	$\frac{\partial S}{X\partial t} = -kS$	Ec. - 2
	McKinney	$\frac{\partial S}{X\partial t} = -k_L \frac{S}{X}$	Ec. - 3
	Lawrence & McCarty	$\frac{\partial S}{X\partial t} = \frac{-k_0S}{k_m + S}$	Ec. - 4
Limitación de Sustrato	Orozco	$\frac{\partial S}{X\partial t} = \frac{-k_0S/X}{k_c + S/X}$	Ec. - 5

Fuente: Adaptado de Orozco Jaramillo, (2014)

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Como se puede observar en la tabla 2, existen varios modelos relacionados al uso de microorganismos para la descomposición de la materia orgánica.

2.3.6.3 Otros parámetros indicadores de calidad de proceso de lodo activado

Si bien la remoción de la materia orgánica es un indicador importante en los sistemas de tratamiento de aguas, la cual se evalúa en el agua tratada; otro indicador importante es la calidad de los sólidos suspendidos, principalmente los volátiles, su característica principal es que se pueda sedimentar, es decir, la separación entre el agua tratada y los sólidos (lodos) en el decantador secundario. Es importante recalcar que los sólidos se miden mediante el índice volumétrico de lodos (IVL), cuyo valor nos indica la calidad del lodo y la velocidad de sedimentación o tiempo de reposo. Pero ¿qué se entiende por índice volumétrico de lodos?, según Orozco Jaramillo, (2014), lo define como: “el volumen de lodos asentados (mililitros – ml) en un cilindro graduado de 1 L durante media hora, dividido por los sólidos suspendidos totales del licor mixto, SSLM, y multiplicado por 1000” (p. 332). Matemáticamente se expresa como:

$$IVL = 1000 \frac{V_a}{SSLM}$$

Donde:

V_a es el volumen asentado en una muestra en mL

SSLM: Concentración de sólidos suspendidos en el licor mezcla, en mg/L.

Menéndez Gutiérrez & Perez Olmo, (2007) dice que “el abultamiento de los lodos trae como consecuencia malas propiedades de sedimentación. Desde un punto de vista eminentemente práctico, las características de sedimentación y espesamiento de los lodos

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

activados se expresan en términos del índice volumétrico del lodo (IVL). En la medida que el valor del IVL sea mayor, las características de sedimentabilidad de los lodos serán menores. (p. 122)

De acuerdo con el índice volumétrico del lodo estos pueden clasificarse en:

- Lodos normales IVL < 100 mL/g
- Lodos ligeros IVL [100 a 200] mL/g
- Lodos abultados IVL > 200 mL/g.

Por lo tanto, es un indicador que nos ayudará a determinar la calidad del lodo obtenido.

2.3.7 Reactivo para mejorar la eliminación de materia orgánica residual en el biorreactor

2.3.7.1 Yogur como agente activo

a) Componentes del yogur vencido

Vásquez Villalobos, Aredo, Velásquez, & Lázaro, (2015) señalaron que “las principales propiedades fisicoquímicas de un yogur son proteínas, lípidos, contenido de grasa y acidez titulable, y que su variabilidad debe ser estudiada para definir la calidad del producto.”

En general, la composición nutricional del yogur es muy similar a la de la leche, de la cual procede. “Si bien existe una diferencia en cuanto a la presencia de lactosa, ya que este azúcar está presente en el yogur en cantidades mínimas, debido a que durante la fermentación se transforma en ácido láctico. Esto supone un factor importante para los

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

niños que padezcan intolerancia a la lactosa, ya que, gracias al bajo contenido de ésta en los yogures, suelen tolerar perfectamente el consumo de estos productos.” (Fundación Española de la Nutrición, s.f, p. 88).

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Tabla 3

Componentes de Yogurt

	Por 100 g de porción comestible	Por unidad (125 g)	Recomendaciones día-hombres	Recomendaciones día-mujeres
Energía (Kcal)	57	71	3.000	2.300
Proteínas (g)	3,7	4,6	54	41
Lípidos totales (g)	2,7	3,4	100-117	77-89
AG saturados (g)	1,66	2,08	23-27	18-20
AG monoinsaturados (g)	0,77	0,96	67	51
AG poliinsaturados (g)	0,11	0,14	17	13
ω -3 (g)	0,023	0,029	3,3-6,6	2,6-5,1
C18:2 Linoleico (ω -6) (g)	0,096	0,120	10	8
Colesterol (mg/1000 kcal)	12	15,0	<300	<230
Hidratos de carbono (g)	4,4	5,5	375-413	288-316
Fibra (g)	0	0	>35	>25
Agua (g)	89,2	112	2.500	2.000
Calcio (mg)	142	178	1.000	1.000
Hierro (mg)	0,09	0,1	10	18
Yodo (μg)	3,7	4,6	140	110
Magnesio (mg)	14,3	17,9	350	330
Zinc (mg)	0,59	0,7	15	15
Sodio (mg)	80	100	<2.000	<2.000
Potasio (mg)	280	350	3.500	3.500
Fósforo (mg)	170	213	700	700
Selenio (μg)	2	2,5	70	55
Tiamina (mg)	0,04	0,05	1,2	0,9
Riboflavina (mg)	0,18	0,23	1,8	1,4
Equivalentes niacina (mg)	0,44	0,6	20	15
Vitamina B₆ (mg)	0,05	0,06	1,8	1,6
Folatos (μg)	3,7	4,6	400	400
Vitamina B₁₂ (μg)	0,2	0,3	2	2
Vitamina C (mg)	0,7	0,9	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	9,1	11,4	1.000	800
Vitamina D (μg)	0,06	0,08	15	15
Vitamina E (mg)	0,04	0,1	12	12

Nota: Fundación Española de la Nutrición (FEN).

El yogur posee “bacterias que desencadenan un proceso por el cual la lactosa (el azúcar de la leche) se transforma en ácido láctico. A medida que el ácido se acumula, la

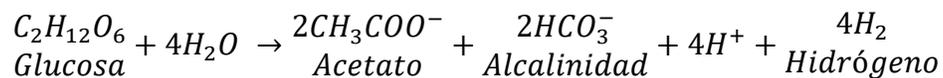
EFEECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

estructura de las proteínas de la leche va modificándose (van cuajando), y lo mismo ocurre con la textura del producto.” (ODECU, 2010, p. 13)

“Un yogur que esté vencido puede suponer que el alimento esté más ácido, haya perdido su humedad, aroma o sabor. Las propiedades nutricionales del yogur vencido no se modifican, siempre y cuando se conserve en buen estado; sin embargo, los efectos probióticos si pueden verse alterados, ya que *la cantidad de microorganismos del yogur desciende a medida que pasan los días debido a las reacciones químicas de fermentación que producen un aumento en el ácido producido y con esto el crecimiento de cualquier microorganismo decrece.*” (Callejo Mora, 2018). Sin embargo, los

b) Reacciones del yogur en el agua

“Las reacciones que puede generar el yogur en el agua corresponden al efecto de fermentación, este genera luego de la hidrólisis, aquí entran Eubacterias fermentativas que se encuentran en el agua residual e inician el proceso de Glucólisis. Al llegar el proceso al piruvato, debe tomar una decisión termodinámica que depende de la existencia de aceptores externos de electrones. Si estos no existen ocurre entonces una reacción que produce Ácido Acético (Acetato) e Hidrógeno, y además se producen otros ácidos grasos volátiles, AGV, como el propiónico, butírico, etc,” (Orozco Jaramillo, 2005, p. 98). La reacción fundamental es como sigue:



c) Adicionales

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

El yogur en su composición, se agregan “los colorantes, la tendencia se está inclinando rápidamente hacia los colores naturales en lugar de los colorantes artificiales. Entre los estabilizadores naturales, los *exopolisacáridos producidos por las bacterias del ácido láctico están cobrando impulso para su uso como estabilizadores o espesantes*. Los polisacáridos (principalmente estabilizadores de origen vegetal, derivados enzimática y químicamente), colorantes alimentarios y exopolisacáridos sintetizados por microbios son utilizados para mejorar la calidad y producción del yogur.” (Nagendra P. Shah, 2017, p. 51).

d) Exopolisacáridos (EPS)

El uso de cultivos que producen EPS juega un papel industrial importante en el desarrollo de “la textura de yogures y otros productos lácteos fermentados, quesos bajos en grasa y postres lácteos. *Los EPS producidos por cultivos iniciadores de yogur afectan las propiedades físicas y de textura del yogur bajo en grasa y mejoran las características sensoriales como la sensación en la boca, brillo, corte limpio, cordura y cremosidad*. Tanto el EPS capsular como el viscoso poseen una alta capacidad de retención de agua, lo que da como resultado una mayor retención de agua en el yogur. Además, se ha informado que los EPS brindan beneficios fisiológicos, como la reducción del colesterol, la inmunomodulación y la actividad antitumoral.” (Nagendra P. Shah, 2017, p. 60).

Los EPS de las bacterias del ácido láctico tienen ciertos beneficios para la salud de los consumidores. *La alta viscosidad aumenta el tiempo de retención que el producto fermentado pasa en el tracto gastrointestinal, lo que ayuda a la colonización de bacterias*

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

iniciadoras utilizadas para la elaboración de yogur y bacterias probióticas. Los EPS pueden ser metabolizados por los microorganismos del colon para formar ácidos grasos de cadena corta como acetato, propionato y butirato, que no solo proporcionan energía a las células epiteliales, sino que también desempeñan un papel en la prevención del cáncer de colon. algunos polisacáridos microbianos a veces se definen como prebióticos, que se definen como *"ingredientes alimentarios no digeribles que afectan beneficiosamente al huésped al estimular selectivamente el crecimiento y/o la actividad de una o una cantidad limitada de bacterias en el colon y, por lo tanto, mejoran la salud del huésped"*. (Nagendra P. Shah, 2017, p. 60).

2.3.7.2 Relación existe entre el yogur sobre los parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica

2.3.7.2.1 Parámetros fisicoquímicos afectados

“Como se ha podido observar en la teoría mencionada anteriormente los principales parámetros fisicoquímicos afectados por el yogur en el agua residual doméstica son el pH, la demanda biológica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los sólidos que se encuentran en el biorreactor.” (Orozco Jaramillo, 2005, p. 47)

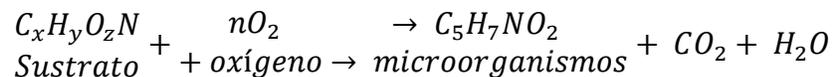
2.3.7.2.2 ¿Por qué el yogur afecta al parámetro identificado?

“El yogur una vez que se encuentre en contacto con el agua residual doméstica influye en las reacciones de oxidación, síntesis y respiración que ocurren en el biorreactor, debido a que presenta una fermentación avanzada en la que el pH se ha vuelto más ácido y la cantidad de microorganismos presentes ha disminuido.” (Orozco Jaramillo, 2005, p. 47)

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Al suministrar a un “cultivo de bacterias un sustrato con un DQO influente, S_0 , las bacterias se alimentan de él dejando un sustrato residual, efluente del reactor, igual a S . El sustrato consumido $\Delta S = S_0 - S$, fue entonces empleado, en el cambio a un producto final y en la obtención de la energía necesaria para las funciones metabólicas vitales de los microorganismos. En el caso del reactor en mención, el producto final es nueva biomasa que aumenta el número y peso de los microorganismos. En forma resumida podríamos decir que el sustrato, $C_xH_yO_z$, "reacciona" con el O_2 para producir microorganismos, CO_2 y H_2O . Es conveniente recordar que la "composición química" o “fórmula” de las bacterias en los cultivos para TAR es $C_5H_7NO_2$ ” (Orozco Jaramillo, 2005, p. 47)

La reacción de remoción resumida del siguiente modo:



2.3.7.2.3 Efectos de los Exopolisacáridos sobre el agua residual doméstica

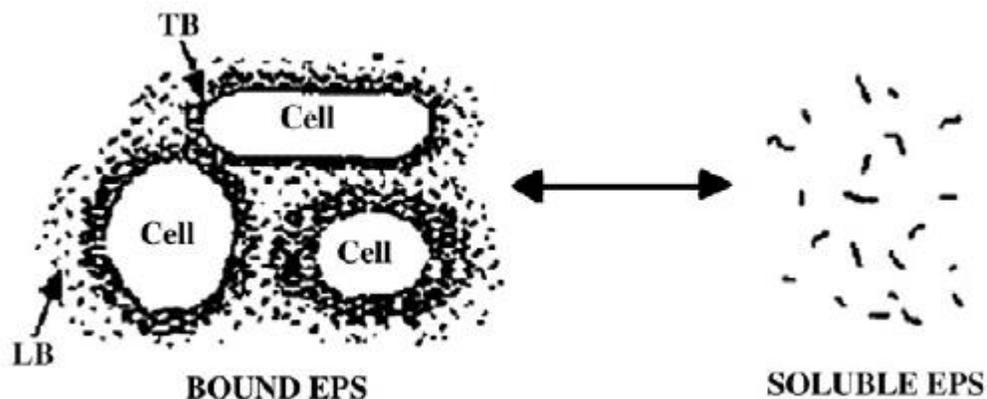
En el tratamiento biológico de aguas residuales, “los microorganismos viven y crecen unidos por una matriz de limo compuesta por sustancias poliméricas extracelulares (EPS), que forman una estructura microbiana tridimensional de agregados (flóculos o gránulos) y por fuerzas de unión química. Además, las observaciones microscópicas mostraron que las células microbianas dentro de los flóculos se entrecruzaron con EPS, formando una red de polímeros con poros y canales.” (Melo, Quintelas, Ferreira, & Mesquita, 2022, p. 1). Los EPS suelen estar compuestos por sustancias orgánicas como polisacáridos (PS), proteínas (PN), sustancias de ácido húmico (HAS), ácidos nucleicos y lípidos.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

“Se ha establecido que el EPS juega un papel esencial en la floculación, sedimentación y deshidratación de los agregados. Además, en presencia de sustancias tóxicas, como compuestos farmacéuticos y plaguicidas, *Los EPS forman una capa protectora de la biomasa agregada frente a las perturbaciones ambientales que pueden jugar un papel importante en el transporte y transformación de microcontaminantes.*” (Melo, Quintelas, Ferreira, & Mesquita, 2022, p. 1).

Figura 3

Boceto de estructura EPS.



Nota: Bound: unido o enlace; Soluble: disuelto; Guo-Ping Sheng, Han-Qing Yu, & Xiao-Yan Li, (2010).

La capa interna “consta de EPS estrechamente unido (TB-EPS), que tiene una determinada forma y está unido de forma firme y estable a la superficie celular. La capa exterior, que consta de EPS (LB-EPS) suelto, es una capa de limo suelta y dispersable sin un borde evidente. El contenido de LB-EPS en los agregados microbianos siempre es menor que el de TB-EPS y, por lo tanto, puede tener cierta influencia en las características

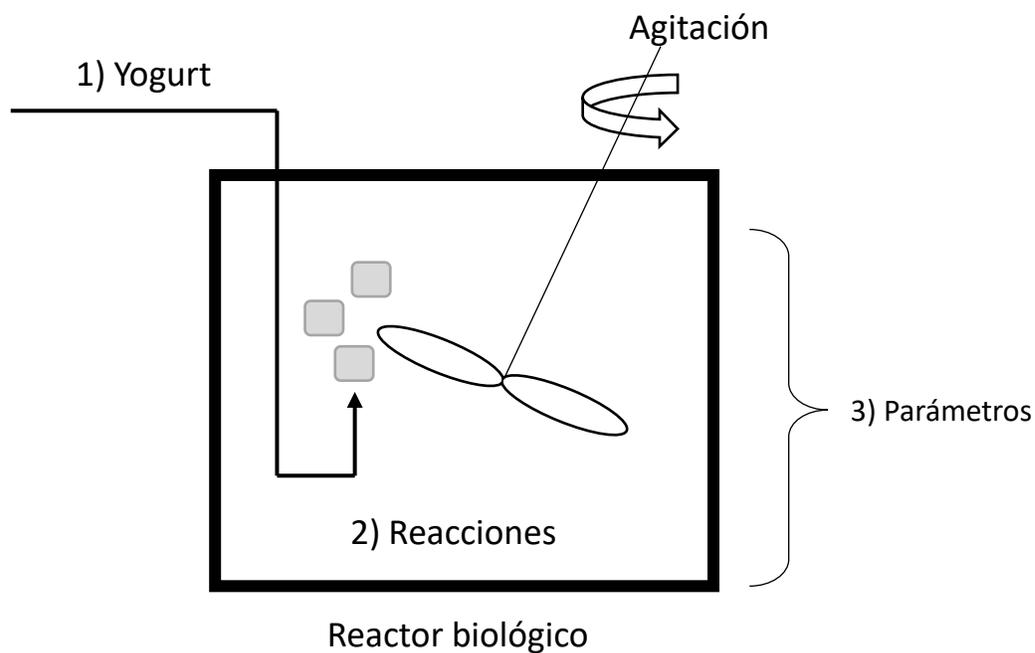
EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

de los agregados microbianos.” (Guo-Ping Sheng, Han-Qing Yu, & Xiao-Yan Li, 2010, p. 883)

2.3.8 Marco conceptual

Figura 4

Reactor biológico de la investigación.



- Yogur vencido ingresa al reactor biológico, y entra en contacto con el agua residual doméstica
- Reacción del yogur mediante *Exopolisacáridos* que mejora la calidad de la biomasa y reduce la materia orgánica y afecta los parámetros como pH, DBO, DQO y sólidos.
- Evaluación de parámetros cinéticos del biorreactor.

EFEECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

2.3.9 Hipótesis de la investigación

Para un mejor planteamiento de hipótesis primero se formula una proposición lógica considerando las variables tanto independientes como dependientes, de la siguiente manera:

“Si la adición del “yogur vencido” mejora las características de los lodos activados del biorreactor de las aguas residuales domésticas, entonces tiene un efecto positivo sobre éstos y los parámetros cinéticos de la descomposición de la materia orgánica”.

De dicha proposición lógica planteamos como hipótesis que:

Ho: *“El yogur vencido no mejora los parámetros cinéticos de degradación de la materia orgánica y la calidad de los lodos en el tratamiento de aguas residuales domésticas por lodos activos”*

Ha: *“El yogur vencido mejora los parámetros cinéticos de degradación de la materia orgánica y la calidad de los lodos en el tratamiento de aguas residuales domésticas por lodos activos.”*

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

2.3.9.1 “Operacionalización” de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

Variable	Definición	Indicadores	Ítem	Instrumentos
Independiente				
Yogur vencido	Es un compuesto orgánico láctico.	Concentración de Nitrógeno. Concentración de Fósforo. Concentración de Materia Orgánica.	¿El yogurt vencido es complemento nutricional efectivo en el tratamiento de agua residuales domésticas?	Análisis de Laboratorio.
Dependientes				
Calidad de lodos	Son sólidos suspendidos volátiles de un biorreactor	Índice volumétrico de lodos (IVL)	¿En cuánto mejora el IVL de los lodos activados del biorreactor?	Análisis de laboratorio.
Parámetros cinéticos	Velocidad cinética de descomposición de la materia orgánica.	Parámetros cinéticos de descomposición de la materia orgánica.	¿Cuál es el cambio en cada uno de los parámetros con la adición	Determinación en base la correlación de los resultados.

del yogurt
vencido?

Capítulo III: Método de Investigación

3.1. Tipo de investigación

La presente es una investigación básica – explicativa es decir este “tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables.” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, p. 93). Pues, se ha determinado el efecto que tiene el yogurt vencido sobre la velocidad de reacción microbiológica y la calidad del sólido o lodo sedimentados de un reactor biológico de una planta de lodos activados para aguas residuales domesticas.

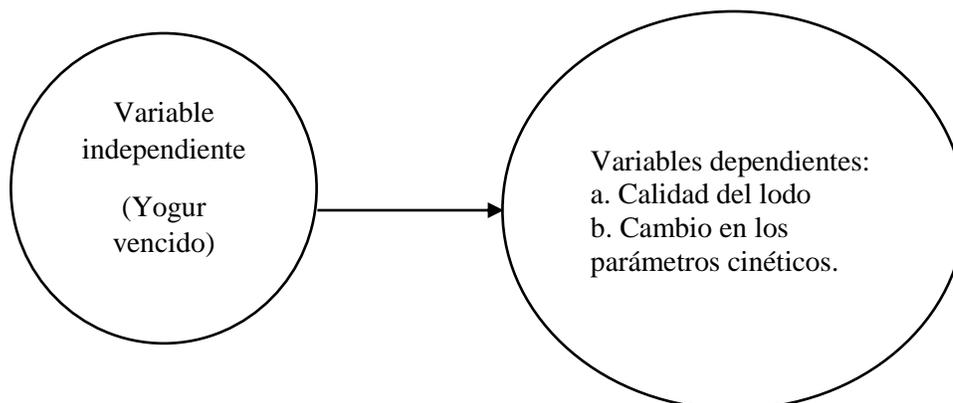
3.2. Diseño de investigación

El diseño para la presente investigación es experimental debido a que se va a manipular intencionalmente la variable independiente, en este caso la adición de yogurt vencido, para analizar las consecuencias que tiene sobre la variable dependiente que es la calidad de los lodos y los parámetros cinéticos. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, p. 93).

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 5

Diseño de investigación.



El diseño experimental estará basado en la tabla 5, en la cual se describe la cantidad de la variable a manipular, que es la cantidad de yogur, y el oxígeno disuelto (OD) el cual se midió para analizar el consumo de la actividad microbiana debido a la descomposición de la materia orgánica; así mismo se determinó los parámetros cinéticos mediante la medición del IVL que corresponde a la calidad del lodo producido.

Tabla 5

Diseño experimental

N°	Vol. De Yogurt (mL)	Conc. Yogurt (mL/L)	Tiempo (h)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	SST (mg/L)	Sedimentabilidad (mL/L)	IVL (mL/g)
1	0	0	0	---	---	---	---	---	---
2	0	0	3	---	---	---	---	---	---
3	0	0	6	---	---	---	---	---	---
4	0	0	9	---	---	---	---	---	---
5	0	0	12	---	---	---	---	---	---
6	0	0	15	---	---	---	---	---	---
7	5	1	0	---	---	---	---	---	---
8	5	1	3	---	---	---	---	---	---
9	5	1	6	---	---	---	---	---	---

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
 LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
 DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

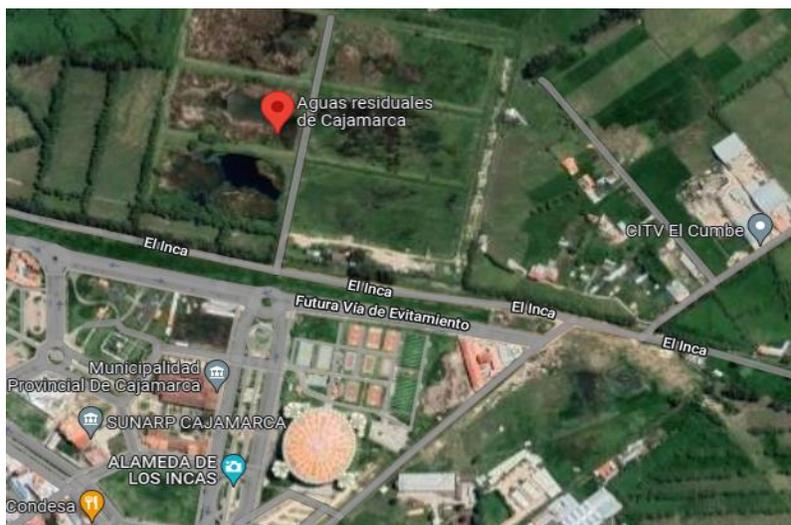
10	5	1	9	---	---	---	---	---	---
11	5	1	12	---	---	---	---	---	---
12	5	1	15	---	---	---	---	---	---
13	10	2	0	---	---	---	---	---	---
14	10	2	3	---	---	---	---	---	---
15	10	2	6	---	---	---	---	---	---
16	10	2	9	---	---	---	---	---	---
17	10	2	12	---	---	---	---	---	---
18	10	2	15	---	---	---	---	---	---
19	15	3	0	---	---	---	---	---	---
20	15	3	3	---	---	---	---	---	---
21	15	3	6	---	---	---	---	---	---
22	15	3	9	---	---	---	---	---	---
23	15	3	12	---	---	---	---	---	---
24	15	3	15	---	---	---	---	---	---

3.3. Área de investigación

Las pruebas se realizaron a nivel laboratorio, no obstante, se extrajo el agua residual de la planta no operativa de la provincia de Cajamarca.

Figura 6

Ubicación de la recolección de muestra.



EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

3.4. Población

Aguas residuales tratadas y generación de lodos de un biorreactor con yogur.

3.5. Muestra

2 litros de agua tratada y 2 litros de lodos del biorreactor de aguas residuales con yogur por ensayo.

3.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Según la tabla 5, la investigación se desarrolló bajo el siguiente procedimiento:

- Se recolecta 10 L de muestra de agua residual doméstica o municipal (figura 5).
- Se fabrica 04 sistemas batch de 2 litros cada uno.
- En recipiente de 5 L se adiciona 500 mL muestra de agua residual doméstica o municipal, más la cantidad de yogur según lo planteado en la tabla 5, más agua de dilución hasta 5 Litros.
- Se adiciona un parte en el recipiente de 2 Litros y en 5 frascos Winkler para la muestra control de OD por día.
- Después de cinco días se prepara para analizar: DBO₅, DQO y Sedimentabilidad y Sólidos Suspendidos Totales. (los parámetros mencionados son analizados en laboratorio).

3.6.2. Instrumentos

- 5 recipientes de 5 Litros
- 5 recipientes de 2 Litros

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

- 25 frasco Winkler para medición de oxígeno disuelto
- 01 medidor de oxígeno disuelto
- 5 probetas de litro
- 5 frascos para muestreo de laboratorio de DQO
- 5 frascos para muestras de SST
- 5 frascos para muestreo de DBO₅

3.6.3. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Los datos son analizados con la prueba de Shapiro Wilk para determinar la distribución a la que pertenecen y luego aplicar las pruebas paramétricas o no paramétricas según el requerimiento de la normalidad; En suma, se aplicó la prueba de Pearson para saber el nivel de correlación y la aplicación del análisis de varianza (ANOVA). Luego se determinó el modelo cinético y por ende los parámetros cinéticos con un ajuste de curva. Finalmente, se utilizó el Software de Minitab y Excel para el análisis y representación de datos.

Cabe recalcar que la elección de la prueba estadística para los datos obtenidos se deduce de las variables estudiadas y la prueba de normalidad, es decir, se interrelación de la calidad del lodo (SST y IVL) y parámetros cinéticos (DBO, DQO, OD, tiempo, k) del biorreactor en función del yogurt vencido (concentraciones diferentes). De ahí que, al ser trabajado en 4 concentraciones y en 3 volúmenes diferentes de yogurt con respecto a las variables dependiente, se aplicó, ANOVA ya que evalúa más de dos niveles de un factor y cumple con la normalidad, según Shapiro Wilk, (pruebas paramétricas). Finalmente, se

EFEECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

trabajó las pruebas de normalidad al 1% o 0.01, ya que se exige que tenga mayor exigencia con la confiabilidad 99%. No obstante, las pruebas de ANOVA se aplica una significancia del 1% o 0.01, ya que, se evalúa la diferencia significativa o variabilidad de los datos. Es importante indicar, que “la elección de la palabra significativa en este contexto quizás sea desafortunada, dado que no se refiere a la importancia de la hipótesis sino *a su verosimilitud en vista de los datos obtenidos.*” (Box, Hunter, & Hunter, 2008, p. 96). Esto se traduce de la siguiente manera: “se dice que una discrepancia entre la observacion y la hipótesis es significativa, cuando conduce a una probabilidad de que ocurra menor que dicho valor crítico, El criterio convencional sería que podría estar convencido de que exista una discrepancia real cuando dicho nivel de probabilidad es del 5% y *bastante seguro si el nivel es del 1%*”(Box, Hunter, & Hunter, 2008, p. 96).

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
 LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
 DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Capítulo IV: Resultados y Discusión

Tabla 6

Resultados del experimento

Nº	Vol. De Yogurt (mL)	Conc. Yogurt (mL/L)	Tiempo (h)	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)	Sedimentabilidad (mL/L)
1	0	0	0	4.24	522	346		
2	0	0	3	4.10	452			
3	0	0	6	3.90	324			
4	0	0	9	3.94	312		3465	430
5	0	0	12	4.32	234		3489	442
6	0	0	15	4.40	212	116	3569	450
7	5	1	0	2.06	547	376		
8	5	1	3	3.13	394			
9	5	1	6	3.40	232			
10	5	1	9	2.53	218		3586	364
11	5	1	12	3.39	156		3630	376
12	5	1	15	2.74	92	55	3698	380
13	10	2	0	2.15	572	396		
14	10	2	3	2.31	396			
15	10	2	6	2.66	238			
16	10	2	9	2.29	192		3564	252
17	10	2	12	2.74	165		3612	248
18	10	2	15	2.41	74	39	3583	240
19	15	3	0	1.55	597	416		
20	15	3	3	2.40	338			
21	15	3	6	2.08	296			
22	15	3	9	2.04	162		3590	248
23	15	3	12	1.67	146		3622	252
24	15	3	15	2.05	72	34	3634	246

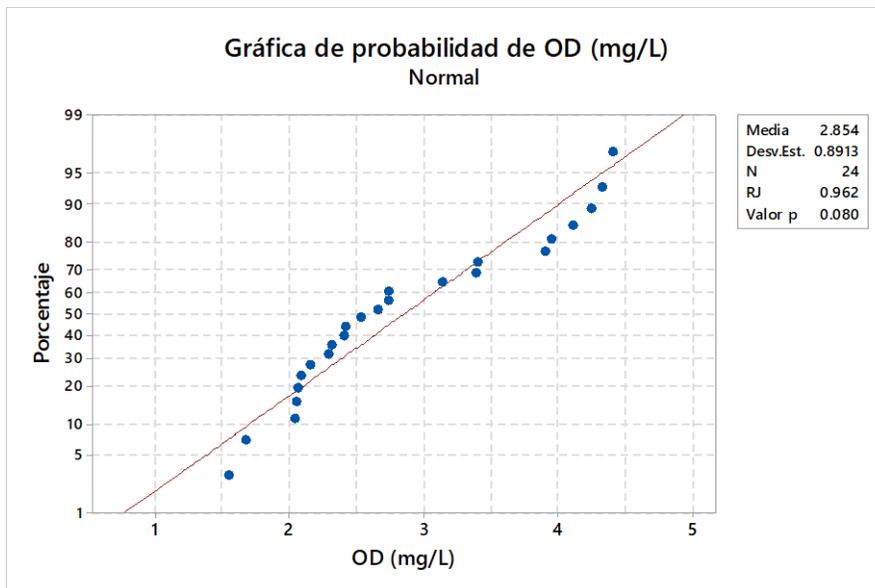
Nota: Volumen de muestra en el reactor: 5 Litros; Condiciones de aireación: Flujo de aire de 3.5 L/min con una bomba de pecera; Ciclos de aireación: 30 aireación 20 de descanso o reposo.

EFEECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

4.1. Prueba de normalidad de los diferentes parámetros

Figura 7

Prueba de normalidad para el oxígeno disuelto.

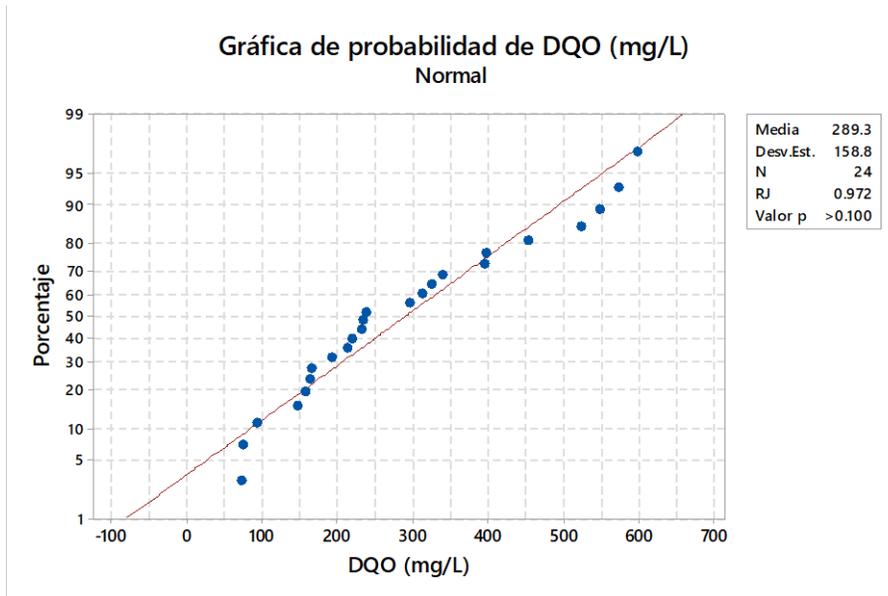


Interpretación: La prueba de Shapiro Wilk indica que los resultados tienen una distribución normal, es decir, el oxígeno disuelto tiene un valor p de 0.08 mayor al nivel de significancia 0.01 o 1%, lo que significa que los datos tienen una distribución normal y se debe aplicar una prueba paramétrica.

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 8

Prueba de normalidad para DQO.

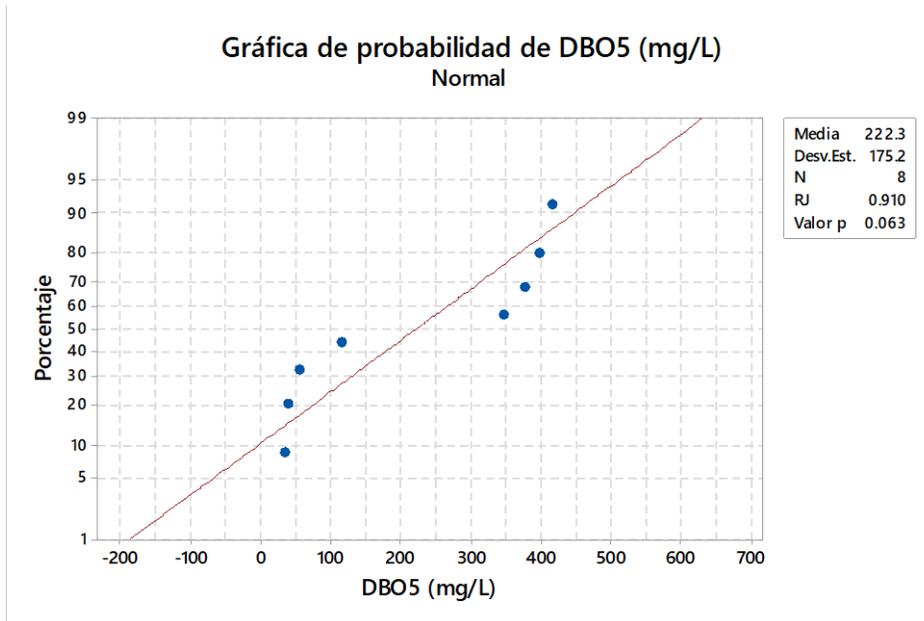


Interpretación: La prueba de Shapiro Wilk indica que los resultados tienen una distribución normal, es decir, la demanda química de oxígeno tiene un valor p de >0.1 mayor al nivel de significancia 0.01 o 1%, lo que significa que los datos tienen una distribución normal y se debe aplicar una prueba paramétrica.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 9

Prueba de normalidad para DBO₅

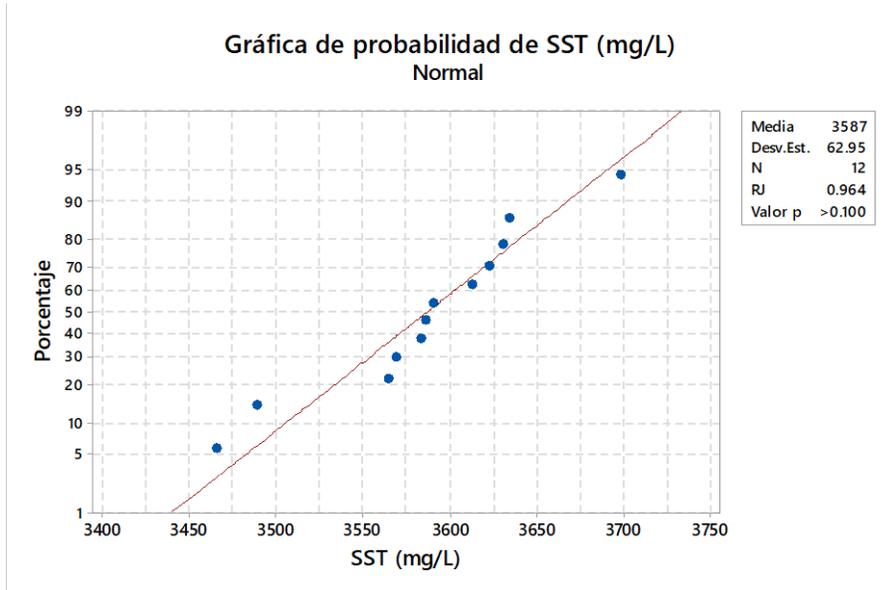


Interpretación: La prueba de Shapiro Wilk indica que los resultados tienen una distribución normal, es decir, la demanda bioquímica de oxígeno tiene un valor p de 0.063 mayor al nivel de significancia 0.01 o 1%, lo que significa que los datos tienen una distribución normal y se debe aplicar una prueba paramétrica.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
 LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
 DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 10

Prueba de normalidad para SST

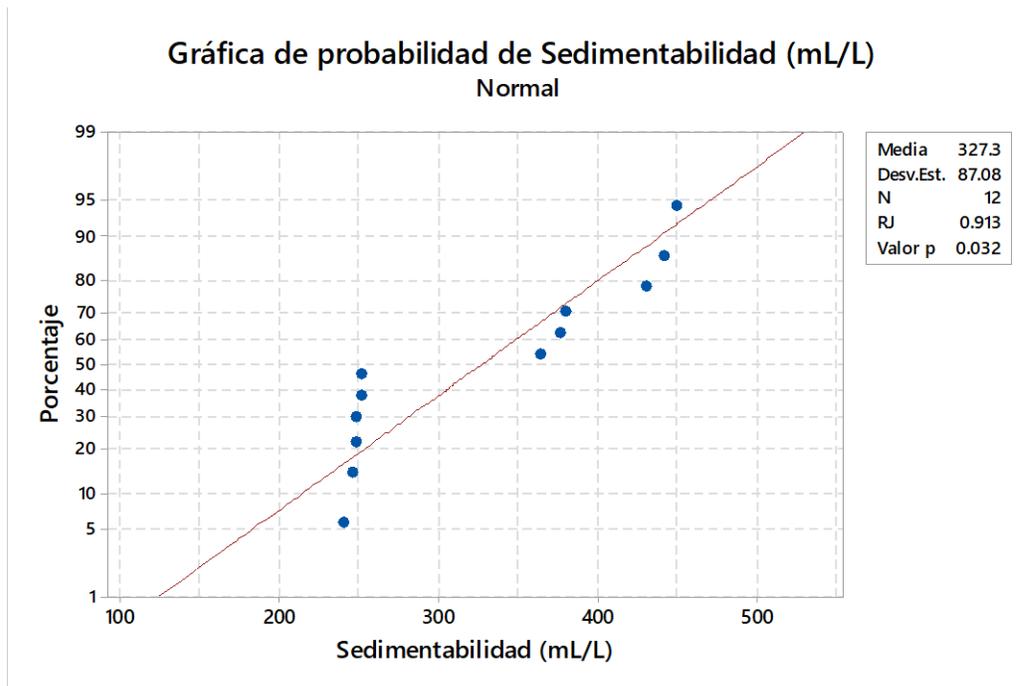


Interpretación: La prueba de Shapiro Wilk indica que los resultados tienen una distribución normal, es decir, los sólidos suspendidos totales tienen un valor p de >0.1 mayor al nivel de significancia 0.01 o 1%, lo que significa que los datos tienen una distribución normal y se debe aplicar una prueba paramétrica.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 11

Prueba de normalidad para la sedimentabilidad.



Interpretación: La prueba de Shapiro Wilk indica que los resultados tienen una distribución normal, es decir, la sedimentabilidad tiene valor p 0.032 mayor al nivel de significancia 0.01 o 1%, por tanto, indica que existe un 99% de que los datos pertenezcan a una distribución normal. Esto ayuda a demostrar que los datos pueden ser analizados mediante una prueba paramétrica.

4.2 Efecto del yogur sobre el oxígeno disuelto y DQO.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 12

Correlación del OD vs el volumen y concentración del yogur vencido

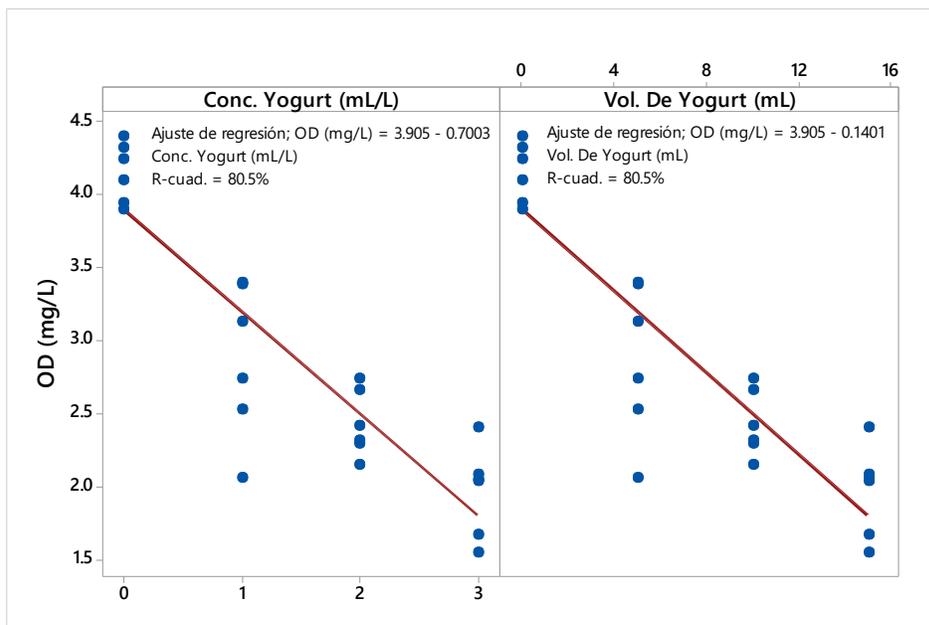


Tabla 7

Correlación de Pearson (r) para la concentración y volumen del yogur vs OD.

Parámetro	Yogur vencido	r	Valor critico r
Concentración (mL/L)	0, 1, 2, 3	- 0.8972	0.5162
Volumen (mL)	0,5,10, 15	- 0.8972	0.5162

Nota: El valor critico se determina de los valores críticos del coeficiente de Pearson y nivel de significancia al 0.01, es decir, se evaluó a un valor crítico del 0.5162 (Triola, M., 2013, p.518.)

Tabla 8

Análisis de Varianza de OD vs Volumen de yogur

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Vol. De Yogur (mL)	3	15.918	5.3060	45.11	0.000
Error	20	2.352	0.1176		
Total	23	18.270			

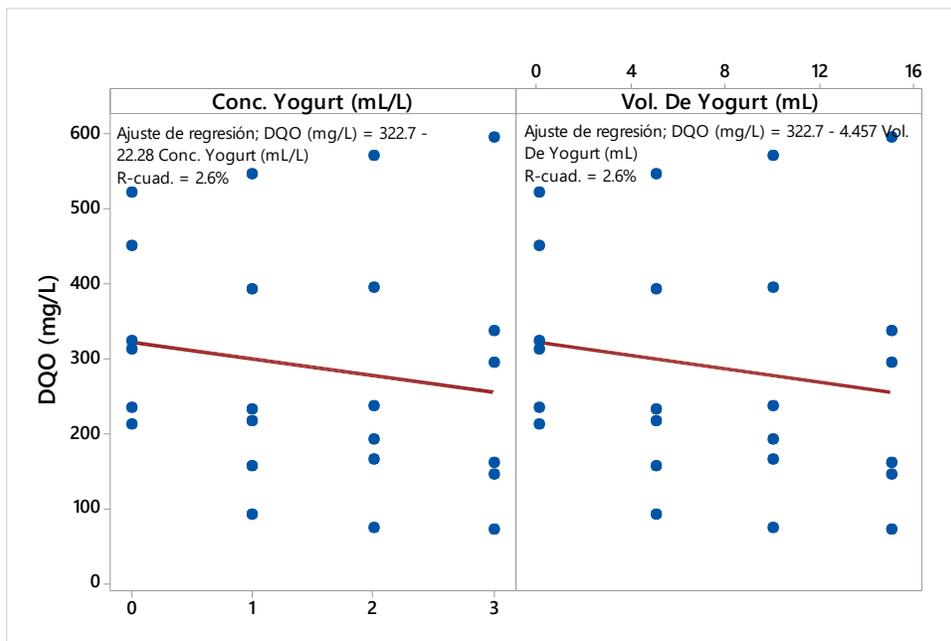
EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Nota: Nivel de significancia el 0.01 o 1%

Interpretación: El yogur vencido tuvo efecto significativo sobre el OD, es decir, existe una correlación de Pearson del -0.8972 mayor al valor crítico 0.5162 (a un nivel del 99%) y una correlación negativa, lo que indica que tiene una alta correlación (tabla 7) para la concentración y volumen del yogur sobre el oxígeno disuelto (figura 12); Además, se confirma con el análisis de varianza que el yogur vencido afecta significativamente al oxígeno disuelto (tabla 8) y esto ayuda al crecimiento microbiano en un tiempo de 16 horas.

Figura 13

Correlación de la DQO vs el volumen y concentración del yogur vencido



EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Tabla 9

Correlación de Pearson (r) para la concentración y volumen del yogurt vs DQO.

Parámetro	Yogur vencido	r	Valor crítico r
Concentración (mL/L)	0, 1, 2, 3	0.1612	0.5162
Volumen (mL)	0,5,10, 15	0.1612	0.5162

Nota: El valor crítico se determina de los valores críticos del coeficiente de Pearson y nivel de significancia al 0.01, es decir, se evaluó a un valor crítico del 0.5162 (Triola, M., 2013, p.518.)

Tabla 10

Análisis de Varianza de DQO vs Volumen de yogurt

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Vol. De Yogur (mL)	3	22872	7624	0.27	0.844
Error	20	557198	27860		
Total	23	580071			

Interpretación: El yogurt vencido no tuvo efecto significativo sobre el DQO, es decir, existe una correlación de Pearson del 0.1612 menor al valor crítico 0.5162 (a un nivel del 99%), lo que indica que no tiene una correlación (tabla 9) para la concentración y volumen del yogurt sobre la demanda química de oxígeno (figura 13); Además, se confirma con el análisis de varianza que el yogurt vencido no afecta significativamente al oxígeno disuelto (tabla 10)

Para el caso de la DBO5, SST y Sedimentabilidad no se evaluaron la correlación de Pearson, dado que, éstas están en relación con la DQO, sin embargo, más adelante se analiza con relación al tiempo.

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

4.3 Efecto del tiempo sobre la OD, DQO, DBO5, SST y Sedimentabilidad.

Tabla 11

Correlación del OD vs Tiempo.

Tiempo (h)	Volumen yogur (mL)	r	Valor critico r
0, 3, 6, 9,12 y 15	0	0.3924	0.5162
	5	0.3332	0.5162
	10	0.5187	0.5162
	15	0.0447	0.5162

Nota: El valor critico se determina de los valores críticos del coeficiente de Pearson y nivel de significancia al 0.01, es decir, se evaluó a un valor crítico del 0.5162 (Triola, M., 2013, p.518.)

Tabla 12

Análisis de varianza del OD vs. tiempo

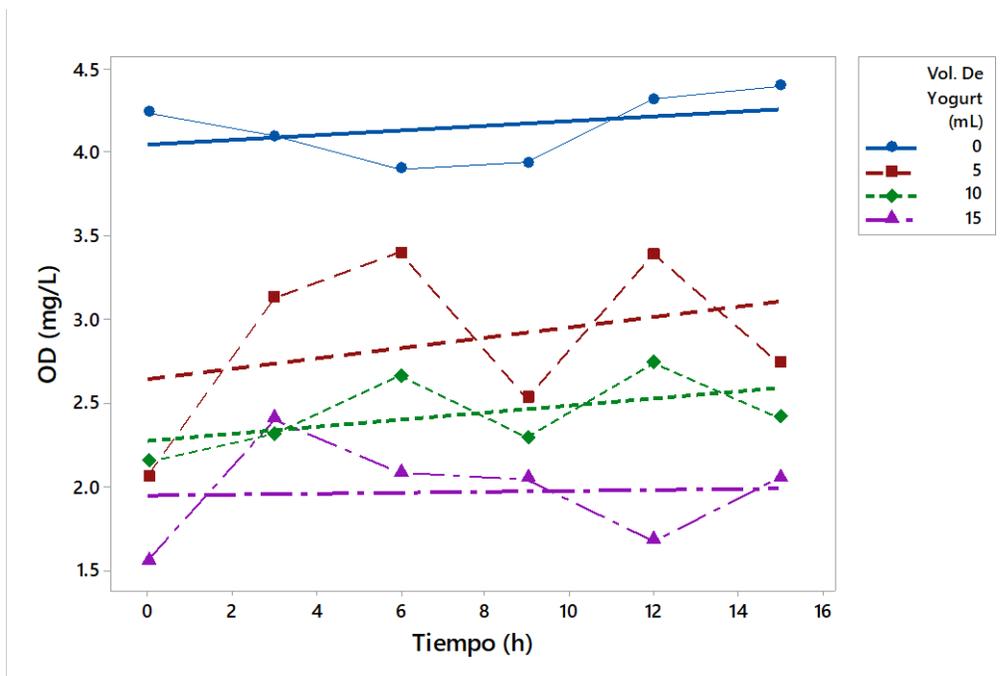
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	5	0.8945	0.1789	0.19	0.964
Error	18	17.3757	0.9653		
Total	23	18.2702			

Nota: Nivel de significancia el 0.01 o 1%

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 14

Correlación del OD vs el tiempo.



Interpretación: El análisis de correlación de Pearson muestra que el tiempo de reacción influye en la degradación de la materia orgánica y por ende en el crecimiento microbiológico; sin embargo, se mantiene constante para el oxígeno disuelto. Según la tabla 11, el oxígeno disuelto no es afectado en el tiempo inicial, 5 y 15 horas, pero existen una reacción en 10 h, esto a un valor atípico; es decir, los valores r son menores al 0.5162 a excepción al de 10 h (tabla 11). En adición, se evaluó con el análisis de varianza, el cual indica que no existe diferencia significativa, es decir, el tiempo no afecta al OD para los diferentes volúmenes (tabla 12 y figura 14), esto debido a que se inyectó oxígeno para una actividad aeróbica.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Tabla 13

Correlación de la DQO vs Tiempo.

Tiempo (h)	Volumen yogur (mL)	r	Valor critico r
0, 3, 6, 9,12 y 15	0	-0.9716	0.5162
	5	-0.9566	0.5162
	10	-0.9545	0.5162
	15	-0.9434	0.5162

Nota: El valor critico se determina de los valores críticos del coeficiente de Pearson y nivel de significancia al 0.01, es decir, se evaluó a un valor crítico del 0.5162 (Triola, M., 2013, p.518.)

Tabla 14

Análisis de varianza de la DQO vs. Tiempo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	5	533573	106715	41.31	0.000
Error	18	46498	2583		
Total	23	580071			

Nota: Nivel de significancia el 0.01 o 1%

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 15

Correlación de la DQO vs Tiempo.

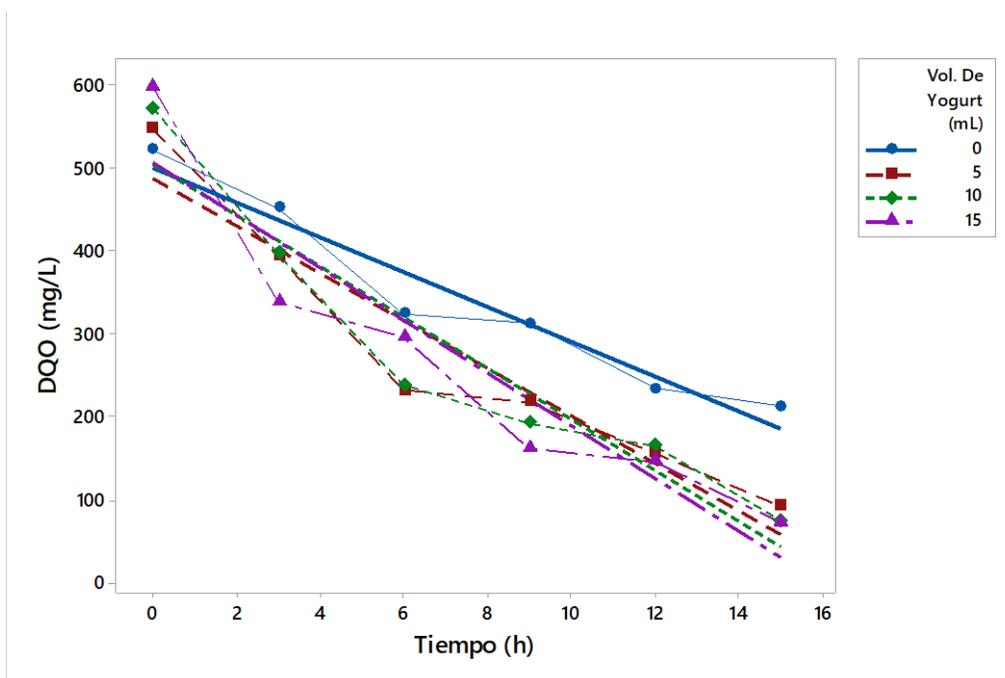


Tabla 15

Correlación de la DBO₅ vs Tiempo.

Tiempo (h)	Volumen yogurt (mL)	r	Valor critico r
0, 3, 6, 9,12 y 15	0	-1	0.5162
	5	-1	0.5162
	10	-1	0.5162
	15	-1	0.5162

Nota: El valor critico se determina de los valores críticos del coeficiente de Pearson y nivel de significancia al 0.01, es decir, se evaluó a un valor crítico del 0.5162 (Triola, M., 2013, p.518.)

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Tabla 16

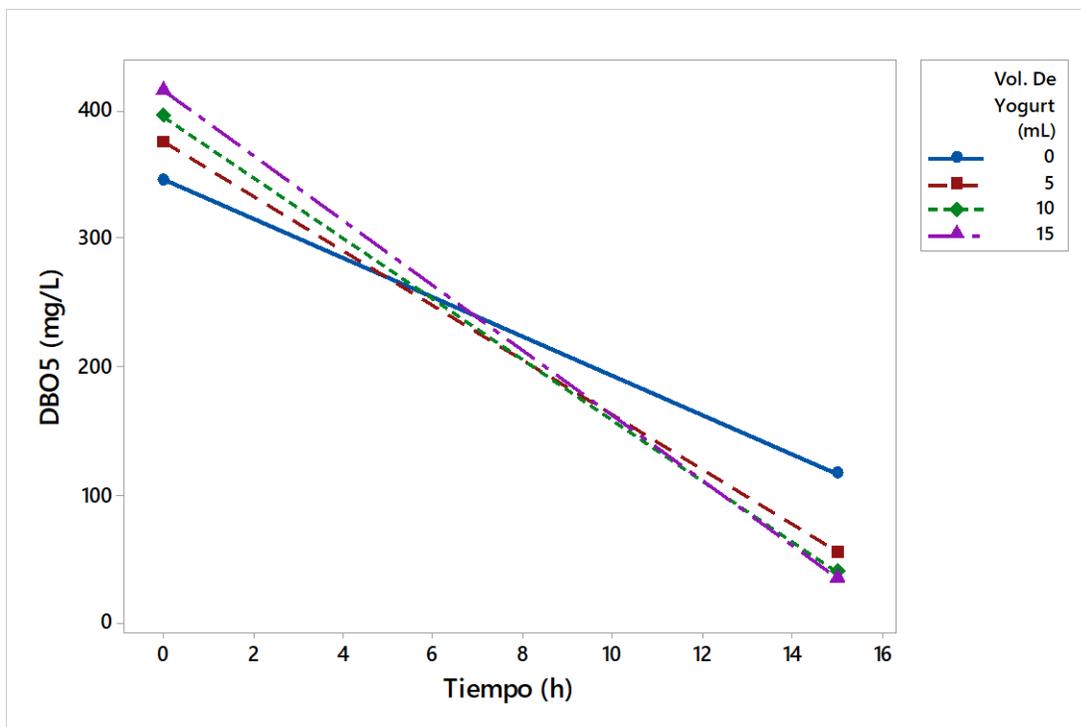
Análisis de varianza de la DBO vs. Tiempo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo (h)	1	208013	208013	179.60	0.000
Error	6	6949	1158		
Total	7	214962			

Nota: Nivel de significancia el 0.01 o 1%

Figura 16

Correlación de la DBO5 vs Tiempo.



Interpretación: El análisis de correlación de Pearson muestra que el tiempo de reacción influye en la degradación de la materia orgánica y por ende en el crecimiento

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

microbiológico, Según la tabla 13 y 15, la DQO y DBO son afectados en los diferentes tiempos, ya que, los valores críticos (r) son mayores al 0.5162, esto indica que tienen una correlación alta y negativa. En adición, se evaluó con el análisis de varianza, los cual muestran valores p menores al 0.01 lo que indica que existe diferencia significativa (tablas 14 y 16), es decir, el tiempo afecta a la materia orgánica para los diferentes volúmenes (figura 14 y 16), esto debido a que se inyectó oxígeno para una actividad aeróbica.

Tabla 17

Correlación de los SST vs Tiempo.

Tiempo (h)	Volumen yogur (mL)	r	Valor critico r
0, 3, 6, 9,12 y 15	0	0.9550	0.5162
	5	0.9925	0.5162
	10	0.3924	0.5162
	15	0.9675	0.5162

Nota: El valor critico se determina de los valores críticos del coeficiente de Pearson y nivel de significancia al 0.01, es decir, se evaluó a un valor crítico del 0.5162 (Triola, M., 2013, p.518.)

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 17

Correlación de los SST vs Tiempo.

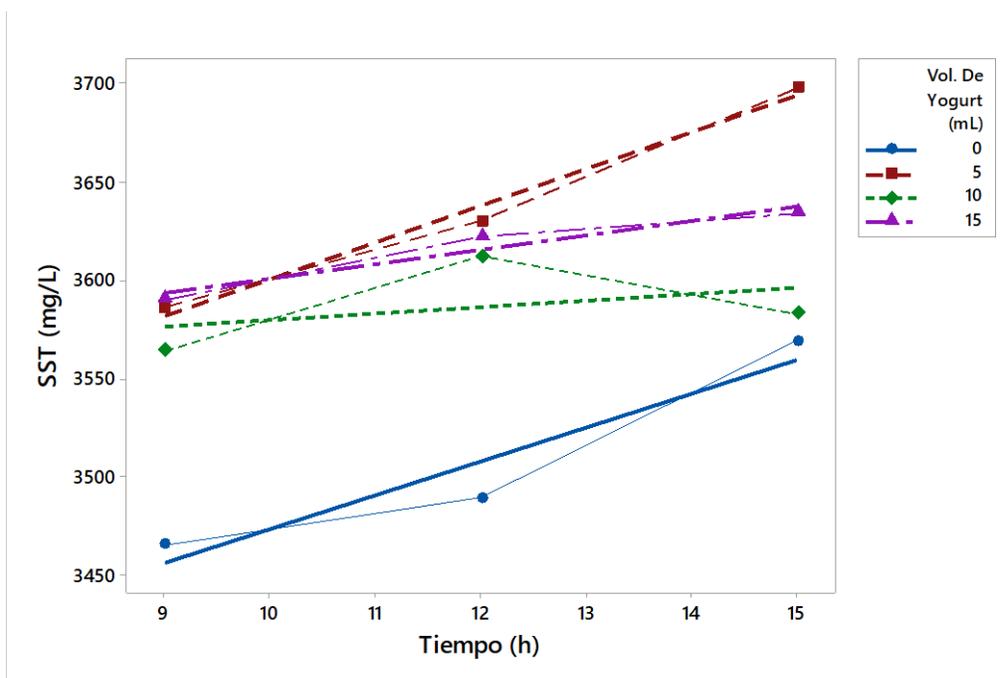


Tabla 18

Correlación de la Sedimentabilidad vs Tiempo.

Tiempo (h)	Volumen yogur (mL)	r	Valor crítico r
0, 3, 6, 9,12 y 15	0	0.9935	0.5162
	5	0.9607	0.5162
	10	0.9818	0.5162
	15	0.3271	0.5162

Nota: El valor crítico se determina de los valores críticos del coeficiente de Pearson y nivel de significancia al 0.01, es decir, se evaluó a un valor crítico del 0.5162 (Triola, M., 2013, p.518.)

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 18.

Correlación de la Sedimentabilidad vs Tiempo.

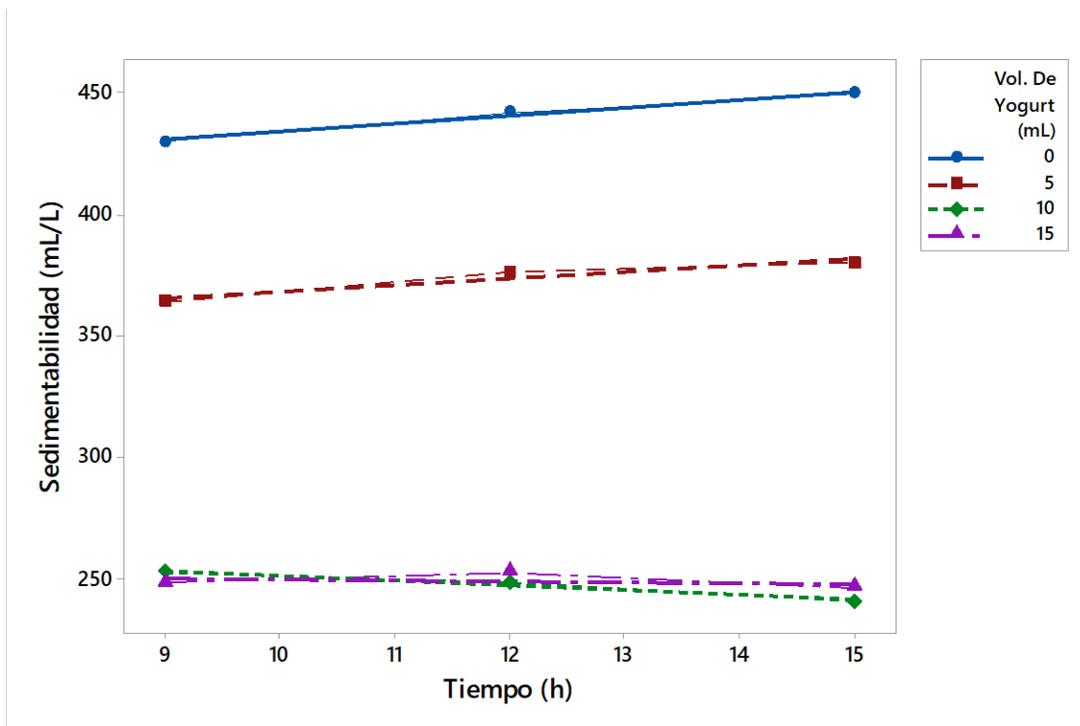


Tabla 19

Efecto del yogur sobre la producción de sólidos y sedimentabilidad.

Conc. Yogur (mL/L)	Tiempo (h)	SST (mg/L)	Sedimentabilidad (mL/L)	IVL (mL/g)
0	9	3465	430	124.1
0	12	3489	442	126.7
0	15	3569	450	126.1
1	9	3586	364	101.5
1	12	3630	376	103.6
1	15	3698	380	102.8
2	9	3564	252	70.7

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

2	12	3612	248	68.7
2	15	3583	240	67.0
3	9	3590	248	69.1
3	12	3622	252	69.6
3	15	3634	246	67.7

Interpretación:

El análisis de correlación de Pearson muestra que el tiempo de reacción influye en la degradación de la materia orgánica y por ende en el crecimiento microbiológico, Según la tabla 17 y 18 para los SST y sedimentabilidad, son afectados en los diferentes tiempos, ya que, los valores críticos (r) son mayores al 0.5162, esto indica que tienen una correlación alta y positiva. Sin embargo, existe una baja correlación para los SST en un volumen de 10 ml y para la sedimentabilidad en un volumen 15 ml; esto indica que se está alcanzando su máxima producción y que el tiempo ya no logra afectar (figura 17, 18 y 19).

En consecuencia, se infiere que el yogur ha influido en la activación microbiana, ya que ha consumido con mayor rapidez la materia orgánica del agua residual y ha generado sólidos sedimentables o de alta densidad para producir mayor sedimentación y, por ende, el tratamiento del agua residual.

4.4 Cinética de degradación de la materia orgánica.

Tabla 20

Evaluación del DQO vs. el tiempo.

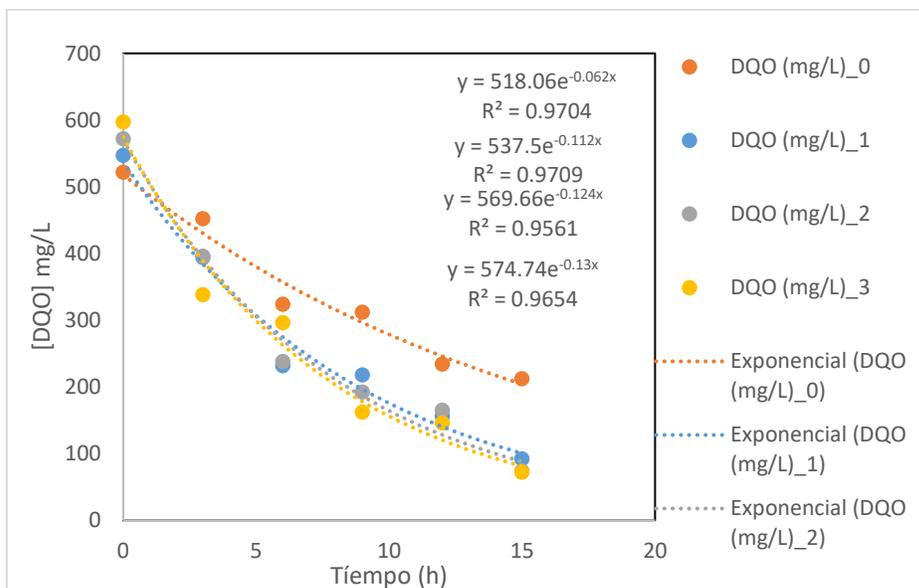
Tiempo (h)	DQO (mg/L)_0	DQO (mg/L)_1	DQO (mg/L)_2	DQO (mg/L)_3	Ln DQO (mg/L)_0	Ln DQO (mg/L)_1	Ln DQO (mg/L)_2	Ln DQO (mg/L)_3
0	522	547	572	597	6.26	6.30	6.35	6.39

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
 LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
 DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

3	452	394	396	338	6.11	5.98	5.98	5.82
6	324	232	238	296	5.78	5.45	5.47	5.69
9	312	218	192	162	5.74	5.38	5.26	5.09
12	234	156	165	146	5.46	5.05	5.11	4.98
15	212	92	74	72	5.36	4.52	4.30	4.28

Figura 19

Determinación de las curvas y velocidades de degradación.



EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 20

Linealización a base logarítmica de los datos de DQO.

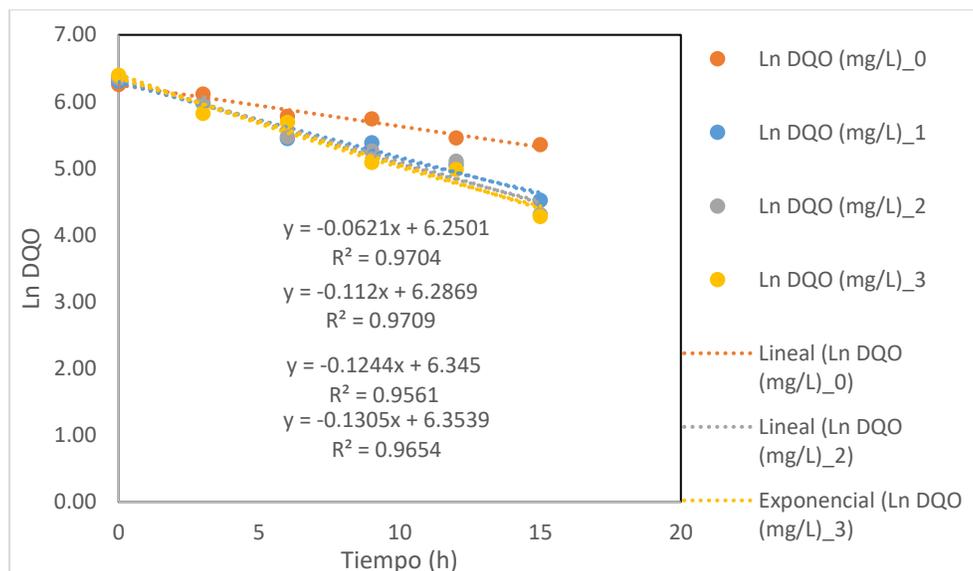


Tabla 21

Linealización de los datos experimentales del DQO.

Adición Yogur Vencido (mL/L)	Ecuación cinética linealizada	Coefficiente de regresión (R^2)
0	$\log[DQO] = -0.0621t + 6.250$	0.9704
1	$\log[DQO] = -0.1120t + 6.287$	0.9709
2	$\log[DQO] = -0.1244t + 6.345$	0.9561
3	$\log[DQO] = -0.1305t + 6.354$	0.9654

Nota: El DQO está en unidades de $\text{mg O}_2/\text{L}$ y el tiempo en horas

Determinación del parámetro cinético

$$[DQO] = A \cdot e^{-k \cdot t}$$

$$\ln[DQO] = \ln(A) - kt$$

$$\ln[DQO] = -kt + \ln(A)$$

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Se toma las ecuaciones linealizadas de las tres concentraciones del yogur vencido para determinar la velocidad de degradación (k).

Tabla 22

Determinación de las velocidades de degradación (parámetro cinético)

Conc. Yogur (mL/L)	k
0	0.0621
1	0.112
2	0.1244
3	0.1305

Interpretación: Los resultados indican que los datos tienen un ajuste exponencial (tabla 13), en donde, se puede derivar la velocidad de degradación (k) (figura 20). Sin embargo, se ha linealizado para obtener unos parámetros cinéticos más preciso (figura 21), de ahí que, en la tabla 14 se indica las ecuaciones de linealización, ello se iguala a la ecuación de degradación y luego se halla las velocidades de degradación (k) (tabla 14). Ahora, según las velocidades nos indica que la velocidad de degradación se incrementa con la presencia del yogur, es decir, que el yogur influye en la degradación de la materia orgánica del agua residual doméstica. Adicionalmente, se infiere que el yogur es un activador o sustrato que mejora la actividad microbiana y por ende la remoción de la materia orgánica del efluente. Finalmente, la concentración del yogurt incrementa la velocidad de la degradación (tabla 15) lo cual muestra beneficios al reactor de degradación.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

4.5 Efecto del yogur en la eficacia del biorreactor en la eliminación de la materia orgánica.

Tabla 23

Efecto sobre la eficacia del biorreactor.

Conc. Yogur (mL/L)	Eficacia del DQO	Eficacia del DBO
0	62.11%	69.75%
1	83.56%	85.66%
2	86.77%	89.83%
3	87.13%	91.13%

Nota: Los valores iniciales del DQO y DBO son los promedios iniciales de las diferentes muestras medidas: 559.5 y 383.5 mg/l, respectivamente.

Interpretación: Tal como se visualiza en la tabla 16, el Yogur vencido afectó en la eficacia del biorreactor tanto para la materia orgánica degradable como biodegradable, estos mayores al 80% para ambos parámetros: DQO y DBO.

4.6 Discusión

Nagendra P. Shah, (2017) ha indicado que “los EPS producidos por cultivos iniciadores de yogur afectan las propiedades físicas y de textura del yogur bajo en grasa y mejoran las características sensoriales como la sensación en la boca, brillo, corte limpio, cordura y cremosidad”. Estos EPS son los responsables de interactuar en el crecimiento microbiano, y, por ende, en la remoción de la materia orgánica y nitrogenada. QIN Danning, et. al (2017) eliminaron una tasa de nitrógeno total (TN) de alrededor del 50 %, casi un 20 % más alta que la del reactor de aireación continua (p.6259). Por otro lado, Haiping Luo, et al, (2017) eliminó de DQO, NH₄-N y TN en un 88 ± 7%, 96 ± 4% y 69 ±

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

3%, respectivamente. Esto se relaciona con los resultados de esta investigación (87.13% mayor remoción para DQO).

Dado que los EPS son los responsables de producir cargas microbianas, (Ming Gao, Rong Liu, Bing Li, Wei Wei, & Yong Zhang, (2020) evaluó los EPS con respecto al índice de volumen de lodo y concluyó que estos EPS mejoró la calidad del lodo, ya que, sus conclusiones son positivas y significativas, es decir, que en tanto se incrementa los EPS se incrementa la calidad del lodo. Tal conclusión se alinea a nuestra investigación, dado que, en tanto se incrementa la concentración de yogurt, se incrementa la calidad del lodo al ser menor que 100 mL/L.

Finalmente, los resultados son comparados con investigaciones que han investigado los EPS, pero de orígenes diferentes, pues, el yogurt como sustrato activador, aún carece de estudios aplicados a diferentes reactores: aeróbico como anaeróbicos.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se demostró que la velocidad de degradación se incrementó con la presencia del yogur, pues se inició en 0.06 y se incrementó a 0.112 (1), 0.1244 (2) y 0.1305 (3) en función de la concentración del yogur.
- El Modelo cinético que mejor se ajustó a los datos fue el exponencial, dado que, tiene un R^2 mayor al 90 % en relación con la materia orgánica (DQO) del agua residual doméstica; por tanto, se infiere que existe un incremento de microorganismos que degradan la materia degradable y biodegradable.
- El yogur vencido demostró que es un sustrato que mejora la calidad del lodo activado de un biorreactor, ya que, mejoró en el IVL lo redujo a niveles menores a 100, lo cual indica que tiene una alta sedimentabilidad, así mismo influyo en la eficacia del biorreactor ya que sin el activador se tenía una eficiencia del 60 % aproximadamente y con el activador incremento al 80 % para las tres concentraciones del yogur.
- El yogur mejora la calidad del lodo, dado que, logra a disminuir el IVL a niveles menores (70) a 100 ml/g, lo que indica que el lodo tiene una buena sedimentabilidad y calidad.

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

5.2 Recomendaciones

- Evaluar la influencia de la concentración del yogur vencido en tiempos más prolongados como de 1, 2, 3 días; esto con la finalidad conocer la correlación de la concentración con respecto al consumo de materia orgánica.

- Realizar pruebas en reactores con flujos continuos y anaeróbicos, dado que, el EPS que contiene este activador puede mejorar e incrementar las biopelículas.

- Se insta a seguir investigando en esta línea de estudio, dado que, al utilizar este sustrato se podría beneficiar al ambiente ya que no se utilizaría activadores químicos sino sustancias biodegradables y amigables con el ambiente.

EFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

REFERENCIAS

- Acevedo Moreno, Y. P. (2021). *Evaluación del desempeño de un reactor biológico aerobio d emedio móvio con biomasa adherida para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una estación de servicio*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79557>
- Amarildo Fernández , E. (2011). *Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura*. Lima - Perú. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4516>: Repositorio del ANA .
- Brown, T., LeMay, H., Bursten, B., & Burdge, J. (2004). *Química - La ciencia central* (Novena ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Callejo Mora, A. (25 de Enero de 2018). *¿Podemos comer yogures caducados?* CuidatePlus. Obtenido de <https://cuidateplus.marca.com/alimentacion/nutricion/2018/01/17/-comer-yogures-caducados-153109.html>
- CBR Ingeniería. (24 de Mayo de 2021). *Tratamiento de aguas residuales con lodos activados*. Obtenido de <https://blog.cbr-ingenieria.com.mx/tratamiento-de-aguas-residuales-con-lodos-activados#:~:text=Beneficios%20del%20tratamiento%20de%20aguas,de%20los%20contaminantes%20es%20alta>.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE - GOBIERNO DE CHILE. (2001). *Guía para el control y prevención de lacontaminación industrial*. Santiago: CONAMA.
- De Sousa Rollemberg, S. L., Nascimento de Barros, A., Sousa Aguiar Lira, V. N., Milen Firmino, P. I., & Bezerra dos Santos, A. (2019). *Comparison of the dynamics, biokinetics and microbial diversity between activated sludge flocs and aerobic granular sludge*. *Bioresource Technology*, pp.1-8.

EFEECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Fundación Española de la Nutrición (FEN). (s.f.). *Yogur. Leche y productos lácteos*.

Obtenido de <https://fen.org.es/MercadoAlimentosFEN/pdfs/yogur.pdf>

Guo-Ping Sheng, Han-Qing Yu, & Xiao-Yan Li. (2010). *Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems: A review*. *Biotechnology Advances*, pp. 882-894.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.08.001>

Haiping Luo, Guofang Xu, Yaobin Lu, Guangli Liu, Renduo Zhang, Xiao Li, . . . Meihan Yu. (2017). *Electricity generation in a microbial fuel cell using yogurt wastewater under alkaline conditions*. *RSC Advances*, pp. 32826-32832.

doi:10.1039/c7ra06131e

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Melo, A., Quintelas, C., Ferreira, E., & Mesquita, D. (2022). *The Role of Extracellular Polymeric Substances in Micropollutant Removal*. *Frontiers in Chemical Engineering*, pp. 1-13. doi:<https://doi.org/10.3389/fceng.2022.778469>

Menéndez Gutiérrez, C., & Perez Olmo, J. (2007). *Procesos para el tratamiento biológico de las aguas residuales industriales*. La Habana: Editorial Universitaria .

Metcalf, & Eddy. (2010). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento vertido y reutilización* (Vol. 1). Mc Graw Hill.

Ming Gao, Rong Liu, Bing Li, Wei Wei, & Yong Zhang. (2020). *Characteristics of extracellular polymeric substances and soluble microbial products of activated sludge in a pulse aerated reactor*. *Environmental Technology*, 41:19, pp.2500-2509. doi:DOI: 10.1080/09593330.2019.1573849

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Moeller, G., & Tomasini Ortíz, A. C. (s.f.). *Microbiología de Lodos Activados*. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Nagendra P. Shah. (2017). *Yogurt in Health and Disease Prevention*. Reino Unido: ELSEVIER. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/book/9780128051344/yogurt-in-health-and-disease-prevention#book-info>

Noyola, A., Morgan-Sagastume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf

Organización e Consumidores y Usuarios (ODECU). (2010). *Estudio de Yogur: Evaluación de Calidad e Información Nutricional*. Chile.

Orozco Jaramillo, Á. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Acodal.

_____. (2014). *Bioingeniería de agua residuales*. Medellín: ACODAL.

PT Hoa, L Nair , & C Visvanathan. (2003). *The effect of nutrients on extracellular polymeric substance production and its influence on sludge properties*. Water SA, pp. 437 - 442. doi: 10.4314/wsa.v29i4.5050

QIN Danning, JIANG Weili, CHEN Jiao, CHENG Panpan, MA Chenhuang, GAO Huan, & ZHANG Yong. (2017). *Characteristics of extracellular polymeric substances of pulse aerated activated sludge and its relationships with nitrogen removal efficiency*. Chinese Journal of Environmental Engineering, 11(12), pp. 6259-6265. doi:doi: 10.12030/j.cjee.201704024

Reino, C., Suárez Ojeda, M. E., Pérez, J., & Carrera, J. (2016). *Kinetic and microbiological characterization of aerobic granules performing partial nitrification of a low-strength wastewater at 10 °C*. Water Research, pp.147-156.

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Riffat, R. (2013). *Fundamentals of wastewater treatment and engineering*. New York: Taylor & Francis Group, LLC.

Rolleberg, S. L., Mendez Barros, A. R., Milen Firmino, P. I., & Bezerra dos Santos, A. (2018). *Aerobic granular sludge: Cultivation parameters and removal mechanisms*. *Bioresource Technology*, 270, pp.678-688. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852418312343>

Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sánchez, O., Herzig, M., Peters, E., Márquez, R., & Zambrano, L. (2007). *Pérspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. México, D.F.: INE-SEMARTNAT.

SENA. (2015). *Plan integral de manejo de lactosuero algunas aplicaciones*. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Obtenido de https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/4711/manejo_integral_lactosuero.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Sharma, P., Gaur, V. K., Kim, S.-H., & Pandey, A. (2019). Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. *Bioresource Technology*, 1-50. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122580>

Soluciones Medioambientales y Aguas (SMA). (08 de octubre de 2014). *Los fangos activos cumplen 100 años de historia*. SMA. Obtenido de <https://www.smasa.net/fangos-activos-historia/>

Telwesa. (20 de Mayo de 2021). *Reactor Biológico*. Telwesa. Obtenido de <https://telwesa.com/reactor-biologico/>

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Vásquez Villalobos, V., Aredo, V., Velásquez, L., & Lázaro, M. (2015). *Propiedades fisicoquímicas y aceptabilidad sensorial de yogur de leche descremada de cabra frutado con mango y plátano en pruebas aceleradas*. Scenia Agropecuaria.

G.E. Box, J.S. Hunter, W.G. Hunter (2008). *Estadística para investigadores diseño innovación y descubrimiento*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/0B777IY0M9mOCTnAybHJTSGJrc1k/view?resourcekey=0-9U0taNY30mxulmVPfQLhOQ>

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Glosario

Aguas residuales

“Aguas cuyas características han sido modificadas por actividades antropogénicas, requieren de tratamiento previo y pueden ser vertidas a un cuerpo natural de agua o ser reutilizadas. Por su naturaleza, las aguas residuales pueden ser domésticas o industriales. Las aguas residuales municipales comprenden tanto a las aguas residuales domésticas como también la mezcla con aguas residuales industriales en tanto estas últimas cumplan con los requisitos para ser admitidas en la red de alcantarillado.” (MINAM, 2012)

DBO₅

“La demanda bioquímica de oxígeno es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios (principalmente por bacterias y protozoarios). Representa, por tanto, una medida indirecta de la concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente. Se utiliza para determinar la contaminación de las aguas.” (Sánchez, Herzig, Peters, Márquez, & Zambrano, 2007). Relacionado con “la DBO, encontramos a la DBO₅, que es la prueba en el laboratorio en el cual una muestra de agua se alimenta con bacteria y nutrientes, y se hace una incubación a una temperatura de 20°C durante 5 días en la oscuridad. El valor de DBO se determina comparando el valor de oxígeno disuelto (OD) de una muestra de agua tomada inmediatamente con el valor de la muestra incubada descrita anteriormente.” La diferencia entre “los dos valores de OD representa la cantidad

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

de oxígeno requerido para la descomposición de material orgánico en la muestra y es la mejor aproximación del nivel de la DBO. La DBO se mide en ppm o mg/L” (Chapman y Kimstach, 1992; APHA, 1995; Bain, 1999).

DQO:

Es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica. Se utiliza para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales. (Sánchez, Herzig, Peters, Márquez, & Zambrano, 2007)

IVL:

Índice volumétrico de lodos, que nos indica la calidad del agua, el cual es la relación del volumen de lodo sedimentado de un litro de muestra entre la concentración de sólidos suspendidos de lodos en el licor mezcla. (Orozco Jaramillo A. , 2014)

Vertimiento

“Sinónimo de Efluente. Está referido a toda descarga deliberada de aguas residuales a un cuerpo natural de agua. Se excluyen las provenientes de naves y artefactos navales, así como la descarga de aguas residuales al alcantarillado.” (MINAM, 2012)

EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Anexos

Anexo 1: Fotos del estudio

Figura 21

Toma de muestras del agua residual de la planta no operativa de Cajamarca



Figura 23

Medición de las muestras.



EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 24

Rotulación a cada una de las cuatro muestras.

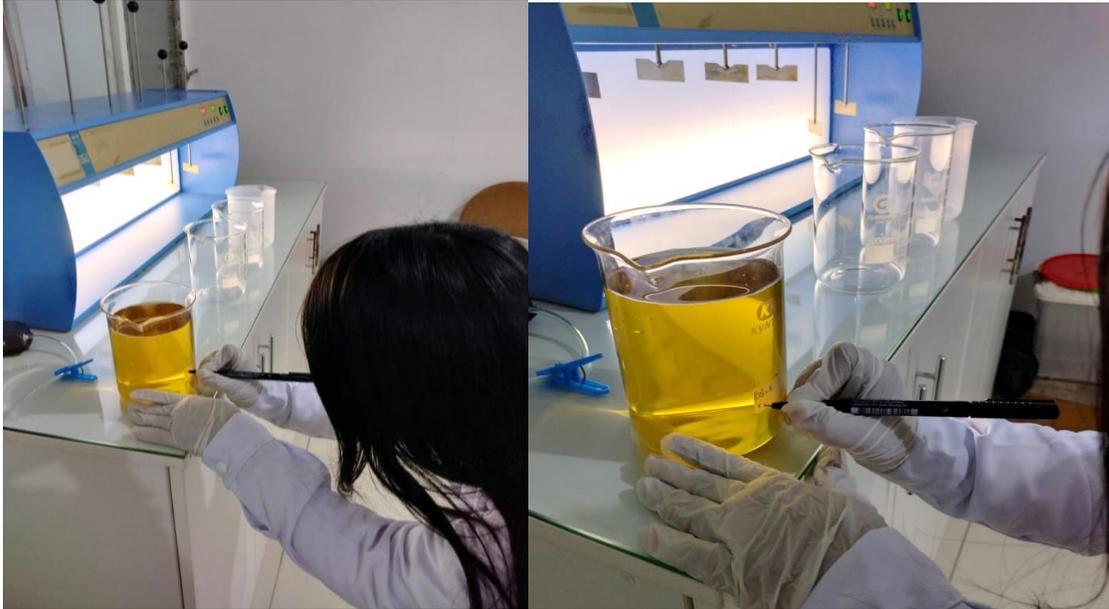
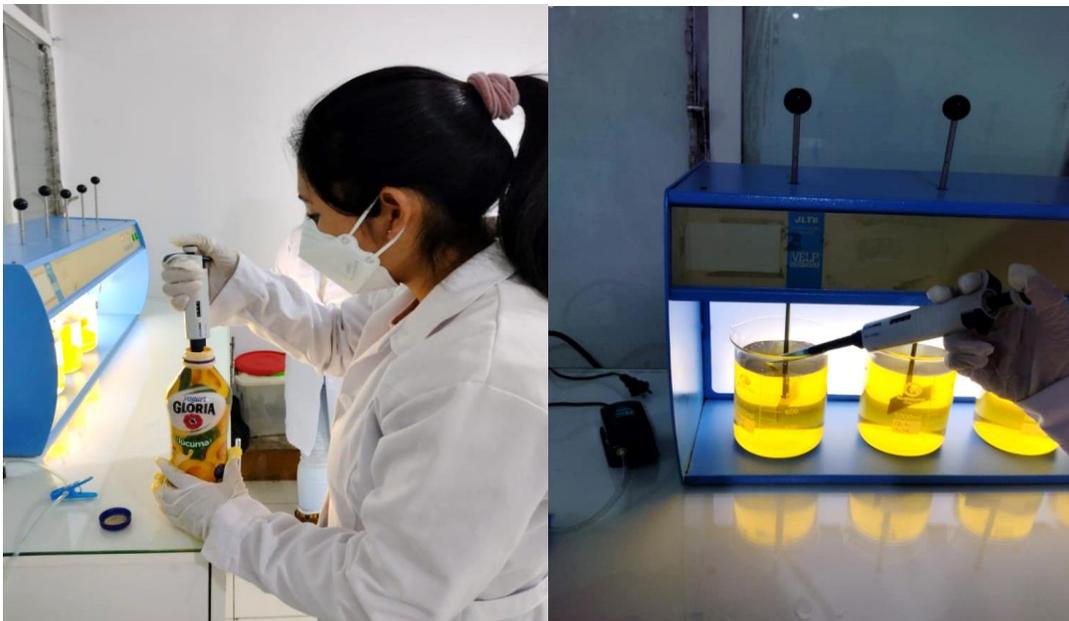


Figura 25

Adición del yogur a cada una de las muestras.



EFEECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 26

Medición del tiempo que las partículas se precipitan; para luego determinar el IVL.



Figura 27

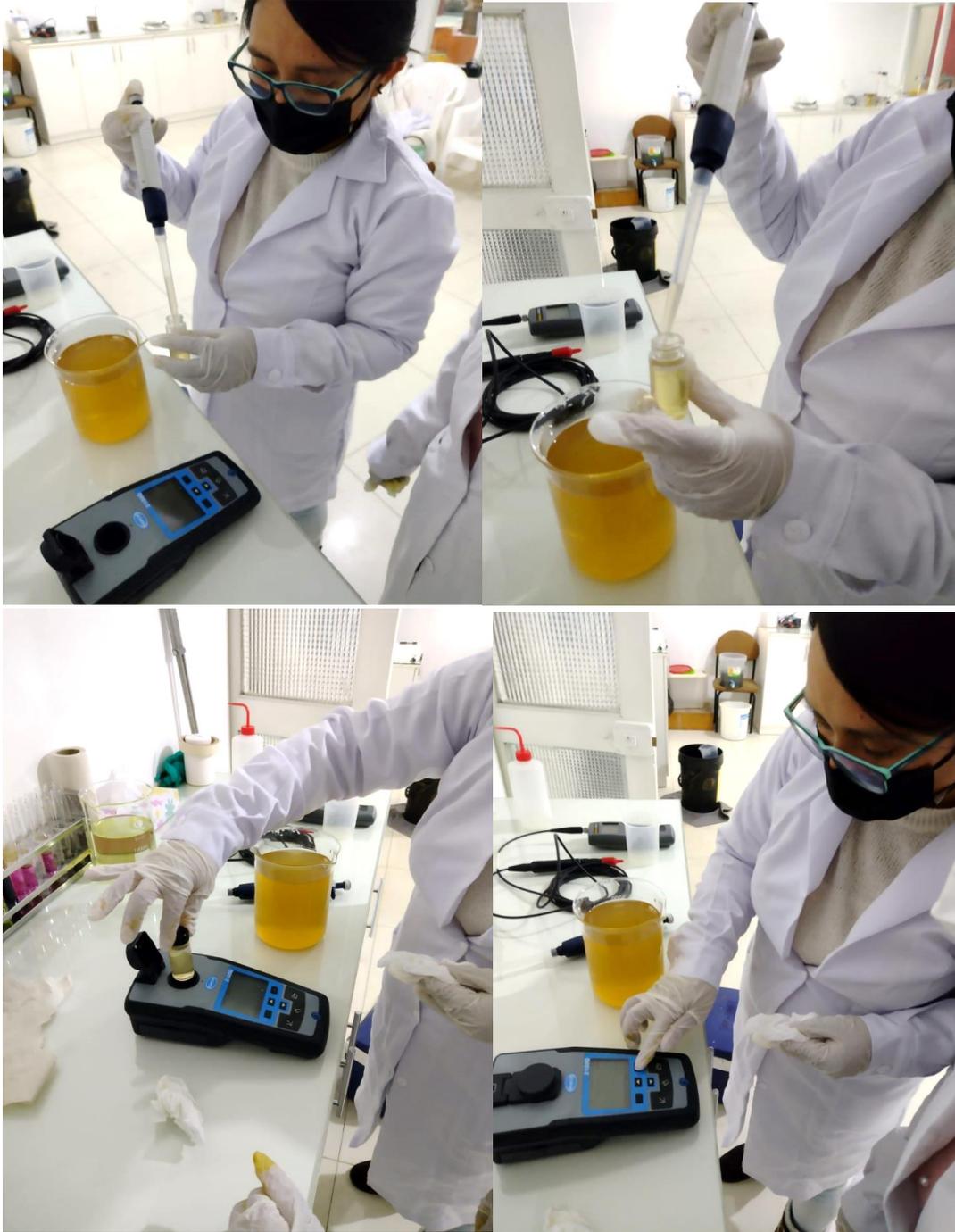
Medición del pH de una de las muestras.



EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y
LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES
DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Figura 28

Medición de la turbidez de cada una de las muestras.



EFFECTO DEL “YOGUR VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS – CAJAMARCA 2020.

Anexo 2: Resultados de laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYOS INNODEVEL

INFORME DE ENSAYO N° IE0908141221
REV. 00

DATOS DEL CLIENTE

Solicitante: Rosmery Valencia Huatay / Sonia del Carmen Alvarado Llanos
RUC / DNI: 71985326 / 47098499
Dirección fiscal:
Representante: Rosmery Valencia Huatay / Sonia del Carmen Alvarado Llanos
Correo Electronico: ryalenciah.2430@gmail.com / sonii4kar@gmail.com
Teléfono: 978712145/916235347
Proyecto: EFECTO DEL “YOGURT VENCIDO” SOBRE LA CALIDAD DE LOS LODOS ACTIVADOS Y LOS PARÁMETROS CINÉTICOS DEL BIORREACTOR DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

CONTROL DEL LABORATORIO

Fecha de recepción: 09/08/2021
Fecha de ejecución: 09/08/2021
Fecha de reporte: 06/09/2021
Cadena de custodia: -

RESULTADOS DE ENSAYOS

N°	Código LAB	Código Cliente	OD (mg/L)	DQO (mgO2/L)	DBO5 (mgO2/L)	SST (mg/L)	Sedimentabilidad (mL/L)
1	02-0125	PV0Y0T0	4.24	522	346		
2	02-0126	PV0Y0T3	4.10	452			
3	02-0127	PV0Y0T6	3.90	324			
4	02-0128	PV0Y0T9	3.94	312		3465	430
5	02-0129	PV0Y0T12	4.32	234		3489	442
6	02-0130	PV0Y0T15	4.40	212	116	3569	450
7	02-0131	PV5Y1T0	2.06	547	376		
8	02-0132	PV5Y1T3	3.13	394			
9	02-0133	PV5Y1T6	3.40	232			
10	02-0134	PV5Y1T9	2.53	218		3586	364
11	02-0135	PV5Y1T12	3.39	156		3630	376
12	02-0136	PV5Y1T15	2.74	92	55	3698	380
13	02-0137	PV10Y2T0	2.15	572	396		
14	02-0138	PV10Y2T3	2.31	396			
15	02-0139	PV10Y2T6	2.66	238			
16	02-0140	PV10Y2T9	2.29	192		3564	252
17	02-0141	PV10Y2T12	2.74	165		3612	248
18	02-0142	PV10Y2T15	2.41	74	39	3583	240
19	02-0143	PV15Y3T0	1.55	597	416		
20	02-0144	PV15Y3T3	2.40	338			
21	02-0145	PV15Y3T6	2.08	296			
22	02-0146	PV15Y3T9	2.04	162		3590	248
23	02-0147	PV15Y3T12	1.67	146		3622	252
24	02-0148	PV15Y3T15	2.05	72	34	3634	246


JOSE LUIS UNZUETA
Ingeniero Ambiental y Prevención De Riesgos
Reg.CIP. N° 235776

Jefe de Laboratorio